

EDIFICATE 2023

II NATIONAL AND INTERNATIONAL CONGRESS OF ADVANCED SCHOOLS BUILDING ENGINEERING AND TECHNICAL ARCHITECTURE

GRANADA, NOVEMBER, 9-10, 2023



UNIVERSIDAD
DE GRANADA

eug EDITORIAL
UNIVERSIDAD
DE GRANADA



PROCEEDINGS BOOK

EDIFICATE 2023

**II National and I International Congress of Advanced Schools Buildings
Engineering and Technical Architecture**

**II Congreso Nacional y I Congreso Internacional de Escuelas de Ingeniería de
Edificación y Arquitectura Técnica**

A cargo:

Santiago Zaragoza, Juan Manuel
Gutiérrez Carrillo, M^a Lourdes
Martínez Rojas, María
Suárez Vargas, Elisabet (Eds)

Granada 2023

© Juan Manuel Santiago Zaragoza
M^a Lourdes Gutiérrez Carrillo
María Martínez Rojas,
Elisabet Suárez Vargas (Eds.)

© Los autores

© Universidad de Granada
EDIFICATE Granada 2023
ISBN(e): 978-84-338-73064

Edita: Editorial Universidad de Granada
Campus Universitario de Cartuja
Granada

Revisión de textos: Elisabet Suárez Vargas
Juan José Cruz Crespo
Antonio Burgos Núñez

Maquetación: Elisabet Suárez Vargas
Juan José Cruz Crespo

Diseño de la cubierta: Adelaida Martín Martín

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

Los editores no se hacen responsables del material aportado por los distintos autores.

La coordinación quiere dar las gracias a todas aquellas personas que han contribuido con su trabajo en este Congreso Internacional. Los organizadores y los coordinadores de la edición no son responsables de los contenidos, redacción, formato y opiniones expresadas en los trabajos. Todos los autores han dado su autorización para que sus trabajos sean publicados y han declarado que los contenidos de sus publicaciones son originales y cuando corresponda, que tienen la autorización para incluir, adaptar o usar los textos, las tablas o las imágenes que se incluyen en sus trabajos.

Todos los trabajos han sido revisados y aceptados por el Comité Científico según el sistema de revisión por “pares”. Dicho comité ha sido seleccionado entre los expertos en cada materia.

Patrocinadores y colaboradores



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**



escuela técnica superior
INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN
Granada

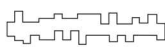


CODATIE

Conferencia de Directores de Arquitectura
Técnica e Ingeniería de Edificación



DEPARTAMENTO
CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS
UNIVERSIDAD DE GRANADA



DEPARTAMENTO DE EXPRESIÓN
GRÁFICA **ARQUITECTÓNICA Y EN LA**
INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE
GRANADA



**COLEGIO OFICIAL DE
APAREJADORES Y ARQUITECTOS
TÉCNICOS DE GRANADA**

EDIFICATE2023

II NATIONAL CONGRESS AND I INTERNATIONAL CONGRESS OF ADVANCED SCHOOLS BUILDING ENGINEERING AND TECHNICAL ARCHITECTURE

GRANADA, November, 9-10, 2023
Advanced Technical School for Building Engineering
University of Granada

Directores

Santiago Zaragoza, Juan Manuel. Universidad de Granada

Gutiérrez Carrillo, M^a Lourdes. Universidad de Granada

Secretaría

Martínez Rojas, María. Universidad de Granada

Suárez Vargas, Elisabet. Universidad de Granada

Comité Organizador

Aguilar Aguilera, Antonio. Universidad de Granada

Arto Torres, Ignacio. Universidad de Granada

Burgos Núñez, Antonio. Universidad de Granada

De la Hoz, M^a Luisa. Universidad de Granada

Domínguez Caballero, Rosa M^a. Universidad de Sevilla

Gutiérrez Carrillo, M^a Lourdes. Universidad de Granada

Lafuente Bolívar, Javier. Universidad de Granada

Martín Martín, Adelaida. Universidad de Granada

Martínez Rojas, María. Universidad de Granada

Santiago Zaragoza, Juan Manuel. Universidad de Granada

Suárez Vargas, Elisabet. Universidad de Granada

Comité de Honor

Mercado Pacheco, Pedro. Rector Universidad de Granada

Rivas Velasco, Ana M^a. Vicerrectora de Calidad, Innovación Docente y Estudios de Grado.
Universidad de Granada

Del Pino Leruite, Juan Carlos. Coordinador General de Presidencia y Relaciones Institucionales
del Ayuntamiento de Granada

EDIFICATE2023

II NATIONAL CONGRESS AND I INTERNATIONAL CONGRESS OF ADVANCED SCHOOLS BUILDING ENGINEERING AND TECHNICAL ARCHITECTURE

GRANADA, November, 9-10, 2023
Advanced Technical School for Building Engineering
University of Granada

Cos-Gayón López, Fernando. Vicepresidente de la Conferencia de Directores de Arquitectura Técnica e Ingeniería de Edificación (CODATIE)

García Carrillo, Fabián. Coordinador del Título. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Edificación. Universidad de Granada

Valverde Palacios, Ignacio. Director del Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universidad de Granada

Nieto Álvarez, Raquel. Secretaria del Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería. Universidad de Granada

Gallego Sevilla, Rafael. Director del Departamento de Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica. Universidad de Granada

García García, María Paz. Presidenta del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Granada

García Fuentes, José. Presidente de la Autoridad Portuaria de Motril

Comité Científico

Aguilar Aguilera, Antonio. Universidad de Granada

Benavides López, José Antonio. Universidad de Granada

Bernardo, Graziella. Università degli Studi della Basilicata

Bestué Cardiel, Isabel. Universidad de Granada

Bienvenido Huertas, José David. Universidad de Granada

Burgos Núñez, Antonio. Universidad de Granada

Cámara Pérez, Margarita. Universidad de Sevilla

Carretero Ayuso, Manuel Jesús. Universidad de Alcalá

Celluci, Cristiana. Università IUAV di Venezia

Chaza Chimeno, Rosario. Universidad de Sevilla

Cobo Escamilla, Alfonso. Universidad Politécnica de Madrid

Cruz Franco, Pablo Alejandro. Universidad de Extremadura

Cruz Valdivieso, Ana M^a. Universidad de Granada

EDIFICAT E 2023

II NATIONAL CONGRESS AND I INTERNATIONAL CONGRESS OF ADVANCED SCHOOLS BUILDING ENGINEERING AND TECHNICAL ARCHITECTURE

GRANADA, November, 9-10, 2023
Advanced Technical School for Building Engineering
University of Granada

Cuenca Moyano, Gloria. Universidad de Granada

De Medici, Stefania. Università degli Studi di Catania

De la Hoz, M^a Luisa. Universidad de Granada

Gandía Romero, José Manuel. Universitat Politècnica de València

García Carrillo, Fabián. Universidad de Granada

Gómez Cobos, Emilio. Universidad de Granada

Guida, Antonella. Università degli Studi della Basilicata

Gutiérrez Carrillo, M^a Lourdes. Universidad de Granada

Jiménez Delgado, Antonio. Universidad de Alicante

Ladiana, Daniela. Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti e Pescara

Lanzón Torres, Marcos. Universidad Politécnica de Cartagena

Martín Martín, Adelaida. Universidad de Granada

Martín Morales, María. Universidad de Granada

Martínez Rojas, María. Universidad de Granada

Monsu Scolari, Antonello. Università degli Studi di Sassari

Nieto Álvarez, Raquel. Universidad de Granada

Palmero Iglesias, Luis. Universitat Politècnica de València

Pardo Ferreira, Carmen. M^a Carmen. Universidad de Málaga

Peñalba Otaduy, Miriam Victoria. Universidad del País Vasco

Rodríguez Cantalapiedra, Inmaculada. Universidad Politécnica de Cataluña

Rueda Márquez de la Plata, Adela. Universidad de Extremadura

Sáez Pérez, M^a Paz. Universidad de Granada

Salguero Caparrós, Francisco. Universidad de Málaga

Santiago Zaragoza. Juan Manuel. Universidad de Granada

Segarra Cañamero, María. Universidad de Castilla-La Mancha

Suárez Vargas, Elisabet. Universidad de Granada

Valverde Palacios, Ignacio. Universidad de Granada

EDIFICATE2023

II NATIONAL CONGRESS AND I INTERNATIONAL CONGRESS OF ADVANCED SCHOOLS BUILDING ENGINEERING AND TECHNICAL ARCHITECTURE

GRANADA, November, 9-10, 2023
Advanced Technical School for Building Engineering
University of Granada

Prólogo

Como uno de los directores del Congreso, junto con la Dra. Lourdes Gutiérrez Carrillo, es para mí honor y un placer prologar este Libro de Actas.

Es el segundo Congreso Nacional de Escuelas de Ingeniería de Edificación y Arquitectura Técnica.

Sin embargo, en esta edición, se ha querido hacer además un primer Congreso Internacional. Es un paso significativo que, tiene como objeto, promover el intercambio de conocimientos y experiencias en un nivel global. Sin duda, en el ámbito internacional nos sentimos perfectamente reconocidos.

En nuestra actividad académica e investigadora, son muchas las escuelas europeas y del resto del mundo, del ámbito de la ingeniería que, con titulaciones análogas a la nuestra, proporcionan valiosas oportunidades para nuestros estudiantes. En sus estancias de intercambio, normalmente anuales, aprenden de realidades idénticas a la española en lo académico, pero, muy enriquecedoras en lo personal, por la inmersión en diferentes culturas y lenguajes.

También permiten que nuestro profesorado amplíe el campo de su actividad docente e investigadora. Aquello, que se inició mediante estancias cortas para la firma de convenios, ha devenido en enriquecedoras experiencias docentes y de investigación, mediante la propuesta de titulaciones dobles y la petición de proyectos conjuntos, acompañados de estancias largas.

Muchos son los campos de trabajo que se abordan de forma bilateral entre las distintas escuelas y universidades. Lo que se propone en este congreso trasciende esa realidad y se torna global. Por ello, merece la pena la puesta en común de experiencias, actividades, proyectos y realidades de los diferentes centros en los que se imparten nuestras titulaciones. Y es también por ello, por lo que los bloques temáticos propuestos para el Congreso abarcan aspectos fundamentales de la Ingeniería de Edificación y la Educación en Ingeniería. Aquí se resumen las áreas clave que se abordarán en el evento:

Ingeniería de Edificación en el marco nacional e internacional. Se incluyen aspectos relacionados con la gestión y el diseño de los planes de estudios, herramienta básica para la adquisición de competencias. Se trata de compartir modelos y experiencias entre las diferentes escuelas. Además, se promueve la colaboración en proyectos conjuntos, de investigación y programas de intercambio, que beneficien tanto a estudiantes como a académicos. La apuesta en este sentido por la internacionalización también es un reflejo de la creciente interconexión en la educación superior y la importancia de preparar a los futuros ingenieros para trabajar en un entorno global. Las alianzas ARQUS de las distintas universidades son el modelo a seguir.

Metodologías activas docentes en los cursos de grado y posgrado. El Espacio Europeo de Educación Superior EEES, definió los niveles de enseñanza en grado y posgrado, dividiéndose este último a su vez en másteres y doctorado. Las titulaciones de dobles grados, tanto nacionales como internacionales, abren el abanico de la oferta innovadora, que pretende atraer talento. Buscando, además, la especialización de los estudiantes y egresados, desde el enfoque de la enseñanza a lo largo de la vida *Long Life Learning*, numerosos centros han creado una variada oferta de másteres oficiales. Quizás el reto más inmediato sea la generación de un mapa de titulaciones de posgrado y la solicitud de nuevos másteres interuniversitarios. El próximo paso será conseguir una oferta análoga de programas de doctorado.

EDIFICAT E2023

II NATIONAL CONGRESS AND I INTERNATIONAL CONGRESS OF ADVANCED SCHOOLS BUILDING ENGINEERING AND TECHNICAL ARCHITECTURE

GRANADA, November, 9-10, 2023
Advanced Technical School for Building Engineering
University of Granada

Innovación y transformación digital de la enseñanza. En un mundo cada vez más digitalizado, este bloque temático se centrará en cómo la tecnología y la innovación están transformando la enseñanza en ingeniería. Se explorarán las herramientas y enfoques digitales que mejoren la experiencia de aprendizaje de los estudiantes, al tiempo que se destacará la importancia de una base sólida de conocimientos que permita aprovechar al máximo estas tecnologías. Dado el panorama de incertidumbre en la educación y el mundo en general, se discutirá cómo adaptarse a un futuro mediatizado por la tecnología. No es menor la crítica que se realiza desde determinados sectores a este tipo de enseñanza. Los enfoques de los diferentes ponentes seguro que harán un enriquecedor periplo a través de la práctica cotidiana.

La investigación en Ingeniería de Edificación. Es un campo amplio y dinámico que pretende mejorar los procesos de diseño, construcción y gestión de edificios, así como desarrollar soluciones innovadoras para los desafíos que enfrenta la industria de la construcción. Temas como la eficiencia energética y la sostenibilidad, la construcción sostenible y resiliente, los materiales de construcción innovadores, las nuevas tecnologías de la construcción, la gestión de proyectos y el BIM (*Building Information Modelling*), y los procesos relacionados con la evaluación y el control de calidad y la seguridad y salud en la construcción, hacen necesaria la apuesta por programas de investigación vinculados con proyectos de investigación competitiva tanto públicos como privados, que den respuesta a los desafíos ambientales y tecnológicos de un sector tan fundamental como cuestionado. Los resultados, la transferencia, se han vuelto ineludibles.

El sector de la construcción está evolucionando de forma vertiginosa orientándose hacia la construcción industrializada, la prefabricación y la digitalización de la gestión de los procesos. Estos procesos están posibilitando la reconversión de las especialidades que intervienen en el proceso productivo y posibilitando la apertura de un nuevo campo de innovación técnica. Pero para acometer este escenario transformador, se debe hacer un esfuerzo adicional en cuanto a la actualización de los profesionales que lo haga atractivo y retenga el talento. De ahí la necesidad de la formación continua. Ambos procesos son clave para abordar los desafíos y aprovechar las oportunidades de esta industria en constante cambio.

Organizar un Congreso es todo un reto. En 2021 lo asumimos gustosos de manos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación de la Universidad Politécnica de Valencia. Su director el Dr. Fernando Cos-Gayón y su equipo, establecieron un nivel de organización que había que mantener. En este caso, tres mujeres, las Dras. Lourdes Gutiérrez Carrillo, Elisabet Suárez Vargas y María Martínez Rojas, lideradas por la primera, han constituido un equipo riguroso, eficaz y operativo y han realizado un trabajo ingente. De ello puedo dar testimonio. Ha sido un auténtico honor contar con su trabajo y dedicación.

Quiero sumar mi agradecimiento al resto de centros, escuelas españolas y europeas, por la difusión del evento, su participación y apoyo. Los distintos equipos colaboradores constituyen todo un elenco de autoridades en las materias propias del congreso.

Por último, reconocer a los patrocinadores del Congreso su apoyo desinteresado. El patrocinio de este tipo de eventos multiplica las posibilidades de difusión del conocimiento y de intercambio de experiencias socialmente beneficiosas. Nunca está suficientemente ponderado.

Dr. Juan Manuel Santiago Zaragoza

EDIFICATE2023

II NATIONAL CONGRESS AND I INTERNATIONAL CONGRESS OF ADVANCED SCHOOLS BUILDING ENGINEERING AND TECHNICAL ARCHITECTURE

GRANADA, November, 9-10, 2023
Advanced Technical School for Building Engineering
University of Granada

Index

TOPIC 1. Building Engineering in the National and International framework: Management models and Curricula

The professional career of technical architecture is under discussion in Spanish universities that offer this academic degree Collado López, M Luisa y Gandía-Romero, José Manuel	1
Integration of Sustainable Development Goals into the Technical Architecture degree Ruá Aguilar, María José, Martínez Moya, Joaquín Ángel, Reig Cerdà, Lucía y Pitarch Roig, Ángel Miguel	12
Internationalization information tools in the School of Building Engineering of the University of Granada Martínez Vela, Ana M	21
Professional retraining for Building Engineers in Sustainability and Circular Economy González-Arteaga, Jesús, Valverde Cantero, David, Ruíz Fernández, Juan Pedro y Valverde Gascueña, Nelia	30
Formación dual universitaria: revisión de experiencias pioneras en la Comunidad Autónoma Vasca Peñalba Otaduy, Miriam.....	40
Sustainability-based analysis of deontological codes in technical architecture Alva, Aleix, Bosch González, Montserrat.....	49
Towards an integrated management of heritage: the town of Khenguet Sidi Nadji between reality and projection Bouchachi Brihmouche, Maher y Jiménez Delgado, Antonio.....	59
Survey and analysis of the mobility of students of Technical Architecture in La Laguna Pino Suárez, Ruth	66
La titulación de Arquitectura Técnica de A Coruña tras medio siglo de formación Pérez-Ordoñez, Juan Luis, Benítez-García, Marta, Losada-Pérez, Carlos, Seara-Paz, Sindy y Robles Sánchez, Susana	77
The Education in Technical Architecture. 50 years of the school Collado López, M. Luisa.....	87
Experiencia de un posgrado en BIM management en la universidad pública Oliver-Faubel, Inmaculada, Pérez-Ordóñez, Juan Luis, Fuentes Giner, Begoña y Cerdán Castillo, Alberto	96
Estudios simultáneos entre los Grados en Ingeniería de Edificación y en Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Murcia Alejo Guerao, S, González Ponce, E, Rosa Roca, N.....	107

EDIFICAT E2023

II NATIONAL CONGRESS AND I INTERNATIONAL CONGRESS OF ADVANCED SCHOOLS BUILDING ENGINEERING AND TECHNICAL ARCHITECTURE

GRANADA, November, 9-10, 2023
Advanced Technical School for Building Engineering
University of Granada

Integración de competencias de sostenibilidad y de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el Grado en Arquitectura Técnica: El proyecto JOIN-RISE Garabito López, Javier, Gutiérrez González, Sara, Alameda Cuenca Romero, Lourdes, Calderón Carpiñero, Verónica, Muñoz Ruipérez, Carmelo y Fiol Olivan, Francisco	114
Modification of the ECI/3855/2007 Order. An opportunity after the Act for the University System and the Decree 822/2021 Santiago-Zaragoza, Juan Manuel, García-Carrillo, Fabián y Segarra-Cañamares, María.....	122
On the affinity of three degrees "Building", "Architecture studies" and "Civil Engineering" at the University of Granada Santiago-Zaragoza, Juan Manuel, García-Carrillo, Fabián, Gómez-Cobos, Emilio	131
The Renewal of the Study Plan of the Degree in Building of the Higher Technical School of Building Engineering of the UGR García Carrillo, Fabian, Santiago Zaragoza, Juan Manuel y Gómez Cobos, Emilio	141
Case study of energy demand in near-zero energy houses and houses under the passivhaus standard Piña Ramírez, Carolina, Aguilera Benito, Patricia, Vidales Barriguete, Alejandra, Vidales Barriguete, Roberto, Santiago Rasilla, Victoria	149

TOPIC 2. Active teaching approaches in undergraduate and postgraduate courses

New ways of teaching and learning in architectural design Bernardo, Graziella y Palmero Iglesias, Luis Manuel.....	158
Learning by teaching: Flipped classroom model applied to quality test and control of building materials Serrano-Jiménez, Antonio, Martínez-Rojas, María, Esquivias, Paula M., Cuenca-Moyano, Gloria y Martín-Morales, María	168
Teaching passive design strategies and sustainability in construction by using BIM and project-based learning Hormigos-Jiménez, Susana; Horrach, Gabriel; Carmona, Cristian; Muñoz, Joan y Masdeu, Francesc ..	177
Systemic approach for management of project complexity. The role of the discipline of Architectural Technology in university education Cellucci, Cristiana.....	187
Challenges in the transition towards courses focused on project-based learning Echebarria Domínguez, Blas, Rodríguez Jordana, Juan y Rodríguez Cantalapiedra, Inmaculada	198
Use of digital and physical twins of construction details to improve spatial understanding of architecture in building engineering and technical architecture subjects Rueda Márquez de la Plata, Adela, Cruz Franco, Pablo Alejandro y Pérez Sendín, María	207

EDIFICATE2023

II NATIONAL CONGRESS AND I INTERNATIONAL CONGRESS OF ADVANCED SCHOOLS BUILDING ENGINEERING AND TECHNICAL ARCHITECTURE

GRANADA, November, 9-10, 2023
Advanced Technical School for Building Engineering
University of Granada

Application of new technologies augmented reality (AR) and virtual reality (VR) to the teaching of technical subjects in systems.

Cruz Franco, Pablo Alejandro, Rueda Márquez de la Plata, Adela y Gómez Bernal, Elena 217

Theoretical-practical training in safety at work at height for students of the degree in Building Engineering: the experience of the UCAM

Martínez Montesinos, Francisco José, Rosa Roca, Nuria y Segura Valera, José Enrique 226

Case study based on experimental work in Building Materials subject

Masdeu, F.; Hormigos, S.; Carmona, C.; Muñoz, J.; Horrach, G. 235

Entre investigación y docencia: registro de valores patrimoniales y medioambientales en la arquitectura de Jujol

Esquinas-Dessy, Jesús; Zaragoza, Isabel; Buill, Felipe y Mercade-Brullés, Juan 244

Obstáculos de la enseñanza en el área de conocimiento de Construcciones Arquitectónicas

Campra García de Viguera, Carmen, Menargues Marcilla, Asunción y Jiménez Delgado, Antonio 254

Acquisition of professional competences applying problem-based learning methodology in the subject: “Seminario de Laboratorio de Materiales”

Puentes, Javier, Palomar, Irene y Barluenga, Gonzalo 263

Based-project learning of mathematical models for energy efficiency

Berenguer Maldonado, María Isabel y Ruiz Galán, Manuel 271

Teaching outside the classroom. The case of the School of Architecture and Cultural Heritage in Syracuse

Barbera, Paola, Carocci, Caterina F., De Medici, Stefania y Vitale, Maria Rosaria 275

STEAM como metodología pedagógica innovadora en la educación superior del grado de Arquitectura Técnica de la Universidad de Burgos: Procesos de enseñanza - aprendizaje, realidad, formación y experiencia.

Muñoz Ruiperez, Carmelo, Muñoz-Arranz, Marina, Garabito López, Javier, Fiol Olivan, Francisco y Rodrigo Bravo, Alba 284

Trabajo Final de Grado en el Grado en Ingeniería de Edificación de la Universidad Católica de Murcia: metodología y resultados

González Ponce, E., Aledo Guerao, S. y Segura Valera, J.E. 292

Applied Physics for Acoustic and Hygrothermal comfort

Jódar-Reyes, Ana Belén, Gallego Molina, Antolino y Fuentes García, Yaiza 299

Adaptation of the teaching of the subject Construction III of the Degree in Technical Architecture of the UPV due to COVID-19 to e-learning and b-learning.

Iborra Lucas, Milagro, Martínez Ibernón, Ana y Gandía-Romero, José Manuel 304

Educational innovation on the reinforcement of confined concrete elements

Leal Matilla, Alberto, Prieto Barrio, María Isabel y Cobo Escamilla, Alfonso 313

EDIFICATE2023

II NATIONAL CONGRESS AND I INTERNATIONAL CONGRESS OF ADVANCED SCHOOLS BUILDING ENGINEERING AND TECHNICAL ARCHITECTURE

GRANADA, November, 9-10, 2023
Advanced Technical School for Building Engineering
University of Granada

TOPIC 3. Building Research

Investigación Internacional: Tesis doctoral Universidades Sevilla y Montpellier (Francia) sobre la Prevención de Riesgos Laborales en las obras de Restauración en Edificios Patrimoniales	
Domínguez Caballero, Rosa M y Bernardo, Graziella.....	322
Multidisciplinary and multi-scalar approach for regeneration of social housing and its habitat	
Cellucci, Cristiana.....	332
Selection of schools in Palma (Mallorca) for indoor air quality measurements, towards the promotion of health	
Llabrés Morey, M. Angels, Hormigos Jiménez, Susana y del Río Merino, Mercedes	342
Plasterboard partitions: a way out to reduce construction waste on site	
del Río Merino, Mercedes y Villoria Sáez, Paola	354
Knowledge of earth construction. From empiricism to technicality	
Miranda-Santos, M., Navarro-Ezquerro, A., Ramirez-Casas, J., Corominas, A. y González-Sánchez, B.	362
Mejoras en la seguridad de la protección individual contra caídas. Estudio de absorbedores de energía, equipos de amarre y selección correcta de nudos	
Sáez, Pedro Ignacio, Carrión, Elena Ángela, García-González, Encarnación y Jiménez, Antonio.....	370
Recycled materials with vulcanized rubber waste	
Rodríguez Aybar, Marta, Pedreño Rojas, Manuel Alejandro, Porras-Amores, César y Moreno Fernandez, M ^a Esther	380
Methodological approach to urban regeneration through urban indicators database	
Ortega Castillo, Ivan, Giraldo Forero, M. Pilar y Lacasta Palacio, Ana M.....	388
Investigación en proyectos multidisciplinares coordinados desde el área de Construcciones Arquitectónicas	
Jiménez Delgado, Antonio, Campra García de Viguera, Carmen, Sáez Mentxakatorre, Iñaki y Bouchachi, Maher	397
La investigación inmobiliaria de la Cátedra Observatorio de la Vivienda UPV en y su impacto en la Edificación	
Cos-Gayón López, Fernando, Guillen Vivas, Mirian, Martín Furones, Ángel y Fernández Plazaola, Igor.....	405
Detección Oportuna de Asentamientos Informales Emergentes: explorando fuentes de datos para modelos predictivos	
Guillen Viva, Miriam y Cos-Gayón López, Fernando	412
Analysis and characterization of “Marès” sandstone as a construction element, according to its extraction area.	
Oliver Vives, Javier, Carmona Gómez, Cristian y Masdeu Mayans, Francesc.....	420

EDIFICAT E2023

II NATIONAL CONGRESS AND I INTERNATIONAL CONGRESS OF ADVANCED SCHOOLS BUILDING ENGINEERING AND TECHNICAL ARCHITECTURE

GRANADA, November, 9-10, 2023
Advanced Technical School for Building Engineering
University of Granada

Positive Energy Buildings Potential for Climate Change Adaptation and Energy Poverty Mitigation	
Torres-González, Marta, Corona Macías, Yanet, Delgado Gutiérrez, Evelyn, Maestre Rodríguez, Cristina, León Muñoz, Miguel, Bienvenido Huertas, David, Sánchez García, Daniel, Gómez Cobos, Emilio y Rubio-Bellido, Carlos.....	431
Design of sustainable non-structural concrete using construction and demolition waste with the addition of reused rock wool as a by-product of residential demolitions	
Teijón-López-Zuazo, Evelio, Vega-Zamanillo, Ángel y Gavron Siqueira, Cristina	440
Graphic analysis and 3D virtual representation of the San Fernando courtyard of the Hotel Alfonso XIII in Seville	
Chaza Chimeno, M ^a Rosario, Diaz Cañete, Pablo, Rico Delgado, Fernando y Jiménez Sanchez, Virginia Asunción	447
Surrogate modelling exploiting long-term monitoring data for damage identification of the Muhammad Tower in the Alhambra in Granada, Spain	
García-Macías, Enrique, Hernández-González, Israel Alejandro, Puertas, Esther, Gallego, Rafael, Castro-Triguero, Rafael, y Ubertini, Filippo	458
Automated OMA and normalization of resonant frequencies of a 13th-century tower in the Alhambra monumental complex in Granada, Spain	
García-Macías, Enrique, Hernández-González, Israel Alejandro, Puertas, Esther, Gallego, Rafael, Castro-Triguero, Rafael, y Ubertini, Filippo	468
Populations of Digital Twins: Towards a Comprehensive Damage Identification of Historical Constructions	
Hernández-González, Israel Alejandro y García-Macías, Enrique.....	478
Combining research and final degree project: Improvement of the fire behaviour of bamboo. Study in the species Guadua Angustifolia and Phyllostachys Pubescens	
Bedoya Beltrán, Erika Viviana, Haurie Ibarra, Laia y Avellaneda Lopez, Alina	488
Real-time monitoring of green roofs in Barcelona	
Alva, Aleix, Lacasta, Ana M., Bosch, Montserrat, Berigüete, Fanny y Cantalapiedra, Inmaculada R.....	498
Potential of bio-based pozzolanic additions for cementitious materials	
Arias Cárdenas, Brenda, Navarro Ezquerro, Antonia, Lacasta Palacio, Ana y Haurie Ibarra, Laia.....	508
Análisis de la vulnerabilidad sísmica de edificios de obra de fábrica mediante un modelo de macroelementos no lineales	
Figueroa Martín, María del Carmen y Gallego Sevilla, Rafael	518
Compression behaviour of pre-collapsed concrete specimens confined with FRP fabrics bonded externally with epoxy resins	
Leal Matilla, Alberto, Prieto Barrio, Isabel y Cobo Escamilla, Alfonso.....	528
Elaboración y caracterización de compuestos de tierra mediante la incorporación de residuos agrícolas	
Cervilla-Maldonado, Ana, Valverde-Palacios, Ignacio, Fuentes-García, Raquel, Martín-Villegas, Francisco y Valverde-Espinosa, Ignacio	537

EDIFICATE2023

II NATIONAL CONGRESS AND I INTERNATIONAL CONGRESS OF ADVANCED SCHOOLS BUILDING ENGINEERING AND TECHNICAL ARCHITECTURE

GRANADA, November, 9-10, 2023
Advanced Technical School for Building Engineering
University of Granada

TOPIC 4. Innovation and digital transformation of teaching

Teaching-learning strategy applied to heritage rehabilitation: collaborative models in a real environment

Gutiérrez-Carrillo, M^a Lourdes, Romero Sánchez, Guadalupe y Marcos Cobaleda, María..... 544

Exploring built heritage through an interdisciplinary and cross-cutting approach: applying HBIM systems for the conservation-rehabilitation, management and maintenance of domestic architecture in Tetuan.

Calvo Serrano, Julio, Malagón Luesma, Carlos, Gámez Montalvo, M.^a Dolores, Martín Martín, Adelaida 554

Teaching construction through 3D models

Santa Cruz Astorqui, Jaime, del Río Merino, Mercedes y Vidales Barriguete, Alejandra 563

The Coordination between first year courses in the Technical Architecture degree: a practice for learning improvement

Martín Domínguez, Beatriz, Villarroya Gaudó, Juan y Adé Beltrán, Rafael 573

Prevención, seguridad y salud laboral en Ingeniería de la Edificación a través de YouTube y Moodle

Martín Vales, Priscila y Teijón López-Zuazu, Evelio 579

The Final Degree Project of the Building Engineer as an interdisciplinary experience

Diego Gómez, Soledad, Segarra Cañamares, María y Valverde Cantero, David..... 584

Virtual Reality applied to Construction subjects in the Bachelor's Degree in Technical Architecture at the ETSIE (UPV)

Gandía-Romero, José Manuel, LLiso-Ferrando, Josep Ramón, Llorca Sanchis, Adrian, Saadi. Jalal, Cos-Gayón López, Fernando y Iborra Lucas, Milagro 594

Sustainable development applied to presentation environments for final degree projects

Miron, Catalin, Carpio, Antonio José, Segarra, María y González, María de las Nieves 600

Collaborative Project-Based Learning for ICT subjects in the field of construction: Home automation in building

Montalbán Pozas, Beatriz..... 609

Teaching MEP systems using BIM technology in construction engineering, and the need to adopt a strict numerical calculation methodology.

Carmona, Cristian, Hormigos, Susana, Muñoz Joan, Masdeu, Francisco y Horrach, Gabriel Antonio.... 619

Proyecto de innovación docente REFOR_CA_Refuerzo de competencias digitales y docentes del profesorado del Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de Granada

Aguilar Aguilera, A; Arezes, P., Bienvenido Huertas, J.D.; De la Hoz Torres, M.L.; Del Cid Mendoza, A.; Durán Álvarez, J.; Gámez Montalvo, L.; Gutiérrez Carrillo, L.; Martínez Rojas, M.; Martín Morales, M.; Martínez Aires, M.D.; Martínez Carrillo, M.; Martins Marques da Costa, N; Nieto Álvarez, R; Pereira Leite de Freitas Loureiro, I.M. 629

EDIFICATE2023

II NATIONAL CONGRESS AND I INTERNATIONAL CONGRESS OF ADVANCED SCHOOLS BUILDING ENGINEERING AND TECHNICAL ARCHITECTURE

GRANADA, November, 9-10, 2023
Advanced Technical School for Building Engineering
University of Granada

Innovation and digital transformation in teaching to valorize the resilience and environmental potential of the built heritage	
Monsù Scolaro, Antonello y Fatiguso, Fabio	636
Innovación educativa a través de la realidad virtual y el empleo de espacios tridimensionales de origen fotogramétrico en instalaciones vinculadas a la edificación	
Segura Valera, J.E., Díaz Guirado, P.A., Martínez Montesinos, F.J. y Aledo Guerao, S.....	646
Experiencia en los Proyectos de Innovación Docente implantados en la Escuela Politécnica de la Universidad Católica de Murcia	
Rosa Roca, N., González Ponce, E., Galiana Agulló, M. y Martínez Montesinos, F.J.	655
Estrategias de coordinación en el Grado en Edificación. Experiencias de innovación docente.	
León Muñoz, Miguel, López Rosa, Sheila, García Soria, M ^a del Valle y Chaza Chimeno, Rosario	662

EDIFICATE 2023

II NATIONAL CONGRESS AND
I INTERNATIONAL CONGRESS OF ADVANCED SCHOOLS BUILDING ENGINEERING
AND TECHNICAL ARCHITECTURE

GRANADA, November, 9-10, 2023
Advanced Technical School for Building Engineering
University of Granada

TOPIC 1.

**Building Engineering in the National and
International framework: Management models
and Curricula**

The professional career of technical architecture is under discussion in Spanish universities that offer this academic degree

Collado López, M. Luisa ^a y Gandía-Romero, José Manuel ^a

^a Universitat Politècnica de València, Dpto. de Construcciones Arquitectónicas. ETSIE

*Corresponding author: mcollado@csa.upv.es

Abstract

Spanish universities are responsible for properly training people who have chosen to develop their professional career in the field of technical architecture. The change in the educational model becomes necessary to adapt university studies to what society, companies and professionals demand; to guarantee highly prepared and qualified graduates for the building sector in the most current subjects such as sustainability, energy efficiency, collaborative work in BIM environments, rehabilitation and industrialization in the construction sector.

In order to respond to these issues, 21 schools of Spanish universities that teach the degree that enables the professional practice of technical architecture, met in Valencia at the ETSIE-UPV to discuss and propose improvements in the university education of our future professionals.

Among the activities carried out in the framework of the 1st Congress of Building and Technical Architecture Schools in Spain (EDIFICATE), a benchmarking session was developed, where critical factors detected in the syllabus, in the exercise of the profession, and in future projection were discussed. This denomination constitutes a working method that focuses on the practices and operations of the institutions that are recognized as the best in the development of their activities. This paper presents the methodology developed and the conclusions of the session.

Keywords: Technical architecture, University, Benchmarking.

1. Introducción

En el marco del I Congreso de Escuelas de Edificación y Arquitectura Técnica de España (EDIFICATE), celebrado en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación de la Universitat Politècnica de València en noviembre de 2021, se realizó una sesión de trabajo conjunto entre los asistentes al mismo mediante la técnica de Benchmarking bajo el título “Dinámica de trabajo sobre el futuro del Grado en Arquitectura Técnica”. Profesorado procedente de 15 universidades españolas que imparten la titulación académica para el ejercicio de la arquitectura técnica se dieron cita en este encuentro con el objetivo de mejorar diversos aspectos relacionados con la formación universitaria y la actividad profesional.

1.1. El Benchmarking

El término benchmark, procedente del inglés, significa *punto de referencia* y el término benchmarking significa *evaluación comparativa*. El método benchmarking consiste en evaluar y analizar procesos, productos, servicios y otros aspectos entre organizaciones o áreas de trabajo con el fin de compararlos y adoptar acciones de mejora para futuras operaciones.

El objetivo consiste en aprender de la experiencia de los demás para mejorar en el desempeño propio.

Utilizando este método, las organizaciones se introducen en un proceso continuo de mejora que permite mantenerse en la vanguardia de la innovación, lo que exige a su vez un proceso de aprendizaje constante y de adaptabilidad

En general, los objetivos que se pretenden alcanzar con el empleo del benchmarking son:

- definir nuevos conceptos de análisis
- ampliar el conocimiento de la propia organización
- identificar las áreas que deben mejorarse
- establecer objetivos realistas y viables
- plantear nuevas estrategias
- mejorar la comunicación
- perfeccionar procesos
- disminuir el número de errores

En resumen, el **benchmarking** es el proceso de crear, recopilar, comparar y analizar indicadores claves que permitan medir el rendimiento de los procesos y las funciones más importantes dentro de una empresa. Dichos indicadores se conocen como “benchmarks” y sirven como un estándar de éxito empresarial.

Según Boxwell (1994), citado por (de Cárdenas, 2006) existen varios tipos de benchmarking y los define en función de su objeto

- Benchmarking competitivo: significa medir sus funciones, procesos, actividades, productos y servicios en comparación con los de sus competidores y mejorar los propios de forma que sean, en el caso ideal los mejores en su clase, pero, por lo menos, superiores a los que de sus competidores.
- Benchmarking cooperativo: el saber fluye normalmente en una dirección, desde las empresas objetivo hasta el equipo benchmarking aun cuando el equipo de Benchmarking ofrece frecuentemente algún beneficio a cambio.
- Benchmarking de colaboración: un grupo de empresas comparten conocimientos sobre una actividad particular, y todas esperan mejorar a partir de lo que van aprendiendo. A veces, una organización independiente sirve como coordinadora, recolectora y distribuidora de datos, aunque un creciente número de empresas dirige sus propios estudios de colaboración.

1.2. El Benchmarking funcional

Otros autores (Espinosa 2017), introducen también benchmarking funcional, también conocido como benchmarking genérico, similar al benchmarking de colaboración. Es aquél que se aplica a empresas u

organizaciones que no representan necesariamente una competencia directa Este el caso que nos ocupa, en el que varias universidades que imparten el título académico que habilita para la profesión regulada de la arquitectura técnica se reúnen para formar un único grupo sobre el que aplicar el método.

El propósito del benchmarking funcional es, por tanto, identificar las mejores prácticas en cualquier centro de los convocados a la sesión.

A diferencia del benchmarking competitivo, el funcional es mucho más sencillo de implementar, ya que las organizaciones a analizar, al no ser competencias directas como es el caso de las universidades públicas, pueden facilitar su metodología sin generar conflicto de intereses.

2. El método

El proceso consta de cinco fases como se indica a continuación (Collado et al. 2009):

Fase de Planificación:

El objetivo de esta fase es planificar las investigaciones de benchmarking. Los pasos esenciales son los mismos que los de cualquier desarrollo de planes - qué, quién y cómo:

- 1.- Identificar qué se va a someter a benchmarking. Qué es lo que se quiere comparar.
- 2.- Identificar las universidades que participan y en qué se van a comparar.
- 3.- Indicar los resultados que se esperan obtener.
- 4.- Determinar el método para recopilación de datos y recopilarlos.

Fase de Análisis:

Esta fase tiene que incluir la comprensión cuidadosa de las prácticas actuales del proceso, así como las de los participantes en el benchmarking:

- 4.- Determinar la brecha de desempeño actual. Identificar las fortalezas y debilidades de las universidades.
- 5.- Proyectar los niveles de desempeño futuros. Identificar las oportunidades de mejora.

Fase de Integración:

La integración es el proceso de usar los hallazgos de benchmarking para fijar objetivos operacionales para el cambio. Influye la planeación cuidadosa para incorporar nuevas prácticas a la operación y asegurar que los hallazgos se incorporen a todos los procesos formales de planeación.

- 6.- Comunicar los hallazgos de benchmarking y obtener aceptación.
- 7.- Establecer metas funcionales.
- 8.- Implementar las mejoras identificadas en el proceso de benchmarking. Es importante tener en cuenta que las mejoras deben ser adaptadas a la situación y necesidades específicas de la propia organización.

Fase de Acción:

Se tiene que convertir en acción los hallazgos de benchmarking y los principios operacionales basados en ellos. Es necesario convertirlos en acciones específicas de puesta en práctica y se tiene que crear una medición periódica y la evaluación del logro.

- 9.- Desarrollar planes de acción.
- 10.- Implementar acciones específicas y supervisar el progreso.

Fase de Madurez:

Será alcanzada la madurez cuando se incorporen las mejores prácticas de las organizaciones de nuestro ámbito a todos los procesos, asegurando así la superioridad. También se logra la madurez cuando se convierte en una faceta continua, esencial y auto iniciada del proceso de administración.

2.1. Contextualización de la actividad

El proceso se contextualizó dentro de los siguientes elementos:

Identificación de la problemática o aspectos relevantes que queramos resolver o analizar.

Reconocimiento de la profesión.

Denominación de la titulación.

Motivación del alumnado y del profesorado.

Planificación de objetivos.

Aportar acciones de mejora.

2.2. Metodología de la actividad

El desarrollo de la actividad se llevó a cabo de la siguiente forma:

Comenzando por la fase de Planificación, se distribuyeron los asistentes de forma aleatoria en 6 grupos de 5-6 participantes coordinados por una persona especialista en este tipo de trabajo en equipo. Esta persona expuso el tema a debatir, se estableció un tiempo de reflexión individual y posteriormente se recogió de cada uno de los participantes del grupo el enunciado de un factor crítico que se documenta en un listado de factores expuesto a todo el grupo y posteriormente se someten a votación. A cada uno de estos grupos se asignó una persona facilitadora encargada de coordinar las intervenciones, controlar los tiempos y plasmar las propuestas y conclusiones del grupo tras cada una de las fases de la sesión de trabajo.

En este caso el tema propuesto fue proponer acciones de éxito para el futuro de la profesión de la Arquitectura Técnica desde el ámbito de la formación académica.

Debido al tiempo disponible la sesión se desarrolló en dos etapas:

En la primera etapa, dentro de la fase de análisis se trató de identificar la problemática o aspectos relevantes que queramos resolver o analizar, contestando a la pregunta QUÉ. En la segunda etapa, abarcando las fases de integración y acción se trató de aportar soluciones o medidas correctoras para cumplir con el objetivo, respondiendo a la cuestión CÓMO.

Comenzó la primera etapa, con una rigurosa gestión del tiempo se realizó una presentación de los participantes, se eligió el portavoz y se hizo un trabajo individual de análisis durante 5 minutos para que, de forma totalmente personal, cada participante pensara y seleccionara qué problemas entendía que existen respecto a la definición de Arquitecto Técnico. Tras este tiempo de reflexión personal, se abrió un período de 10 minutos en el que, siguiendo un orden alterno, cada miembro del grupo expuso sus ideas. Hay que indicar que en esta primera fase no se entra en debate, simplemente se ponen sobre la mesa los problemas y la persona facilitadora del grupo las anota. Una vez identificados los "qués" más importantes para cada una de las ideas seleccionadas, se abrió la fase de priorización de los factores identificados dentro de cada grupo. Para ello, cada miembro del grupo dispuso de 4 votos que repartió entre aquellos factores que consideraba los más importantes de los expuestos.

A continuación, en la fase de integración, durante los siguientes 20 minutos el portavoz de cada grupo realizó una exposición plenaria de los cuatro factores más votados. Acto seguido, se abrió un período de 5 minutos para hacer una votación general seleccionando los que se consideraron más relevantes de entre los seleccionados en la fase de priorización grupal. Para ello, cada participante dispuso de 3 votos.

Partiendo de los factores más votados, se agruparon para unificarlos en una idea que diera paso a la segunda etapa que abarca la fase de acción en la que se repartió una idea por grupo para aportar soluciones o acciones de mejora (Tabla 7). En esta fase se aumentó el número de componentes por grupo y disminuyó el número de grupos para realizar tres rondas donde se iba rotando durante una hora para proponer las acciones de mejora a cada una de las ideas planteadas, quedando fija la persona facilitadora que iba tomando nota de las aportaciones.

La sesión concluyó esta fase con unas acciones de mejora que las universidades deberán poner en marcha para conseguir lanzar al mercado laboral a unos profesionales altamente cualificados, a la altura de las demandas de la sociedad y perfectamente formados en las materias más actuales, dejando así la fase de madurez en manos de cada institución.

De esta forma se pretende mantener el prestigio de una profesión tan valiosa e importante en el sector de la edificación.

3. Resultados

Al finalizar la recogida de datos de la primera etapa: Factores críticos identificados en la definición y conocimiento de la arquitectura técnica, se obtuvo el siguiente número de votos en cada grupo de trabajo:

Tabla 1. Factores identificados. Grupo A

Grupo A		
ID	FACTOR	VOTOS
A	Necesidad de doctores en la universidad	4
B	Falta de identidad frente a la sociedad	4
C	Formación adaptada a la sociedad	4
D	Necesidad de implementar tecnologías	3
E	Necesidad de fomentar el trabajo interdisciplinar	2
F	Exceso de burocracia	1
G	Falta de progresión en el conocimiento	1
H	Competencia con otros Perfiles profesionales	0
I	Dificultad para diferenciar el trabajo reconocido por la ley y las competencias	0
J	Falta de aprendizaje práctico	0

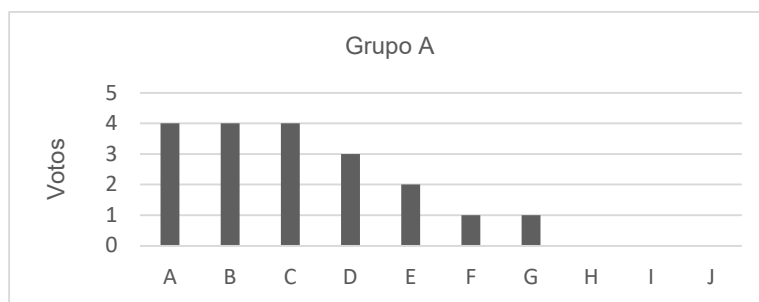


Figura 1. Distribución de votos de los factores identificados. Grupo A

Tabla 2. Factores identificados. Grupo B

Grupo B		
ID	FACTOR	VOTOS
A	Falta de estudiantes	6
B	Falta de definición	5
C	Competencia desleal	5
D	Actualización de conocimientos	3
E	Falta de especialización	3
F	Falta relevo generacional en la universidad	2
G	Integración de nuevas áreas de conocimiento	0

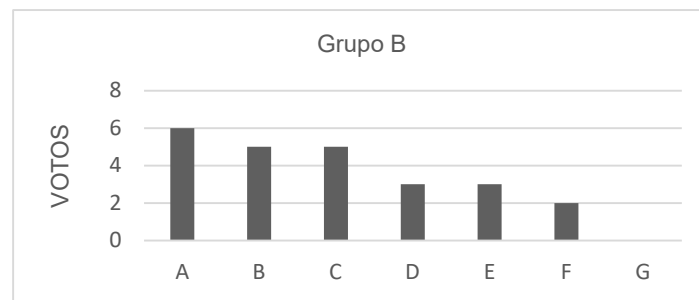


Figura 2. Distribución de votos de los factores identificados. Grupo B

Tabla 3. Factores identificados. Grupo C

Grupo C		
ID	FACTOR	VOTOS
A	Internacionalización no resuelta	8
B	Desconocimiento de las funciones en la sociedad	4
C	Puesta en valor del trabajo	4
D	Homogeneización de los planes de estudio	3
E	Conexión colegiados vs no colegiados	3
F	Denominación de la titulación académica	1
G	Escasa formación en ODS	1
H	Complejo de inferioridad respecto a otros técnicos	0
I	Profesionalización de los docentes	0
J	Falta formación en BIM	0

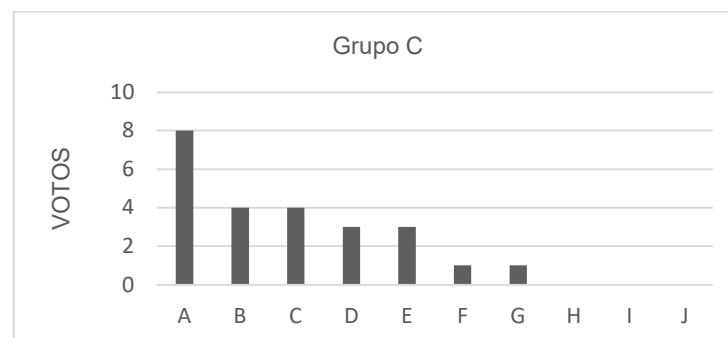


Figura 3. Distribución de votos de los factores identificados. Grupo C

Tabla 4. Factores identificados. Grupo D

Grupo D		
ID	FACTOR	VOTOS
A	Desconocimiento de la sociedad de la utilidad que tenemos (falta de visibilidad)	13
B	Confusión de la sociedad con la denominación	4
C	Necesidad de adaptación a las nuevas tecnologías: Interacción universidad/empresa	4
D	Visión generalista y especialista a la vez	3
E	Reconocimiento en la LOE de las atribuciones (limitan algunas en las que el alcance debería ser mayor, más próximas a lo que se entiende en Europa como un Ingeniero de Edificación)	2
F	Falta de Identidad propia	1
G	Falta de motivación del potencial alumnado	1
H	Necesidad de adaptación de los planes de estudio al contexto actual y futuro	1
I	Competencia con otros técnicos (atribuciones)	

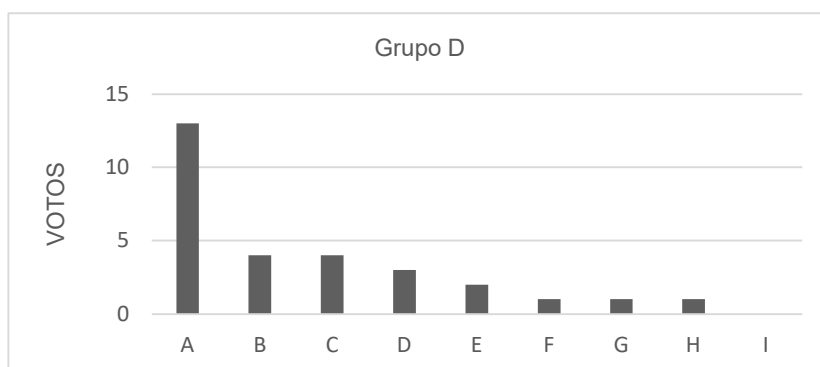


Figura 4. Distribución de votos de los factores identificados. Grupo D

Tabla 5. Factores identificados. Grupo E

Grupo E		
ID	FACTOR	VOTOS
A	Acercamiento del mundo real a la escuela	10
B	Resistencia a afrontar nuevos escenarios que implican un reciclaje de competencia	4
C	Metodología de enseñanza-aprendizaje basada en proyectos	4
D	Sistema de acceso al cuerpo de profesores funcionarios	3
E	Conocimiento y reconocimiento del técnico por parte de la sociedad (escala humana)	2
F	Marco identitario del arquitecto técnico en la administración pública	1
G	Dificultad de adaptarse a los cambios	0
H	Falta de arquitectos técnicos en la carrera académica	0
I	Diseño de los planes de estudio en relación con la empresa y la sociedad	0
J	Base técnica/académica de entrada del alumnado	0
K	Envejecimiento del profesorado universitario	0
L	Poca especialización temática	0
M	Rigidez del sistema universitario público	0

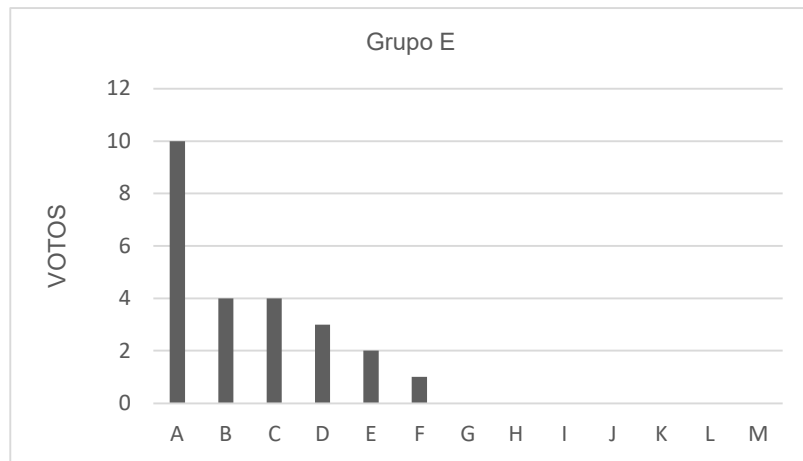


Figura 5. Distribución de votos de los factores identificados. Grupo E

Tabla 6. Factores identificados. Grupo F

Grupo F		
ID	FACTOR	VOTOS
A	Falta de reconocimiento social	6
B	Necesidad de ser un referente social	6
C	Denominación de la titulación común (unificar) IDENTIDAD	4
D	Problema futuro: cambio de paradigma del sector	3
E	Falta de catedráticos de la profesión en la docencia	1
F	Falta de incorporación de los arquitectos técnicos en todo el proceso de la edificación	0
G	Falta de utilidad del técnico más allá de las reservas de competencia	0
H	Riesgo de confusión del profesional	0
I	Desconocimiento de los clientes de las necesidades que pueden resolver nuestros técnicos	0
J	Los arquitectos técnicos carecen de voz en las decisiones docente y científicas en las universidades	0
K	Falta de especialización	0

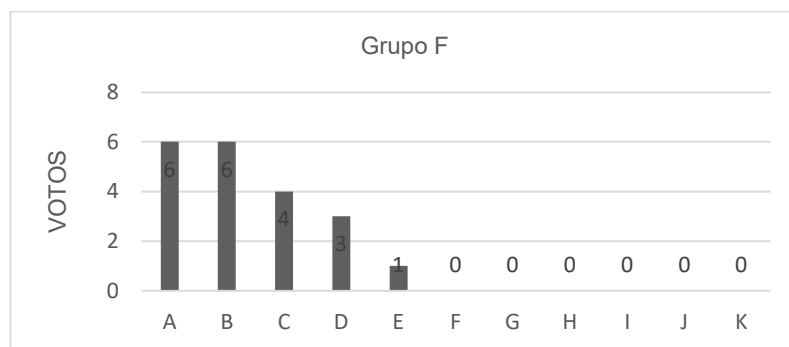


Figura 6. Distribución de votos de los factores identificados. Grupo F

Tras la ronda de todos los grupos se expusieron los factores críticos más votados, se unificaron los conceptos y se agruparon en los siguientes temas con el número de votos obtenido para iniciar la recogida de datos de la segunda etapa:

Tabla 7. Número de votos de cada agrupación de ideas

1. Reconocimiento de la profesión Crear un referente social claro, en combinación con la empresa	60
2. Denominación de la titulación Unificación de la denominación, identidad e internacionalización	40
3. Metodología de enseñanza-aprendizaje Adaptación de la metodología enseñanza aprendizaje basada en proyectos	5
4. Cambios de paradigma en el sector Adaptación del conocimiento a la utilización de la tecnología disponible en cada momento	22
5. Necesidad de doctores arquitectos técnicos en las escuelas Impulsar los programas de doctorado entre los profesionales	12

Se repartieron estos temas uno a cada grupo, y tras la ronda de todos los grupos se recogieron las siguientes aportaciones que forman parte de la fase de acción:

Tabla 8. Aportaciones en Idea 1

Reconocimiento de la profesión	
1	Celebrar la Olimpiada Ingeniería de Edificación
2	Fomentar actividades formativas en colegios
3	Desarrollar actividades colaborativas con otras profesiones
4	Hacer difusión en redes sociales
5	Transmitir referentes históricos y sociales
6	Definir capacidades: atribuciones vs competencias
7	Establecer programas de colaboración en ONGs
8	Proponer Trabajos Fin de Grado de con implicación humanitaria
9	Formación de los orientadores de enseñanza secundaria
10	Mentoría de los egresados
11	Difusión del trabajo profesional
12	Concursos y premios propios
13	Series de televisión con protagonista arquitecto técnico

Tabla 9. Aportaciones en Idea 2

Denominación de la titulación	
1	Acordar una denominación común para la titulación académica en el marco de la CODATIE
2	Buscar el apoyo del CGATE en la denominación de la titulación
3	Analizar la situación laboral de los egresados
4	Adecuar la Ley de Ordenación de la Edificación y el Código Técnico de la Edificación a la nueva denominación
5	Análisis internacional y armonización profesional
6	Acometer acciones de movilización

Tabla 10. Aportaciones en Idea 3

Metodología de enseñanza-aprendizaje	
1	Abordar proyecto integral de Escuela
2	Integrar vertical y horizontalmente las materias formativas
3	Generosidad en la distribución de créditos docentes
4	Implementar Proyectos de Innovación Docente
5	Proponer anualmente proyectos de construcción en distintas fases de desarrollo para emplearlos en la docencia de las asignaturas
6	Coparticipación de profesorado de distintas disciplinas
7	Basar la docencia en proyectos reales de la actividad profesional

Tabla 11. Aportaciones en Idea 4

Cambios de paradigma en el sector	
1	Implementar el uso de tecnologías en los planes de estudios
2	Adecuar la formación del profesorado al uso de las tecnologías
3	Crear mecanismos de adaptación
	Mantener una visión generalista de 3 cursos y uno de especialización
4	Resolver la internacionalización de la profesión
5	Desarrollar en paralelo cursos de especialización
6	Generar Másteres interuniversitarios a nivel nacional e internacional
7	Coordinación de todas las escuelas

Tabla 12. Aportaciones en Idea 5

Necesidad de doctores arquitectos técnicos en las escuelas	
1	Establecer programas de doctorado en consonancia con la profesión
2	Impulsar la realización de programas de doctorado entre los profesionales
3	Definir una hoja de ruta para garantizar el relevo generacional en las escuelas
4	Promover un máster común en edificación

En esta segunda etapa, el procedimiento indica que se debe realizar de nuevo una votación para resumir las líneas de actuación que se implementan definitivamente como acciones de mejora que permitan un seguimiento y evaluación posterior y completar así la fase de madurez de las instituciones participantes. La disponibilidad de tiempo impidió la realización de este último paso, por lo que para finalizar se realizó una exposición en asamblea para comentar las propuestas realizadas sobre cada tema., con el fin de que cada centro elabore su propia reflexión.

4. Conclusiones

De la exposición de los resultados se extrajeron las siguientes conclusiones:

- Necesidad de reflexión profunda sobre la situación actual en las universidades que imparten la titulación que habilita para la profesión regulada de la Arquitectura Técnica.
- Adoptar como referencia las propuestas surgidas en esta actividad para poner en marcha acciones de mejora, tanto de forma conjunta como particular en cada centro.
- Establecer medidas para garantizar que el relevo docente queda, en la medida de lo posible, en manos de profesionales de la Arquitectura Técnica.
- Realizar un seguimiento de los egresados que inician su andadura laboral para verificar que cuentan con las competencias que exige el tejido empresarial y como consecuencia de ello, revisar los contenidos de las materias y las competencias adquiridas durante la formación universitaria para estar acordes con esta exigencia.

Referencias

Boxwell RJ. Benchmarking para competir con ventaja. Madrid: McGraw Hill, 1994. p.26-29.

de Cárdenas Cristia A. El Benchmarking como herramienta de evaluación. *Acimed* 2005;14(4). http://bvs.sld.cu/revistas/aci/vol14_4_06/aci15406.htm. last accessed 2023/06/03.

Collado, ML; Martínez, JJ; Ayats, C. 2009. El PFC de Arquitectura Técnica se somete a una sesión de Benchmarking. "V CONVENCIÓN TÉCNICA Y TECNOLÓGICA DE LA ARQUITECTURA TECNICA". pp. 1-9. C.O.A.A.T. DE ALBACETE.

Roberto Espinosa. <https://robertoespinosa.es/2017/05/13/benchmarking-que-es-tipos-ejemplos/>, last accessed 2023/04/11.

Integration of Sustainable Development Goals into the Technical Architecture degree

**Ruá Aguilar, María José^a, Martínez Moya, Joaquín Ángel^b, Reig Cerdà, Lucía^c y Pitarch
Roig, Ángel Miguel^d,**

^a Universitat Jaume I, Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Av. Vicent Sos Baynat, s/n 12071 Castellón de la Plana. rua@uji.es, ^b Universitat Jaume I, Departamento de Sistemas Industriales y Diseño. Av. Vicent Sos Baynat, s/n 12071 Castellón de la Plana. jomoya@uji.es, ^c Universitat Jaume I, Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción Av. Vicent Sos Baynat, s/n 12071 Castellón de la Plana. Ireig@uji.es, ^d Universitat Jaume I, Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Av. Vicent Sos Baynat, s/n 12071 Castellón de la Plana. pitarcha@uji.es,

Abstract

Royal Decree (RD) 822/2021, of 28 September, organises university education and the procedure for guarantee quality. It aims to ensure that professionals from universities are able to lead transformations to collectively build a better society. Article 4, which guides the principles to design the curricula for official university degrees, indicates that curricula must have democratic principles and values as a benchmark, together with Sustainable Development Goals (SDG). These values should be incorporated as transversal contents or competencies.

Some teachers of the Technical Architecture Degree (TAD) of the Universitat Jaume I (UJI) are performing a two-year education innovation project, whose main objective is to integrate SDG (UN Agenda 2030) into the TAD curriculum. The project makes the most of the project-based learning methodology implemented in TAD at the UJI and the participation of all subjects to develop a common project (CP). The advantages of this methodology (teamwork, comprehensive view, etc.), including sustainability, also involve another step by promoting the acquisition of professional performance competencies and the formation of open-minded people who contribute to Society with their transformative attitude.

This project will be the first step to consider RD principles for their effective application in TAD. For this purpose, some activities focus on teaching staff to raise their awareness about this topic, and to promote their reflexion on how to include SDG in their subjects by modifying teaching guides and methodologies according to the specificities of subjects. Other activities focus on students to train them in SDG and to encourage their reflection to implement these principles in the CP. This paper presents the results from the first year.

Keywords: Sustainable Development Goals, Sustainability integration, Values, Curriculum, Technical Architecture Degree

1. Introducción

El Real Decreto (RD) 822/2021, de 28 de septiembre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias y el procedimiento para su garantía de calidad, tiene como objetivo garantizar que los profesionales de las universidades sean capaces de liderar transformaciones para construir colectivamente una sociedad mejor.

Entre otras cosas, el diseño de los Planes de Estudios de los títulos universitarios oficiales debe ser hecho teniendo en cuenta este objetivo común de contribución positiva a la Sociedad. En concreto, el artículo 4 del RD, habla sobre los principios de referencia, basados en valores democráticos y en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), indicando que estos valores deberán incorporarse como contenidos o competencias transversales. Se promueven así competencias relacionadas con valores que podrán contribuir positivamente al desempeño profesional de los futuros egresados, formando personas sensibilizadas con estas cuestiones y, por lo tanto, con una actitud transformadora y abierta.

En este sentido, este trabajo presenta las actividades llevadas a cabo por el profesorado del Grado en Arquitectura Técnica (GAT) de la Universitat Jaume I (UJI), enmarcadas en un Proyecto de Innovación Educativa (PIE), de dos años de duración, cuyo objetivo principal es la integración de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, (Agenda 2030 de la ONU), en el Grado. Esta comunicación recoge la primera parte del proyecto, que se desarrollará en dos fases, durante los cursos académicos 2022-23 y 2023-24. En esta primera fase se ha aprovechado la circunstancia de que las asignaturas convergen en un proyecto común, utilizando la metodología de aprendizaje basado en proyectos, denominado "Proyecto Dirigido" (Gallego et al., 2011; Gallego et al., 2012; Reig et al., 2017). Además de los beneficios que se derivan de esta metodología, como son la visión integral de contenidos, el trabajo en equipo, la adquisición de capacidad de síntesis y de presentación de resultados, etc. (Payá, 2007), la inclusión de la Sostenibilidad implica mejorar y completar el resultado, al incluir formación y sensibilización hacia cuestiones relacionadas con el Desarrollo Sostenible. En esta fase primera del PIE se realizan unas actividades formativas dirigidas tanto al profesorado como al alumnado y se incorporan actividades de reflexión, que sirvan para materializar estas cuestiones en las guías docentes, por parte del profesorado, y en los trabajos del aula, por parte del alumnado. Este documento presenta resultados del primer año del PIE, que se utilizarán para integrar los principios contenidos en el RD 822/2021, de manera efectiva en el Grado.

1.1. Antecedentes. El Proyecto Dirigido en el Grado en Arquitectura Técnica de la UJI

El GAT de la UJI ha apostado firmemente por utilizar la Metodología de Aprendizaje por Proyectos (*Based Project Learning*, PBL), implantada por primera vez durante el curso académico 2009-2010, según Real Decreto 1393/2007, para cumplir con los requisitos del proceso de Bolonia. La metodología PBL, considerada una metodología de aprendizaje esencial para los estudiantes, se ha aplicado desde entonces en la docencia del GAT, estando integrada dentro de la metodología docente del mismo mediante el denominado Proyecto Dirigido. Cada curso académico (primero, segundo y tercer curso), se plantean diferentes casos de estudio, con propuestas temáticas diversas y acordes con las asignaturas y las competencias de aprendizaje establecidas.

Desde su puesta en marcha, el PBL ha permitido a los alumnos y alumnas de las distintas promociones poder trabajar de forma coordinada y cooperativa en casos reales, implementando los aprendizajes de manera transversal, desde diferentes perspectivas (asignaturas), como si de un trabajo profesional se tratase.

Gracias a la aplicación de esta metodología, desde el primer día, el alumno se ve inmerso en el desarrollo de un proyecto que involucra a todas las asignaturas de su curso. El trabajo se basa en el análisis de un edificio desde el punto de vista de cada materia impartida en el respectivo curso y debe realizarse de manera coordinada y cooperativa con otros alumnos y alumnas, organizados en grupos de trabajo de entre tres y cinco estudiantes (Martínez-Moya et al., 2020).

2. Objetivos

Este trabajo presenta algunas acciones llevadas a cabo en el GAT de la UJI, con el objetivo general de implementar los ODS en el Plan de Estudios del Grado, en cumplimiento del RD 822/2021.

Las acciones aquí descritas forman parte de un Proyecto PIE, cuya primera fase se desarrolló durante el curso 2022-23. El GAT en la UJI modificó recientemente su Plan de Estudios (2020), implantando dicha modificación de forma progresiva: primer curso en 2020-21, segundo curso en 2021-22, tercer curso en 2022-23 y cuarto curso previsto en 2023-24. Tal como muestra la Figura 1, el PIE se organizó de forma que la primera fase, desarrollada durante el curso 2022-23, incluye los tres primeros cursos del nuevo Plan (ya implantados); mientras que se prevé la culminación del mismo durante el curso 2023/24, con la implantación total del Plan de Estudios 2020. En esta ocasión se analizarán las asignaturas implicadas y la consideración en el Trabajo Final de Grado. En adelante, el trabajo se centrará en las tareas realizadas en la primera fase del PIE, de las que ya se dispone de resultados.



Figura 1. Esquema de implementación de los ODS en el Grado en Arquitectura Técnica de la UJI
Fuente: Elaboración propia (2023)

3. Metodología

La metodología llevada a cabo en este trabajo tiene dos partes esenciales: por un lado, formación y sensibilización; por otro, reflexión y aplicación práctica. Ambas están dirigidas a todas las personas implicadas en el GAT, tanto profesorado como alumnado. La Tabla 1 muestra esquemáticamente las actividades llevadas a cabo, teniendo en cuenta una matriz de doble entrada, donde se incluyen las vertientes y las personas a las que van dirigidas.

Tabla 1. Actividades realizadas en la fase 1 del PIE

Parte	Formación-Sensibilización	Reflexión-Aplicación
Dirigido a		
Profesorado (P)	(P1). Encuesta inicial (P2). Curso ODS en docencia	(P3). Incorporación ODS en guías docentes
Alumnado (A)	(A1). Jornada generalidades ODS (A2). Jornada práctica para introducir los ODS en PD	(A3). Incorporación de los ODS en fichas confeccionadas para PD

Tal y como muestra la Tabla 1, el PIE incorpora a todas las partes implicadas en el Grado. Por una parte, el personal docente, tiene la oportunidad de formarse en cuestiones básicas referentes a los ODS y, a partir de ese conocimiento, analizar cómo incorporar los ODS de acuerdo a las características de las asignaturas que imparte. Para ello, se realiza una encuesta inicial al profesorado (P1), para testar su nivel de conocimiento en

ODS y animar al análisis de las relaciones que se pueden establecer con sus asignaturas. Posteriormente, se organiza un curso especialmente dirigido a la incorporación de los ODS en la docencia (P2), haciendo hincapié en los temas centrales que se desarrollan en el Grado, relacionados con la arquitectura y la edificación, pero también reflexionando sobre las relaciones que se establecen con otros ODS que, de entrada, no parecerían estar directamente relacionados. A partir de este curso, en el que participaron 14 docentes, se reflexionó, debatió y se compartieron las conclusiones derivadas de analizar los contenidos impartidos, presentando como resultado su propuesta de inclusión de ODS y su materialización en las guías docentes (P3). Así, tal como detalla la Tabla 2, los ODS fueron integrados en 15 asignaturas, correspondientes a un 25% de los créditos del GAT. La reducida participación del profesorado y de las asignaturas se atribuye tanto a que no se han incluido las asignaturas de 4º curso (plan antiguo), como al hecho de que algunas de las asignaturas, principalmente básicas del primer curso, se comparten con otros Grados.

Tabla 2. Asignaturas participantes en la fase 1 del PIE

Código (curso)	Asignatura
ED2005 (1)	Materiales de Construcción I: Fundamentos
ED2055 (1)	Expresión Gráfica Arquitectónica I
ED2015 (2)	Materiales de Construcción II: Conglomerantes y Conglomerados
ED2018 (2)	Estructuras III: Hormigón Armado y Cimentaciones
ED2019 (2)	Materiales de Construcción III: Metales, Maderas y Mixtos
ED2061 (2)	Expresión Gráfica Arquitectónica II
ED2062 (2)	Topografía, Replanteos y Sistemas de Información Geográfica
ED2021 (3)	Construcción IV: Cubiertas y Muros
ED2022 (3)	Construcción V: Fachadas y Particiones
ED2025 (2)	Instalaciones Electrotécnicas
ED2063 (3)	Expresión Gráfica Arquitectónica III
ED2064 (3)	Gestión Integrada del Proceso y de calidad
ED2065 (3)	Gestión Integral de Recursos y Prevención de Riesgos
ED2066 (3)	Gestión Económica en obras de edificación
ED2067 (3)	Rehabilitación energética, sostenibilidad y climatización

Por otra parte, se organizaron dos charlas para formar al alumnado en los ODS. En la primera de ellas, más teórica, se presentaron los ODS y posibles relaciones con la profesión (A1). El objetivo de la segunda fue aplicar de forma práctica los ODS al trabajo desarrollado en PD, asistiéndoles con el fin de cerciorarse de que habían entendido la tarea encomendada (A2). A partir de esta formación, el alumnado reflexionó, y materializó sus conclusiones, presentando su visión sobre la consideración de los ODS en el trabajo desarrollado en PD. Para ello, se les proporcionaron unas fichas que debían entregar junto con el PD (A3), donde se presentaban los ODS y las metas del ODS 11 (ciudades y comunidades sostenibles), más directamente relacionado con el GAT.

4. Resultados

En este apartado se presentan las actividades descritas en el apartado anterior. Se diferencian las acciones dirigidas al profesorado y al alumnado y se presentan algunas imágenes que ilustran los principales resultados obtenidos.

4.1. Acciones dirigidas al profesorado

4.1.1. Encuesta inicial

Por medio de google forms se envió a todo el profesorado del GAT una encuesta para que indicase su disponibilidad para participar en el PIE. Tal y como ilustra la Figura 2, en ella se realizó una primera autorreflexión acerca de los ODS incorporados en las asignaturas.

Propuesta PIE: Implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en el Grado en Arquitectura Técnica

Desde la Dirección de la titulación del Grado en Arquitectura Técnica se está preparando una propuesta de PIE con una duración prevista de 2 años para la Implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en el Grado.

El profesorado interesado en participar deberá de rellenar este formulario antes del próximo día 4 de enero.

Nombre y apellidos del profesor/a responsable de las asignaturas: *

Texto de respuesta corta

Código y nombre de las asignaturas (Plan 2020) que pretendo incorporar al PIE: *

Texto de respuesta larga

¿Estoy dispuesto/a a asistir a jornadas de formación sobre los ODS? *

Sí

No

¿Estoy dispuesto/a a analizar los contenidos y metodologías de la asignatura con el fin de determinar el nivel actual de implementación de los ODS y establecer posibilidades de mejora? *

Sí

No

ODS que pretendo implementar *

Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna.

Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la in...

Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.

Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.

Objetivo 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.

Objetivo 5: Lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y las niñas.

Objetivo 10: Reducción de las desigualdades.

Objetivo 13: Acción por el clima.

Otros posibles ODS, no incluidos entre los anteriores, que pudieran estar relacionados con los ya propue...

¿Dónde creo que puedo implementar los ODS dentro de las asignatura? *

Clases Teóricas

Prácticas

Laboratorios

Proyecto Dirigido

¿Cómo pienso implementar los ODS dentro de la docencia del Grado? *

Texto de respuesta larga

Figura 2. Encuesta inicial para profesorado del GAT en UJI

Fuente: Elaboración propia del aula Virtual ALT2363-UJI (2023)

4.1.2. Curso de Inclusión de los ODS en la docencia

Se organizó el curso "Innovación Docente: ODS en el Grado en Arquitectura Técnica", que se desarrolló en 3 sesiones, los días 14, 16 y 19 de marzo de 2022, con una duración total de 7 horas. En él participaron 14 profesores, responsables de 13 asignaturas distintas. Se llevó a cabo por medio de un aula virtual creada a tal efecto (ALT2366. Innovación docente: ODS en GAT (2021/2022), <https://aulavirtual.uji.es/course/view.php?id=73448>). En dicha aula virtual, se proporcionó toda la documentación del curso; las sesiones grabadas para permitir su seguimiento al profesorado que no pudo acudir presencialmente; y se recogieron las tareas entregadas por los asistentes, a propuesta de la profesora que impartió el curso. La Figura 3 muestra, como ejemplo, una de las tareas de reflexión realizada durante el curso; en este caso se trataba de relacionar cómo se encontraban los ODS inmersos en los contenidos de la asignatura 'ED 2066 Gestión económica en obras de edificación'.



Figura 3. Reflexión sobre la incorporación de los ODS en el contenido de la asignatura ED2066
Fuente: Elaboración propia (2022)

4.1.3. Incorporación de los ODS en las guías docentes

Se ha seleccionado como ejemplo la guía docente de la asignatura ‘ED2066. Gestión económica de las obras de edificación’, ya presentada en el apartado 4.1.2. En esta guía, los ODS se introdujeron en dos de los trece apartados que la constituyen (resaltados en negrita): 1. Información general de la asignatura; **2. Justificación**; 3. Conocimientos previos recomendables; **4. Competencias y resultados de aprendizaje**; 5. Contenidos; 6. Temario; 7. Bibliografía; 8. Metodología didáctica; 9. Planificación de actividades; 10. Sistema de evaluación; 11. Otra información; 12. Programas específicos; 13. Privacidad y tratamiento de datos personales. Tal como muestra la Figura 4, en apartado 2 de esta Guía Docente, *Justificación*, se han añadido los ODS como objetivos transversales:

Entender el proyecto constructivo desde la perspectiva de la sostenibilidad, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de Naciones Unidas:

1. *Vertiente ambiental:*
 - a. *Conocer cómo influye la selección de materiales de bajo impacto (naturales, locales, con certificación ambiental), las soluciones constructivas más eficientes y el uso de los recursos de forma respetuosa.*
 - b. *Ser consciente también de las posibilidades en el tratamiento de los residuos que se generan durante la construcción y cómo se pueden minimizar mediante el reciclaje, la reutilización y la valorización.*
 - c. *Ser consciente de las posibilidades de rehabilitación frente a nuevas construcciones en cuanto al impacto ambiental.*
2. *Perspectiva social:*
 - a. *Considerar cómo la obra de construcción puede tener influencia en la consecución de un entorno construido más inclusivo, considerando especialmente a las personas en situación de vulnerabilidad.*
 - b. *Obtener edificios poniendo el foco en la calidad del edificio en cuanto a confort térmico, acústico, paisajístico, etc.*
 - c. *Considerar la calidad del trabajo de todos los agentes implicados en la construcción de un edificio con la observación de medidas de seguridad adecuadas y con la percepción de un salario justo.*
3. *Perspectiva económica:*
 - a. *Velar por la economía y viabilidad del proyecto constructivo.*
 - b. *Promover la activación de la economía local y el uso de materiales de proximidad.*

Figura 4. Objetivos transversales en la asignatura ED 2066

En el apartado 4. *Competencias y resultados de aprendizaje*, se ha hecho constar en la guía docente el texto que muestra la Figura 5. Tal como se observa, hace referencia a aspectos fundamentales como el pensamiento sistémico, sostenibilidad, colaboración, resolución de problemas o pensamiento crítico.

- *Pensamiento sistémico*: las habilidades para reconocer y comprender las relaciones; para analizar los sistemas complejos; para pensar cómo están integrados los sistemas dentro de los distintos dominios y escalas; y para lidiar con la incertidumbre.
- *Anticipación*: las habilidades para comprender y evaluar múltiples escenarios futuros – lo posible, lo probable y lo deseable; para crear visiones propias de futuro; para aplicar el principio de precaución; para evaluar las consecuencias de las acciones; y para lidiar con los riesgos y los cambios.
- *Normativa*: las habilidades para comprender y reflexionar sobre las normas y valores subyacentes en nuestras acciones; y para negociar los valores, principios, objetivos y metas de sostenibilidad en un contexto de conflictos de intereses y concesiones mutuas, conocimiento incierto y contradicciones.
- *Estrategia*: las habilidades para desarrollar e implementar de forma colectiva acciones innovadoras que fomenten la sostenibilidad a nivel local y más allá.
- *Colaboración*: las habilidades para aprender de los demás; para comprender y respetar las necesidades, perspectivas y acciones de los demás (empatía); para comprender, identificarse y ser sensibles con otros (liderazgo empático); para abordar conflictos en grupo; y para facilitar la resolución de problemas de colaboración y participativa.
- *Pensamiento crítico*: la habilidad para cuestionar normas, prácticas y opiniones; para reflexionar sobre los valores, percepciones y acciones propias; y para adoptar una postura en el discurso de la sostenibilidad.
- *Autoconciencia*: la habilidad para reflexionar sobre el rol que cada uno tiene en la comunidad local y en la sociedad (mundial); de evaluar de forma constante e impulsar las acciones que uno mismo realiza; y de lidiar con los sentimientos y deseos personales.
- *Resolución integrada de problemas*: la habilidad general para aplicar distintos marcos de resolución de problemas a problemas de sostenibilidad complejos e idear opciones de solución equitativa que fomenten el desarrollo sostenible, integrando las competencias antes citadas.

Figura 5. Competencias transversales en la asignatura ED 2066

4.2. Acciones dirigidas al alumnado

4.2.1. Jornadas sobre los ODS

La primera charla para el alumnado del GAT, de generalidades sobre los ODS, se integró en el horario destinado a PD (para 2º y 3º curso tuvo lugar el 28/09/2022, y para 1º el 05/10/22). En ella se hizo especial mención especial al ODS 11, de Ciudades y Comunidades Sostenibles, sus metas específicas, y se establecieron relaciones con otros ODS. Tras la charla, se entregaron y explicaron los modelos de ficha a utilizar en PD. El material se facilitó al alumnado a través del aula virtual específica de PD. Con el fin de proporcionar *feedback* al alumnado y asesoramiento para mejorar la integración de los ODS en PD de cara al segundo semestre, se organizó un segundo taller, práctico, para analizar cómo se implementaron los ODS en PD durante el primer semestre. Dicho taller tuvo lugar el 01/02/2023, en horario de PD, por la mañana para el alumnado de 1º y por la tarde para los de 2º y 3º. La Figura 6 muestra el desarrollo del taller.



Figura 6. Imágenes del taller (PD1 izquierda; PD2-3 derecha)

4.2.2. Resultados de fichas de ODS en los PD

Cada grupo de estudiantes completó la ficha propuesta por el profesorado, analizando el cumplimiento de los distintos ODS en el edificio, caso de estudio asignado, y reflexionando sobre qué medidas se podrían implementar en el mismo para mejorar el cumplimiento de los mismos. La Figura 7 muestra un ejemplo del análisis realizado por el grupo de trabajo 23, formado por alumnado de 2º curso. De igual modo, los grupos de trabajo analizaron, de forma más concreta, el cumplimiento de las metas del Objetivo 11, el más directamente relacionado con el ámbito de la edificación, y completaron la Tabla correspondiente. La Figura 8, elaborada por el grupo 24, formado por alumnas de 2º curso, muestra un ejemplo de ello.

1 FIN DE LA POBREZA
El ODS 1 busca garantizar la protección social de las personas en situación de pobreza o vulnerabilidad social, y aumentar el acceso a los servicios básicos. En relación a este proyecto de desarrollo de viviendas generará muchos puestos de empleo y a su vez provocará un incremento de bienestar en aquellos hogares con familias desempleadas.

7 ENERGÍA LIMPIA Y ACCESIBLE
El edificio proyectado dispone de una envolvente adecuada a la limitación de la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la ciudad de Castellón, del uso previsto y del régimen de verano y de invierno.

3 SALUD Y BIENESTAR
El ODS 3 tiene como objetivo garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades. En este punto la edificación cuenta con todos los servicios básicos (suministro de agua corriente sanitaria, energía, un correcto sistema de evacuación de aguas residuales, calidad de aire, telecomunicaciones) que garantizan un uso saludable de todas las partes del edificio.

8 TRABAJO DECENTE
El ODS 8 está relacionado en reducir la tasa de desempleo, mejorar las condiciones laborales y aumentar la productividad laboral, reducir la tasa de desempleo, especialmente para los jóvenes y mayores sin formación. Todos los puntos anteriores se ven implicados en la oferta de nuevos puestos de empleo como un sistema de calidad y seguridad de los trabajadores (EPIS). Este proyecto está relacionado directamente con reducir la tasa de desempleo pues cuenta con un despacho de oficinas situado en la entreplanta destinado a futuros trabajos y empleos a ocupar.

5 IGUALDAD DE GÉNERO
La igualdad entre mujeres y hombres constituye un valor europeo fundamental, recogido en el Tratado de la UE, en su Tratado de Funcionamiento y en la Carta de los Derechos Fundamentales. En España en los últimos años se han producido importantes avances para conseguir la igualdad real y efectiva. Este punto 5 se puede ver reflejado en la participación tanto en el trabajo de despacho y administrativo para el desarrollo del proyecto básico y de ejecución. Por otra parte también participan entidades femeninas como contratistas relacionadas en el desarrollo de la obra.

9 INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA
El desarrollo de infraestructuras fiables, sostenibles y de calidad debe ser un estímulo para la recuperación económica, la calidad de vida y la creación de empleo y constituye, además, una garantía de vertebración territorial. Dicho punto involucra en gran parte a la fase de ejecución de la obra y de su infraestructura además de su bajo impacto en el medio ambiente gracias a su buen rendimiento energético.

6 AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO
La demanda de agua caliente sanitaria se cubrirá en parte mediante la incorporación de un sistema de captación, almacenamiento y utilización de energía solar de baja temperatura, adecuada a la radiación solar global. Además el cambio climático está aumentando la escasez de agua en nuestro país por ello se asegura y diseña un sistema de ahorro de suministro de agua corriente potable en toda la edificación menos en los sótanos. El edificio también cuenta con un sistema de evacuación de aguas pluviales y residuales a la red de alcantarillado correcto y funcional.

11 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES
Las prioridades de actuación en este punto subrayan la importancia de reducir el impacto ambiental negativo de las ciudades, atendiendo especialmente a la calidad del aire y a la gestión de residuos, reduciendo los efectos negativos derivados de los desastres, tanto en términos de daños materiales como humanos. Podemos asegurar la colaboración con el bajo impacto medioambiental ya que se unos de los puntos más importantes de la envolvente térmica de los cerramientos exteriores y baja demanda de energía como consecuencia de un buen estudio y diseño de las mismas.

Figura 7. Análisis ODS. Grupo 23.

Fuente: Alumnos 22-23: José Esquerra Blay, Jordi Vedrí Vallés, Miguel Campos Beas y Salvador Andrés Sanchis García

METAS DEL ODS 11	DEFINICIÓN	APLICA (SI/NO)	BREVE JUSTIFICACIÓN Y/O EJEMPLO
1. VIVIENDAS Y BARRIOS MARGINALES	Asegurar el acceso a la vivienda y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles, y mejorar las zonas marginales.	NO	No cumple debido a que el edificio no está situado en un barrio marginal.
2. TRANSPORTE SOSTENIBLE	Proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial, en particular mediante la ampliación del transporte público, prestando especial atención a las necesidades de las personas en situación de vulnerabilidad, las mujeres, los niños, las personas con discapacidad y las personas de edad.	NO	No cumple ya que el edificio cuenta con dos plantas sótano dedicadas exclusivamente al aparcamiento de los vehículos de los habitantes del edificio por lo que no promueve el transporte público.
3. PLANIFICACIÓN PARTICIPATIVA	Aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países.	SI	Si que cumple debido a que como el edificio usa energía solar es sostenible.
4. PATRIMONIO CULTURAL Y NATURAL	Redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo.	NO	No cumple ya que ni en el edificio ni en los alrededores no hay ni patrimonio cultural ni natural.
5. REDUCCIÓN DE RIESGO DE DESASTRES	Reducir significativamente el número de muertes causadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y de personas afectadas por ellos, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por los desastres en comparación con el producto interno bruto mundial, haciendo especial hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad.	NO	No cumple porque el objetivo no puede cumplirse con este edificio de ninguna forma.
6. CALIDAD DEL AIRE Y MANEJO DE RESIDUOS	Reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.	SI	Si que cumple debido a que hay una buena instalación de la calidad del aire.
7. ESPACIOS PÚBLICOS	Proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres y los niños, las personas de edad y las personas con discapacidad.	NO	No cumple porque el objetivo no puede cumplirse con este edificio de ninguna forma.
8. VINCULACIÓN URBANO-RURAL Y PLANIFICACIÓN REGIONAL	Apoyar los vínculos económicos, sociales y ambientales positivos entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales fortaleciendo la planificación del desarrollo nacional y regional.	NO	No cumple porque el objetivo no puede cumplirse con este edificio de ninguna forma.
9. CAMBIO CLIMÁTICO Y RESILIENCIA	Aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles.	SI	Si que cumple debido a que usa energía solar térmica.
10. EDIFICIOS SOSTENIBLES	Construir edificios sostenibles y resilientes, utilizando materiales locales.	SI	Si que cumple debido a que el edificio usa energía solar térmica por lo que es un edificio sostenible.

Figura 8. Ficha análisis metas ODS 11. Grupo 24.

Fuente: Alumnas 22-23: Rebeca Mor Castillo Pilar Sabido Varella Malika Nurlan y Sana Elmourjani

En la mayor parte de los casos, los alumnos han encontrado relaciones directas con ODS de carácter técnico como el 6 sobre el agua, el 7 sobre la energía, el 8 de crecimiento económico, el 9 de innovación y el 11 de comunidades sostenibles, pero también con otros, de carácter más social, por ejemplo, el 1 relacionado con el fin de la pobreza, 3 relacionado con la salud o el 5 con la perspectiva de género. El análisis de las metas del ODS11, muestra que los alumnos encuentran más relación con las cuestiones a escala edificio, que con otras a escala urbana o más globales.

5. Conclusiones

En este trabajo se presenta un PIE que se plantea un ejercicio previo para la implantación de los ODS en el GAT de la UJI, con vistas al cumplimiento de este aspecto, de acuerdo con el RD 822/2021, de 28 de septiembre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias y el procedimiento para su garantía de calidad. En concreto este PIE está relacionado con el artículo 4 del RD, que indica la integración en los planes de estudio de principios de referencia, basados en valores democráticos y en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), de manera que estos valores deben aparecer como contenidos o competencias transversales. Teniendo en cuenta el objetivo de esta propuesta, los resultados obtenidos en el PIE van a contribuir a la materialización de los cambios que se requerirán dentro del plan de estudios con motivo del RD.

El trabajo, desarrollado durante la primera anualidad del PIE, ha permitido:

- Formar al alumnado del GAT sobre los ODS, y motivar su reflexión, con el fin de incorporar los ODS de forma transversal en el aprendizaje adquirido.
- Formar y sensibilizar a profesorado del GAT sobre los ODS, impulsando su reflexión para integrar los ODS en la docencia.
- Evaluar el grado de integración de los ODS en 15 asignaturas del GAT (25% del total) e incorporar de forma transversal los ODS en sus respectivas Guías Docentes.
- Aplicar de forma práctica los diferentes ODS sobre un caso práctico de estudio, desarrollado en equipo en el marco de PD, en el que aplican los conocimientos adquiridos en las diferentes asignaturas de curso.

Este trabajo, desarrollado durante la primera anualidad del PIE propuesto ha permitido impulsar la integralidad y transversalidad de la enseñanza-aprendizaje, tratando de formar futuros Arquitectos Técnicos que, además de conocimientos técnicos, posean valores, espíritu crítico y reflexión, con una actitud abierta, transformadora y creativa, de forma que puedan contribuir positivamente a la Sociedad, y al desarrollo de Ciudades y Comunidades sostenibles. Este trabajo tendrá su continuidad en el próximo curso académico, siendo una oportunidad para abarcar mayor número de asignaturas del Grado.

Referencias

- Gallego T, Ruá MJ, Reig L, García-Esparza JA, Pitarch A, Huedo P, 2011. Implementation of new teaching methodologies. The case of Building Engineering at the Jaume I University in Castellón, Spain. ICERI2011, Madrid, 14-16 noviembre 2011.
- Gallego T, Ruá MJ, Reig L, Huedo P, 2012. Development of new teaching methodologies for the degree in Building Engineering in Spanish universities. International Conference the Future of Education. 2nd Ed. Florencia, 7-8 junio 2012
- Martínez-Moya JA, Pitarch-Roig A, García-Esparza JA, Ruá-Aguilar MJ, Cabeza-Gozález M, 2020. Implementation of coordinated vertical project at Technical Architecture bachelor's degree. ICERI 2020, 13th annual International Conference of Education, Research and Innovation, Sevilla, 13-15 noviembre 2020.
- Payá A, 2007. Innovaciones en la organización del proceso de enseñanza-aprendizaje: el Aprendizaje Basado en Problemas. In J.L. García Garrido (Ed.) Formar ciudadanos europeos, pp 58-87. Madrid: Academia Europea de Ciencias y Artes.
- Reig L, Ruá MJ, Braulio M, Lecha A, Huedo P, Gallego T, Pitarch A, Sáez B, Babiloni J, 2017. Learning by doing in the bachelor's degree of Technical Architecture at the Universitat Jaume I. EDULEARN 17, 9th annual International Conference on education and New Learning Technologies. 7-9 julio 2017, Barcelona. CD de Proceedings Edulearn 2017:7312-7321.

Internationalization information tools in the School of Building Engineering of the University of Granada

Martínez Vela, Ana M.

Universidad de Granada, ETSIE Campus de Fuentenueva, C.P. 18071 amvela@ugr.es

Abstract

The paper is a case-study of the methods employed to inform students in the degree of Building Engineering and in the dual degree of Building Engineering and Economics of the School of Building Engineering of the University of Granada.

The information offered by the School of Building Engineering directly and by the Vice-rectorate of Internationalization of the University of Granada, on all the possibilities of internationalization and mobilities in general, is needed by new students and by those with some years of experience at our university.

The paper concentrates primarily on the out-going students but does not forget the incoming students from Europe, from Latin America and some other continents of the world. Our responsibility in the School are the out-going students but after living the experience of the Pandemic, it is very important to have information on the in-coming students and be able to help them and localize them if necessary.

Some presentations will be exposed to the audience insisting on the considered frequency needed and established by experience in each academic course to be helpful for our students. The minimum of meetings should be at least two in the first semester and four in the second, considering our dual degree and our workshop with the *École Supérieure d'Ingénieurs des Travaux Publics de la Construction de Caen* (Francia).

As a conclusion, we consider fundamental to have the students informed of all the possibilities given by their School and by their University so as to select what they want and need, and what is profitable for their academic formation and for their professional future but not always it is an easy objective. Our team tries to use methods attracting them and stealing our students some of their time.

Keywords: Students of Building Engineering, Internationalization, Information, Mobilities.

1. Introduction

The paper is a case-study presentation of the visual devices used to inform students of our degree and our dual degree on the possibilities of internationalization offered by the School of Building Engineering of the University of Granada.

It is mainly concentrated on the out-going students of our School but cannot forget the in-coming students from Europe, from Latin America and from other continents of the world. Our responsibility in the School are the out-going students but the experience given by the pandemic have shown us how important it is to have information on the in-coming students, give them as much material as they may need and be able to localize them if necessary.

The minimum of meetings with our students should be at least two in the first semester and four in the second, considering our dual degree and our international workshop with the *École Supérieure d'Ingénieurs des Travaux Publics de la Construction de Caen* (Francia) which take place in the second semester.

2. Methodology

2.1.1. Building Engineering out-going students

In our School, we establish a general information meeting at the beginning of each academic course, around October, and a second one once the Erasmus Selection Process is open.

Previously to that opening, the School also organizes an International Workshop in the Hall of the School with information stands in the morning and in the afternoon. These Workshops have been organized for the last five academic courses, considering the fact that during the Pandemic and that is, for two academic years our workshop was not active.

Whenever we have a specific information meeting, we send a personal e-mail to the students and we inform them in our Homepage.

The information specified in that meeting is a wide-ranging information of the mobilities of the University of Granada where the students of Building Engineering can participate and that includes the national mobilities (*Sicue*), the Erasmus/European mobilities, the international mobilities (*Programa Propio Ugr*), our Workshop (*Estancias Formativas Ugr*) and finally, our dual degree with Caen.

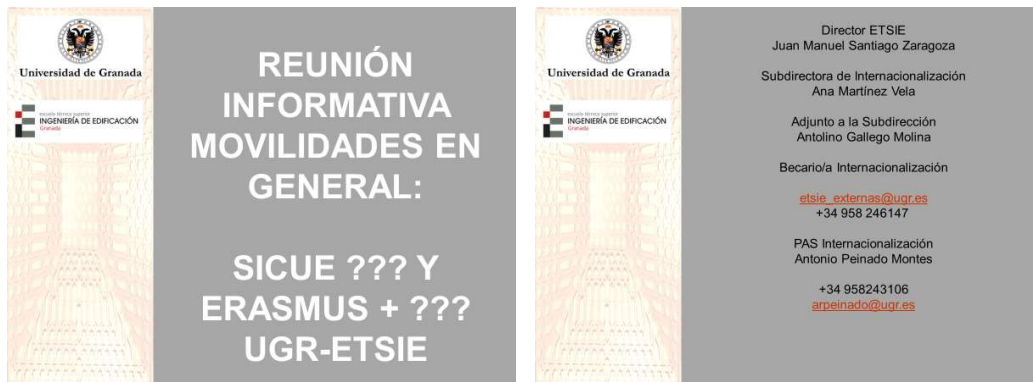


Figure 1. Presentation out-goings

Source: Own creation (2018)

The diverse slides of this Power Point will be roughly explained; in this case the complete presentation has a total of 336 slides, which is too much to be seen in a meeting with the undergraduates but can be used if a student needs some additional information about their probable destination. In this first meeting with undergraduates, we introduce all the possible mobilities offered by the University of Granada and support students to start thinking on th.

In these presentations we also try to inform students about how the School and the University works from the point of view of administrative enrolments and opportunities.

The information needed for any mobility is the homepage of our Vice-rectorate and it is necessary that undergraduates access to the information by themselves.

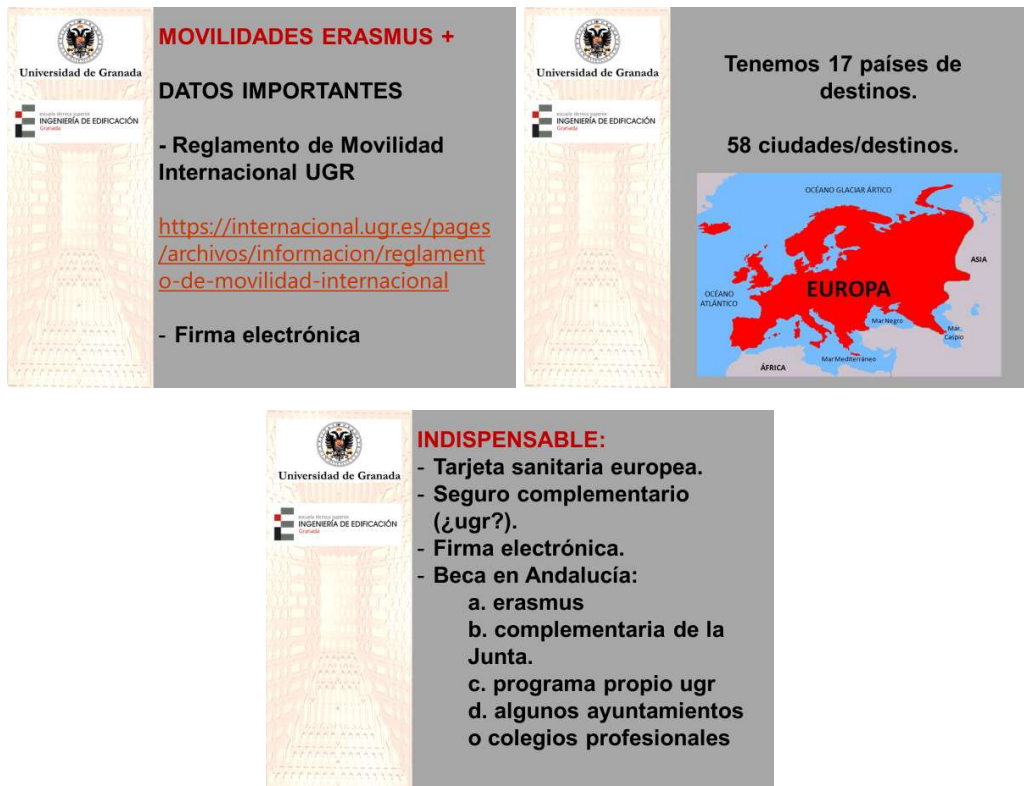


Figure 2. Presentation out-goings

Source: Own creation (2018)

The total number of Erasmus destination is exposed and explained as a starting information and the students will make profound research of what they would like for their Erasmus or mobility.

The different destinations are presented through their university, city and country, one by one.

As an example, we can see Cyprus.

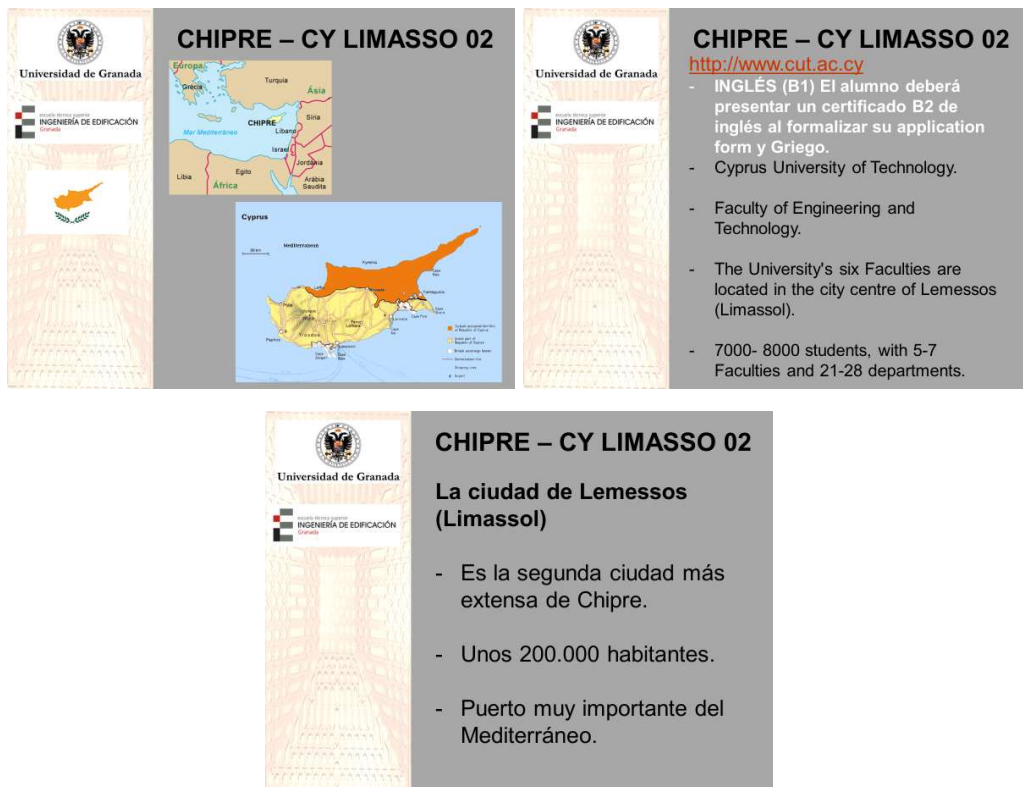


Figure 3. Presentation out-goings

Source: Own creation (2018)

Some slides are introduced in English and some in Spanish, considering the meeting is in Spanish but in a near future they will have to get to practice another language, and probably, English will always be used as a *Lingua Franca*.

2.2. Building Engineering out-going considering the Workshop and in the Dual Degree with the *École Supérieure d'Ingénieurs des Travaux Publics de la Construction de Caen* (France).

Both the Workshop and the Dual Degree with Caen, France is very interesting for our undergraduated students so in the second semester we establish a couple of different meetings to inform those students who could be interested in mobilities.

We use a specific pattern in the slides to enhance their visual memory and to relate them to mobility in ETSIE, the only changes are colours.



Figure 4. Presentation Workshop and Dual Degree
Source: Own creation (2021)

To attract students towards “mobilities”, we use the beauty of the places where their mobility would take place. In the last slide, we have a link to two interviews with students who have done the International Workshop in the School of Caen, France and who narrated their academic experience in first person. These interviews are in our Homepage and can be seen by the students at any moment.

2.3. Information given to freshmen and freshwomen students at our degree.

Our School governance team, directed by our Director, Juan Manuel Santiago Zaragoza, has always considered that it is very important to inform students of everything they can acquire from our School and at their University and from the moment they get into their university studies.

That is, the first week of class, we have a speech with the students of our first course and a general meeting at the Auditorium with more specific information and material. The following slides are prepared for that event.

In these slides we can see the mobility logo created for our School by Fabián García Carrillo.



Figure 5. Meeting with our first course students
Source: Own creation (2020)

2.4 Building Engineering Induction Day for the in-coming students

And finally, we also have two “Induction days” organized by every faculty and school of the University of Granada and the objective is to inform as maximum as possible to the in-coming students. The dates for these meetings are in the first week of September and the second week of February, that is the beginning of every new semester considering that many European students come only for one semester.

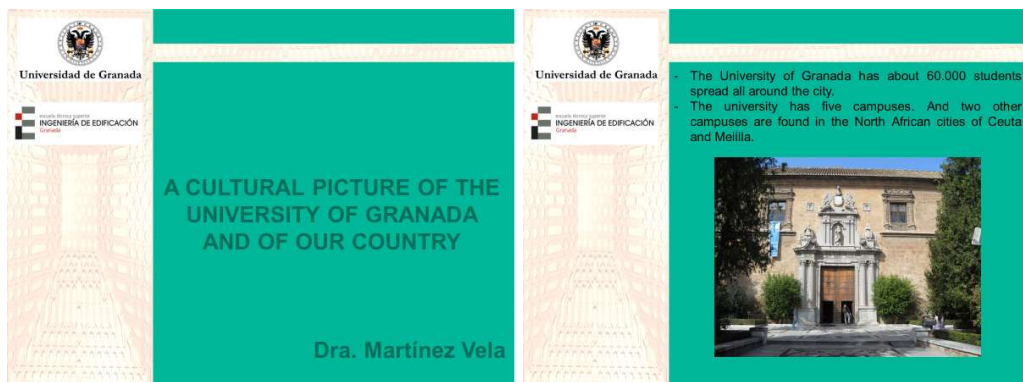


Figure 6. Induction Day for the in-coming students
Source: Own creation (2019)

Students are introduced to our country and to our region, Andalucía. We introduce them to the province of Granada, to our main monuments, our international sportsmen and sportswomen, our singers, our architecture, our food, etc. This presentation is longer than the rest, it takes around 45 minutes being a good point for them to start knowing the area where they will be living at least for five months or nine months.



Figure 7. Induction Day for the in-coming students
Source: Own creation (2019)

2.4. Building Engineering Information Booklets: German, Italian, French, English and Spanish.

In 2018, we decided to make some information booklets about both of the degrees studied in our school in different European languages: German, Italian, French, English and Spanish.



Figure 8. Information Booklets
Source: Own creation (2018)

These booklets have been very practical to show how the degree works and the professional objectives reached by these studies.

In the case of the presentation, we have 24 slides and in the booklet, about six pages.

3. Conclusions

As a conclusion, it is considered essential to have the students informed of all the possibilities given by their School and by their University; consequently as to select what they want and need, and what is profitable for their academic formation and for their professional future.

Nevertheless, with our experience, we have observed that it is not always an easy target; our team tries to use methods to attract students, to help them be informed but it is by means of convincing them and stealing some of their leisure time that we may be a little successful, we need to captivate their attention.

References

Escuela Técnica Superior de Edificación (ETSIE) Homepage, <https://etsie.ugr.es/>, last accessed 2023/06/06.

Universidad de Granada (Ugr) Homepage, <https://www.ugr.es/>, last accessed 2023/06/06.

Universidad de Granada (Ugr), Vicerrectorado de Estudiantes y Empleabilidad, <https://ve.ugr.es/servicios/asistencia-estudiantil/movilidad-nacional-sicue>, last accessed 2023/06/06

Universidad de Granada (Ugr), Vicerrectorado de Internacionalización, Homepage <https://internacional.ugr.es/> last accessed 2023/06/06.

Professional retraining for Building Engineers in Sustainability and Circular Economy

González-Arteaga, Jesús ^a, Valverde Cantero, David ^b, Ruíz Fernández, Juan Pedro ^c y Valverde Gascuña, Nelia ^d.

^a Departamento de Ingeniería Civil y de Edificación. Escuela Politécnica de Cuenca. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n 16071, Cuenca. jesus.garteaga@uclm.es, ^b Departamento de Ingeniería Civil y de Edificación. Escuela Politécnica de Cuenca. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n 16071, Cuenca. david.valverde@uclm.es, ^c Departamento de Ingeniería Civil y de Edificación. Escuela Politécnica de Cuenca. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n 16071, Cuenca. juanpedro.ruiz@uclm.es, ^d Departamento de Ingeniería Civil y de Edificación. Escuela Politécnica de Cuenca. Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n 16071, Cuenca. Nelia.valverde@uclm.es

Abstract

Concepts such as Sustainability and Circular Economy have been part of the social agenda since the end of the last century and the construction sector, as a strategic sector with a multiplier effect, is called to play a key role in the strategies for changing the economic model. On the other hand, professionals in the sector, and specifically Building Engineering graduates and similar degrees, do not usually have the necessary knowledge to implement the changes demanded by the new paradigm with guarantees.

Training in Sustainability and Circular Economy is essential for these professionals as it helps them to understand the key concepts and how to reinterpret processes to maximize the efficient use of materials and minimize waste generation, as well as to promote environmental conservation and the reduction of energy and resource use.

The proposal goes through a specific training, in postgraduate format, which must assume these commitments and make use of the new paradigms derived from industrialization 4.0 or the implementation of methodologies such as BIM, to achieve its objectives.

The professional profile of the Building Engineer is a key figure in this transition and his professional retraining must be multidisciplinary and with an integrating spirit, with an important technological weight and based on the possibilities that digitalization poses in the processes associated with the construction sector.

It is also clear the need for specific training in subjects such as Sustainability and Circular Economy for current Building Engineers as a result of the change of energy paradigm and the change from a linear system to a circular one.

Keywords: Sustainability, Circular economy, Teaching, Building engineering.

1. Introducción

Conceptos como sostenibilidad y economía circular vienen formando parte de la agenda social desde finales del siglo pasado y el sector de la construcción, como sector estratégico y con efecto multiplicador, está llamado a jugar un papel clave en las estrategias de cambio de modelo económico. Por otro lado, los profesionales del sector, y en concreto los graduados en ingeniería de edificación y titulaciones análogas, no suelen contar con los conocimientos necesarios para implementar con garantías los cambios que el nuevo paradigma demanda.

La sostenibilidad de la actividad humana se ha convertido en un requerimiento ineludible para la sociedad. Los problemas derivados del cada vez más presente y violento cambio climático amenazan la supervivencia de numerosas especies, poniendo en una situación de peligro a la humanidad. Se han firmado numerosos acuerdos entre gobiernos, se han aprobado diferentes estrategias y legislaciones encaminadas a conseguir esa sostenibilidad. Con ellas se ha iniciado el camino hacia el cambio en las distintas actividades humanas, basándose en los tres pilares del desarrollo sostenible: los aspectos económicos, sociales y ambientales.

Entre los conceptos y estrategias que aparecen de modo recurrente, se encuentra el de economía circular, según la publicación del grupo de trabajo de CONAMA, 2018 “Economía Circular en el sector de la construcción”, se establece una definición de la economía circular como: *“modelo económico que utiliza la mínima cantidad de recursos naturales necesarios, incluidos el agua y la energía, para satisfacer las necesidades. Selecciona los recursos minimizando los no renovables y favoreciendo los materiales reciclados. Gestiona eficientemente los recursos manteniéndolos el mayor tiempo posible y minimizando la generación de residuos. Reduce al mínimo los impactos ambientales”*. Por otra parte, el “Pacto por una economía circular: el compromiso de los agentes económicos y sociales” (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, 2017), recoge la necesidad de la colaboración, participación e implicación de toda la sociedad, incluyendo los sectores económicos, agentes sociales, consumidores y ciudadanos. Este pacto, que internaliza los principios de economía circular en el ámbito empresarial, se firmó, entre otros con los siguientes objetivos:

- 1) Avanzar en la reducción del uso de recursos naturales no renovables, reutilizando en el ciclo de producción los materiales contenidos en los residuos como materias primas secundarias siempre y cuando quede garantizada la salud de las personas y la protección del medio ambiente.
- 2) Impulsar el análisis del ciclo de vida de los productos y la incorporación de criterios de ecodiseño, reduciendo la introducción de sustancias nocivas en su fabricación, facilitando la reparabilidad de los bienes producidos, prolongando su vida útil y posibilitando su valorización al final de ésta.
- 3) Favorecer la aplicación efectiva del principio de jerarquía de los residuos, promoviendo la prevención de su generación, fomentando la reutilización, fortaleciendo el reciclado y favoreciendo su trazabilidad.
- 4) Promover pautas que incrementen la innovación y la eficiencia global de los procesos productivos, mediante la adopción de medidas como la implantación de sistemas de gestión ambiental.
- 5) Promover formas innovadoras de consumo sostenible, que incluyan productos y servicios sostenibles, así como el uso de infraestructuras y servicios digitales
- 6) Facilitar y promover la creación de los cauces adecuados para facilitar el intercambio de información y la coordinación con las administraciones, la comunidad científica y tecnológica y los agentes económicos y sociales, de manera que se creen sinergias que favorezcan la transición.
- 7) Difundir la importancia de avanzar desde la economía lineal hacia una economía circular, fomentando la transparencia de los procesos, la concienciación y sensibilización de la ciudadanía.

El sector de la construcción es uno de los principales en España, aportando en 2019 el 5,9% del PIB según el Instituto Nacional de Estadística (INE,2023), dinamizando a más de una decena de subsectores de la economía gracias a su efecto multiplicador. El sector debe asumir estos compromisos sirviéndose de los nuevos paradigmas derivados de la industrialización 4.0 o la implementación de metodologías como el BIM, para lograr su sostenibilidad. Conforme a las conclusiones del grupo de trabajo GT-6 del Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA, 2018): El sector de la construcción supone en Europa y, en particular, en España una importante incidencia, tanto en las cifras macroeconómicas como en su capacidad potencial de impacto, por la cantidad de recursos naturales que moviliza. Sólo a modo de ejemplo, en 2014 la construcción y el uso de los edificios en la Unión Europea apuntaban que consume el 50% de los materiales extraídos y el 50% de la energía, utiliza el 25% del agua consumida y genera 25% de los residuos.

2. Objetivos

Como acabamos de exponer el sector de la construcción, como sector estratégico y con efecto multiplicador, está llamado a jugar un papel clave en las estrategias de cambio de modelo económico. Por otro lado, los profesionales del sector, y en concreto los graduados en ingeniería de edificación y titulaciones análogas, no suelen contar con las competencias y habilidades necesarias para implementar con garantías los cambios que el nuevo paradigma demanda. Por ello se presenta este trabajo, que busca 4 objetivos principales: 1) Exponer un análisis de la situación del sector de la construcción en lo referente a la aplicación de criterios de sostenibilidad y circularidad; 2) Evaluar la formación de los técnicos en edificación actuales; 3) Estudiar la viabilidad de desarrollo de un programa formativo; 4) Desarrollar una propuesta de plan de estudios. Todo ello siguiendo el camino iniciado por la propuesta de nueva titulación “Máster interuniversitario en Economía e Ingeniería Circular en Edificación” en la que comenzaron a trabajar la Universidad de Granada, la Universidad del País Vasco, la Universidad de Extremadura y la Universidad de Castilla-La Mancha, aplicando los conocimientos y competencias adquiridas durante el curso de “Experto en Economía Circular y Territorio” de la Universidad de Castilla-La Mancha en su edición 2022-2023.

3. Metodología

La formación en sostenibilidad y economía circular es esencial para estos profesionales ya que les ayuda a comprender los conceptos clave y cómo reinterpretar los procesos para maximizar el aprovechamiento eficiente de los materiales y minimizar la generación de residuos, así como promover la conservación del medio ambiente y la reducción del uso de energía y recursos. La propuesta pasa por una formación específica, en formato de postgrado, que debe asumir estos compromisos sirviéndose de los nuevos paradigmas derivados de la industrialización 4.0 o la implementación de metodologías como el BIM, para lograr sus objetivos.

3.1 Situación actual de la formación en economía circular y edificación

Los actuales planes de estudios de grado de arquitectura, ingeniería de edificación, arquitectura técnica o de las distintas ingenierías que forman a los profesionales del diseño, construcción y el mantenimiento de las edificaciones, no profundizan en competencias relacionadas con la sostenibilidad y el medio ambiente. Para evitar esa divergencia con el mercado algunas escuelas buscan implantar en sus planes de estudios optativas que recojan esos aspectos o intentan incluirlos de modo transversal en los programas. Pese a ser estas unas buenas opciones para la formación general, aquellos profesionales que quieran enfocar su carrera hacia la mejora de la sostenibilidad de los edificios y la economía circular necesitarán completar su formación fuera de los grados. Es de especial relevancia la necesidad de formación en este campo para profesionales formados en décadas pasadas donde los planes de estudio no incluían enseñanzas referentes a estos campos que empiezan a ser básicos en su vida profesional.

Por otra parte, a pesar de existir algunos títulos propios de distinto alcance relacionados con la economía circular en varias universidades españolas, según el Registro de Universidades, Centros y Títulos (RUCT,2023) del Ministerio de Universidades, en la actualidad existen en España 5 títulos de máster universitarios relacionados con la economía circular. Dos en la rama de ciencias, dos en la rama de ciencias sociales y jurídicas y otro en ingeniería y arquitectura. Sólo el de la rama de ingeniería de la UPM ofrece dos especialidades distintas, una de ellas relacionada con el sector (Especialidad en Minerales y Productos de Construcción). También se puede extraer del análisis que nos interesa que sólo el impartido por la Universitat Internacional Valenciana ofrece la modalidad “on-line”, dos de ellos son presenciales y dos semipresenciales. En el ámbito internacional, dentro de las titulaciones de la rama de ingeniería con reconocimiento de calidad (EUR-ACE, 2023), se han localizado 11 máster específicos de edificación (Building) en diferentes países, pero ninguno relacionado con la economía/ingeniería circular. Entre otras experiencias de formación de postgrado, destaca el International Master's Programme on Circular Economy, (Erasmus+,2018) dentro del programa Erasmus Mundus Joint Master Degrees, en el que participan 4 universidades europeas, con una duración de dos años y 120 ECTS. Para concluir este punto cabe señalar que, durante este curso 2022-2023 y como origen de la presente propuesta, la Universidad de Castilla-La Mancha está desarrollando un curso de Experto en Economía Circular y Territorio (UCLM,2023). Con una carga de 15 créditos totales, todos obligatorios, está

adscrito a la rama de ciencias sociales y jurídicas, organizado por la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de Albacete, es en modalidad online y ha contado con 40 plazas en su primera edición.

3.2 Contenidos a desarrollar

La creación de esta enseñanza oficial de postgrado propuesta en este documento se debe alinear con la Vicepresidencia tercera del gobierno de España y su Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico que plantea una estrategia española de economía circular (y planes de acción acorde con los objetivos de los dos planes de acción de economía circular de la Unión Europea, “Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular” (European Commission, 2015) y “Un nuevo Plan de Acción de Economía Circular para una Europa más limpia y competitiva” (European Commission, 2020), además de con el Pacto Verde Europeo (European Commission, 2019). y la Estrategia de desarrollo sostenible 2030 (Ministerio de derechos sociales y agenda 2030, 2020). Además de seguir las pautas de la Estrategia “España Circular 2030” (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021). sus planes de acción de economía circular. Y puesto que se quiere repercutir el mayor número de beneficios sociales, ambientales y económicos derivados de las personas formadas en territorio de Castilla-La Mancha, se seguirán las pautas de la Ley 7/2019 de Economía Circular de Castilla-La Mancha (Castilla-La Mancha, 2019) y la Estrategia de Economía Circular de Castilla-La Mancha (Consejería de Desarrollo Sostenible de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, 2020).).

También los contenidos formativos del máster deben recoger la alineación con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) recogidos en la agenda 2030 sobre desarrollo sostenible (Organización de las Naciones Unidas, (2015). La industria de construcción tiene un enorme potencial para contribuir a lograrlos, a través de la reducción de impactos en su actividad, como motor económico y proporcionando un entorno habitable, eficiente y seguro a las personas.

Los participantes en el máster deberán obtener competencia a aplicar las denominadas “9 Rs de la economía circular” en el sector de la construcción:

- 1) Rechazar aquello que no necesitamos.
- 2) Reducir nuestro consumo.
- 3) Reutilizar productos en buen estado desechados por otro consumidor.
- 4) Reparar para alargar la vida de un producto.
- 5) Restaurar un producto antiguo para modernizarlo.
- 6) Reparar los productos fuera de servicio.
- 7) Rediseñar con criterios de sostenibilidad y diseño ecológico.
- 8) Reciclar la materia prima para crear nuevos productos.
- 9) Recuperar materiales con la incineración para generar energía.

La economía circular en el sector de la edificación no es solamente la gestión de los residuos, sino que abarca todo el “ciclo de vida” del proceso constructivo, se inicia en el proyecto, ya en esa fase deberíamos prever o planificar el espacio teniendo en cuenta las circunstancias actuales: situación, comunicación, uso, etc. y cuál puede ser su uso en escenarios futuros de modo que se pueda garantizar la máxima longevidad de la construcción. Lo mismo haremos cuando se ejecute la obra: optimizar el uso de productos de construcción, planificando de manera que se minimice la producción de residuos de construcción y demolición (RCD), el consumo de agua, utilización de elementos constructivos industrializados, posible deconstrucción, y el uso de productos que tras su uso puedan ser reutilizados o reciclados. Este conjunto de competencias y su aplicación en las distintas fases son premisas de la formación de los técnicos en economía circular en la edificación.

Se buscará generar en los alumnos una elevada flexibilidad en los planteamientos y un análisis y medición de los procesos que se emprenden. Analizando el proceso constructivo y sus fases, la formación abarcará al menos los siguientes aspectos:

- Fase de producción, el uso de materias primas secundarias, junto con la fabricación y producción y el transporte: La selección y extracción de materiales de calidad y durabilidad que consigan impactos reducidos en su ciclo de vida es muy importante en el diseño del producto en lo referente a la arquitectura e instalaciones de los edificios. Para conseguir que los materiales dispuestos sean

reciclables, como subproductos o materias primas secundarias, después del proceso de demolición del edificio, debe asegurarse una eficiente separación de los materiales con una adecuada gestión de RCD. El conocimiento de la herramienta de análisis del ciclo de vida (ACV) de materiales será fundamental para la toma de decisiones. Análisis del ciclo de vida (ACV) se ha utilizado en otras industrias, como la del automóvil o la industria alimentaria, es relativamente nuevo en el sector de la construcción. La aplicación del ACV a los edificios se hace utilizando el mismo principio e incluso tiene su propia norma, la EN 15978 (CEN, 2019) y tiene cabida en todas las etapas del ciclo de vida (desde el diseño, construcción, instalación, uso y final de su vida útil). La etapa de uso (que tiene en cuenta los consumos de energía y agua y la generación de residuos, etc.) es una etapa muy importante, y esta es la razón por la que una de las principales prioridades es la mejora del rendimiento energético del edificio. Así mismo cada vez más, la fase de construcción juega un papel más importante pudiendo una DAP de construcción contribuir a hacer una mejor elección, siendo consecuentes con el medio ambiente.

- Procedimientos de diseño: donde se formará en ecodiseño, entendiéndose como tal el proceso de diseño que tiene en cuenta, aparte de los fines propios del diseño en sí, los impactos medioambientales en todas las etapas del producto resultante con el objetivo de lograr productos que generen el mínimo impacto medioambiental posible a lo largo de todo su ciclo de vida. Gracias a este ecodiseño se buscará generar productos con elevada sostenibilidad, teniendo en cuenta parámetros ambientales (consumo energético, emisiones de CO₂, consumo de agua, la durabilidad, la reparabilidad, la reutilización). Esta fase es esencial dado que es aquí donde se van a tomar las decisiones que condicionarán todo el proceso constructivo y selección de las instalaciones en el edificio, donde es necesario aplicar los criterios de ecodiseño tanto en obra nueva como en edificios rehabilitados, tales como:
 - a. Elevada calidad, duración de los materiales y fácil reparación.
 - b. Fácil mantenimiento.
 - c. Permite la rehabilitación.
 - d. Demolición selectiva mejorando la reutilización y reciclado de sus materiales.
 - e. Resilientes ante diferentes cambios.
 - f. Flexibles en el uso.
 - g. Consumo energético bajo, alta calidad del aire interior y confort térmico.
 - h. Fomentar el análisis del ACV -según ISO 14040 e ISO 14044 (ISO, 2006).
 - i. EN 15804 (CEN, 2012) referente a productos y EN 15978 referente a edificación (CEN, 2019).
- La fase de ejecución, que es donde se genera la mayor proporción de residuos del edificio, se clasificarán por: tierras de excavación y RCD, siguiendo las legislaciones en vigor. Durante esta fase es importante control de calidad de los materiales y procesos, así como la formación necesaria del personal integrante que compone la construcción del edificio. Todo ello redundará en la reducción de materiales, la reutilización de otros in situ evita sobrecostos económicos, mayor empleo de materiales, energía y agua.
- Uso, mantenimiento y rehabilitación del edificio. Se busca que los recursos naturales se mantengan el mayor tiempo de vida posible. Son relevantes todas las operaciones de mantenimiento que se apliquen a las instalaciones y al propio edificio. La rehabilitación de los edificios adaptando la edificación a los requerimientos debe incluir también las bases de la economía circular, siendo en sí misma un fundamento del aumento de la durabilidad y el mejor aprovechamiento de los recursos. Por ello se debe formar ampliamente en este ámbito.

La formación de especialización deberá tratar el uso de herramientas digitales como la metodología BIM (Building Information Modeling) (BuildingSMART Spain, 2023). La cual será la base del sistema de trabajo en los proyectos del máster. Esta metodología de trabajo colaborativo empleada desde las fases tempranas de diseño aporta ventajas son muy notables y tienen una repercusión global alineada con los objetivos de sostenibilidad:

- Un modelo BIM proporciona los datos necesarios para realizar cálculos de energía, permitiendo múltiples simulaciones precisas y rápidas en búsqueda de las soluciones más eficientes y que garantizan el uso óptimo de materiales y recursos.

- Los modelos se convierten en maquetas virtuales que anticipan la ejecución de la obra reduciendo los imprevistos y sobrecostos tan habituales.

También se trabajarán con herramientas tan importantes para la circularidad de la edificación como son el libro del edificio digital (LdE) (que tiene como objetivo principal reunir toda la información referente al inmueble facilitar su consulta a todos los actores involucrados. Se trata de un repositorio de datos, información y documentos, organizados de forma que son útiles en todas las fases (y eventos relevantes) del ciclo de vida del edificio. El potencial de la versión digital de este documento en la circularidad del entorno construido queda reflejado por Green Building Council España (2022).

Finalmente, el enfoque de los criterios asentados en la EEEC, basado en los ejes definidos en el primer plan de acción de economía circular de la Comisión Europea (European Commission, 2015), esta formación formaría parte de tres de las grandes medidas propuestas por eje de actuación. A saber: línea de actuación “Investigación, innovación y competitividad”, línea de actuación “Participación y sensibilización” y línea de actuación “Empleo y formación”.

Se parte del análisis previo realizado para el proyecto de “Máster interuniversitario en Economía e Ingeniería Circular en Edificación” en la que comenzaron a trabajar la Universidad de Granada, la Universidad del País Vasco, la Universidad de Extremadura y la Universidad de Castilla-La Mancha, en el que han participado también los autores del presente documento y que sirvió, aunque de manera preliminar, para identificar barreras, oportunidades y beneficios para su implementación en España.

4. Resultados

El perfil profesional del ingeniero de edificación es una figura clave en dicha transición y su reciclaje profesional debe ser multidisciplinar y con espíritu integrador, con un importante peso tecnológico y basado en las posibilidades que la digitalización plantea en los procesos asociados al sector de la construcción.

A continuación, se presenta una estructura para el máster conforme a la normativa en vigor. Las competencias básicas están definidas en el Real Decreto 822/2021 (Ministerio de Universidades, 2021). El Plan de Estudios se desarrolla también conforme al Real Decreto anteriormente citado, que se establece la organización de las enseñanzas universitarias y del procedimiento de aseguramiento de su calidad.

Se propone un máster de 60 créditos ECTS, a realizar en un único curso académico, pero con una carga de optatividad que permita la especialización de los diferentes perfiles que cursen estos estudios. Conforme a las directrices generales para el diseño de los planes de estudios de máster universitario recogidos en el artículo 17 del Real Decreto se optará por una modalidad docente virtual. El máster se adscribirá a la rama de conocimiento de ingeniería y arquitectura y el plan de estudios dispondrá de un total de 60 créditos ECTS, de los que 42 serían de carácter obligatorio, 6 de prácticas externas y 12 para trabajo fin de máster (el mínimo establecido por legislación es de 6 ECTS. Las asignaturas serán carácter semestral y un cómputo de 25 horas por cada ECTS.

Tabla 1. Plan de estudios por tipología de materia

Fuente: Elaboración propia (2023)

Tipo de Materia	Créditos ECTS
Obligatorios	30
Optativos	12
Prácticas externas	6
Trabajo fin de máster	12
Créditos totales	60

Las asignaturas propuestas serán:

- 1) Introducción a la economía circular
- 2) Digitalización para la sostenibilidad: edificación 4.0
- 3) BIM e IoT aplicadas a la construcción circular

- 4) Adaptación de los sistemas constructivos y ecodiseño
- 5) Análisis de ciclo de vida
- 6) Responsabilidad social en el sector de la construcción
- 7) Materiales y reciclado. Gestión de residuos
- 8) Diseño sostenible de envolventes. Instalaciones ecoeficientes
- 9) Rehabilitación, mantenimiento monitorización y simulación
- 10) Instrumentos para la medición de la economía circular
- 11) Deconstrucción selectiva

El trabajo de fin de máster, conforme al punto 4 del artículo 17, tendrá como finalidad comprobar el nivel de dominio de los conocimientos, competencias y habilidades que ha alcanzado el o la estudiante. El trabajo de fin de máster será supervisado por un tutor que será un profesor con docencia en el programa, y estará sujeto a la normativa sobre la elaboración y defensa de los trabajos fin de máster en la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM, 2008). Los trabajos de fin de máster deberán ser defendidos en un acto público, siguiendo la normativa establecida por la Universidad de Castilla-La Mancha.

Se incluyen 6 créditos de prácticas externas, de presencia física, que se concertarán a través de convenios de cooperación educativa con empresas, instituciones o asociaciones, en las cuales el estudiante podrá integrar y completar la teoría con la práctica necesaria para el desempeño de sus funciones vinculadas con la economía circular, dentro de un equipo multidisciplinar. La organización de las prácticas externas tendrá en cuenta lo dispuesto en el Real Decreto 592/2014, de 11 de julio, por el que se regulan las prácticas académicas externas de los estudiantes universitarios.

El idioma en que se impartirá será el castellano, pudiendo contar con documentación en inglés. Se fomentará la inclusión de los criterios de asignaturas dentro de la modalidad "English Friendly".

El máster se organizará en dos semestres: 1º 30 ECTS, de docencia teórico - práctica. Se compondría de 5 materias de 6 créditos ECTS cada una, relativos a los siguientes ámbitos de conocimiento: economía, informatización, edificación, ecodiseño y sostenibilidad, con una intensificación de la formación y considerados desde el enfoque transversal vertebrador de la economía circular. El segundo semestre será de 30 ECTS, de docencia teórico - práctica. Se compondría de 2 materias optativas de 6 créditos ECTS, practicas externas de 6 créditos ECTS y trabajo final de máster de 12 créditos ECTS

Los objetivos de cada asignatura, medidos en términos de competencias a adquirir por el alumno, definen las metodologías de enseñanza-aprendizaje y la forma de evaluación de cada materia. Este diseño garantiza plenamente la filosofía del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), además de la propia de la Universidad de Castilla-La Mancha, proponiendo una educación personalizada y tutorizada que, además, se reforzará con la labor de coordinación docente de las materias.

5. Conclusiones

Queda patente la necesidad de una formación específica en materias como sostenibilidad y economía circular para los actuales ingenieros de edificación como consecuencia del cambio de paradigma energético y del cambio desde un sistema lineal a uno circular. Junto con la necesidad del sector de la edificación, y el de la construcción por extensión, de formación en economía circular y sostenibilidad si se quiere abordar con garantías la inminente transición energética y el cambio de sistema.

El perfil profesional del ingeniero de edificación es una figura clave en dicha transición y su reciclaje profesional necesario. Cualquier iniciativa al respecto debe abordar esa necesidad formativa desde las múltiples ramas y con enfoques complementarios que posibiliten la adquisición de los conocimientos interdisciplinares necesarios para su posterior especialización. Se presenta una propuesta de título bajo la tipología de máster adecuado a la demanda social, con una carga de 60 créditos ECTS y de un año de duración que cumple con las premisas de partida.

Referencias

- BIM Forum. (2020). Level Of Development (LOD) Specification Part I & Commentary. <https://bimforum.org/lod/> last accessed 2023/02/28.
- BuildingSMART Spain. (2023). buildingSMART Spain <https://www.buildingsmart.es/> last accessed 2023/02/28.
- Castilla-La Mancha. Ley 7/2019, de 29 de noviembre, de Economía Circular de Castilla-La Mancha. BOE de Castilla-La Mancha, de 10 de diciembre de 2019, núm. 236.
- Ciclica, GBC España. (2020). PAS-E. Pasaporte del edificio. España.
- Comisión Interministerial BIM. (2019). Comisión Interministerial BIM. <https://cbim.mitma.es/> last accessed 2023/02/28.
- Comité Europeo de Normalización (CEN). (2012). Sostenibilidad en la construcción de edificios - Declaraciones ambientales de productos de construcción (EN 15804). Bruselas, Bélgica: CEN.
- Comité Europeo de Normalización (CEN). (2019). Sostenibilidad de la construcción en el ciclo de vida de los edificios - Cálculo del rendimiento en la construcción de edificios (EN 15978). Bruselas, Bélgica: CEN.
- CONAMA. (2018). Economía Circular en el sector de la construcción. En Actas del XVIII Congreso Nacional y Exposición de la Asociación Española de Ciencia Avícola (pp. 1-10). <http://www.conama2018.org/images/conama2018/docs/libros-actas/1-sesiones-tecnicas/1253.pdf> last accessed 2023/02/27.
- Consejería de Desarrollo Sostenible de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. (2020). Estrategia de Economía Circular de Castilla-La Mancha [PDF]. https://docm.castillalamancha.es/portaldocm/descargarArchivo.do?ruta=2020/12/23/pdf/2020_11636.pdf&tipo=rutaDocm last accessed 2023/03/10.
- Erasmus+ (2018) International Master's Programme on Circular Economy. <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/projects/search/details/599130-EPP-1-2018-1-AT-EPPKA1-JMD-MOB> last accessed 2023/02/26.
- España. (2022). Ley 7/2022 de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. Boletín Oficial del Estado, 9 de abril de 2022, núm. 85.
- EU. (2014). DIRECTIVE 2014/24/EU. Official Journal of the European Union. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32014L0024> last accessed 2023/02/27.
- EUR-ACE. (2023). EUR-ACE label - Accredited programmes. <https://eurace.enaee.eu/node/163> last accessed 2023/03/01.
- European Commission. (2015). Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614> last accessed 2023/05/03.
- European Commission. (2019). European Green Deal. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en last accessed 2023/05/03.
- European Commission (2019), A Europe fit for the digital age, https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age_en last accessed 2023/05/03.
- European Commission. (2020). Circular Economy Action Plan. https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en last accessed 2023/05/03
- European Commission. (2023.). Buildings. Energy Efficiency. <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings> last accessed 2023/05/03
- European Commission. (2020). Executive summary. Study on the development of a European Union framework for digital building logbooks. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/40f40235-509e-11eb-b59f-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-search> last accessed 2023/05/03
- Gobierno de España. (2021). Plan de Digitalización de las Administraciones Públicas. https://portal.mineco.gob.es/RecursosArticulo/mineco/ministerio/ficheros/210127_plan_digitalizacion_administraciones_publicas.pdf last accessed 2023/02/27
- Green Building Council España. (2022). El Libro digital del edificio, instrumento para la economía circular. Informe de posicionamiento. Grupo de trabajo de economía circular.

- Guzmán Pulido, P. (2020). Introducción a la edificación sostenible. Ediciones Mundi-Prensa.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Summary for Policymakers. In Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 1-30). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Heinrich, M. & Lang, W. (2019.). Materials Passports - Best Practice. Retrieved from https://www.bamb2020.eu/uploads/tx_bambproject/Materials_Passports_Best_Practice.pdf last accessed 2023/02/26
- INE (2023) Instituto nacional de Estadística. <https://www.ine.es/> .last accessed 2023/05/03
- ISO. (2006). Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework (ISO 14040). Ginebra, Suiza: ISO.
- ISO. (2006). Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines (ISO 14044). Ginebra, Suiza: ISO.
- ISO. (2020). ISO 16739-1:2020 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries - Part 1: Data schema (ISO 16739-1:2018) (Endorsed by Asociación Española de Normalización in April of 2020.). <https://www.iso.org/standard/76398.html> last accessed 2023/02/28
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. (2018). Informe de Producción y Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en España, Periodo 2011-2015. Recuperado de http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/Informe_de_Produccion_y_Gestion_de_RCD_2011_2015.aspx last accessed 2023/03/01
- Ministerio de Asuntos económicos y transformación Digital. (2018). España Digital 2025. https://portal.mineco.gob.es/RecursosArticulo/mineco/prensa/ficheros/noticias/2018/Agenda_Digital_2025.pdf last accessed 2023/03/01
- Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030 (2020). Estrategia de Desarrollo Sostenible 2030. <https://www.mdsocialesa2030.gob.es/agenda2030/documentos/eds-cast-acce.pdf> last accessed 2023/03/01
- Ministerio de Educación, Cultura y Deportes. (2014). Real Decreto 592/2014, de 11 de julio, por el que se regulan las prácticas académicas externas de los estudiantes universitarios. Boletín Oficial del Estado, núm. 184, pp. 60502-60511.
- Ministerio de Educación y Formación Profesional. (2023). Registro Único de Centros de Formación Profesional. <https://educacion.gob.es/ruct/home> last accessed 2023/02/28
- Ministerio de Presidencia. España, Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación, Boletín Oficial del Estado, núm. 266 de 06/11/1999.
- Ministerio de Universidades (2021) Real Decreto 822/2021, de 28 de septiembre, por el que se establece la organización de las enseñanzas universitarias y del procedimiento de aseguramiento de su calidad. Boletín Oficial del Estado, núm. 233 de 29/09/2021.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2017). Economía Circular, Pacto. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/pacto/> last accessed 2023/05/02
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). Plan de acción de economía circular 2021-2023 estrategia española de economía circular. https://www.ecologiahumana.org/wp-content/uploads/2021/08/Plan_de_accion_EECC_2021_2023.pdf last accessed 2023/02/27
- Observatorio 2030. (2020). La construcción en España: Industria esencial y segura. Recuperado de <http://www.observatorio2030.com/sites/default/files/2020-07/La%20construcci%C3%B3n%20en%20Espa%C3%B1a%20Industria%20esencial%20y%20segura.pdf> last accessed 2023/03/01
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). Transformando nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://www.un.org/es/development/desa/publications/agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible.html> last accessed 2023/02/26
- Palomar Carnicero, J. M., & Rey, F. J. (2022). Análisis de ciclo de vida acv en edificios sostenibles y descarbonizados. Paraninfo.

- RCDA. (2017). Informe de Producción y Gestión de RCD en España, Periodo 2011-2015. <https://rcdasociacion.es/wp-content/uploads/2022/04/Informe-RCDA-11-15.pdf> last accessed 2023/03/01
- Rey Martínez, F.J., Velasco Gómez, E., Rey Hernández, J. M. San José Alonso, J. F. Tejero González, A., & Esquivias Fernández, P. M. (2020). Diseño y gestión de edificios de consumo de energía casi nulo (1ª). Madrid: Paraninfo.
- RUCT. (2023) Registro de Universidades, Centros y Títulos del Ministerio de Universidades. <https://www.educacionyfp.gob.es/servicios-al-ciudadano/catalogo/centros-docentes/servicios-generales/ruct.html> last accessed 2023/03/02
- Universidad de Castilla-La Mancha UCLM (2008) normativa sobre la elaboración y defensa de los trabajos fin de máster en la Universidad de Castilla-La Mancha. <https://e.uclm.es/servicios/doc/?id=UCLMDOCID-12-27> last accessed 2023/03/08
- Universidad de Castilla-La Mancha UCLM (2023) Experto en economía Circular y territorio. <https://www.uclm.es/estudios/propios/experto-economia-circular-territorio> last accessed 2023/03/08

Formación dual universitaria: revisión de experiencias pioneras en la Comunidad Autónoma Vasca

Peñalba Otaduy, Miriam

^a Escuela de Ingeniería de Gipuzkoa, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Plaza de Europa 1, Donostia-San Sebastián. miriam.penalba@ehu.eus

Abstract

Royal Decree 822/2021 introduces for the first time, at national level, the possibility of integrating work-based learning into university education pathways. In March 2022, the Spanish Network of University Quality Agencies published the protocol for the inclusion of the dual mention, so the experience in the application of this protocol is still very limited.

On the other hand, the Basque regional agency Unibasq has been working on the certification of a Dual Label for university degrees since 2017, when they published their first protocol. This Label was consolidated from a regulatory point of view when, in its ORDER 4067 of 27 July 2018, the Basque Autonomous Community defined the categorisation of official Bachelor's and Master's degree courses according to the level of implementation (basic, intermediate and advanced) of three vectors:

- (a) Training based on innovative methods and methodologies.
- b) Internationalisation.
- c) Relations with companies, institutions and other entities. The categorisation of a university degree as "advanced" in this last vector would be equivalent to the previously defined Dual Label.

This work makes a reflection based on the experience accumulated over the years, aiming that it might help to centres that are considering designing a dual degree. More precisely, the following points are analysed:

- What is the current dual university offer in the BAC? Is it distributed homogeneously among the different academic areas?
- Comparison between the two protocols.
- Study of the recommendations or mandatory aspects that appear in the reports issued by the Basque agency in the process of accreditation of the Dual Label.
- Case studies with interviews to responsables for the implementation of some dual degrees in the field of engineering.

Keywords: Work-based learning, University degree, Accreditation protocol

1. Introducción y objetivos

Las reflexiones acerca de la influencia de la educación universitaria en el desarrollo económico y social han conducido a un proceso de acercamiento entre la universidad y el mundo empresarial, de trascendencia incuestionable en el entorno europeo. Este acercamiento ha llevado, entre otras iniciativas, a impulsar la formación dual en las universidades. Aunque existen experiencias previas en otros países del Espacio Europeo de Educación Superior, en el estado español es el Real Decreto 822/2021 el que introduce por primera vez la posibilidad de impartir itinerarios duales en titulaciones universitarias a nivel estatal. En marzo de 2022 la Red Española de Agencias de Calidad Universitaria publica el protocolo para la inclusión de la mención dual, por lo que la experiencia en la aplicación de dicho protocolo es aún muy escasa.

Sin embargo, la agencia regional vasca Unibasq, lleva trabajando en la certificación de un Sello Dual para titulaciones universitarias desde 2017, cuando se publicó por primera vez el protocolo para ello. Dicho sello se consolidó desde el punto de vista normativo en la ORDEN 4067 de 27 de julio de 2018 de la Comunidad Autónoma Vasca. Así pues, existe cierta experiencia acumulada correspondiente al periodo 2018-2021.

Toda la documentación generada por la Agencia regional Unibasq es pública y está accesible en su página web. En ella se detallan, entre otras cosas, tanto las titulaciones que han recibido el informe favorable para el sello dual como el contenido de dichos informes.

Este trabajo realiza una reflexión en base a la información recogida en la web mencionada (en particular resultan muy interesantes las recomendaciones acumuladas en los informes para la obtención del sello) así como en entrevistas con representantes de algunos de los centros que han implantado itinerarios o titulaciones duales. Para ello, se reúne información acerca de las diferencias entre los dos protocolos, de la oferta dual actual, de las principales recomendaciones realizadas por la Agencia así como de las dificultades encontradas por los centros en el proceso de implantación. El objetivo es generar un documento de síntesis que pueda ser de ayuda para aquellas facultades o escuelas que se estén planteando la posibilidad de implementar un itinerario dual.

2. Metodología

El análisis de la información se ha estructurado en cuatro partes. En la primera se realiza una comparativa entre "Protocolo de evaluación para la inclusión de la Mención Dual de la Red Española de Agencias de Calidad Universitaria (REACU)", aprobado en la reunión de REACU de 2 de marzo de 2022 y los protocolos utilizados por Unibasq desde que se publicara el primero en 2017 (<https://www.unibasq.eus/es/%c2%b7-nuevo-observatorio-de-la-actividad-de-las-universidades-vascas-y-avances-en-la-formacion-dual-universitaria/>). En la segunda se analiza la distribución de titulaciones a lo largo de los años y su reparto por universidades, niveles académicos y ramas o áreas de conocimiento. En la tercera se recogen las recomendaciones o aspectos de obligado cumplimiento que aparecen con más frecuencia en los informes emitidos por la agencia en los procesos de reconocimiento del sello. Por último, se resumen las principales dificultades con las que se han encontrado algunos los responsables de los títulos impartidos con este sello.

3. Resultados

3.1. Comparativa entre ambos protocolos

La REACU, en un documento de poco más de dos páginas, recoge la información respecto al itinerario dual que es necesario presentar para su eventual acreditación. De acuerdo al Real Decreto 822/2021 los aspectos principales son los siguientes:

1. Información sobre el diseño del Proyecto formativo común: justificación, número de plazas, asignaturas y módulos implicados de forma que se satisfagan los porcentajes de créditos mínimos. Cómo se garantiza la adquisición de competencias del plan de estudios de la titulación.

2. Criterios de acceso del estudiantado. Qué criterios de acceso y selección se van a aplicar y, en su caso, cómo se organizaría la movilidad. Cómo se garantiza la posibilidad de abandonar el itinerario dual y volver al itinerario general.

3. Criterios de colaboración con las entidades. El estudiante tendrá un contrato laboral en la entidad, pero además debe haber un convenio que regule las cuestiones académicas y relacionadas con el proyecto formativo común.

4. Personal académico, de apoyo a la docencia y de tutorización en la Entidad. Debe quedar constancia de que existen esos recursos y de cómo se van a coordinar en sus actividades formativas.

5. Recursos para el aprendizaje en la universidad y entidad. Se debe justificar la existencia de los recursos materiales, infraestructuras y servicios, necesarios para llevar a cabo el plan formativo.

Respecto al protocolo Unibasq, hay que tener en cuenta que ha tenido una evolución desde su versión inicial, de 2017, hasta la versión de octubre de 2020, que está publicada actualmente junto con el protocolo REACU. La primera diferencia que llama la atención, es el porcentaje mínimo de créditos a cursar en la entidad. Como se puede ver en la Tabla 1, el sello vasco se planteó con unos porcentajes más altos que los marcados por el RD 822/2021. En todos los casos se considera que “*Dentro de tales porcentajes deberá incluirse el trabajo fin de Grado o de Máster.*”

Tabla 1. Porcentaje mínimo de créditos a cursar en la Entidad para poder obtener la mención o sello Dual

Fuente: Elaboración propia

Protocolo Unibasq octubre 2017	Protocolo Unibasq octubre 2020	Protocolo REACU marzo 2022
<ul style="list-style-type: none"> • Para grado, entre el 25% y 50% del total del grado. • Para máster, mínimo 40% o al menos 30 ECTS. 	<ul style="list-style-type: none"> • Entre el 25 y el 50 por ciento de los créditos, en títulos de Grado de al menos 240 créditos. • Entre el 20 y el 40 por ciento de los créditos, en títulos de Grado de 180 créditos. • Al menos el 40 por ciento de los créditos en títulos de Máster Universitario. 	<ul style="list-style-type: none"> • Entre el 20 y el 40 por ciento de los créditos, en títulos de Grado. (todos ellos de 240 ECTS) • Entre el 25 y el 50 por ciento de los créditos en títulos de Máster Universitario.

Continuando con la comparativa, el protocolo Unibasq era más breve en la versión de 2017, pero la de 2019 recoge en seis páginas las especificaciones respecto a los puntos principales. Es decir, incorpora básicamente los mismos contenidos que el protocolo REACU pero con bastante más detalle. Vista la evolución en cuanto a su longitud del propio protocolo Unibasq, cabe suponer que está relacionada con la experiencia acumulada al evaluar las propuestas y la necesidad de dar más detalles respecto a cómo se deberían justificar los distintos aspectos. Se pueden resaltar los siguientes puntos:

- El protocolo Unibasq es bastante más exhaustivo respecto a los contenidos, tanto de los convenios con la entidad (denominados *convenios de colaboración educativa* en el protocolo REACU) como de los protocolos de evaluación.

- En su punto 2. *Justificación*, se le da mucha importancia a hacer visible la participación que ha tenido la entidad en el diseño y la implantación del itinerario.

“Se explicará el grado y la forma de participación de las entidades participantes tanto en el codiseño como en la implantación del título o el itinerario dual que demuestre la necesaria implicación de éstas en el día a día de la titulación o itinerario. Es decir, se deberá garantizar que la entidad es un agente activo en la titulación y en las actividades de enseñanza-aprendizaje, y no, por ejemplo, una mera receptora de alumnas y alumnos que realicen actividades prácticas en sus dependencias o en colaboración con ella”

- Además, en el caso de que se trate de un itinerario dual (y no de que la titulación completa, todos sus estudiantes, estudien en alternancia), se debe justificar la diferencia en la forma de adquirir las competencias implicadas en el itinerario, entre el alumnado del mismo y el sigue plan general.

“Para una adecuada justificación en el caso de que sea un itinerario, se deberá realizar una comparativa directa y explícita entre la formación dual y no-dual específica del título, que ponga de manifiesto la diferencia en la forma de adquisición de competencias y sus efectos en los resultados de aprendizaje del alumnado.”

- Por otra parte, en lo referente a los recursos personales, en relación a los tutores en la entidad, se piden detalles respecto a su formación y experiencia en el puesto.

“En el caso del tutor/mentor o tutora/mentora de la entidad o las entidades, se concretará su experiencia y la dedicación que se pone a disposición del estudiante o la estudiante dual, en su caso. Debido a la importancia de la función que desempeña la persona que participa en la formación del alumno o la alumna en la entidad, se podrán establecer una serie de requisitos curriculares que aseguren la calidad de la mentoría” (Protocolo Unibasq octubre 2020)

En este sentido, el protocolo Unibasq de 2017 incluía una reflexión muy interesante que actualmente ha desaparecido:

“6. Personal académico

“Se deberá indicar el perfil del profesorado académico participante en la formación dual y la formación recibida sobre dicho modelo. Asimismo, se señalará el perfil del tutor o tutora de la entidad y la formación recibida sobre el modelo de formación dual.” (Protocolo Unibasq 2017)

- Para finalizar, una diferencia importante es que se añade un último punto, presente desde la versión inicial del protocolo, respecto al Sistema de Gestión de Calidad del título:

“9. Sistema de garantía de la calidad.

Se presentarán los procedimientos relacionados con el diseño y planificación de la titulación dual, seguimiento de su implantación y cumplimiento, a través de la medición de la satisfacción y la identificación de necesidades y expectativas, y mejora en función de los resultados anteriores.” (Protocolos Unibasq 2017 y 2020)

3.2. Evolución del mapa de titulaciones con sello dual

En la Tabla 2 se resume la oferta de itinerarios (I) y titulaciones completas (TD) en formato dual de las tres universidades de la Comunidad Autónoma Vasca. La oferta de cada Universidad está separada en los niveles académicos de Grado y Máster, y además ordenada temporalmente en función de la fecha en la que la agencia emitió su informe favorable. Esta fecha nos orienta respecto al curso en el que se empieza a impartir dicho itinerario o titulación. Se adjunta también información acerca del número de plazas y la rama a la que pertenece el título. Aquellas titulaciones clasificadas en la rama Ingeniería y Arquitectura aparecen caracterizadas como IyA, para las Ciencias Sociales y de la Comunicación se utiliza CSyC.

Tabla 2. Distribución de las titulaciones duales de grado y máster en cada universidad

Fuente: Elaboración propia a partir de la información disponible en el portal web de Unibasq

	Fecha informe favorable	I/ TD	Rama	Plazas
UPV/EHU				
GRADOS				
Administración y Dirección de Empresas (Facultad de Economía y Empresa. Sección Guipúzcoa)	may-18	I	CSyJ	25
Ingeniería en Automoción	may-18	TD	IyA	40
Relaciones Laborales y Recursos Humanos	may-18	I	CSyJ	10
Ingeniería en Innovación de Procesos y Productos	may-18	TD	IyA	50
Administración y Dirección de Empresas (Facultad de Economía y Empresa)	oct-19	I	CSyJ	25

Ingeniería en Organización Industrial	oct-19	I	IyA	15
Ciencia Política y Gestión Pública	jul-20	I	CSyJ	4
Comunicación Audiovisual	jul-20	I	CSyJ	4
Periodismo	jul-20	I	CSyJ	11
Publicidad y Relaciones Públicas	jul-20	I	CSyJ	11
Sociología	jul-20	I	CSyJ	4
TOTAL plazas				199
MASTERES				
Ingeniería de Sistemas Empotrados	may-18	I	IyA	15
Periodismo Multimedia	may-18	TD	CSyJ	20
Fabricación Digital-Digital Manufacturing	ago-18	TD	IyA	20
TOTAL plazas				55
Universidad de Deusto				
GRADOS				
Relaciones Laborales	may-18	I	CSyJ	3
Industria Digital	oct-18	TD	IyA	40
Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática	oct-19	I	IyA	10
Ingeniería en Organización Industrial	oct-19	I	IyA	10
Ingeniería Mecánica	oct-19	I	IyA	10
Ingeniería Robótica	oct-19	I	IyA	15
Turismo	oct-19	I	CSyJ	20
Administración y Dirección de Empresas	jul-21	I	CSyJ	10
TOTAL plazas				118
MASTERS				
Diseño y Fabricación en Automoción	oct-18	TD	IyA	30
Ingeniería Industrial	oct-19	I	IyA	20
Ingeniería Informática	oct-19	I	IyA	10
TOTAL plazas				60
Universidad de Mondragon				
GRADOS				
Administración y Dirección de Empresas	may-18	I	CSyJ	55
Ingeniería Biomédica	may-18	I	IyA	8
Ingeniería de la Energía	may-18	I	IyA	8
Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto	may-18	I	IyA	14
Ingeniería en Ecotecnologías en Procesos Industriales	may-18	I	IyA	8

<u>Ingeniería en Electrónica Industrial</u>	may-18	I	IyA	9
<u>Ingeniería en Informática</u>	may-18	I	IyA	12
<u>Ingeniería en Organización Industrial</u>	may-18	I	IyA	8
<u>Ingeniería Mecánica</u>	may-18	I	IyA	19
<u>Ingeniería Mecatrónica</u>	may-18	TD	IyA	40
<u>Comunicación Audiovisual</u>	jul-21	I	CSyJ	15
<i>TOTAL plazas</i>				196
MASTERES				
<u>Diseño Estratégico de Productos y Servicios</u>	may-18	I	IyA	25
<u>Energía y Electrónica de Potencia</u>	may-18	I	IyA	14
<u>Ingeniería Industrial</u>	may-18	I	IyA	50
<u>Sistemas Embebidos</u>	may-18	I	IyA	14
<u>Tecnologías Biomédicas</u>	may-18	I	IyA	15
<u>Habilitación Docente para el Ejercicio de las Profesiones de Profesor de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanzas de Idiomas</u>	abr-19	I	CSyJ	8
<u>Análisis de Datos, Ciberseguridad y Computación en la Nube</u>	oct-19	I	IyA	15
<u>Robótica y Sistemas de Control</u>	oct-19	I	IyA	24
<u>Dirección Contable y Financiera</u>	sep-21	I	CSyJ	5
<u>Gestión Estratégica del Talento de las Personas</u>	sep-21	I	CSyJ	12
<u>Internacionalización de Organizaciones</u>	sep-21	I	CSyJ	6
<u>Marketing Digital</u>	sep-21	I	CSyJ	15
<i>TOTAL plazas</i>				201

En la Figura 1, se muestra la evolución en el tiempo del número de titulaciones con el sello dual activo. Se distingue entre los niveles académicos de Grado y Máster, así como la rama a la que pertenece la titulación.

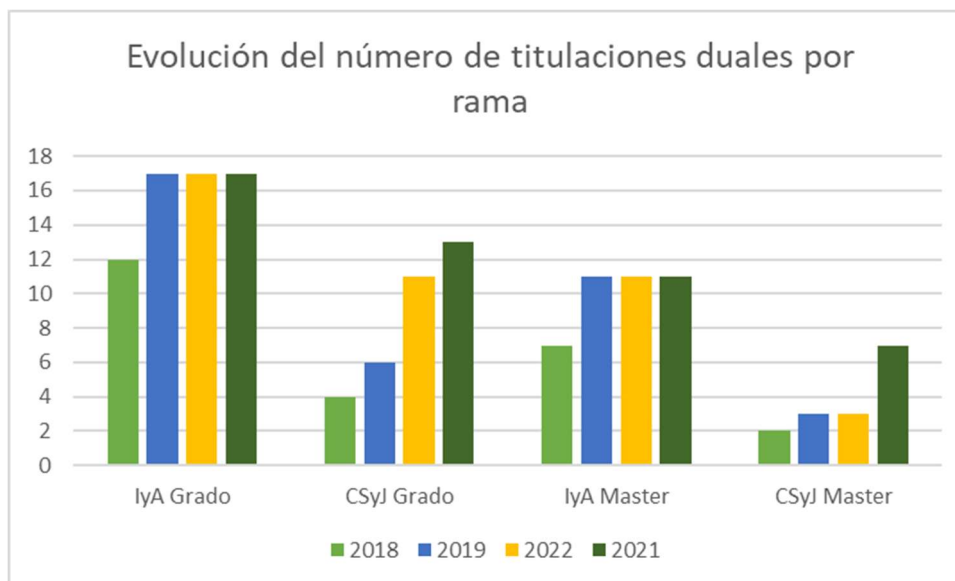


Figura 1. Evolución del número de titulaciones en función de la rama o área de conocimiento y distinguiendo nivel de Grado o Máster

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, la oferta se focaliza en dos ramas. Ingeniería y Arquitectura es el área con mayor oferta, seguida de Ciencias Sociales y Jurídicas. En el resto de las ramas no existe ningún título de este tipo. Atendiendo a la evolución temporal, se observa que en una primera fase, tanto en Grado como en Máster, la mayoría de las titulaciones corresponden al área de las enseñanzas técnicas pero más adelante se incorporan a la oferta de titulaciones de Ciencias Sociales y Jurídicas. La rapidez con la que se acreditan titulaciones técnicas puede deberse a la experiencia previa de colaboración universidad-empresa para la realización de TFG/TFMs y prácticas del Alumnado, así como al interés por parte de las empresas industriales por este tipo de formación. En muchos casos, han tenido experiencias previas de formación dual con estudiantes de formación profesional, lo que ayuda a superar las reticencias y miedos iniciales ante una oferta formativa diferente.

En la Figura 2, se muestra la evolución del número total de titulaciones ofertadas por cada universidad del sistema universitario vasco. La Universidad del País Vasco aparece etiquetada como UPV/EHU, y las privadas Universidad de Deusto y Universidad de Mondragón aparecen como Deusto y MU respectivamente. Se distingue entre los niveles académicos de Grado y Máster. En el caso de la UPV/EHU, la evolución al alza en el número de grados es debida a la incorporación de varias titulaciones de Ciencias Sociales y Jurídicas en 2019. Lo mismo sucede con el aumento de los grados de Deusto y de los másteres de MU. Si analizamos tanto el número de titulaciones como el de plazas ofertadas, podríamos decir que la mayor oferta en Grado corresponde a UPV/EHU y MU. Tienen una oferta similar, con algunas plazas más en la primera. En las titulaciones de Máster, destaca la oferta de MU, que prácticamente iguala en número de titulaciones y plazas a su oferta de grado.

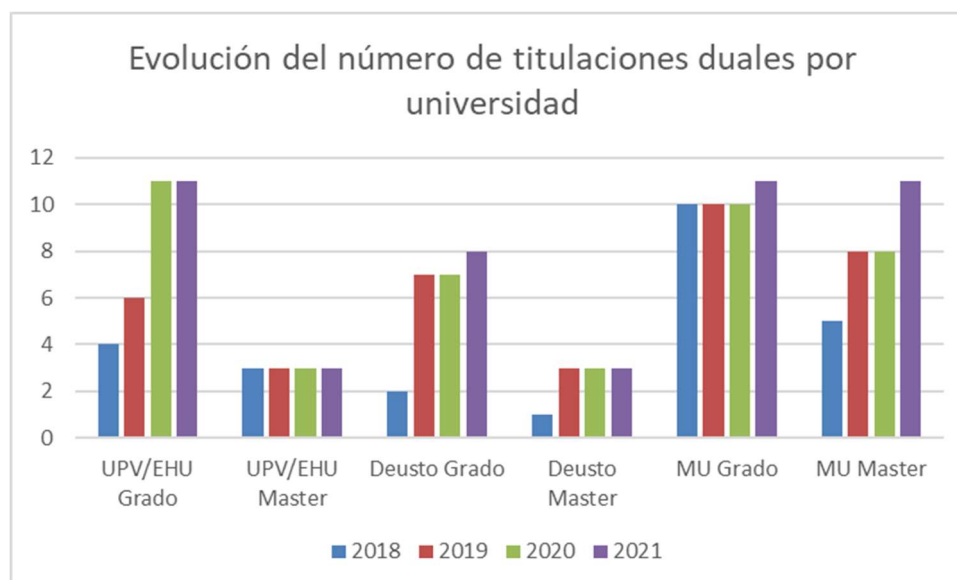


Figura 2. Evolución del número de titulaciones ofertadas por cada universidad, separadas en nivel de Grado y Máster.

Fuente: Elaboración propia

En general, excepto en las titulaciones totalmente duales o en aquellas con un número de plazas muy alto, la oferta de plazas en los itinerarios duales es pequeña. Como se observa en los informes para el reconocimiento del sello dual, es habitual que las universidades planteen un número muy bajo de plazas iniciales, con perspectivas de ir aumentándolo poco a poco. Se trata de una experiencia nueva para todos y es normal hacer planteamientos desde la prudencia.

Por otra parte, desde 2021, debido a la incertidumbre generada con la publicación del RD 822/2021, no hay nuevas titulaciones con el sello dual, aunque la publicación del protocolo REACU normaliza la situación y previsiblemente reactivará el número de solicitudes.

3.3. Recomendaciones más frecuentes

A pesar de que los informes analizados son aquellos que han resultado favorables, hay algunas recomendaciones que parecen con frecuencia. Entre ellas cabe destacar las siguientes:

- Es frecuente que la agencia considere que el número de empresas que han formalizado un compromiso con la facultad o escuela responsable del título para acoger al alumnado en formación dual no es suficiente para garantizar la viabilidad del itinerario. Aumentar el número de convenios suele ser un aspecto de obligado cumplimiento en el seguimiento.
- A menudo se pide aclarar los mecanismos de selección del alumnado y de asignación de entidad a la que se incorporarán.
- Se subraya la necesidad de distinguir claramente entre las prácticas habituales de los estudiantes y las estancias en empresa del itinerario dual, tanto en su contenido, actividades y competencias, como en el seguimiento de las mismas y su evaluación. En este sentido, son frecuentes recomendaciones para mejorar los protocolos de seguimiento del estudiante, se exige también explicitar los compromisos de los tutores de empresa, así como las vías y la frecuencia de la comunicación entre los tutores en la empresa y la universidad.
- Algo parecido sucede con los modelos de convenio a 3 partes (empresa, estudiante, universidad) que regulan tanto los aspectos prácticos como los académicos de la estancia del estudiante en la empresa. En los primeros años, era habitual que las universidades utilizaran como punto de partida sus modelos de convenio de cooperación educativa. Hay múltiples recomendaciones solicitando cambios en los contenidos y la terminología, insistiendo en distinguir claramente los modelos de convenio de formación dualG de los de cooperación educativa.
- Respecto al SGIC, la agencia exige con frecuencia que se definan y se integren en el Sistema los procesos y procedimientos relacionados con la gestión y seguimiento del itinerario dual.

f) Otro aspecto recurrente es relativa a los formadores de la empresa: cómo se seleccionan, qué titulación y/o experiencia tienen en su puesto de trabajo, si han recibido formación respecto a su papel como tutor en formación dual...

3.4. Experiencias de los centros

A partir de conversaciones con equipos directivos de centros universitarios y de las aportaciones recogidas en grupos focales con empresas del entorno, se pueden identificar algunos aspectos que son percibidos como obstáculos en la implantación de los itinerarios duales.

Cuando se gestiona un itinerario dual y, por diversas razones, hay dificultades para encontrar empresas, siempre se puede disminuir temporalmente el número de plazas argumentándolo posteriormente en el seguimiento. Sin embargo, cuando toda la titulación es dual, no existe esa salida. La situación vivida durante la pandemia, en los cursos 2019-20 y 2020-21, ha sido muy dura para los centros con este tipo de titulaciones.

Un aspecto importante de los itinerarios duales es en qué fase se introducen las estancias en empresa. La opinión que las empresas nos han transmitido en los grupos focales organizados en nuestro centro, es que para un itinerario dual prefieren estudiantes en la última fase del grado o estudiantes de máster. Desde las empresas se ve con mucho respeto y cierto miedo “la responsabilidad de que el estudiante adquiera conocimientos, no solo destrezas prácticas”. Además, consideran que el nivel de madurez del alumnado de los primeros cursos a veces no es suficiente. Por otra parte, la obligación de que la empresa les retribuya económicamente se ve como un freno en el caso de estudiantes de los primeros cursos. En nuestro entorno tenemos algún itinerario dual que ha tenido problemas importantes en este sentido porque las estancias en empresa se inician desde el segundo curso.

En cuanto a los aspectos positivos, la puesta en marcha de un itinerario dual es una vía de acercamiento y colaboración con empresas de la que pueden surgir proyectos a otro nivel. Los TFGs o TFMs, que necesariamente se realizarán en la empresa, pueden ser el primer paso. Por otra parte, y este es un punto importante, la valoración que realizan los estudiantes de la experiencia suele ser excelente.

4. Conclusiones

Tras varios años desde la puesta en marcha del sello dual para titulaciones universitarias en la CAPV, han recibido la mención un total de 48 titulaciones. Algo más de la mitad pertenecen al área de las Enseñanzas Técnicas y el resto a las Ciencias Sociales y Jurídicas. A la vista de la evolución temporal de las solicitudes parece que, en las enseñanzas técnicas, la colaboración con la empresa surge de forma más natural que en otras áreas. Es muy probable que esto sea aplicable a la Ingeniería de Edificación y/o la Arquitectura Técnica. Por otra parte, el trabajo realizado por los centros y universidades con títulos o itinerarios duales ha permitido desarrollar un “saber hacer” que puede ser aprovechado por el resto de las universidades del estado y facilitar su camino.

Referencias

ORDEN 4067 de 27 de julio de 2018 de la Comunidad Autónoma Vasca, <https://www.euskadi.eus/bopv2/datos/2018/08/1804067a.pdf>

Protocolo de Evaluación para la Inclusión de la Mención Dual de REACU, https://www.unibasq.eus/wp-content/uploads/2022/06/2022-03-02_REACU_ProtocoloEvaluacionInclusionMencionDual.pdf

Sitio web de UNIBASQ (sello Dual) , <https://www.unibasq.eus/es/titulos-sellos/>, ultimo acceso 18/06/2023.

Sustainability-based analysis of deontological codes in technical architecture

Alva, Aleix^a, Bosch González, Montserrat^b

^a Universitat Politècnica de Catalunya, ETSAB, Av. Diagonal, 649, 08028 Barcelona. aleix.alva@upc.edu, ^b

Universitat Politècnica de Catalunya, EPSEB, Av. Dr. Marañón, 44-50, 08028 Barcelona.

montserrat.bosch@upc.edu

Abstract

In the context of the current climate and biodiversity emergencies, the significant impact of technical architecture in the ecosystem is by far the greatest ethical implication of the profession. As such, it should be the backbone of every up-to-date deontological code. In this work we review the extent to which current deontological codes in Spain address sustainability-related issues and provide constructive criticism with the aim to contribute to their needed improvement. We also propose an upgrade of the classical framework between client and professional that includes Nature not as a third-party issue, but as a subject in its own right.

Keywords: Ethics, Technical architecture, Ecosystem, Sustainability, Ecological impact, Building engineering, Deontological code

1 Introduction

Across the world, buildings are responsible for 37% of greenhouse emissions (United Nations Environment Programme, 2021), 30% of global final energy draw (IEA, 2022) and over 35% of the EU's total waste generation (European Commission, n.d.). They are main contributors to the two big crises of our era, global heating and loss of biodiversity, through extensive pollution of soil, air and water and also through indiscriminate destruction of wildlife habitats (Greenfield et al., 2022). Such impact of the building profession on the ecosystem needs to be addressed from an ethical point of view, since actions (and lack of them) in this field will be determinant in the course of such crises.

The extent of these impacts needs to be on a par with the profession's accountability, which is a challenge that universities must face with will and determination, but also with resources and through an acute awareness-raising process that cannot be delayed any further. Classrooms are where our future lies and most efforts need to be focused there. Already in 2005, the Conference of Rectors of Spanish Universities (CRUE) published a set of "Guidelines for the Inclusion of Sustainability in the Curriculum" (CRUE, 2005) and, more recently, a series of manifestos for "integrating SDG's into university education" (CRUE, 2022), "biodiversity and climate" (CRUE, 2023) and "the role of university in sustainable agri-food" (CRUE, 2021).

According to the *Guidelines for the Introduction of Sustainability in the Curriculum*, approved by the Conference of Rectors of Spanish Universities (CRUE) in 2005 (and extended in 2011), curricula should contain several principles, including ethics. The same document proposed the Transversal *SOS4 Competence in the application of ethical principles related to the values of sustainability in personal and professional behaviour*, which implied the revision of the curricula and the inclusion of sustainability criteria in evaluation systems. Based on this premise and thanks to the institutional impulse given by the proposal of a Pilot Plan of Competences in Sustainability and Social Commitment, a review of the competences in the academic curriculum of the Degree in Technical Architecture were carried out during the academic years 2020/21 and 2021/22.

One of the activities proposed by these guidelines was the extent to which ethical aspects are addressed in the syllabus. From laws and regulation to social commitment and corporate social responsibility, these sustainability-related aspects should be introduced in the first courses in order to make the students aware of the deontological codes of their future profession. However, the challenges are not only on the students' side and sometimes they show more ecological and social awareness than the degrees' syllabuses. On their 2022 graduation ceremony, a group of students denounced the enormous gap between the training received and their environment-related ideas and values (Cerveaux Non Disponibles, 2022). They symbolically refused their degree while saying: "let's not waste our time, and most of all, let's not allow our boiling energy to escape from somewhere inside us". They encouraged their classmates to abandon their workplace when directly related to "social and ecological devastation". After gasping in surprise, the public burst into applause.

Consequently, a revision of current deontological codes in Spain to elucidate the extent to which they are up to date with the social and ecological challenges of our present world is of critical importance before their dissemination in the syllabus is promoted. With this goal, we compare here the two Deontological Codes for Technical Architecture available in this country in order to identify the degree of their commitment to sustainability issues and with the aim to provide suggestions for a better alignment between the profession of construction and the avoidance of ecological destruction.

2 Goals and methodology

The main goal of this work is twofold. On the one hand we address the professional deontological codes available in Spain with a close reading and a critical analysis of them in terms of sustainability. On the other hand we bring sustainability into focus twenty years after universities of Spain, through the CRUE, began to incorporate this set of competences into the academic curricula.

The methodology of this text is organised from a global (Technical Architecture Schools) to a more local scale (University and Schools). Firstly, we analyse the two available deontological codes of Technical Architecture in Spain, one from the Spanish College (Consejo General de la Arquitectura Técnica en España, 2014) and the other from the Catalan College (Consell de Col·legis D'Aparelladors Arquitectes Tècnics i Enginyers D'Edificació de Catalunya, 2016). We perform a close reading of these documents focusing on eco-linguistic analysis, counting keyword occurrences, distilling relevant aspects and performing comparisons between them.

This hopefully constructive criticism aims to address the Review Commission of the General Council that, according to the deontological code of Spain, will study and modify its document after three years. Being the last version from 2014, we think it is time for this feedback-and-update mechanism to align with the current emergency scenario.

Secondly, we review existing ethics-related documents in the [Universitat Politècnica de Catalunya \(UPC\)](#), some of them stemming from the already cited CRUE documents. The list of UPC documents includes: the UPC Code of Ethics (Code of Ethics of the Universitat Politècnica de Catalunya, 2022), a compilation of cohabitation rules (Normes de convivència de la UPC, 2023), a decalogue of recommendations and an Integrity Code (Code of Research Integrity of the Universitat Politècnica de Catalunya, 2022).

3 Deontological codes in Spain: criticism

3.1. Linguistic analysis

Deontological codes, understood as sets of moral duties associated with a profession, are an essential tool to regulate practices and behaviours that may cross the lines of what is considered acceptable from an ethical perspective. Thus, it is of capital importance that Technical Architecture Colleges (the organisms responsible of these documents) draw these lines with standards high enough to keep the quality of the profession at the maximum level. Such requirements evolve with time and, given the impacts of the profession on the ecosystem and the societies that depend on it, these codes need to be updated, not only in content but also in the language they use, both aspects being equally important.

We have detected two distinct deontological codes now in force. On the one hand, the code of the Spanish Council of Technical Architecture, approved in 2008 and modified in 2014. On the other, the code of the Catalan Council, approved in 2016. The later is the deontological reference for the five Catalan Professional Colleges, whereas the former is the reference text for the rest of Colleges in Spain.

Table 1. Keyword occurrence analysis of deontological codes in Spain. Keywords are searched under unifying all characters to ASCII, and by using wildcards represented by an asterisk (*) or by negated wildcards !(*). All searches are case insensitive. When the keyword differs between Spanish and Catalan languages they are separated by a forward slash (/). When different from English, the equivalent keywords are also written in this language, in parenthesis. All searches have been performed with the Vim text editor.

Keyword	Occurrences (Spanish code, 4997 words)	Occurrences (Catalan code, 6708 words)
etic* (ethic*)	3	1
sostenib* (sustainab*)	1	4
ambient (environment*)	2	5
natura* (natur*)	0	0
client*	6	36
econ*	2	11
ecol*	0	0
libre*/lliure* (free!(d)*)	3	4
liber*/lliber (freed*)	1	1
individ*	0	3
sociedad/societat (society)	0	9
social*	1	3
compet*	14	15
coop*	0	0
colab*/col·lab* (collab*)	8	9

A first approach to these documents under an eco-linguistic analysis consists in a frequency count of keywords that are relevant to our exposition. In Table 1 we show the keyboards used and their frequencies. We can see how $N(\text{ethic}^*)$ (meaning the number of occurrences of the keyword in parenthesis) is surprisingly low, given the

nature of the documents. Focusing in the main topic of this text, we find how $N(\text{sustainab}^*)$ and $N(\text{environment}^*)$ are low as well, despite being the target of the worst impacts of this field. The Catalan code shows slightly but not significantly higher N's for these keywords. *Natur*^{*} does not make a single appearance whereas *client*^{*} is ubiquitous, significantly more in the Catalan text. Furthermore, $N(\text{ecol}^*) = 0$ while $N(\text{econ}^*)$, especially in the Catalan text, shows a greater number of occurrences. These differences already reveal significant trends, which are oriented towards people and economic matters. Interestingly, $N(\text{free}^*)$ is high, but all occurrences of this keyword are in the lack-of-restriction sense. The classical meaning of the term, to be the rational master of your own actions and will, being able to differentiate between what is truly wanted, long term, and what is just desired, short term, is never mentioned in these texts, which are aligned along the short-sighted professional-client axis.

A positive result in the Catalan text is that society-related terms are more frequent than those focused on the individuals. It is worth mentioning that from *society* and *social*^{*} we have removed all results referred to the professional society, which were many and unrelated to the analysis at hand, where only society in general is meaningful. As we will discuss later, societal and ecological issues are inseparable, hence their presence in this analysis. Finally, $N(\text{compet}^*)$ is significantly high in both texts, while *coop*^{*} does not even appear and *collab*^{*} has lower numbers than its competition-related counterpart. In essence, this keyword-occurrence analysis reveals an ideology of this field, being predominantly focused on an unrestrained market scenario where competition and economy-centred aspects are dominant, while Nature, despite being the source of all resources, is left aside without prominence and with neither official representative figures nor cooperative terms to support it.

3.3. Close reading

3.3.1. List of topics

By closely reading the two deontological codes we can distil the most relevant topics regarding the interests of Nature in the building field. Sorted from more general to more construction-related, they are 1) Conflicts of interests: *ecol*^{*} vs *econ*^{*}, 2) Human supremacism, 3) Ethics and moral, 4) Socioecology, 5) Freedom, 6) Loyalty and Legality, 7) Alienation from Nature, 8) Scientific attitude, 9) Economy, 10) Education vs Training, 11) Public Administration, 12) Whistleblowing, 13) Disqualification system, 14) Risk prevention, 15) Degradation ladder, 16) Reaction mechanisms. We proceed to discuss each topic in separate subsections.

3.3.2. Conflicts of interest: ecol vs econ**

The stark and undeniable collision between the (short-termed) interests of (industrialised) humans and Nature (Ceballos et al., 2017) is the single most important issue to consider when studying the interaction between the building construction field and the ecosystem. Rationally speaking, our long-term interests are deeply aligned with the interests of Nature, since our very existence, let alone our professional activity, is not even possible without a healthy natural world. However, a greedy and unrestrained framework dominates the field (Fuller, 2022), hence the aforementioned collision. Just as the obscure art of astrology evolved towards the science-oriented discipline of astronomy, so too economy needs to transition to ecology if we want to overcome this self-destructing scenario. Preserving Nature is, or should be, our first interest. Compared to this, everything else is secondary.

The Spanish code states that “members shall refrain from accepting assignments/work where there is a possibility of collision of interests or unfair competition”. In this sense, the written framework is adequate. What is missing is the scope of interests that are to be considered. Even though there is a Deontological or Disciplinary Commission of the College, and even if it is in the best interest of the College to sustain a healthy ecosystem, there is a need for independent institutions regulating conflicts of interests with it, since professional Colleges, after all, represent one side of this conflict, and such important matters cannot only rely on good will.

3.3.3. Human supremacism

In the classical humanist view, the world is inhabited, on the one hand, by people, who possess free will. On the other hand, there are also (other) animals, which barely surpass the label of mere automata, whereas other even “lesser” beings like plants are just things (Savater, 2004). Overall, the world is divided into humans and resources for humans, both from philosophical and legal points of view. Until the late 20th century, only a few foresaw the consequences of this way of thinking. However, in 2023 no one can seriously deny its far-reaching implications (Kopnina et al., 2018).

The deontological codes literally talk about “persons and goods/property”, reflecting the duality we just mentioned. Ethics, if limited to a human scope, is self-defeating, the same way that construction, if limited to human construction, is in fact destruction. These codes need to open the perspective to a non-anthropocentric point of view so that our profession can consist in constructive construction. In order to achieve this, Nature and all its biodiversity must become ethical and legal subjects (more on this later).

3.3.4. Ethics and moral

In deontological writings there is always a latent duality between ethics and morality. Classically, morality is a set of rules that are considered useful, whereas ethics is the act of conscious thinking about these rules. The former term has fallen into disuse because of its historical association with a repressive church, but the distinction between these two terms is still useful and the use of both should be encouraged. A deontological code, as a set of practical rules, is itself a moral text, given without a sound ethical justification. This can be seen as enforcement, and has the risk of losing its contact with its foundations if not periodically revisited, but it has also a positive and practical side: we can't be thinking in deep philosophical terms every day, so it is useful to have a set of rules that summarise that thinking in simple and actionable words. The process of writing the codes is, however, of ethical nature, and frequently (but not too frequently) rethinking and rewriting them is essential. In this sense, both codes in force in Spain right now have been around for more than seven years without revision, quite a stretch of time for a world under emergency conditions.

3.3.5. Socioecology

Social and ecological are inseparable concepts. Society depends on the ecosystem and, unfortunately, right now the ecosystem (Klein, 2014) depends on society as well, both forming a tightly coupled system with a common future. In fact, the term *society* is misleading, since we don't currently have an integrated humanity, but a fragmented one, where inequalities are deep and becoming even more pronounced as the ecological crises gain traction. Some societies are already suffering harsh consequences, and the ones with less resources and those that have polluted less are suffering the worst outcomes first.

Furthermore, any attempt to overcome these crises needs values like cooperation and collaboration, which are in direct opposition to the predominant market values. Both deontological codes use a language and reveal a framework strongly aligned with the latter values. Even when they mention a “commitment to social service”, the link between *eco* and *social* is missing in the texts. From the building profession we need to be aware of when and how our activities promote or shred our social cohesion. The absence of any mention of *parity*, *feminism* or simply *women* in the texts is a proxy that reveals this lack of social awareness. In this aspect, the Catalan code uses a more inclusive language than the Spanish.

3.3.6. Freedom

As discussed before, the classical notion of freedom has fallen into disuse, in favour of a meaning that is literally equivalent to that of power (Savater, 2009). Freedom as in free market, instead of freedom as in free thinking or free choice. All mentions to freedom in the codes refer to the former, in the context of a free an unrestrained market. However, all the impacts of the profession point to the latter, because these impacts are something we truly want to avoid in the long term, no matter how profitable they look in the short term.

A profession that promotes a free market is in fact a slave of it, being subjected to its desires and whims. The relevant questions that a truly deontological code should raise are not related to the freedom of the clients and professionals to contract or execute, but concerned about the impacts of those contracts and executions on the ecosystem and, by extension, on our societies. Ethical freedom is all about using rationality to foresee the long-term consequences and acting in accordance.

3.3.7. Loyalty and legality

The Spanish code frequently uses the term *loyalty* applied to colleagues and regarding our behaviour. This is an interesting concept because it arises whenever a conflict of interests appears. The deontological codes should state what the loyalty hierarchy should be. In our view, a professional should be loyal to the client as long as such loyalty is not in conflict with being loyal to the profession. And, more importantly, the loyalty to our ecosystem should take the highest priority. Is there something more disloyal than hurting our planet and, as a consequence, to ourselves?

Etymologically related is the term *legality*, which also appears in the codes and which, after ethics and moral, is nothing more than the third step towards a coherent society. The Catalan code mentions “professionals with the right to unilaterally terminate the agreement”. If only Nature had such a right. But Nature has no rights, it seems, as a mirror image of our species not having a Universal Declaration of Human Duties. As long as Nature does not become a legal subject, our legality will remain disloyal to it.

The codes also mention that there are basic requirements established by the Technical Building Code, but are these strong enough and sufficiently enforced? What are the consequences for those professionals that produce ecological damage and what are the associated punitive mechanisms?

3.3.8. Alienation from Nature

The codes frequently mention “third parties”, revealing a professional interaction that is essentially bilateral, i.e. between the client and the Technical Architect. Third parties are only tangentially considered, not being an intrinsic part of the profession. Nature, being the main source of resources and also the main target of all impacts, plays a tertiary role when it comes to rights and acknowledgements.

This is a consequence of a human-centred perspective, where cities and Nature are disjoint domains, and where the latter is relegated to an external and distant place, as the literal meaning of the term *environment* reminds us. Does human construction literally mean Nature destruction? A good deontology should address this issue and develop a framework where both natural and artificial constructions are not only compatible but even synergistic. In short, not constructing against Nature should be the first and foremost principle in these codes.

3.3.9. Scientific attitude

Both codes explicitly mention the importance of rigour and neutrality in data. The Catalan code explains that professionals “will refrain from misrepresenting or introducing gross inaccuracies in the documentation” and it emphasises the need for “accuracy of the documentation of professional work”. This introduces an interesting topic, since the drive to be objective and accurate immediately leads to the inclusion of hidden impacts. We are not accurate by just considering the positive and negative parts of what is visible. When it comes to impacts on Nature, these are largely hidden, either by lack of inquiry or through active denial. So, when the codes state importance of veracity in the documentation, they should emphasise the need to uncover hidden consequences, which are usually the most severe.

3.3.10. Economy

Completely related to hidden impacts is the issue of the hidden costs. A professional must be held accountable for every impact it produces and must pay all the costs, and this is where deontology should give the strongest emphasis, because it is too easy to avoid costs by hiding impacts, pretending they don't exist or simply downplaying their relevance (Morgan, 2015). Economy has unacceptably become an art of profiting at the expense of hiding impacts and avoiding the associated costs. In a more ecology-oriented market, every impact is considered before being executed, and if so, every cost is accounted for. Thus, deontology, when well understood, is a tool to help our profession evolve from harmful economic ideologies towards an ecology-based framework.

A practical question here is how are Nature-related costs paid and who manages the reception of such payments to ensure that the final recipient is Nature itself. All this discussion, as we will see, leads to the proposal to make Nature a legal subject with an explicit set of rights. The graph of contractual relationships must be upgraded to include a third node: the ecosystem. The alternative, to insist in a bilateral human relationship where ecological considerations are third-party issues, is not sustainable.

3.3.11. Education vs training

The codes should explicitly state mechanisms for their own dissemination. For example, it should be a deontological principle that Technical Architecture Schools should include these codes in their syllabuses. They should also remark the relevance of both training and educating the future professionals, since not only technical knowledge but also ethical principles are necessary in such a delicate field. If a degree does not offer a complete set of values and facts regarding the impacts of the profession, where will the future technical architect learn them? An even more difficult question is who can train and educate the teaching staff when their technical knowledge and awareness related with the ecosystem crises are not up to date.

3.3.12. Public administration

The role of Public Administration is twofold here. On the one hand, it is usually the client with the heaviest footprint, but on the other it is the only possible representative of Nature in those contractual relationships. An effective separation of powers is essential here, otherwise the conflict of interests becomes unavoidable. What are the organisms and agents that publicly represent Nature? What resources are allocated to them? And how deontological codes adapt to describe such a complex contractual scenario?

3.3.13. Whistle-blowing

Since irregularities occur, the existence of effective and safe mechanisms to denounce them is essential (General Assembly United Nations, 2015). The two codes under analysis are ambiguous and incomplete here. On the one hand, they remind the duty to report to the College any observed anomaly, but on the other there are penalties for those who inform if the given information is not accurate, which means that those reports are not anonymous. Moreover, they focus on mechanisms for clients to have available complaint forms and for professionals to report on colleagues.

But they should be room for full anonymity, since this is the only way to safeguard the integrity of the whistle-blower. Reporting on ecosystem-related irregularities is an extremely brave and thus dangerous action that needs the maximum level of safety for the informer, since the economic stakes for those who are supposedly committing such irregularities can be enormous. Despite the inconveniences of potential slander, the benefits of truly anonymous paths for whistle-blowing surpass other considerations. Clearly, deontological codes should describe the mechanisms for such paths, and Professional Colleges should set them up and maintain them according with the just-approved Spanish law (Ley 2/2023, de 20 de febrero, reguladora de la protección de las personas que informen sobre infracciones normativas y de lucha contra la corrupción, 2023). Good journalism plays a big role here, and local media should provide alternative ways to spotlight such valuable information.

3.3.14. Disqualification system

Sanctions for fraudulent activities are essential tools to regulate the profession. The codes mention mechanisms for these but they are not clear enough regarding either the penalties or the organisms in charge of applying them. Also, from a conflict-of-interest perspective, it is not clear whether a Professional College, whose members are deeply rooted in the network of the profession, should be in charge of dealing with such irregularities. How is the Deontology Committee formed and under which criteria? A public dissemination of its resolutions would improve its understanding.

3.3.15. Risk prevention

Regarding risk prevention, Technical Architects are responsible for the safety in buildings during the decade following their construction. This makes them the leading experts in building-related hazards. However, this field not only faces visible or short term risks, but also subtle or long-term issues that are much harder to address. The codes focus on occupational, health and safety hazards, which are of undeniable relevance. But addressing more indirect and long-term aspects is precisely what ethics is about.

Nevertheless, indirect risks are most of the time unpredictable, and if we incur in the mistake of trying to predict them, we can fall into a false sense of security that every prediction, no matter how incorrect, provides (Taleb, 2016). From a deontological point of view, what makes more sense is to apply the precautionary principle to give more prominence to those hazards with potentially more severe consequences, regardless of their impossible-to-quantify probabilities.

In particular, the risk of disrupting the whole ecosystem, no matter how ignorant of its complex dynamics we still are, is the issue that any precautionary approach should focus on, since its potential implications are of an existential grade, and will percolate through all other types of hazards, including those related to occupational, health or safety matters. In summary, risks need a precaution-based hierarchy based on their potential consequences.

3.3.16. Degradation ladder

The race for price cutting and the subsequent chain of subcontracting that it produces does not really reduce costs, but simply hides them under the carpet of low-income communities and delayed-payment ecological damage. The codes partially describe the existence of this degradation ladder, focusing on how it also degrades the professional quality of an execution, but they lack a description of the social and environmental aspects of it.

3.3.17. Reaction mechanisms

When an execution begins, many unpredicted events can unfold, and many neglected parameters can surface that can alter the course of the project. What are the paths to alter, even terminate the contract based on them? A good deontology should provide mechanisms to ensure that every contract is dynamically updated after every new piece of data is revealed, and most importantly, to ensure that every voice is properly listened to, especially from local neighbours, independent scientists and activists.

4. Discussion

To summarise our approach to deontology, we can say that the ethics of a profession relies on the awareness of the impacts that such profession produces on the world and the actions taken after such evaluation so that they minimise such impacts. As these consequences ultimately bounce back to us, or our successors, ethics is an enlightened form of well-understood egoism. The classical humanist approach, usually based on white and colonialist men imposing their freedom on the rest of the world, has already begun to show its pernicious consequences, although the ones who have contributed the most are going to be the last to face them, which makes any attempt to change their opinion or behaviour a daunting challenge.

Being the building construction field a main contributor to ecological damage, developing a strong deontology should be a priority with two cornerstones in mind. On the first hand, the awareness to take into account the direct impact of its activities and use this information to abandon the unrestrained-market approach in favour of an ecology-oriented profession. On the other hand, the accountability of not only the execution but also the uses for which the buildings are intended. For example, a new airport terminal built with environmentally-friendly materials and processes would still represent a huge ecological damage. Both the construction and the use of a building are crucial for sustainability, so technical architecture needs to address not only how, but also *what* they build.

To formalise this approach, we explicitly propose an expanded model for the contractual relationship in a professional project, where three subjects, instead of two, are at play: client, professional and Nature. This model upgrades the system's graph from two nodes with a single link to three nodes with three links. These three links are 1) client-professional, the one we already know; 2) Nature-professional, where we consider the impact of construction; and 3) Nature-client, where we consider the impact that the client produces from the use of the building.

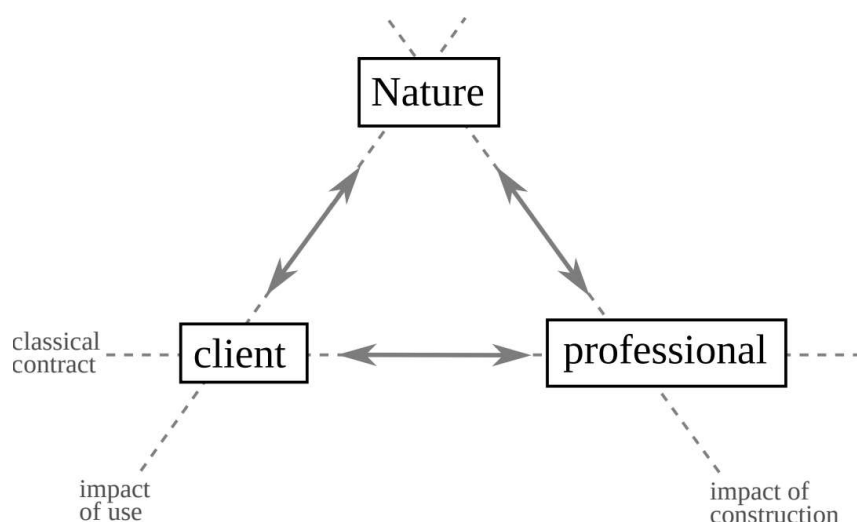


Figure 1. Diagram of our proposed model for sustainable technical architecture contracts. It features three nodes (client, professional and Nature) and three links that represent the three axis of this contract. The horizontal link depicts the classical axis that describes the contractual relationship between clients and professionals. The Professional-Nature link provides a new axis to be considered: the impact of the construction on the ecosystem. Similarly, the Client-Nature axis shows the impact of the use of the building. Notice how impacts here could be either negative or positive.

References

- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., & Dirzo, R. (2017). Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(30), E6089–E6096. <https://doi.org/10.1073/pnas.1704949114>
- Cerveaux Non Disponibles. (2022). *DES ETUDIANTS D'AGRO PARIS TECH FONT SÉCESSION*. Cerveaux Non Disponibles. <https://www.youtube.com/watch?v=bVJF9x0s9eY>
- Code of Ethics of the Universitat Politècnica de Catalunya, (2022). <https://comite-etica.upc.edu/ca/documentacio/guia-i-codis/codi-etic-upc/codi-etic-ce-upc-eng.pdf>
- Code of Research Integrity of the Universitat Politècnica de Catalunya, (2022). <https://govern.upc.edu/ca/consell-de-govern/consell-de-govern/sessio-03-2023-del-consell-de-govern/comissio-de-desenvolupament-estatutari/aprovacio-de-les-normes-de-convivencia-de-la-upc/aprovacio-de-les-normes-de-convivencia-de-la-upc/@@display-file/visi>
- Consejo General de la Arquitectura Técnica en España. (2014). *Código Deontológico de Actuación Profesional de la Arquitectura Técnica Código Deontológico de Actuación Profesional de la Arquitectura Técnica*. https://www.cgate.es/pdf/CODIGO_DENTOL.pdf
- Consell de Col·legis D'Aparelladors Arquitectes Tècnics i Enginyers D'Edificació de Catalunya. (2016). *Codi Deontològic i de Bones Pràctiques dels Professionals de L'Arquitectura Tècnica a Catalunya*. <https://documents.cateb.cat/Cateb/CodiDeontologic/codi-deontologic.pdf>
- CRUE. (2005). *Guidelines for the Inclusion of Sustainability in the Curriculum*. https://www.crue.org/wp-content/uploads/2020/02/Directrices_Ingles_Sostenibilidad_Crue2012.pdf
- CRUE. (2021). *Manifiesto de las XXIX Jornadas de Crue-Sostenibilidad « El papel de las universidades en la Agroalimentación Sostenible: Impacto de la crisis sanitaria »*. <https://www.crue.org/wp-content/uploads/2021/11/2021.11.02-Manifiesto-de-las-XXIX-Jornadas-de-Crue-Sostenibilidad.pdf>
- CRUE. (2022). *Manifiesto de las XXX Jornadas de Crue-Sostenibilidad « Integrando los ODS en la formación universitaria »*. <https://www.crue.org/wp-content/uploads/2021/11/2021.11.02-Manifiesto-de-las-XXIX-Jornadas-de-Crue-Sostenibilidad.pdf>
- CRUE. (2023). *Manifiesto de las XXXII Jornadas de Crue-Sostenibilidad « Biodiversidad y Clima: un desafío*

para la Universidad ». <https://www.crue.org/wp-content/uploads/2023/05/2023.05.18-Manifiesto-jornadas-sostenibilidad-BURGOS.pdf>

European Commission. (n.d.). *Buildings and construction*. European Commission. Retrieved May 15, 2023, from https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/sustainability/buildings-and-construction_en

Fuller, G. (2022). Building works responsible for 18% of UK large particle pollution. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/environment/2022/oct/21/building-works-responsible-for-18-of-uk-large-particle-pollution>

General Assembly United Nations. (2015). *Promotion and protection of the right to freedom of opinion and expression* (Vol. 12531, Issue September). <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/273/11/PDF/N1527311.pdf?OpenElement>

Greenfield, P., Swan, L., Swann, G., Scruton, P., & Watson, C. (2022). The biodiversity crisis in numbers - a visual guide. *Theguardian.Org*. <https://www.theguardian.com/environment/2022/dec/06/the-biodiversity-crisis-in-numbers-a-visual-guide-aoe>

IEA. (2022). *Buildings*. <https://www.iea.org/reports/buildings>

Klein, N. (2014). *This Changes Everything: Capitalism vs. the Climate*. Simon & Schuster.

Kopnina, H., Washington, H., Taylor, B., & J Piccolo, J. (2018). Anthropocentrism: More than Just a Misunderstood Problem. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 31(1), 109–127. <https://doi.org/10.1007/s10806-018-9711-1>

Ley 2/2023, de 20 de febrero, reguladora de la protección de las personas que informen sobre infracciones normativas y de lucha contra la corrupción, Boletín Oficial del Estado (2023). <https://www.boe.es/boe/dias/2023/02/21/pdfs/BOE-A-2023-4513.pdf>

Morgan, A. (2015). *The true cost*. <https://truecostmovie.com/>

Normes de convivència de la UPC, (2023). <https://govern.upc.edu/ca/consell-de-govern/consell-de-govern/sessio-03-2023-del-consell-de-govern/comissio-de-desenvolupament-estatutari/aprovacio-de-les-normes-de-convivencia-de-la-upc/aprovacio-de-les-normes-de-convivencia-de-la-upc/@@display-file/visi>

Savater, F. (2004). *Ética para Amador*.

<https://www.escatep.ipn.mx/assets/files/escatep/docs/Docencia/Lectura/Etica-Para-Amador.pdf>

Savater, F. (2009). *La tarea del héroe*. Editorial Ariel.

Taleb, N. N. (2016). *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable* (2da. Edici).

United Nations Environment Programme. (2021). *2021 Global Status Report for Building and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*. www.globalabc.org

Towards an integrated management of heritage: the town of Khenguet Sidi Nadji between reality and preojection

Bouchachi Brihmouche, Maher ^a y Jiménez Delgado, Antonio ^b

Universidad de Alicante, carretera San Vicente del Raspeig s/n, Alicante. Mb211@alu.ua.es, Universidad Alicante, carretera San Vicente del Raspeig s/n, Alicante. antonio.jimenez@ua.es.

Abstract

The town of Khenguet Sidi Nadji (Wilaya of Biskra – Algeria) contains several examples of scientific pole with its infrastructure, totally built in earth and an impressive integration site with defensives saharien town rules.

These constructions of earth with stones bases today are uninhabitable, approximately 287 houses, 40 commercial local, 2 collages and 5 mosques are totally abandoned and ignored, they do not benefit from any type of conservation or protection plan from the 2005.

The town is an example of typical vernacular architecture and old scientific center organization of the 17th century, with a special socio-economic way took from its geo-location in the romaine commercial road carrefour. It's crucial to study and focus on those topics because it allows us to rethink the preservation and revitalization of this historic scientific pole. not only its identity and of the population but booth, to improve the sustainable and urban development.

This paper addresses a critical evaluation of the heritage system direction of Biskra, as a leading regional initiative formulated with the intention of achieving, an integrated and coherent management of the wide territorial heritage of this region. The analysis is based on research documentation, field work, interviews and analysis of the territory and its architecture.

Keywords: Earthen architecture, Lifestyle, Culture, Conservation politic, Future of heritage.

1. Introduction

The rural support project is considered to be a turn to the abandonment of khenguet Sidi Nadji –the old city- and the actual cause of the demographic transition towards the new city. In 2005, the authorities launched a development project claiming to support citizens wishing to build rural housing by providing lands in the area called The Tower (the military airport during the colonial era), located 1.5 km from the old nucleus, along national route 83, which links the wilaya of Biskra to the wilaya of Khenshla. This displacement, however, led to a total abandon of the old nucleus in addition to a formation of inhabited settlement with urban criteria, and norms alien to the local customs and traditions. This is what we have noticed during our field outings and sampling the lifestyle as well as the attempts to adapt the new dwellings to the inhabitant daily living requirements.

By taking Khenguet Sidi Nadji as a field of observation, study and experimentation, the aim of this work is to question the potential of a complex earthen heritage in its evolution, particularly in the face of the different forms of intervention by public authorities.

It is a question of analyzing the site in its unity and its globality, of showing the richness, the links and the coherence that exist between the different components, a global coherence that has been maintained for centuries.

It is therefore an analysis of the architectural, social and religious particularities that is proposed in their confrontation with time and political decisions.



Figure 1. General view on el khenguat

Source: Own elaboration (2023)

2. Methodology

In order to find answers to the problems and questions raised, to confirm or refute the predefined hypothesis, and to concretize our work objectives, we opted for an in-depth study which consists of a methodological approach in three phases presented as follows:

The first phase: reserved for an investigative effort on a certain number of theoretical research concerning the notion of constructive cultures and others on the great question of vernacular architecture and cultural diversity has been consented throughout this study. Definitions and fundamental notions concerning almost all the aspects directly or indirectly related to the theme would be presented. This phase will therefore be based on primarily desk and library research. The literature review included books, journals, newspaper articles, conference papers, working papers and relevant internet sources.

The second phase: We will analyze an example of the vernacular architecture in Algeria by addressing the issue of conservation and inspiration based on knowledge and mastery of local constructive cultures.

A field survey established over three years, several outings in the site were carried out. These outings made it possible to establish a catalogue of surveys of old and recent tissue. We made photographic reports, interviews with the inhabitants of different generations, owners or tenants, in the old fabric, for some inhabitants currently «Bordj» (new site). We also met with actors of political life, technicians and owners of the major buildings of the old city having a founding lineage in El Khenga

The third phase: a practical study aimed at verifying the hypothesis towards an analytical and experimental approach to the constructive cultures of vernacular architecture case studies- Khanguet Sidi Nadji.

Khenguet Sidi Nadji -throughout history- was an area of scientific influx, known as a fortress of culture and the dissemination of science all over Algeria since the 11th A.H century, corresponding to 17 A.D. The foundations of this city were constructed by Sidi Nadji al-Mubarak and his children after they benefited from the geographical location that was given to them after their displacement from the tower of occupation in Tunisia.

The origins of Sidi Nadji's family –the founder of the Khenga- is dated back to the third rightly guided caliphs 'Othman Ibn Afan', they were living in Damascus(Syria), and left for Egypt, then to Tripoli(Libya), and thus to Tunisia. They accompanied Abderrahmane the third to Andalusia, then to Al-Dreiat in Marocco.

It is known that Sidi Nadji's descendants are travellers, living in tents, directing, guiding and disseminating religious teachings.



Figure 2. Sidi Nadji Mosque
Source: Own elaboration (2023)

The mosque was the first building established by Sidi Mubarak bin Nadji and his descendants in the region of Al-Khenga, it is located below the Aarb Valley between two mountains. Al-Khanga's name was derived from its geographical location (Its literal translation means, The grooves), referring to the narrow and confined place. Furthermore, it is one of the basis and ways of cities and desert castles foundation. Its location selection depends on water exuberance, and that's in order to cover the people's need of food, agriculture fields and orchards, in addition to cattle breeding. The Protection against natural hazards is considered to be one of the main factors of location selection too, which explains the reason behind el-khenga's sheltering in mountain using it as a body armor against military attacks and tornados well-known in the region.

And also, a Qur'anic school had been constructed next to the mosque – After its completion, whereby the Islamic character was adopted as an architectural style, embodied in conquests and geometric forms, taking into consideration the measurements and sizes commensurate with the desert climate, the possibilities and

techniques available at that time. As for the structural system and the pillars, a bearing wall system was followed according to the building materials used and techniques available at that moment.

It was used in the laying of the foundations and basements of the mosque and the school stones recovered from the adjacent valley and these foundations protect the building rules in the event of rain or floods, the depth of the foundations was between 70 cm and 120 cm, and the same height.

Thereafter, we have the bearing walls of the mud-clows mixed with grass and dried under the sun. and in between this walls there are branches of trees, for greater stability. AS for the holes, the arc and dome were the prevailing system, it is based on the canons of the Calitos and palm trees pinged in the valley for weeks to be saturated with water and then pass them on fire so that they become more cohesive and resistant to the humidity and thermal range of the area in the roof position.

During our study of the structural system of the mosque, the presence of the building stability control system caught our attention, that it is the same system observed in the Zeytouna mosque in Tunisia, consisting of two columns under the Mihrab (Altar), as the stability of the building can be monitored by the possibility of rotating these columns around its interlocutors without it. According to manuscripts found on the spot, an earthquake was recorded in 1793 ad, which caused the columns to stop turning, and officials of El-khenga were installed by wooden belts crossing the building from one end to another to maintain the stability of the structure.



Figure 3. Stability Control System
Source: Own elaboration (2023)

Urban and architectural style in Sidi Naji's khenga:

It is very closely aligned with the necessities of life and climate in the area, where we feel the Amazigh character of architecture, which is the result of the customs and traditions of the people of the region, and for the family home, it is the result of the needs of the population. We feel the tight arrangement, the practical space of each space and the complete separation of private and outdoor spaces, where we see a gradual transition from public to half-year until reaching the salon, which is the place of the small family. This system can be explained by the customs and traditions of the conservative people of the region, which indicate their adherence to their values and religion.

If we look at the city's good houses with pure local materials, starting with the circular stone bases restored from the Wadi al-Arab, which is adjacent to El-khenga. To the carrying walls of the mud-flamps, which are dried under the sun by the hand-made hands of the parents, by mixing the soil with the gir to smooth the mixture and the grass to give them greater stability. The mixture is soak in the water for a week, and the units of the heaven are saturated with water, then pouring them into wooden blocks to give them a regular shape, and finally being left to dry.

The stability of the walls is controlled by giving them a proportional thickness with their height on the one hand and on the other hand, branches are added at specific heights and distances depending on the length of the wall.



Figure 4. Khenguet Sidi Nadji Street
Source: Own elaboration (2023)

Finally, for roofing, the palm and caletos are used as fiducials to carry the roofs of the house with a functional roof, or with floors. Before the application of the logs, they are also held in the valley water until they are saturated with water, and this also gives them greater resistance to moisture and climatic factors.



Figure 5. Wood roofs khenguet Sidi Nadji
Source: Own elaboration (2023)

Urbanism in El-khenga:

It is a harmonious and integrated fabric with the site of a fierce terrain and in a difficult strait between two mountans with a degree of over 20 percent of exceation, giving the city a special character. The city's narrow and winding roads are the result of the proximity of homes to break the sun's rays and reduce their contact with the facades of homes, thereby ensuring moderate temperatures within the home, and the terrain is an important part of the city's corridors, length and length. To break the decline and facilitate the movement of people and commercial vehicles within the Madya, its times are marked by its shortened and recoiled, as the latter links us to various public squares and gathering places. In parallel to the mosques, the city's largest landmarks, the houses of the Qamonu, and hotels that have spread since the Ottoman civilization, known as Dar Al Saraya.



Figure 1. Figure captions
Source: Own elaboration (2022)

The old nucleus area was incorporated into the arrangement and classification of archaeological and natural sites according to order No. 67-281 of December 20, 1967 and was published in the Official on January 23, 1968, No. 07 these places included in the classification are:

The village of Khenget Sidi Nagi, of the then Khanshla, in 30/01/1968; It also contains spaces, especially the traditional urban fabric of the Eastern Province, which is at the disposal of private dwellers, and has the right to use it, but by maintaining its own architectural and engineering characteristics, with the knowledge that all its residential buildings are deserted and this has adversely affected its nature.

Conclusions

The restoration process is a necessary process to preserve the historical and cultural heritage of the peoples, and Algeria is considered one of the first countries to sign the World Cultural and Natural Heritage Convention, in 1972, which was considered a very important breakthrough in the field of cultural heritage protection, followed by an important step represented in the enactment of laws and legislation It aims at re-appropriating the Algerian heritage and adopting a rational policy that gives priority to the valuation of historical monuments, foremost among which are religious installations such as ancient mosques that benefit from preservation and restoration processes. The project of restoring some historical palaces, such as the Al-Mashour Palace in Tlemcen, and some of these palaces are part of the Casbah. The character of regionalism in dealing with these historical monuments. However, preservation practices, especially the restoration projects for historical buildings in Algeria, are a complex process in which a group of parties intervene as actors on the field, which makes this practice an important experience that met and is still encountering many difficulties.

In light of the aforementioned, we conclude with a number of recommendations, which we summarize as follows:

- Protecting the Islamic architectural heritage from the destruction and alienation that affects it as a result of human and other natural factors, which necessarily leads to the loss of part of the collective memory and the Islamic cultural heritage: including losses that cannot be compensated for in lives or loss of evidence and memory that cannot be compensated except by indoctrination and codification in addition to material losses Considered.

Restoration, maintenance and restructuring of cities and ancient fabrics in light of modern building regulations, in implementation of the recommendations of the Maghreb Ministerial Council for Housing and Urbanism, which was held at its tenth session in Algeria from June 17 to 19, 2008.

The Islamic Arab city has no significance if its current user does not recognize it and does not work on its existence and spiritually revive it with his thoughts and feelings. It is a process that depends mainly on the element of awareness and actual and continuous sensitization over time by inserting religious societies, mosques, and educational institutions, as well as involving the citizen as a main circle of counseling and counseling. The horizontal construction (the formation of a collective sense and awareness of the past, the dignity of belonging, the victory of religion and the propagation of its exploits), in a phased and long-term path of solidarity, led by the squads and elite of the society of people with knowledge and specialization, who are well-researched in urban service, the degree of individual attachment to his past). Academic and scientific field research results (on the quality of urban life in Islamic cities, its prospects, the degree of satisfaction

We regret it when we see walls of a building that are hundred years old fall due to neglect and lack of attention from the part of the authorities on architectural heritage, whether it is in the south or the north. We regret that we see graffiti on the walls of a building that dates so many years ago. Moreover, more structures are not recognized or listed by UNESCO. If we don't respect our memory and our history, we have no right to wait for others to respect them. Indeed.

References

- Atlas du patrimoine de l'Isère- Ed. Glénat, Musée Dauphinois, 1998.
- ADJALI Samia, 1990. « Pour une architecture Aurassienne » in dictionnaire berbère. ed CNRS
- BRIGITTE COLIN. 2008. « Des quartiers historiques pour tous ; une approche sociale et humaine pour une revitalisation durable ». Colloque international Oran, Algérie.
- CASANOCAS Xavier. 2008. «La méthode Rehabimed; une approche multidisciplinaire à la réhabilitation urbaine ». Colloque international Oran, Algérie.
- CHOAY Françoise, 1999. L'allégorie du patrimoine, édition du Seuil, Paris
- F. Choay, juin 98, conférence à la J. Tanghe-Stichting, Bruges. Cité par V. Brunfaut et Y. Robert, consulté au site <http://www.lacambre-archi.be>
- GUIBOURDENCHE Pierrette. 2010. « conserver le patrimoine pourquoi? » Marjolaine BILLEBAULT, POLITIQUES, PRATIQUES ET MÉTHODES ». 2009. Thèse pour obtenir le grade de Docteur. Spécialité: Urbanisme et Aménagement de l'espace. Université de Paris Ouest Nanterre la Défense.
- SANTOS MARC AURELI. 2008. «La transformation de ciutat vella à Barcelone ; le centre historique revitalisé, un processus continu » . Colloque international Oran.

Survey and analysis of the mobility of students of Technical Architecture in La Laguna

Pino Suárez, Ruth

Universidad de La Laguna, Av. Ángel Guimerá Jorge, San Cristóbal de La Laguna. rpsuarez@ull.edu.es

Abstract

From the Technical Architecture Section of the University of La Laguna we have asked ourselves why our students are so reluctant to apply for Erasmus and Sicue mobility places.

Many students from the Canary Islands go abroad for other degrees, but not so many from technical schools in general, and Technical Architecture in particular. We all know how difficult it is to find destinations where students can study subjects in other university degrees that are moderately similar to ours. By enrolling in Architecture and/or Civil Engineering subjects, the situation can be solved to some extent. However, in the rest of Europe it is often the case that the campuses of these degrees are far apart.

Nevertheless, we are considering finding out how to improve the mobility of our students based on their interests, concerns and predilections or, also, what reasons discourage them from moving away from their own environment.

Keywords: Mobility, outgoing students, Tenerife, Problems

1. Introducción

Recientemente nuestra titulación, el Grado de Arquitectura Técnica de la Universidad de La Laguna, ha sido evaluada para la renovación de la Acreditación por parte de la Agencia Canaria de Calidad Universitaria y Evaluación Educativa (ACCUEE), conforme a lo establecido en el artículo 34 del Real Decreto 822/2021 de 28 de septiembre, por el que se establece la organización de las enseñanzas universitarias oficiales.

En el informe provisional por parte de la ACCUEE, en el apartado de “Recursos para el aprendizaje”, se hace la recomendación de *incidir en el análisis de las causas por las que el estudiantado hace un uso limitado de los programas de movilidad y establecer las acciones oportunas*.

En el diseño y propuesta del Plan de Mejoras por parte de la Comisión de Calidad de la Sección de Arquitectura Técnica, se recoge dicha recomendación y se proponen acciones dirigidas a analizar las causas de la escasa movilidad de los estudiantes de nuestro grado así como estudiar nuevos posibles destinos que propicien un mayor número de salidas del alumnado.

El pasado 18 de mayo de 2023 el grado recibió Informe final de renovación favorable donde se señalan, entre otras recomendaciones que contribuirán a la mejora del título, la referida a la Movilidad, en el Criterio 5- Recursos Para el Aprendizaje, donde se indicaba la necesidad de *incidir en el análisis de las causas por las que el estudiantado hace un uso limitado de los programas de movilidad y establecer las acciones oportunas*, tal y como ya se había expresado en el informe provisional.

Antes de que finalizaran las clases de este curso (2022-2023) realizamos una encuesta sobre MOVILIDAD entre el alumnado de Arquitectura Técnica para poder dar respuesta a las causas de la escasa participación en los programas tanto a nivel nacional como europeo.

Dado que la Coordinadora de Movilidad de la sección de Arquitectura Técnica es a su vez la Subdirectora de Movilidad de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería (EPSI), se decidió extender la encuesta a los estudiantes de los demás grados que se imparten en la EPSI: Ingeniería Civil, Ingeniería Agraria y Náutica.

En un análisis más completo, y que abordaremos con posterioridad, podremos encontrar las principales diferencias entre el número de alumnos salientes de dichas titulaciones comparadas con Arquitectura Técnica, grado éste en que parece que encontrar destinos con grados afines es mucho más complicado.

2. Objetivos

El objetivo general pretende dar respuesta a la recomendación y propuesta de mejoras de los recursos para el aprendizaje del grado de Arquitectura Técnica de La Univerisdad de La Laguna, averiguando cuáles son los motivos que tienen los estudiantes para abstenerse de participar en los programas de Movilidad.

De manera tangencial se pretende obtener información significativa al comparar las respuestas del alumnado de la EPSI en función del grado que estudian y la oferta de movilidad de que disponen.

Queremos saber qué nivel de idiomas está más generalizado entre los estudiantes, si bien éstos se forman simultáneamente con los estudios de grado. Comprobaremos si el nivel es mayor cuando los alumnos están en los cursos superiores.

Igualmente se pretende conocer otros motivos de índole personal o subjetivo, como qué dificultades se encuentran y les frenan a la hora de solicitar plazas de movilidad.

3. Metodología

Durante la última semana de clases del curso 22-23 se realizó una encuestas a través de Google.

En primer lugar, se pasó la encuesta a todo el alumnado de Arquitectura Técnica en las aulas de los cuatro cursos. Se contactó con un profesor de cada curso que impartía docencia en esos días, con la mayoría de sus alumnos en clase presencial, para que les instara a responder a la encuesta que les hacía llegar en el mismo momento.

Esto permitió que hubiera una respuesta significativa por parte de los estudiantes de los cuatro cursos.

Dado que ya finalizaban las clases, hay que tener en cuenta que la participación se veía limitada por el número de abandonos que sufren las aulas universitarias en relación a los matriculados inicialmente. Sin embargo el método de ir clase por clase solicitándoles que respondieran la encuesta sería el más eficaz.

En el grado de Ingeniería Civil también se instó al Coordinador de Movilidad a pasar la encuesta de la misma manera, con el alumnado presente en las aulas, pero sólo se lograría con uno de los cursos...El resto de cursos recibiría la encuesta por email.

En las Secciones de Agrarias y Náutica, que se encuentran en otros edificios alejados, los respectivos coordinadores se limitaron a pasar la encuesta por email y la respuesta del alumnado fue considerablemente inferior, como se podrá ver en los resultados.

Conviene aclarar que, si bien se hizo la encuesta a todo el alumnado de la EPSI, es decir, a las cuatro secciones que forman parte de la misma, esta comunicación se va a centrar en los resultados obtenidos para la Sección de Arquitectura Técnica.

4. Resultados

4.1. Participación en la encuesta

La encuesta fue trasladada a todos los estudiantes de la EPSI, que cuenta con 1256 alumnos matriculados en el curso 22-23 en los grados de Arquitectura Técnica, Ingeniería Civil, Ingeniería Agrícola y del Medio Rural, y los dos grados de la Sección de Náutica, grado en Náutica y Transporte Marítimo y grado en Tecnologías Marinas, que se han agrupado a efectos prácticos como Náutica.

El grado de participación ha tenido manifiestamente diferencias entre unos grados y otros debido al modo en que se les ha invitado a responder al alumnado (ver tabla 1)

Es importante señalar que la participación del estudiantado de Arquitectura Técnica tuvo un seguimiento muy estricto por parte de la Coordinación de Movilidad de la Sección, dado que este estudio se realizó a raíz de los informes provisionales para la acreditación. Es por ello que se dio mucha importancia a que la encuesta fuera respondida por el mayor número de alumnos posible.

El resto de grados, que por una parte tenían menos implicación en los motivos del estudio, y por otra, que coordinadores y profesorado no tuvieron tiempo de ir aula por aula solicitando la participación de sus alumnos, tan sólo recibieron un email para responder a la enésima encuesta que la ULL les hacía llegar... Como consecuencia evidente, la participación resultó claramente mas baja en el resto de grados.

Cabe diferenciar que, en Ingeniería civil, de los cuatro cursos, hubo oportunidad de que su coordinador de movilidad pasara la encuesta a sus propios alumnos de 2º curso, no siendo así con los tres cursos restantes.

Tabla 1. Modo de invitación a responder la encuesta. Elaboración propia.

Sección	Tipo de invitación	Nº de respuestas	Recordatorio
Arquitectura Técnica	Presencial en aula (1º, 2º, 3º y 4º curso)	93/249	A todo el alumnado de la EPSI se le recordó responder la encuesta 1 semana después de finalizar las clases
Ingeniería Civil	Via email + presencial en aula (solo 2º curso)	39/215	
Agrarias	Via email	19/187	
Náutica	Via email	42/605	

A continuación, se muestra el número de alumnos matriculados por grado y el porcentaje de participación dentro de cada Sección. El total de respuestas de la encuesta ascendió a 193, lo que supone el 15,4 % del estudiantado total de la EPSI.

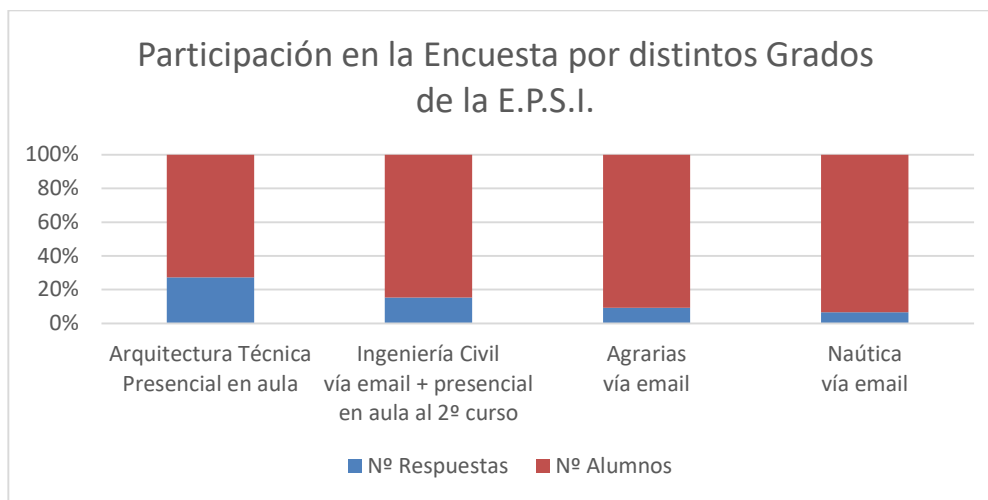
De todas las Secciones, siendo Náutica la que cuenta con la mitad de todo el estudiantado de la EPSI (605 alumnos frente a las 1256 de la EPSI), con diferencia ha sido la menos numerosa en cuanto a respuesta, no llegando a alcanzar el 7% de participación. Le sigue muy de cerca Ingeniería Agrícola y del Medio Rural, con

un 10,2% de participación. Esto se debe al tipo de invitación realizada exclusivamente por e-mail a sus estudiantes.

Y por contraste, Arquitectura Técnica aportó casi el 40% de las respuestas totales, 93 respuestas de un total de 249 matriculados (ver tabla 2)

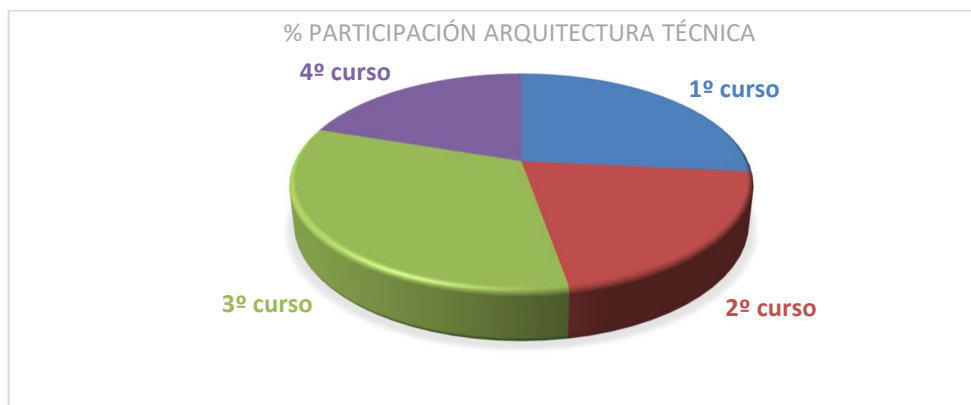
Tabla 2. Participación en la Encuesta sobre Movilidad estudiantil de la EPSI. Elaboración propia

Secciones	Número de Matriculados	Nº de Respuestas	% Participación
Arquitectura Técnica	249	93	37,3 %
Ingeniería Civil	215	39	18,1 %
Agrarias	187	19	10,2 %
Naútica	605	42	6,9 %
TOTALES	1256	193	15,4 %



Por último, y centrados en el grado de Arquitectura Técnica, se ha realizado el cómputo de respuesta por cada uno de los cursos del grado. Hay que puntualizar que, aunque el número de alumnos de 4º curso no responde a una realidad práctica, dado que se computan todos los estudiantes que están matriculados, sin que sean realmente alumnos de último curso salvo por algunas materias. Sin embargo, como se realizó la encuesta en la asignatura de Control de Calidad, el número de respuestas corresponden a casi la totalidad del alumnado que realmente está cursando todas las materias de 4º. Esto quiere decir que el número de matriculados tiene una desviación al alza que distorsiona la realidad del porcentaje de participación. Si bien esto también puede suceder en los cursos inferiores, no es tan notable como en 4º, ya que los números indican que los matriculados en último curso casi duplican a los de 3º (ver tabla 3)

Tabla 3. Participación de los estudiantes de Arquitectura Técnica por cursos



4.2. Nivel de idiomas de los estudiantes de Arquitectura Técnica de la ULL

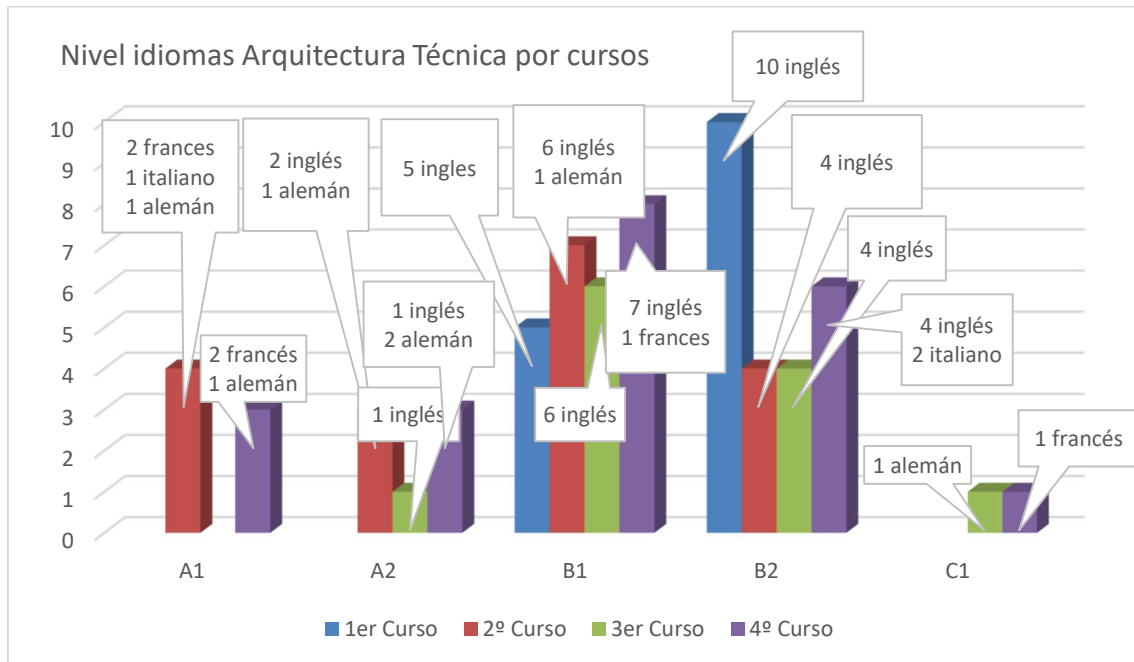
El alumnado de Arquitectura Técnica fue preguntado sobre su nivel de idiomas acreditado. Tomando como referencia el número de respuestas a la encuesta de 93, puede haber estudiantes que respondieran con más de una opción, es decir, que tengan acreditados niveles en varios idiomas. Por este motivo, el número de respuestas por idiomas será mayor que el número de respuestas a la encuesta.

No obstante, el resultado de la encuesta nos da una aproximación genérica tal y como se puede observar (ver tabla 4) en cuanto al idioma predominante, y otra aproximación más específica sobre el curso académico en el que el alumnado tiene adquirido dicho nivel de idiomas (ver tabla 5)

Tabla 4. Nivel de idiomas de los estudiantes de Arquitectura Técnica. Elaboración propia

NIVEL	INGLÉS respuestas	FRANCÉS respuestas	ITALIANO respuestas	ALEMÁN respuestas
A1		4	1	2
A2	4			3
B1	23	2		1
B2	22		2	
C1		1		1
TOTALES	49	7	3	7

Tabla 5. Nivel de idiomas de los estudiantes de Arquitectura Técnica por cursos. Elaboración propia.



Los alumnos que han acreditado idiomas son 54, que representa casi el 60% de los encuestados (58,2%)

Sin embargo el 42% restante no respondió tener algún nivel de idiomas acreditado lo que sigue siendo un porcentaje elevado, pero que no quiere decir que no tengan conocimientos de algún idioma. Se ha preguntado específicamente si tenían acreditado mediante certificado oficial algún nivel de idiomas.

Poniendo el foco en el inglés, no se puede establecer una diferenciación de nivel por curso. Sin embargo, llama la atención que en 2º y en 4º los alumnos hayan emprendido el aprendizaje de un tercer idioma.

4.3. Conocimiento de los programas de movilidad

Se ha preguntado sobre los programas de movilidad Sicue, Erasmus y Extracomunitaria para conocer el grado de información que tiene el alumnado (ver tabla 6)

También se ha preguntado concretamente por el conocimiento de los destinos que la ULL oferta a nivel nacional e internacional (ver tabla 7)

Y por último hemos querido saber cuál es la vía que los estudiantes han utilizado más par obtener la información que conocen (ver tabla 8)

Tabla 6. Respuestas de los 93 alumnos sobre si conocen los programas de movilidad. Elaboración propia.

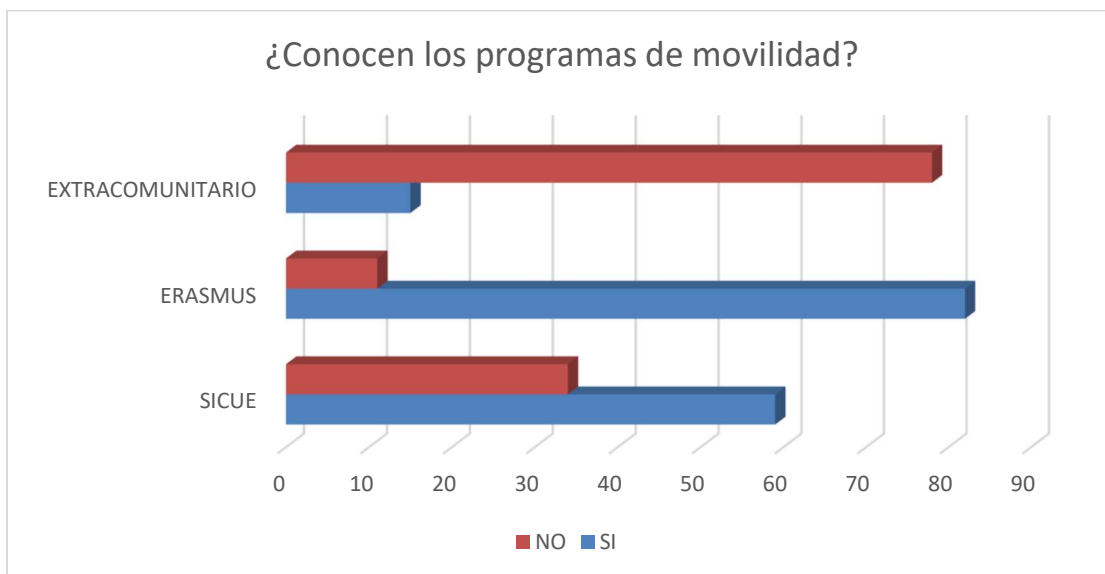
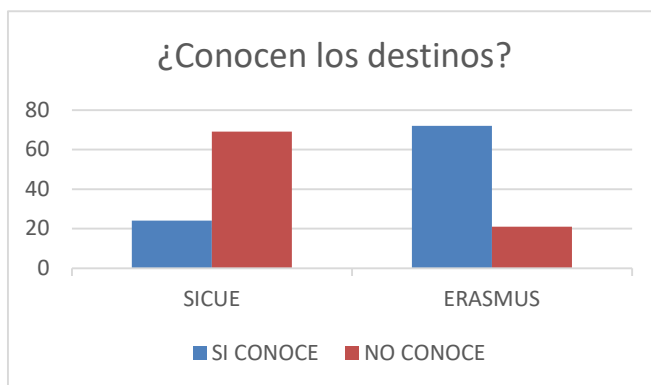


Tabla 7. Respuestas sobre si conocen qué DESTINOS tienen disponibles para la movilidad. Elaboración propia.

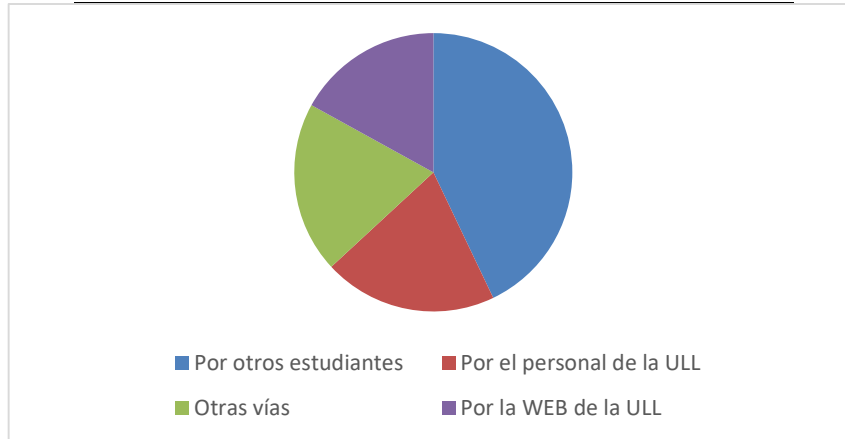


Con diferencia, el programa ERASMUS es el más conocido por el alumnado, probablemente porque de por sí es muy popular incluso fuera del entorno académico. Sin embargo, al preguntarles si conocen los destinos de que dispone la Sección de Arquitectura Técnica el número de respuestas disminuye, lo que implica que realmente no tienen suficiente información.

En lo concerniente al modo en que el alumnado ha obtenido información o tiene conocimiento de los programas de movilidad, se puede observar por medio de un ranking cuál es la vía mas común, bastante previsible por otro lado, ya que sólo partiendo de una información previa se genera o no la curiosidad por averiguar más a fondo en qué consisten y cómo se gestionan (ver tabla 8)

Tabla 8. Vías de obtención de información de MOVILIDAD por parte del alumnado. Elaboración propia.

ranking	VÍA DE INFORMACIÓN	%
Nº1	Por otros estudiantes	42,9 %
Nº2	Por el personal de la ULL	20,2 %
Nº3	Otras vías	19,9 %
Nº4	Por la WEB de la ULL	17,0 %

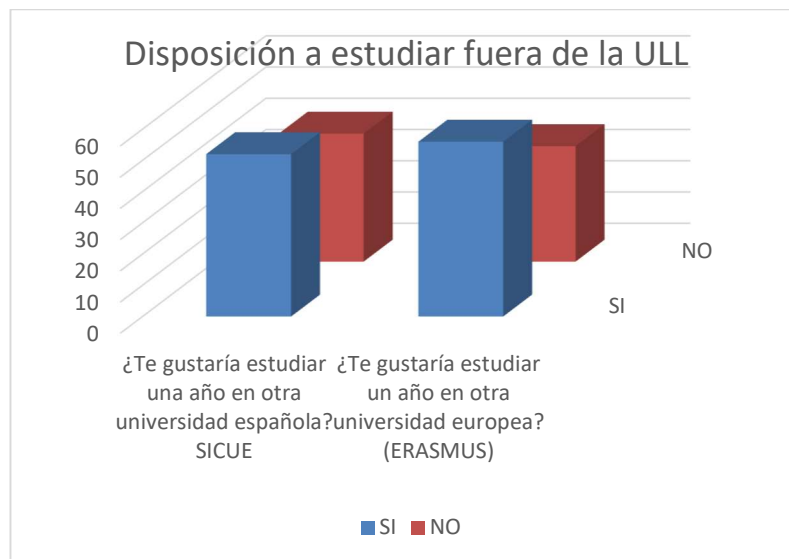


Un estudio aparte merecería tratar de saber por qué los estudiantes sólo recurren a la web de la universidad en última instancia. En cualquier caso el boca a boca es uno de los principales medios para saber de la existencia de las movidades. También funcionan las charlas en las aulas siempre que se incentive la asistencia a las mismas entre el alumnado de primer curso.

4.4. Comparando SICUE con ERASMUS

Para conocer qué preferencia de movilidad tienen los estudiantes, les hemos preguntado si les gustaría cursar un año en otra universidad española, y por otro lado, si les gustaría cursar un año en una universidad europea (ver tabla 9).

Tabla 9. Disposición a estudiar fuera de la ULL. Elaboración propia.



Esta tabla solo demuestra que aproximadamente a más de la mitad del alumnado le gustaría estudiar un año fuera de la ULL. El hecho de que Erasmus sea más popular no es una razón en sí, pero es cierto que en las observaciones de los estudiantes hemos leído comentarios que indican que, de salir fuera de la ULL sería para ir más lejos, y también hay alumnos que no quieren vivir fuera de su casa ni en España ni en otro país europeo.

Dado que finalmente el alumnado no sale tanto como a ellos mismos les gustaría, hemos hecho una recopilación de los principales impedimentos que ellos han indicado para no participar en ningún programa de movilidad. Se les hizo responder a una serie de preguntas que comenzaban con:

- Sí, me gustaría, pero...
- No, no me interesa porque...

De esta forma se planteaban las mismas cuestiones entre el “sí , me gustaría” y el “no me interesa” para encontrar los mismos peros y las mismas razones en ambas partes.

Pasamos a detallar las razones por orden de importancia, de las más repetidas a las menos numerosas. Comenzamos presentando una relación de los motivos genéricos que se repiten tanto en las preguntas sobre SICUE como en las preguntas sobre ERASMUS.

- Nº1 Tema económico (44 respuestas)
- Nº2 Estoy acabando el Grado – termino este año (24 respuestas)
- Nº3 Hay materias que no puedo cursar + no puedo hacer TFG ni PE (20 respuestas)
- Nº4 No me gustan los destinos (15 respuestas)
- Nº5 Me retrasaría el Fin de Grado (7 respuestas)
- Nº6 No me gusta vivir fuera (6 respuestas)
- Nº7...OTROS: motivos familiares / trabajo y no puedo irme

Si diferenciamos las respuestas que son más específicas de cada programa de movilidad nos encontramos tan sólo con dos elementos diferenciadores: el económico y el del idioma.

Por ese motivo vamos a desglosar las 44 respuestas con respecto al tema económico de SICUE Y ERASMUS:

- SICUE: 24 respuestas seleccionaron la opción: “Si no tiene beca no puedo”
- ERASMUS: 20 respuestas seleccionaron la opción: “no creo que la beca alcance”

Con respecto al tema del IDIOMA es muy significativo que hubiera 17 respuestas alegando “no tengo el nivel de idiomas” para realizar una movilidad ERASMUS, mientras que sólo 3 respuestas optaron por la opción “me gustaría SICUE por no pedir idioma”.

Esto demuestra que pesa más el tema económico que el del idioma a la hora de participar en una movilidad nacional como SICUE, que no tiene aportación económica, a pesar de que las materias deberían ser mucho más fáciles de escoger.

Sin duda, la cuestión de no poder hacer TFG o Prácticas Externas les preocupa por igual en ambas modalidades de movilidad. El grado de disconformidad con los destinos es similar en SICUE que en ERASMUS,

4.5. Observaciones y sugerencias de los estudiantes

Al finalizar la encuesta el estudiante podía expresar sugerencias para mejorar cualquier aspecto que le animase a realizar una movilidad SICUE o ERASMUS.

Sus respuestas, agrupadas por similitudes, se enumeran a continuación:

Sobre la Información:

- Deberían dar un poco más de información a los estudiantes/ sobre el proceso de solicitud/ Que los encargados de ofrecer la información sepan más sobre el tema y que las resoluciones vengan antes/ Si se realizara alguna charla sobre la movilidad sería de utilidad para motivarnos/ Solamente daría mas charlas y mas información para que llegue a todos y pueda realizarlo mas gente/ Más información/ La accesibilidad a la información...

Sobre la motivación:

- A mi personalmente no, debido a que sabía la posibilidad antes de entrar a la universidad pero también tenía claro que no quería hacerla desde un principio/ No, simplemente no me llama la atención salir a estudiar a otro lugar.

Sobre las becas:

- Ayudas económicas / Si me lo financian bien no tendría ningún problema en intentarlo/ Ayudar más al alumnado económicamente/ Que ofrezcan más ayudas para realizarlo/ Saber cuándo se va a recibir la ayuda económica/ Si hubiera una beca que cubriera los gastos de la movilidad SICUE, me animaría a realizar ese programa de movilidad/ Transparencia con términos de las ayudas económicas que podría esperarse/ Más destinos de habla inglesa/ Que los gastos fueran cubiertos al 100% ya que si no es discriminatorio/ La rapidez con las becas...

Sobre los destinos:

- Distintos destinos/ Ofertar nuevos destinos como EEUU, Canadá, Reino Unido/ Más destinos en Europa/ Más destinos/ Se deberían añadir más destinos en Erasmus para Arquitectura Técnica/ Destinos más reconocidos en los estudios específicos de Ingeniería civil/ No universidades que ni siquiera se cursa el propio grado/ Sugiero tudelf en Países Bajos por ejemplo/ Mas destinos donde se hable inglés...

Sobre el idioma:

- El idioma/ La facilidad para el idioma/ Que faciliten clases de idiomas para que la ULL sea una nueva universidad con estudiantes que sepan manejar varios idiomas / Que la universidad certifique el nivel de idioma con el cursado en el curso para poder realizar la movilidad ya que con el tiempo que hay que permanecer en ella no permite cursar una acreditación de idioma aparte...

Sobre las materias y su reconocimiento:

- Poder hacer tfg o practicas/ Las convalidaciones / Más información con las asignaturas convalidables/ Mas información sobre dónde será el lugar de estancia o como se gestiona eso, qué asignaturas puedo cursar o no y como es la modalidad de evaluación
- Promover las experiencias que se realizan durante el erasmus...

5. Conclusiones

A la vista de los datos recopilados y mostrados en los resultados, podemos resumir a modo de conclusiones que el alumnado de Arquitectura Técnica de la ULL no se siente incentivado a realizar movilidades principalmente por el coste económico que les puede suponer estar un año fuera de las islas.

Esto demuestra la creencia, por parte de los estudiantes, de que las estancias sólo pueden realizarse durante un curso completo y no por cuatrimestres. Se evidencia una falta de información al respecto.

Además, el 42% % de los encuestados no tienen ningún nivel de idiomas acreditado, dándose esta situación de forma similar en los cuatro cursos de la titulación. Se confirma que esta circunstancia es un componente limitador a la hora de realizar una movilidad en el extranjero, pero no incentiva a realizar movilidad en el territorio nacional por no tener ayuda económica.

La falta de información parece ser una de las observaciones más repetidas por los estudiantes, a pesar de que los motivos por los que no se interesan por salir son económicos y la falta de nivel de idiomas.

Pero uno de los grandes frenos a la hora de hacer una movilidad es la dificultad para realizar asignaturas similares a las del grado de Arquitectura Técnica en el extranjero, así como la imposibilidad de matricular TFG

y Prácticas Externas. Este problema surge en la medida que los estudiantes no solicitan plaza en segundo curso, o deciden hacerlo en el último año cuando se ven limitados por las materias de final del grado.

Todo lo que hemos recogido en esta encuesta servirá para poner en marcha planes de mejora en los aspectos de Información al alumnado, tanto en la web como en las aulas, y la firma de mas convenios con otros destinos en Europa que resulten interesantes y asequibles tanto económica como académicamente.

Referencias

Informe de autoevaluación del Título (2022), <https://www.ull.es/grados/arquitectura-tecnica/calidad-y-resultados/documentacion-de-evaluacion-del-titulo/#acreditacion> 18/07/2023

ACCUEE, Gobierno de Canarias, Informe final de la Renovación para la Acreditación del Grado de Arquitectura Técnica (IFA-2023) <https://www.ull.es/grados/arquitectura-tecnica/calidad-y-resultados/documentacion-de-evaluacion-del-titulo/#acreditacion> 18/05/2023

La titulación de Arquitectura Técnica de A Coruña tras medio siglo de formación.

Pérez-Ordoñez, Juan Luis ^a, Benítez-García, Marta ^b, Losada-Pérez, Carlos ^c, Seara-Paz, Sindy ^d y Robles Sánchez, Susana ^e

Universidade da Coruña, E.U. de Arquitectura Técnica, Rúa da Fraga 27, 15008, A Coruña,
^a juan.luis.perez@udc.es, ^b marta.benitez@udc.es, ^c c.losada@udc.es, ^d gumersinda.spaz@udc.es,
^e susana.robles@udc.es

Abstract

En este artículo se presenta la evolución de la titulación de Arquitectura Técnica en A Coruña desde su implantación el año 1971 hasta la actualidad.

Se hace hincapié en cada momento histórico acaecido a la titulación (y sus diferentes planes de estudios) habilitante para el ejercicio de la profesión regulada de Arquitecto Técnico. Para ello se enlaza las circunstancias particulares de cada época que han influido en la misma. Se presentan desde datos objetivos como el número de alumnos matriculados, número de egresados..., hasta la evolución del plan de estudios motivada por las diferentes normativas, tanto universitarias (Ley General de Educación – LGE, Ley de Reforma Universitaria – LRU, Ley Orgánica de Universidades – LOU, LOMLOU) como de índole profesional (Normas Básicas de la Edificación – NBE, Código Técnico de la Edificación – CTE,...), que han contribuido directa o indirectamente en el modelado de la titulación.

Para finalizar se muestra la relación que existe entre el actual Grado de Arquitectura Técnica y las demás titulaciones que se imparten en la Escuela (Máster interuniversitario en Dirección Integrada de Proyectos, Máster Universitario en Edificación Sostenible y Máster en Building Information Modeling - BIM)

Keywords: Arquitecto Técnico, Ingeniero de Edificación, Graduado en Arquitectura Técnica, Máster, Espacio Europeo de Educación Superior, GAT, MUES, MDIP, MBIM

1 Introducción

Los inicios de la actual **Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de A Coruña** (EUATAC) se remontan al curso académico 1970-1971, momento en que se denominaba **Escuela de Aparejadores de La Coruña** por entonces integrada en la Universidad de Santiago de Compostela. En un primer momento (de 1970 a 1975) la escuela se sitúa en unas instalaciones prefabricadas provisionales situada en la Calle Manuel Murguía. En el siguiente curso académico (1971-1972) ya se establece su denominación actual como Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica, siendo su edificio actual inaugurado en el año 1976 tras un convenio suscrito en 1973 entre la Fundación Pedro Barrié de la Maza y el Ministerio de Educación, mediante el cual la institución privada se comprometía a construir y equipar tanto dicha Escuela como la Escuela Técnica Superior de Arquitectura y a donarlos posteriormente al Estado. La vinculación de la EUATAC a la Universidad de A Coruña, tras su segregación de la de Santiago, se hace efectiva el 8 de junio de 1991 en un acto celebrado en el Aula Magna de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura, con asistencia de la presidenta de la fundación Carmela Arias y Díaz de Rábago, condesa de Fenosa, y de los rectores de La Coruña, José Luis Meilán Gil, de Santiago, Ramón Villares, y de Vigo, Luis Espada (1) (2).

En la EUATAC se imparte el Grado en Arquitectura Técnica desde el curso 2009/2010, denominado en sus inicios como Grado en Ingeniería de la Edificación, titulación que sustituye a la anterior de Arquitectura Técnica en Ejecución de Obras.

Como se puede observar en la Figura 1, la Escuela Universitaria ofrece los estudios superiores de máster oficiales con una gran demanda: **Máster Interuniversitario en Dirección Integrada de Proyectos**, en conjunto con la Universidad de Vigo desde el curso 2008/2009, y el **Máster Universitario de Edificación Sostenible**, creado en el curso 2012/2013 con otra denominación.

La Escuela cuenta, además, con un **Máster en formación permanente en BIM** (por sus siglas en inglés, Building Information Modeling) que iniciará el próximo curso su décima edición con una excelente acogida entre estudiantes, recién titulados y diferentes profesionales del sector de la construcción.

En la actualidad imparten docencia en la EUATAC 11 áreas de conocimiento que suman un total de 42 profesores adscritos al centro, de los cuales 27 son doctores y 33 están a tiempo completo. En la Tabla 1 se muestra un resumen por área del Personal Docente e Investigador con docencia en el centro (3).

El equipo de gobierno actual está formado por Sindy Seara Paz (Subdirectora de Calidad e Internacionalización), Susana Robles Sánchez (Subdirectora Jefe de Estudios y Asuntos Económicos), Carlos Losada Pérez (Secretario académico) y Juan Luis Pérez Ordóñez (Director).

Tabla 1. Personal Docente e Investigador adscrito a la EUAT.

Área	Doctor	No Doctor	Total
Construcciones arquitectónicas	4	9	13
Expresión gráfica arquitectónica	3	3	6
Ingeniería de la construcción	4	2	6
Mecánica de los medios continuos y teoría de estructuras	5	1	6
Organización de empresas	4		4
Física aplicada	2		2
Derecho administrativo	1		1
Derecho civil	1		1
Filología inglesa	1		1
Matemática aplicada	1		1
Urbanística y ordenación del territorio	1		1
Total general	27	15	42

Históricamente, la EUATac es la opción más próxima para los alumnos interesados en estos estudios con residencia en el noroeste de la península ibérica (Galicia, Asturias y León).

2 Evolución del plan de estudios

La profesión regulada de Arquitecto Técnico deriva de los antiguos maestros de obras, y más recientemente de los denominados aparejadores. Estos fueron tradicionalmente los encargados de la dirección de ejecución material de las obras de construcción de edificios. La profesión técnica de Aparejador es una de las más antiguas de España, documentada desde el siglo XV, aunque es en el siglo XIX cuando comienza a reglarse el ejercicio de la profesión, siendo a principios del siglo XX cuando se establecen sus atribuciones profesionales (Real Decreto de 28 de marzo de 1919, 16 de julio de 1935). Posteriormente, en 1971 mediante el RD 265/1971 de 19 de febrero en la que se regularon las facultades y atribuciones profesionales de los Arquitectos Técnicos. A principios del presente siglo, entra en vigor la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE) en las que quedan fijadas las funciones y responsabilidades de los agentes intervinientes en el proceso constructivo, definiendo en detalle las labores de Director de Ejecución, cuya competencia le corresponde al Aparejador o Arquitecto Técnico.

Desde la creación de la Escuela de Arquitectura Técnica en La Coruña mediante el Real Decreto 2051/1971, de 13 de agosto, los planes de estudios habilitantes de la profesión regulada de Arquitecto Técnico han ido evolucionando, así como la diferente normativa en la que se enmarcan dichos planes. En la siguiente figura se muestra de manera resumida la evolución histórica de la EUATAC, en donde se indica la legislación de rango superior, los planes de estudios, así como las sucesivas titulaciones de grado y postgrado, junto a otros hitos destacados:

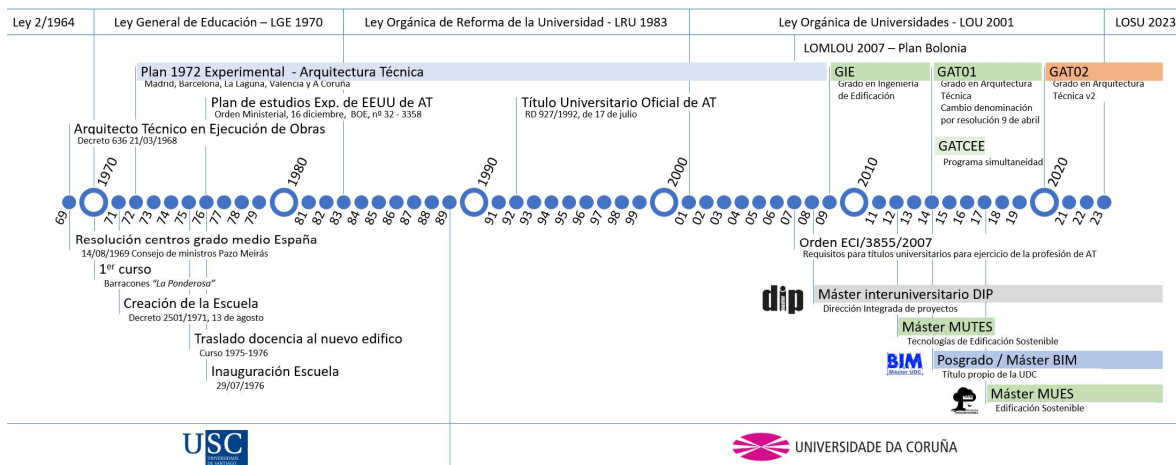


Figura 1. Evolución histórica de la EUATAC

Como se puede observar en el cuadro resumen, desde la creación de la EUATAC hasta la actualidad, ha habido tres planes de estudios que habilitan para el ejercicio de la profesión de Arquitecto Técnico: el Plan de Estudios de 1972 de Arquitecto Técnico, el plan de Estudios de 2009 de Graduado en Arquitectura Técnica (inicialmente denominado Graduado en Ingeniería de Edificación), publicado en el BOE de 16 de febrero de 2011, y el plan de Estudios vigente de 2020 publicado en el BOE de 29 de mayo de 2021. A continuación, se concretan los datos fundamentales de dichos planes de estudio.

2.1 Arquitectura Técnica

Este plan de estudios ha sido el que ha permanecido más tiempo en la escuela sin alterar. En su origen sigue las pautas de la ley 2/1964 de 29 de abril dando lugar al título de "Arquitecto Técnico en Ejecución de obras", aunque tras los años iniciales es modificado para adaptarse a las directrices del "Plan de Estudios Experimental de las Escuelas Universitarias de Arquitectura Técnica", publicado el 7 de febrero de 1977 (4). En 17 de junio de 1992 por RD se establece el título de Arquitecto Técnico en el que desaparece el complemento de "en ejecución de obras" ya que a partir de ese momento se estableció la obligatoriedad de la intervención de los aparejadores en todas las obras.

La docencia se repartía en 3 cursos lectivos con una dedicación de 31 horas semanales para el 1^{er} curso y 35 para 2^o y 3^o repartidos entre 24 asignaturas, 2 optativas y a mayores la realización de un Proyecto Fin de Carrera. Todas las asignaturas eran anuales (5).

El plan de estudios estaba organizado por horas lectivas a la semana. Con objeto de poder comparar el antiguo plan con el actual, se consideran 10 horas de clases presenciales equivalentes a 1 ECTS. Cabe destacar que el PFC no tenía asignada carga docente si bien se asume similar a la actual. Por último, las asignaturas se agrupan en materias según la tabla de equivalencia entre planes de estudios (6).

Tabla 2. Plan de estudios de Arquitecto Técnico

Materia / Módulo	Formación Básica	Obligatorias	Optativas (elegir 12)	Total
Física	15			15
Matemáticas	30			30
Tecnología Instalaciones	15			15
Construcción	9	60		69
Derecho		9		9
Economía	9	15		24
Filología		12		12
Gestión del Proceso		15		15
Proyecto		24		24
Representación Gráfica	30	24		54
Tecnología Estructuras		24		24
Optativas			60	12
Proyecto Fin de Carrera		12		12
Total	108	183 + 12	12	315

2.2 Grado en Ingeniería de Edificación – Grado en Arquitectura Técnica v01

La creación del Grado en Ingeniería de la Edificación surge de la necesidad de convergencia y homologación dentro del Espacio Europeo de Educación Superior para las titulaciones con contenidos académicos asimilables y con ejercicios profesionales afines, que tenían denominaciones muy dispares (Ingeniero de Edificación, Ingeniero de la Construcción, Ingeniero Diplomado en Edificación, Arquitecto Constructor, Licenciado en Tecnología de la Construcción, Gestor de la Construcción, Técnico de Arquitectura, Ingeniero Civil en Arquitectura,...) (7).

Tabla 3. Plan de estudios de GIE / GAT01

Materia / Módulo	Formación Básica	Obligatorias	Optativas (elegir 18)	Total
Construcción	6	42		48
Derecho	6	6		12
Economía	6	6		12
Física	12			12
Gestión del Proceso		12		12
Matemáticas	12			12
Proyecto		36		36
Representación Gráfica	12	18		30
Tecnología Estructuras		18	6	18
Tecnología Instalaciones	6	12	6	18
Optativas / Prácticas Externas			42	18
Trabajo Fin de Grado		12		12
Total	60	150 + 12	18*	240

La legislación vigente conforma la profesión de Arquitecto Técnico como profesión regulada cuyo ejercicio requiere estar en posesión del correspondiente título oficial de Grado. La Orden ECI/3855/2007, de 27 de diciembre, establece los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para

el ejercicio de la profesión de Arquitecto Técnico. En la EUAT, el plan de estudios conducente a la obtención del título de Arquitecto Técnico estuvo vigente hasta la implantación en el curso 2009-2010 del Plan de Estudios para el Grado en Ingeniería de Edificación (posteriormente denominado Grado en Arquitectura Técnica).

Este plan de estudios consta de 240 créditos ECTS, divididos en 4 cursos con dos cuatrimestres cada uno, que se estructuran en 12 módulos y 43 asignaturas. La unidad temporal de todas las asignaturas es cuatrimestral con 6 créditos ECTS cada una, excepto el trabajo de fin de grado (TFG) y las prácticas externas (PE), que tienen asignados 12 y 18 ECTS, respectivamente. En cada curso existe un equilibrio de créditos entre cuatrimestres, de 30 créditos ECTS cada uno. Agrupando las asignaturas en módulos y/o en función de su carácter (básico, obligatorio u optativo), se determina la distribución de créditos que figura en la Tabla 3.

2.3 Grado en Arquitectura Técnica v02

Actualmente el primer plan de estudios para el Grado en Arquitectura Técnica (GAT01) está en extinción, para la implantación del nuevo Plan de estudios denominado igualmente Grado en Arquitectura Técnica (GAT02), publicado en el Boletín Oficial del Estado, el 29 de mayo de 2021, y en el Diario Oficial de Galicia, el 1 de junio de 2021. Este proceso que ha sido iniciado en el curso 2020/21, siendo su autorización publicada en el Diario Oficial de Galicia, el 1 de julio de 2020, se completará al finalizar el curso académico 2023/2024. Este plan de estudios requiere que los estudiantes completen 240 créditos, distribuidos en cuatro cursos de 60 créditos ECTS cada uno, que siguen una estructura general por módulos: Básico (60 ECTS), Específico (159 ECTS), Optativo (9 ECTS) y el Proyecto Fin de Grado (12 ECTS). Además de esta distribución general por módulos, el actual plan de estudios se organiza incluyendo dos niveles más específicos (14 materias y 39 asignaturas). Esta organización del plan de estudios está basada en la Orden ECI/3855/2007 y se detalla a continuación.

Tabla 4. Plan de estudios de GAT02

Materia / Módulo	Formación Básica	Obligatorias	Optativas (elegir 9)	Total
Derecho	6			6
Empresa	6			6
Expresión Gráfica Básica		12		12
Fundamentos Científicos	15			15
Instalaciones	6			6
Química y Geología	6			6
Estructuras e Instalaciones de la Edificación		45		45
Expresión Gráfica	21			21
Gestión del Proceso		27		27
Gestión Urbanística y Economía Aplicada		15		15
Proyectos Técnicos		12		12
Técnicas y Tecnologías de la Edificación		48		48
Optativas / Prácticas Externas			27	9
Proyecto Fin de Grado		12		12
Total	60	159 + 12	9*	240

2.4 Otras titulaciones en el centro.

Además del grado en Arquitectura Técnica, en la EUATAC se imparten dos másteres y dos títulos propios:

- Máster Oficial Interuniversitario en Dirección Integrada de Proyectos (DIP) (con la Universidad de Vigo).
El Máster DIP, que consta de 60 créditos ECTS y tiene un carácter formativo transversal, fue el primero interuniversitario del Sistema Universitario Gallego y se oferta en modalidad presencial (16 ediciones) y a distancia (5 ediciones).
- Máster Universitario en Edificación Sostenible (MUES).

El Máster MUES de un año de duración y 60 créditos ECTS que ofrece una formación avanzada en los ámbitos de la sostenibilidad. El título, en su origen, comenzó a impartirse en el curso académico 2012/2013 en su anterior formato (Máster Universitario en Tecnologías de Edificación Sostenible – 90 ECTS) evolucionando al actual en el curso 2017/2018. De carácter oficial, cuenta de igual modo con una trayectoria consolidada y con dos modalidades: presencial y a distancia.

- **Máster y Curso de Especialización en BIM** (títulos propios de la Universidade da Coruña). La formación en BIM ofertada por la Universidade da Coruña comprende dos títulos propios: el Máster en BIM de 60 créditos ECTS y su curso derivado denominado Curso de Especialización en BIM de 30 créditos ECTS. La primera edición de este posgrado tuvo lugar en el curso 2014/2015 y su plan de estudios ha ido evolucionando desde entonces adaptándose a las distintas necesidades (siendo en su origen un posgrado de 27 créditos ECTS). Esta formación también cuenta con las dos modalidades de estudio (presencial y a distancia de modo síncrono).

Además, la Universidade da Coruña ha ofertado el doble título del Grado en Arquitectura Técnica y Ciencias Empresariales desde el curso académico 2014-2015, comenzando su extinción en el curso 2017/18 y finalizando en el actual curso académico.

Cabe mencionar que en la EUATAC se organizan actividades de formación transversal y/o complementarias comunes para todos los alumnos de la Escuela en un horario específico para ello. Además, en el seno del Máster Universitario en Edificación Sostenible se organizan actividades complementarias de formación transversal, conferencias, seminarios o talleres, así como visitas a obras, fábricas e instituciones relacionadas de diversas formas con la sostenibilidad de la edificación, a las cuales, en general, se facilita la asistencia o la participación del alumnado del Grado en Arquitectura Técnica.

3 La EUAT en números

En los últimos tiempos el número de alumnos de nuevo ingreso en la EUATAC, en titulaciones que habilitan para el ejercicio de la profesión de Arquitecto Técnico, ha experimentado una drástica reducción, teniendo una media de ingresos superior a 200 alumnos/año hasta el curso 2009-2010, siendo dicha media inferior a 50 alumnos/año para la última década. Esta evolución se ilustra en la Figura 2, en donde además se indica (en el eje secundario) los datos poblacionales restringidos a la franja de edad mínima susceptible de acceder a dichas titulaciones (17-18 años) y relativos al área de mayor influencia de la Escuela, que las conforman las provincias de A Coruña, Lugo, Ourense, Pontevedra, Asturias y León. Se aprecia cómo las nuevas matrículas pasaron de estar limitadas en 200, a no cubrir ni un mínimo de 50 plazas. Si bien entre 2010 y 2013 aumentan, esto fue debido en parte a que muchos Arquitectos Técnicos retornaron a la Escuela para obtener el título de Grado.

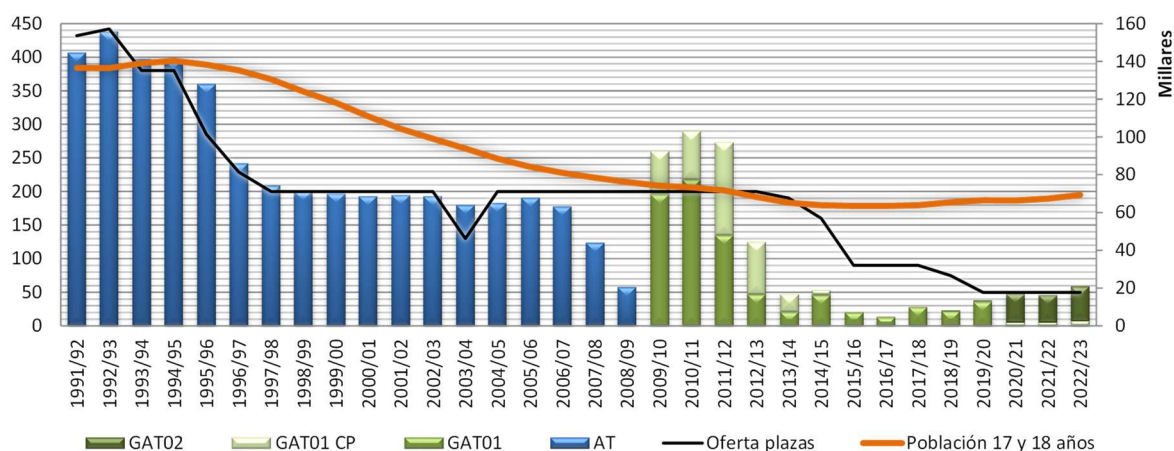


Figura 2. Estudiantes de nuevo ingreso en la EUATac

En consecuencia y de forma paralela, se ha producido, en general, una disminución del número de estudiantes matriculados y egresados de la EUATAC relativos al primer nivel de estudios universitarios, como 2023, Universidad de Granada

se puede observar en las Figuras 3 y 4 en donde se muestra, respectivamente, su evolución temporal. Esta situación podría poner en peligro el relevo generacional de esta actividad profesional que apunta a convertirse en una de las más demandadas del futuro próximo. Afortunadamente en la actualidad se está apreciando un cambio en esta tendencia, cubriéndose la totalidad de las plazas ofertadas.

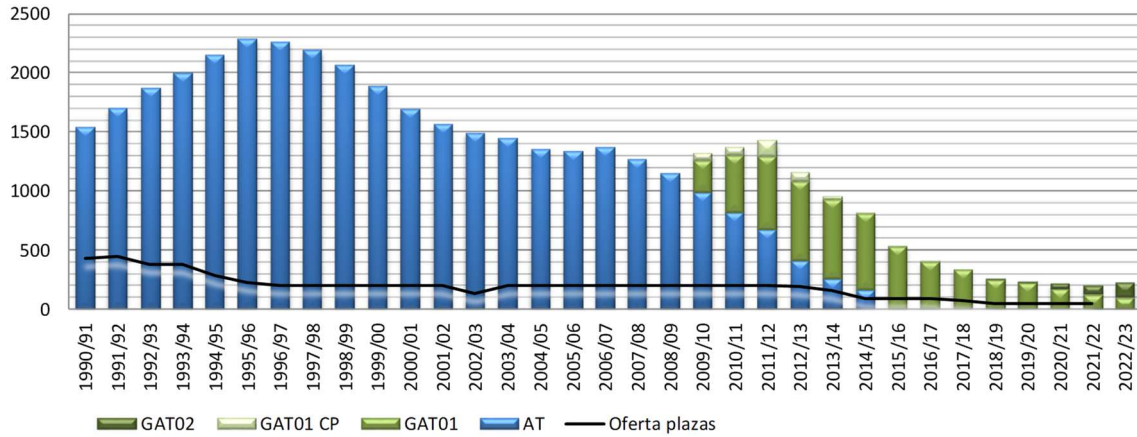


Figura 3. Estudiantes de la EUATAC*

Son varios los factores que han podido afectar a esta reducción en el número de alumnos experimentada en los últimos años por la EUATAC, entre los que podemos mencionar las variables poblacionales que tienen una incidencia directa en la demanda universitaria y la crisis financiera internacional de 2008 y, en particular, la del sector de la construcción en España.

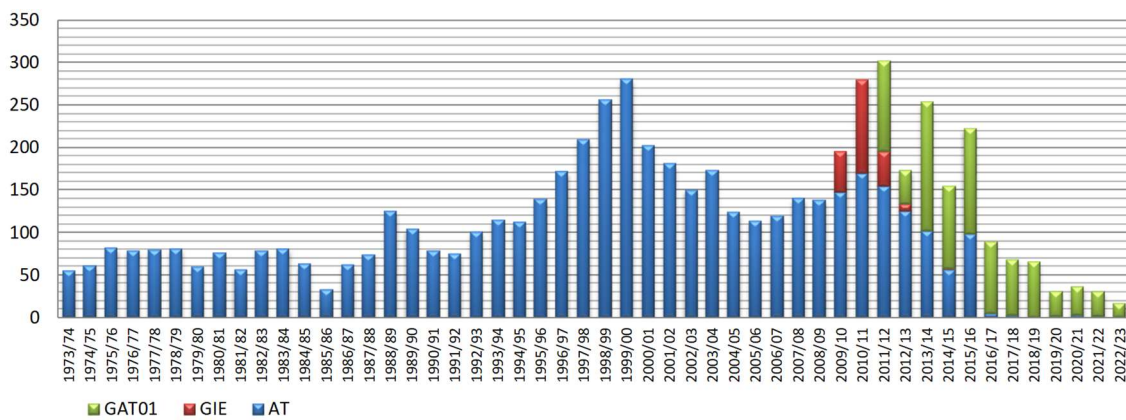


Figura 4. Estudiantes titulados para el ejercicio de la profesión de AT

La pirámide poblacional escalonada segregada por sexos arroja información de la edad de la población de Galicia, Asturias y León (8), territorios de origen más habitual de los estudiantes, comparando el año 1971, cuando arranca la segunda promoción de la escuela, con el reciente año 2021, 50 años después (Figura 5 derecha) y con el estado intermedio en 1996 (Figura 5 izquierda).

La distribución triangular cambia paulatinamente para mostrar una población cada vez más envejecida, con un relevo generacional incierto. Desde el año 1980, se aprecia una reducción significativa del número de nacimientos, estabilizada desde 1990, todavía más reducida en la última década.

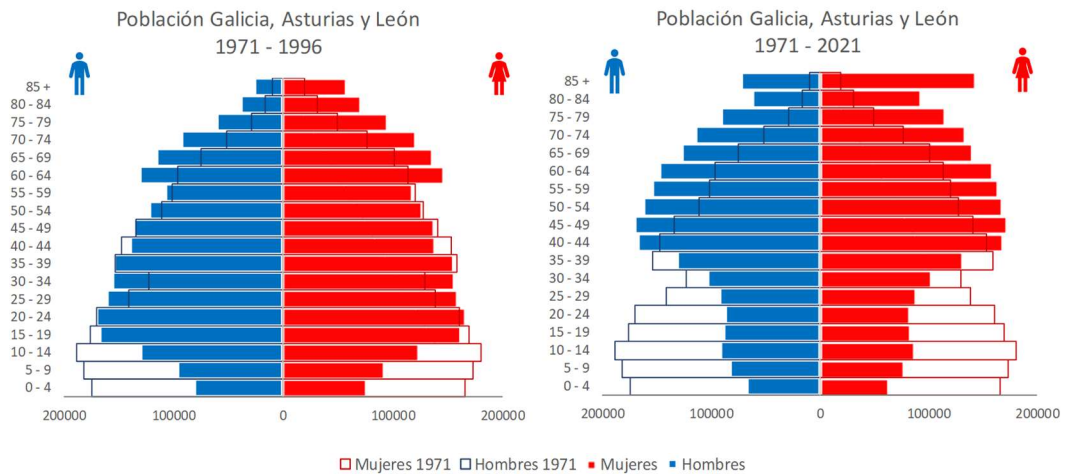


Figura 5. Superposición de las pirámides poblacionales de 1971 y 1996 (izquierda), y de 1971 y 2021 (derecha).

El cambio de ciclo económico que sufrió España en 2008, con la destrucción de empleo y empresas del sector de la construcción, se estima en la causa principal por la cual los estudios dejaron de ser atractivos para la mayoría de los nuevos estudiantes universitarios.

En la Figura 6 se muestra el número de licencias concedidas en Galicia en función del tipo de obra, en donde además se vuelve a representar (en el eje secundario) el número de estudiantes de nuevo ingreso de la EUATAC. El número de licencias de obra nueva es hoy la cuarta parte respecto de las concedidas hace 20 años, como se observa en la figura. El lento repunte en las matrículas de estos últimos años podría ser debido a una paulatina recuperación del sector de la edificación, que se aprecia desde el año 2013, tanto en licencias de obra nueva como de rehabilitación, para la recuperación del ingente parque inmobiliario.

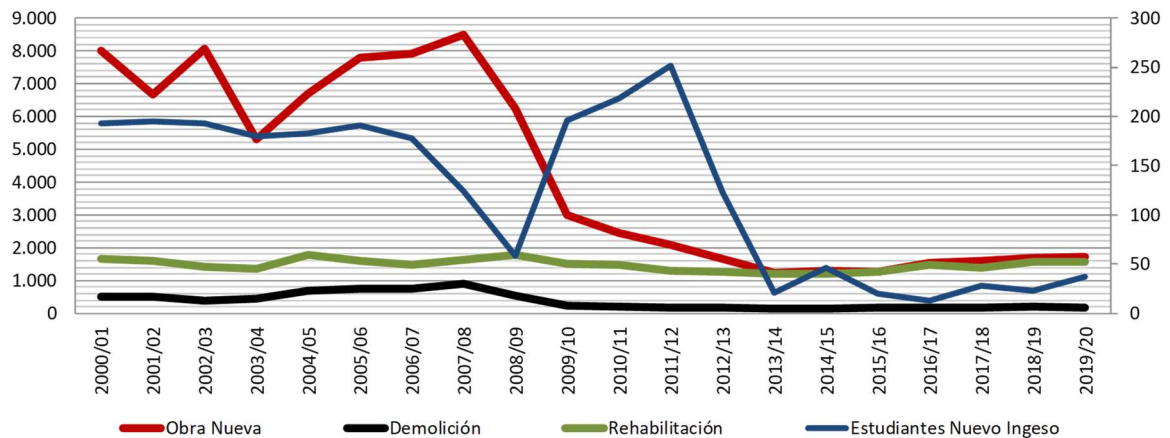


Figura 6. Número de edificios según tipo de obra en Galicia (Licencias) (9)

La incorporación de las mujeres a la profesión regulada de Arquitecto Técnico no ha dejado de crecer globalmente década tras década. En particular, en la Figura 7 se muestran datos poblacionales y de los egresados de la EUATAC distribuidos por sexos, en donde se puede observar que las mujeres representaban la tercera parte de los titulados hace 25 años, siendo prácticamente la mitad actualmente. Se contrasta con las mujeres en edad de incorporarse a la universidad con 18 años, que representan el mismo porcentaje del 49%. De mantenerse la tendencia actual, habrá más mujeres profesionales recién tituladas el próximo curso académico por primera vez en la historia de la Escuela.

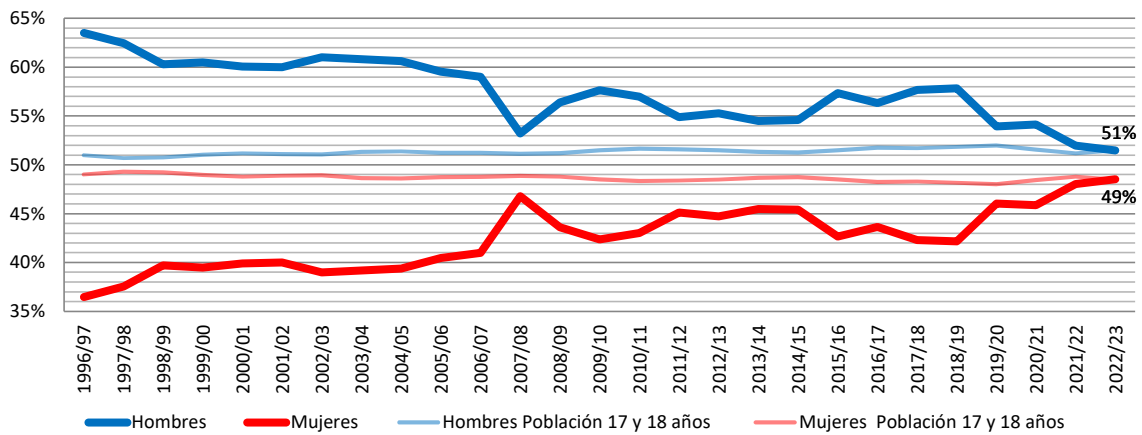


Figura 7. Distribución entre hombres y mujeres de los estudiantes

La oferta académica en el centro universitario de nivel de Máster se inicia en el año 2008 con el Máster en Dirección Integrada de Proyectos (DIP), para ofrecer la continuidad en los estudios académicos a los nuevos graduados en Ingeniería de Edificación.

Posteriormente se ha apostado por una edificación más ecológica, con el Máster en Edificación Sostenible (MUES) y la incorporación de la digitalización de proyectos y obras, con el Máster BIM de gestión de la información en edificación. Al contrario de lo que sucede en el título de grado, los estudios de máster/posgrado han tenido muy buena acogida en los últimos años, como se puede observar en la Figura 8 en la que se representa su número de estudiantes. En concreto, el número de estudiantes de máster y posgrado representan el 34% del total de la escuela.

Destaca la mayor oferta de plazas para realizar los tres másteres (74p), que las que se otorgan para realizar el Grado (50p), fruto del esfuerzo de la plantilla del profesorado y el apoyo institucional al enriquecimiento de la profesión.

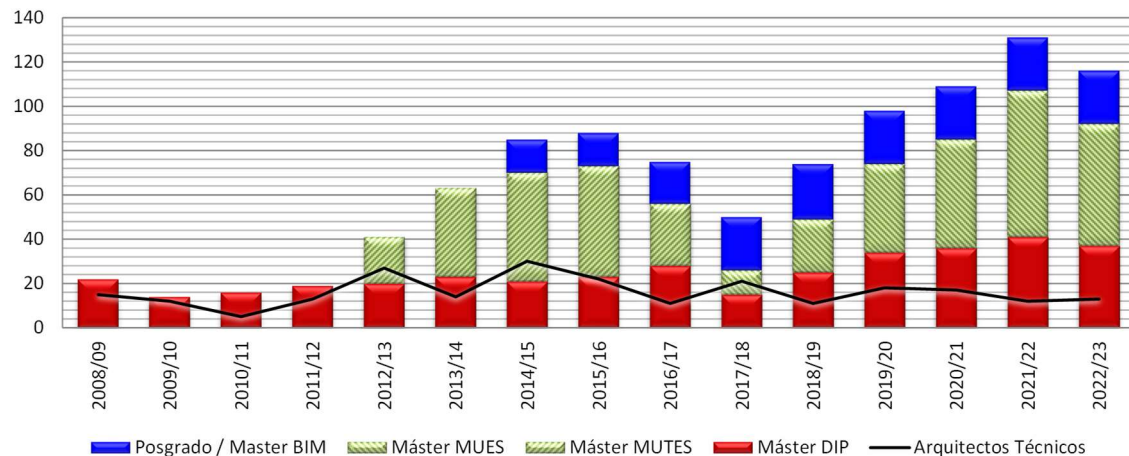


Figura 8. Estudiantes de posgrado / máster de la EUATac

4 Conclusiones

Se ha analizado la evolución de los estudios de Arquitectura Técnica en A Coruña, desde sus inicios que datan de 1970 hasta la actualidad. En particular, se ha realizado un análisis comparativo de los tres planes de estudio conducentes a la obtención de los títulos que habilitan para el ejercicio de la profesión de Arquitecto Técnico, al respecto de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de A Coruña (EUATAC). En concreto, se ha detallado el carácter de las materias y horas presenciales de las mismas, agrupadas por materias/módulos, y el número de estudiantes de nuevo ingreso, totales y titulados por curso académico. La

adaptación al título de grado supuso una pérdida de horas equivalente a 75 créditos ECTS, a pesar de pasar de 3 a 4 cursos académicos de duración. Además, facilitamos datos relativos a algunas variables de interés que han podido tener incidencia directa en la evolución (descendiente) del número de alumnos experimentada en la EUATAC durante los últimos años: poblacionales y del sector de la edificación. Por ejemplo, comparando los datos de hace 20 años con los actuales en donde se ha producido un descenso del 69% en las matrículas de nuevo ingreso del grado en Arquitectura Técnica, se observan también reducciones significativas en las variables analizadas: del 30% en la población del área de influencia de la Escuela en la franja de edad de 17-18 años, y del 78% en el número de licencias de obra nueva en Galicia (este último dato referente a 2019). Estos datos, contrastan con los que se recogen en cuanto al crecimiento del porcentaje de alumnado femenino en la Escuela, partiendo del 36 % en el curso académico 1996/1997 hasta alcanzar su máximo en el curso académico actual, con un 49% de estudiantes mujeres. Otro aspecto que cabe destacar, son los datos positivos que se recogen en cuanto a los estudios de máster/posgrado de la Escuela, ofertando dos másteres, el Máster Interuniversitario en Dirección Integrada de Proyectos y el Máster Universitario en Edificación Sostenible, y dos títulos propios de formación en BIM, que cuentan todos ellos con una buena acogida y trayectoria consolidada.

Hasta la fecha del envío de esta comunicación (2 de junio de 2023), la escuela ha formado con éxito a más de 6000 alumnos para el ejercicio de la profesión regulada de Arquitecto Técnico. Este número se distribuye en 3 titulaciones (Arquitectura Técnica 5001, Grado en Ingeniería de la Edificación 208 y Grado en Arquitectura Técnica 845).

5 Agradecimientos

Este trabajo contó con el apoyo del Servicio de Administración de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de la Universidad de A Coruña que ha proporcionado la mayoría de la información que en este artículo se relaciona. Los autores desean hacer explícito el agradecimiento a M^a del Carmen Martínez López y a M^a del Carmen Alonso Fernández, sin su ayuda no hubiera sido posible obtener y contrastar los datos necesarios para la realización de los gráficos y cuadros explicativos.

Referencias

1. Memoria de grado de Ingeniería de la Edificación 2009, E. U. Arquitectura Técnica, . A Coruña : Universidade da Coruña, 2009.
2. Pereiro, Xosé Manuel. La Fundación Barrié dona dos escuelas universitarias de arquitectura. El País. Domingo 9 de junio de 1991. La Coruña.
3. Relación profesorado de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. [En línea] 2019. https://www.udc.es/es/centros_departamentos_servizos/centros/centro/?codigo=670.
4. Universidades, Resolución de la Dirección General de. Plan de Estudios Experimental de las Escuelas Universitarias de Arquitectura Técnica. Orden ministerial de 16 de diciembre de 1976. BOE núm. 32.
5. GUIA Docente de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. [En línea] Curso 2006-07. https://guiadocente.udc.es/guia_docent/index.php?centre=670.
6. Tabla de adaptación de Asignaturas del plan de Arquitectura Técnica al grado en Ingeniería de la Edificación. <https://euat.udc.es/convalidaciones>.
7. Libro blanco Título de Grado en Ingeniería de Edificación. s.l. : Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación.
8. Instituto Nacional de Estadística. INE. Población residente por fecha, sexo y edad (Principales series desde 1971. [En línea] <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=10262>.
9. Estadísticas | Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. mitma.gob.es. [En línea] <https://www.mitma.gob.es/informacion-para-el-ciudadano/informacion-estadistica/vivienda-y-actuaciones-urbanas/estadisticas/vivienda-y-suelo>.

The Education in Technical Architecture. 50 years of the school

Collado López, M. Luisa

Universitat Politècnica de València, Dpto. de Construcciones Arquitectónicas. ETSIE. mcollado@csa.upv.es

Abstract

During 2020-21 academic year, the current Technical School of Building Engineering at the Universitat Politècnica de València celebrated its 50th anniversary since its inception. On this occasion, a document was prepared that outlines the evolution of the syllabus that have provided education to Technical Architecture professionals throughout these years. The centers themselves have also changed their names over their lifetime, evolving with current regulations. However, these changes have not been the same for all universities, which should be an issue for reflection to standardize, as much as possible, both the academic degree designation and the structure of the study plan at a national level, thus facilitating student exchange.

Resumen

Durante el curso 2020-21, la actual Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación de la Universitat Politècnica de València cumplió 50 años de su creación. Con este motivo se ha elaborado un documento que recoge la evolución de los planes de estudio que han dado formación a los profesionales de la Arquitectura Técnica a lo largo de estos años. También los centros han cambiado su denominación a lo largo de su vida, evolucionando con la normativa vigente. Sin embargo, estos cambios no han sido iguales para todas las universidades, lo que debería ser un punto de reflexión para homogeneizar en lo posible, tanto la denominación de la titulación académica como la estructura del plan de estudios a nivel nacional, para facilitar así el intercambio de estudiantes.

Keywords: Technical architecture, University.

1. Introducción

La actual Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación de la Universitat Politècnica de València inició su andadura en 1971 y en el curso 2020-21 celebró el 50 aniversario desde su creación. El primer documento publicado sobre la creación de la Escuela data de 1971 con la publicación en el BOE de la ORDEN de 10 de agosto de 1971 por la que se dan normas para la puesta en marcha de las Escuelas de Arquitectos Técnicos de Valencia e Ingeniería Técnica de Obras Públicas en el curso académico 1971-72, de acuerdo con el Decreto 854/1968 de 4 de abril donde se crean las Escuelas de Arquitectos Técnicos de Valencia. En dicha Orden se establece que será de aplicación el Reglamento de Escuelas Técnicas de Grado Medio de 7 de mayo de 1962 y demás disposiciones generales dictadas para las mismas. A raíz de ello, se constituyó la comisión encargada de poner en marcha la Escuela (Montalvá et al, 1996), con el siguiente texto:

“Primera reunión en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia para el origen y formación de la Escuela de Aparejadores y Arquitectos Técnicos.

En el día de hoy han quedado reunidos bajo la dirección de Don Pablo Navarro los siguientes: Don Darío Fernández Florez, Don Víctor Iñurria, Don José Luis Ferrer, Don Fernando Ruiz, Don Higinio Picón, Don José Antonio Carrión y Don Juan Gomis. Don Carlos Prats había sido invitado pero en estos momentos se encontraba ausente.

En esta primera reunión se han recibido programas y resúmenes de plan de estudios con el fin que sean estudiados para que en la reunión próxima del día 25 de agosto de 1971 a las doce horas en el mismo centro se presenten problemas y soluciones sobre el mismo. En dicha reunión se nombró a Don Juan Gomis como secretario de dicha Comisión. En Valencia a 19 de agosto de 1971”.

Comisión para el estudio de
la Escuela Superior y Técnica.

Primera reunión en la Escuela Técnica Super-
ior de Arquitectura de Valencia para el origen
y formación de la Escuela de Aparejadores y
Arquitectos Técnicos.

En el día de hoy han quedado reunidos
bajo la dirección de Don Pablo Navarro los
señalados Don Darío Fernández Florez
Don Víctor Iñurria
Don José Luis Ferrer
Don Fernando Ruiz
Don Higinio Picón
Don José Antonio Carrión
Don Juan Gomis.

Don Carlos Prats había sido invitado pero en
estos momentos se encontraba ausente.

En esta primera reunión se han recibido pro-
gramas y resúmenes de plan de estudios con el
fin de que sean estudiados para que en la
reunión próxima del día 25 agosto 1971 a
las doce horas en el mismo centro se presenten
problemas y soluciones sobre el mismo.

En dicha reunión se nombró a Don Juan Gomis
como secretario de dicha Comisión.

Valencia 19 Agosto 71

Figura 1. Manuscrito de constitución de la Escuela. 1971

Fuente: Archivo ETSIE

2. Los Planes de Estudios en la ETSIE-UPV

2.1. El plan Experimental del 72

Como consecuencia de la promulgación el 4 de agosto de 1970 de la Ley General de la Educación se hace necesaria una reestructuración de las Enseñanzas Técnicas, lo que se llevó a cabo en la Arquitectura Técnica con el Plan de 1972, impartido con **carácter experimental** en los Centros que fueron autorizados (Escuelas de Madrid, Barcelona, Valencia, La Laguna y La Coruña). La citada Ley supuso la integración en la Universidad de las Escuelas de Arquitectura Técnica, la clasificación como Centros Experimentales de las Escuelas de Arquitectos Técnicos, bajo tutela provisional de la Universidad y la posibilidad de que cada Universidad, de acuerdo con las Directrices generales dictadas por el Ministerio, pudiera elaborar su propio Plan de Estudios

La entonces Escuela de Arquitectos Técnicos de Valencia, creada por la Orden de 10 de agosto de 1971, publicada por el Ministerio de Educación y Ciencia en el BOE de 28 de septiembre, fue sustituida según Decreto de 10 de mayo de 1972 del mismo Ministerio, donde se acuerda la integración en la Universidad de las Escuelas de Arquitectura Técnica.

Comienza entonces la andadura de la Escuela con el siguiente plan de estudios:

Estructura del plan de estudios de Arquitecto Técnico 1972

Primer Semestre Álgebra Lineal Cálculo Física Geometría descriptiva Dibujo Arquitectónico Teoría de la Expresión (optativa)	Segundo Semestre Álgebra Lineal Cálculo Física Geometría descriptiva Dibujo Arquitectónico Materiales de Construcción Historia de la Construcción
Tercer Semestre Materiales y Ensayos Estructuras I Construcción I Instalaciones Dibujo de Detalles Topografía	Cuarto Semestre Estructuras II Construcción II Instalaciones Dibujo de Detalles Legislación Construcción Urbanística (optativa)
Quinto Semestre Estructuras III Construcción III Oficina Técnica Organización, Programación y Control de Obras Mediciones, Presupuestos y Valoraciones Economía de la Construcción y Organización de Empresas Ampliación de Estructuras de Hormigón (optativa)	Sexto Semestre Construcción IV Oficina Técnica Mediciones, Presupuestos y Valoraciones Equipos de Obra y Medios Auxiliares Ampliación de Estructuras de Hormigón (optativa)

El Plan de Estudios de 1974-75 supuso el cambio de modelo de una estructura semestral a una anual

Estructura del plan de estudios de Arquitecto Técnico 1974

Primer curso	Segundo curso
Cálculo matemático	Materiales de construcción II y Ensayos
Física	Estructuras I y II
Algebra lineal	Construcción II y III
Dibujo arquitectónico I	Instalaciones
Geometría descriptiva	Dibujo Detalles Arquitectónicos II
Materiales de construcción I	Legislación
Construcción I	Topografía
	Ingles I
Una materia optativa, entre las establecidas en la respectiva Escuela.	

Tercer curso
Oficina técnica
Organización, Programación y Control de Obras
Mediciones, Presupuestos y Valoraciones
Estructuras III
Construcción IV y V
Economía
Equipos de obra
Historia de la construcción
Inglés II
Una materia optativa, entre las establecidas en la respectiva Escuela

2.2. El plan experimental del 77

El primer hito importante fue la implantación de un plan de estudios común a todas las escuelas a partir de la *RESOLUCION de la Dirección General de Universidades por la que se dispone la publicación del Plan de Estudios Experimental de las Escuelas Universitarias de Arquitectura Técnica, sancionado por la Orden ministerial de 16 de diciembre de 1976, que consta en BOE nº 32 de 7 de febrero de 1977:*

Estructura del plan de estudios de Arquitecto Técnico en ejecución de obras 1977

	Horas semanales	
	Teóricas	Prácticas
Primer curso		
Cálculo matemático	3	2
Física	3	2
Algebra lineal	3	2
Dibujo arquitectónico	1	4
Geometría descriptiva	3	2
Materiales de construcción	2	1
Construcción I	2	1
Total Horas primer curso	17	14
Segundo curso	Teóricas	Prácticas
Materiales de construcción II y Ensayos	2	3
Estructuras arquitectónicas I y II	3	2
Construcciones II y III	3	2
Instalaciones Generales de la Edificación	3	2
Dibujo de Detalles Arquitectónicos	1	4
Legislación	3	-
Topografía	2	1
Idioma moderno	2	-
Total Horas segundo curso	19	14
Una materia optativa, entre las establecidas en la Escuela		
Tercer curso	Teóricas	Prácticas
Oficina técnica	1	4
Organización, programación y control de obras	3	2
Mediciones, presupuestos y valoraciones	3	2
Estructuras arquitectónicas III	2	1
Construcción IV y V	3	2
Economía de la construcción y organización de Empresas	3	-
Equipos de obra y medios auxiliares	2	1
Historia de la construcción	2	-
Idioma moderno	2	-
Una materia optativa, entre las establecidas en la respectiva Escuela		
Total Horas tercer curso.	21	12

Una vez superadas todas las asignaturas fijas de la carrera se deberá, dentro de un período lectivo desarrollar, en régimen de seminario, un trabajo fin de carrera.

2.3. La actualización de los planes de estudios

Entre 1992 y 1994 se trató en la Escuela la estructura para la modificación del plan de estudios y en sesión de la Junta de Centro de 13 de julio de 1994, se acordó “realizar la nueva propuesta del plan de estudios sobre la base de 250 créditos aprobados”.

Comienza entonces un largo proceso de debate que culmina con la RESOLUCION de 2 de septiembre de 1999, de la Universidad Politécnica de Valencia, por la que se ordena la publicación del plan de estudios de Arquitecto Técnico de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de dicha Universidad, donde se indica:

Aprobado por la Universidad Politécnica de Valencia el plan de estudios de Arquitecto Técnico, de conformidad con lo dispuesto en los artículos 28 y 29 de la Ley Orgánica 1 I/1983, de 25 de agosto, de Reforma Universitaria (BOE número 209, de 1 de septiembre), y 75 y concordantes de los Estatutos de dicha Universidad, publicado por Decreto 145/1985, de 20 de septiembre (BOE número 95, de 21 de abril de 1987), y en cumplimiento de lo señalado en el artículo 10.2 del Real Decreto 1497/1987, de 2 de noviembre, sobre directrices generales comunes de los planes de estudios de los títulos de carácter oficial y validez en todo el territorio nacional (BOE de 14 de diciembre),

Este Rectorado ha resuelto ordenar la publicación del acuerdo del Consejo de Universidades que a continuación se transcribe, por el que se homologa el referido plan de estudios, según figura en el anexo.

Este Consejo de Universidades, por acuerdo de su Comisión Académica de fecha 6 de julio de 1999, ha resuelto homologar el plan de estudios de referencia, que quedará estructurado conforme figura en el anexo.

Lo que comunico a y. M. E. para su conocimiento y a efectos de su publicación en el ‘Boletín Oficial del Estado. (artículo 10.2 del Real Decreto 1407/1987, de 27 de noviembre BOE de 14 de diciembre).

Valencia, 2 de septiembre de 1999.—El Rector, Justo Nieto Nieto.

Este plan de estudios ya distribuye su docencia en créditos y distingue las materias que son troncales, obligatorias y optativas. Así se distribuyen los 250 créditos de la siguiente forma: troncales 156, obligatorios 45, optativos 24 y libre configuración 25.

Estructura del plan de estudios de Arquitecto Técnico 1999

Primer Curso

Asignatura	tipo	créditos	cuatrimestre
Fundamentos Matemáticos de la Arquitectura Técnica	troncal	13.5	1-2
Materiales de Construcción I. Tecnología y Control	troncal	9	1-2
Construcción I	troncal	9	1-2
Economía Aplicada	troncal	6	1
Geometría Descriptiva	obligatoria	9	1
Fundamentos Físicos de la Arquitectura Técnica	troncal	7.5	1
Topografía y Replanteos.	troncal	7.5	2
Expresión Gráfica aplicada a la Edificación y a las Construcciones Arquitectónicas.	troncal	9	c
Mecánica de las Estructuras	obligatoria	6	2

Segundo Curso

Asignatura	tipo	créditos	cuatrimestre
Construcción II	troncal	12	1-2
Materiales de Construcción II. Tecnología y Control	troncal	9	1-2
Estructuras de la Edificación	troncal	15	1-2
Instalaciones.	troncal	12	1-2
Dibujo Arquitectónico. Análisis Gráfico del proyecto.	obligatoria	9	1-2
Historia de la Construcción.	obligatoria	4.5	1
Aspectos Legales de la Construcción. Gestión Urbanística.	troncal	6	2

Tercer Curso

Asignatura	tipo	créditos	cuatrimestre
Construcción Tipologías y Sistemas Constructivos.	obligatoria	12	1-2
Seguridad y Prevención.	troncal	6	1
Equipos de Obra. Instalaciones y Medios Auxiliares	troncal	6	1
Proyectos.	troncal	4.5	1
Calidad de la Edificación y su Control.	obligatoria	4.5	1
Técnicas de Organización y Programación de Obras	troncal	9,75	2
Técnicas de Gestión de Presupuestos.	troncal	9,75	2
Proyecto Final de Carrera	troncal	4.5	2
Optativa		6	2
Área de Intensificación.		18	1-2

Esta modificación del plan de estudios supuso también la realización de un plan de adaptación del plan anterior al actual en este momento.

2.4. El Real Decreto 1393/2007 que lo cambia todo.

El artículo 12.9 del Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales, dispone que los planes de estudios conducentes a títulos universitarios oficiales que permitan obtener las competencias necesarias para el ejercicio de una actividad profesional regulada en España, deberán adecuarse a las condiciones que establezca el Gobierno que además deberán ajustarse, en su caso, a la normativa europea aplicable.

“En su virtud, a propuesta de la Ministra de Educación y Ciencia, oído el Consejo de Universidades, el Consejo de Ministros, ACUERDA:

Primero. Objeto.

En virtud de lo dispuesto en el artículo 12.9 del real decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales, se determinan las condiciones a las que deberán adecuarse los planes de estudios conducentes a la obtención de títulos que habiliten para el ejercicio de la profesión regulada de Arquitecto Técnico.

Segundo. Denominación del título.

1. La denominación de los títulos universitarios oficiales a que se refiere el apartado anterior, deberán facilitar la identificación de la profesión para cuyo ejercicio habilita y en ningún caso, las denominaciones de los títulos conducirán a error o confusión sobre sus efectos profesionales.

2. No podrá ser objeto de verificación ningún título cuya denominación incluya la referencia expresa a la profesión de “Arquitecto Técnico” sin que dicho título cumpla las condiciones establecidas en el presente acuerdo.

Tercero. Ciclo y Duración.

Los títulos a que se refiere el presente acuerdo son enseñanzas universitarias oficiales de Grado, y sus planes de estudios tendrán una duración de 240 créditos ECTS.

Cuarto. Requisitos de la formación.

Los planes de estudios a los que se refiere el presente acuerdo deberán cumplir además de lo previsto en el Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales, los requisitos que establezca el Ministerio de Educación y Ciencia respecto a objetivos del título y planificación de las enseñanzas.

Quinto. Normas reguladoras de la profesión.

Los planes de estudios conducentes a la obtención de los títulos que habiliten para el ejercicio de la profesión de Arquitecto Técnico garantizarán la adquisición de las competencias necesarias para ejercer la profesión regulada en la siguiente normativa reguladora de la profesión contenida en:

- Ley 12/1.986, de 1 de abril, sobre regulación de las atribuciones profesionales de los Arquitectos Técnicos e Ingenieros Técnicos.
- Ley 38/1.999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación.
- Decreto 265/1.971, de 19 de febrero, por el que se regulan las facultades y competencias profesionales de los Arquitectos Técnicos (vigentes sólo los artículos 1, 2.B -salvo el apartado 2- y 3).
- Decreto 119/1.973, de 1 de febrero, y R.D. 902/1.977, de 1 de abril, sobre actividades en materia de decoración.
- RD. 685/1.982, de 17 de marzo, sobre regulación del mercado hipotecario.
- RD. 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

Sexto. Habilitación para la adopción de medidas para la aplicación del presente acuerdo.

Por la Ministra de Educación y Ciencia, en el ámbito de sus competencias, se adoptarán las medidas necesarias para la aplicación del presente acuerdo.”

Por su parte, la Conferencia de Directores de Centros Universitarios que imparten la titulación oficial de Arquitectura Técnica, en el Pleno Ordinario celebrado el día 23 de Noviembre de 2007 en la Escuela Técnica Superior de Gestión en la Edificación de la Universidad Politécnica de Valencia, junto con representantes del Consejo General de la Arquitectura Técnica de España acuerdan por unanimidad, que la denominación del nuevo título de Grado sea: **Graduado en Ingeniería de Edificación por la Universidad U** y recoja los requisitos para la verificación de títulos que habiliten para el ejercicio de la profesión regulada de Arquitecto Técnico que figuran en los apartados 2 y 3 del Anexo I del presente documento. Así mismo se acuerda por consenso, ratificar la propuesta de planificación de las enseñanzas que figura en el apartado 4 del anexo I del presente documento, que ha sido elaborada y presentada al Plenario por la Comisión de Grado de la Conferencia, que recoge el contenido del Libro Blanco de Ingeniería de Edificación, aprobado por la ANECA y expresa la estructura curricular obligatoria del mismo.

Partiendo de estas directrices se elaboró de nuevo una estructura de plan de estudios que quedó de la siguiente forma:

Estructura del plan de estudios de Grado en Ingeniería de Edificación. 2010

Tipo de materia	Créditos ECTS
Formación básica	63
Obligatorias	141
Optativas	18
Prácticas externas	6
Trabajo de fin de grado	12
Total.	240

ECTS Módulo	Módulo	Materia	ECTS Materia	Carácter
19,5	Fundamentos científicos.	Matemática aplicada.	10,5	Básico.
		Física aplicada.	9	Básico.
18	Expresión gráfica.	Expresión gráfica en la Edificación.	18	Básico.
6	Química y geología.	Fundamentos de materiales de construcción.	6	Básico.
6	Instalaciones básicas.	Fundamentos de instalaciones.	6	Básico.
7,5	Empresa.	Economía aplicada.	7,5	Básico.

6	Derecho.	Derecho aplicado.	6	Básico.
9	Expresión gráfica.	Expresión gráfica aplicada.	9	Obligatorio.
57	Técnicas y tecnología de la edificación.	Materiales de construcción.	13,5	Obligatorio.
		Construcción.	43,5	Obligatorio.
18	Estructuras e instalaciones de edificación.	Estructuras de edificación.	12	Obligatorio.
		Instalaciones de edificación.	6	Obligatorio.
27	Gestión del proceso.	Organización del proceso edificatorio.	6	Obligatorio.
		Prevención y seguridad laboral.	9	Obligatorio.
		Calidad en la edificación.	6	Obligatorio.
		Gestión integral del proceso edificatorio.	6	Obligatorio.
15	Gestión Urbanística y Economía Aplicada.	Gestión urbanística.	4,5	Obligatorio.
		Peritaciones, tasaciones y valoraciones.	4,5	Obligatorio.
		Presupuestos y control económico.	6	Obligatorio.
9	Proyectos Técnicos.	Proyectos técnicos.	9	Obligatorio.
12	Ejecución de Obras.	Ejecución de obras.	6	Obligatorio.
		Prácticas externas.	6	Prácticas externas.
6	Complementos Específicos.	Complementos matemáticos.	6	Optativo.
		Construcción y medio ambiente.	6	Optativo.
		Instalaciones urbanas.	6	Optativo.
		Dirección de empresas.	6	Optativo.
		Infografía arquitectónica.	6	Optativo.
		Tecnologías avanzadas de levantamiento.	6	Optativo.
		Restauración arquitectónica.	6	Optativo.
		Química aplicada.	6	Optativo.
Lingüística aplicada.	6	Optativo.		
12	Intensificación.	Proyecto de interiores.	12	Optativo.
		Intervención.	12	Optativo.
		Comportamiento mecánico de los materiales.	12	Optativo.
		Eficiencia Energética.	12	Optativo.
		Tecnología de materiales.	12	Optativo.
		Empresas de edificación.	12	Optativo.
12	Proyecto fin de grado.	Proyecto Fin de Grado.	12	Trabajo fin de grado.

3. La situación actual

En marzo de 2010, el Consejo General de Colegios Oficiales de Ingenieros Industriales presentó un recurso contencioso-administrativo contra la denominación del título y su plan de estudios en varias universidades. El Tribunal Supremo dio la razón al recurrente al estimar que la denominación de Grado en Ingeniería de Edificación induce a confusión pues “viene a modificar la denominación de Arquitecto Técnico” y que esta nueva denominación “puede provocar confusión en la ciudadanía pues el calificativo “Graduado en Ingeniería de Edificación “ es tan genérico que induciría a pensar que estos Arquitectos Técnicos tienen en detrimento de otros profesionales una competencia exclusiva en materia de edificación”, “aunque se diga que no altera la atribución de competencias prevista en la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación”.

Ante la sentencia del TS, el CGATE interpuso recurso de nulidad “por defectos de motivación, por decidirse la pretensión suscitada partiendo de premisas erróneas, por incongruencia omisiva y por falta de motivación

reforzada, al incidir el tema decidendi en el derecho fundamental a la autonomía universitaria". Este recurso de nulidad fue desestimado por el Tribunal Supremo.

Finalmente, debido a la resolución del Tribunal Superior de Justicia de la Comunidad Valenciana que dictaminó (auto nº 68 de 9 de febrero de 2012) la anulación cautelar de la denominación de Grado en Ingeniería de Edificación en la Resolución de 26 de julio de 2010, de la Universitat Politècnica de València, por la que se publica el plan de estudios de Graduado en Ingeniería de Edificación, la ETSIE se vio obligada a modificar la denominación del título de Grado. Esta suspensión cautelar de la denominación, no afecta al carácter oficial del título ni a sus efectos académicos y profesionales, singularmente, en lo que a la habilitación para el ejercicio de la profesión regulada de Arquitecto Técnico se refiere.

Así pues, el Consejo de Gobierno de la UPV, en sesión de 26 de septiembre de 2012, acordó aprobar el cambio en la denominación de Grado en Ingeniería de Edificación por la de Grado en Arquitectura Técnica, sin modificar ningún otro punto de la memoria de verificación tal y como fue aprobada por el Consejo de Universidades, situación en la que se encuentra actualmente.

Referencias

- Ley 14/1970 de 4 de agosto, General de Educación y Financiamiento de la Reforma Educativa. BOE de 6 de agosto de 1970.
- Orden de 10 de agosto de 1971 por la que se dan normas para la puesta en marcha de las Escuelas de Arquitectos Técnicos de Valencia e Ingeniería Técnica de Obras Públicas en el curso académico 1971-72. BOE de 28 de septiembre de 1971.
- Decreto 1377/1972 de 10 de mayo, sobre integración de las Escuelas de Arquitectura e Ingeniería Técnica en la Universidad como Escuelas Universitarias de Arquitectura Técnica e Ingeniería Técnica. Ministerio de Educación y Ciencia. BOE de 7 de junio de 1972. pp:(10027-10029).
- Orden ministerial de 16 de diciembre de 1976 por la que se dictan directrices para la elaboración de los planes de estudio de las Escuelas Universitarias de Arquitectura e Ingeniería Técnica. BOE de 24 de diciembre de 1976. pp: (25621-25622).
- Real Decreto 1497/1987, de 27 de noviembre, por el que se establecen las directrices generales y comunes de los planes de estudio de los títulos universitarios de carácter oficial y validez en todo el territorio nacional. BOE de 14 de diciembre de 1987.
- Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales. BOE de 30 de octubre de 2007.
- Resolución de 26 de julio de 2010, de la Universidad Politécnica de Valencia, por la que se publica el plan de estudios de Graduado en Ingeniería de Edificación: BOE de 9 de agosto de 2010. pp:(69927-69928).
- Montalvá, JL; Lopez, C; Rodríguez, P. et al. Publicación conmemorativa del veinticinco aniversario de la Escuela de Arquitectura Técnica de Valencia. Servicio de publicaciones UPV. 1996.

Experiencia de un posgrado en BIM management en la universidad pública

Oliver-Faubel, Inmaculada^a, Pérez-Ordóñez, Juan Luis^b, Fuentes Giner, Begoña^c y Cerdán Castillo, Alberto^d

^a Universitat Politècnica de València. ETS Ingeniería de Edificación, C/ Camí de Vera s/n, Edificio 1B, 46022, València. inolfau@csa.upv.es, ^b Universidade da Coruña, E.U. de Arquitectura Técnica, Rúa da Fraga 27, 15008, A Coruña. juan.luis.perez@udc.es, ^c Universitat Politècnica de València. ETS Ingeniería de Edificación, C/ Camí de Vera s/n, Edificio 1B, 46022, València. bfuentes@csa.upv.es, ^d Universitat Politècnica de València (Profesor externo). ETS Ingeniería de Edificación, C/ Camí de Vera s/n, Edificio 1B, 46022, València. acercas@upvnet.upv.es

Abstract

El objetivo del posgrado en BIM management que se describe es brindar la formación metodológica, técnica y profesional necesaria para el desarrollo de una carrera profesional basada en el uso de Building Information Modeling aplicado a la gestión de proyectos de construcción durante todo el ciclo de vida del edificio o construcción a realizar. Conteniendo dos títulos, el de máster está enfocado a la adquisición de las competencias y habilidades propias de un BIM Manager, responsable de proyectos desarrollados en entornos BIM; el de diploma, por su parte, a la adquisición de las competencias y habilidades propias de un modelador BIM, en las distintas disciplinas que concurren en el proyecto de construcción.

Tras 7 ediciones, la experiencia docente y de gestión adquirida, así como la constante evolución tecnológica de la materia central de la formación, la metodología BIM, nos han obligado a reconsiderar y actualizar, cada cierto período de tiempo, la organización docente y formativa. Recientemente, ha sido la aprobación del RD 822/2021 la que ha llevado a la última actualización hasta llegar al modelo actual.

En esta comunicación se empezará describiendo el programa docente y la evolución justificada tanto de su estructura, contenidos y duración. De igual modo se realiza un análisis detallado de la gestión llevada a cabo tras las 7 ediciones, en la que se exponen, desde las características generales de la formación, hasta la procedencia del profesorado, pasando por la tasa de graduación, de rendimiento, el precio, la metodología docente, etc. Obteniéndose conclusiones tanto cuantitativas como cualitativas del funcionamiento y de los resultados y consecuentemente se definen acciones de mejora.

Por último, se presentarán resultados de satisfacción del alumnado sobre la calidad de la formación recibida y resultados del grado de empleabilidad de los posgraduados.

Keywords: BIM, Posgrado, Máster, Edificación, Gestión.

1. Introducción

BIM está llamado a ser la *lingua franca* para el sector de la construcción a nivel internacional, salvando las barreras comerciales y normativas de países. No se trata solo de replicar digitalmente un proyecto con toda su información sino que es la oportunidad de salir del estadio cuasi-artesanal en el que se encuentra la construcción en todo el mundo para empezar de verdad a parecerse a cualquier otro sector industrial, con la oportunidad de industrializar todo el proceso, reducir el grado de incertidumbre inherente a su actividad y empezar a gestionar el producto resultante de su actividad (el edificio o construcción) con los mismos criterios, metodologías y tratamientos con que lo hace la industria manufacturera o tecnológica. (Fuentes, 2014)

Ante la creciente demanda de formación específica en BIM que se ha producido en nuestro país en los últimos 15 años, varias han sido las universidades públicas y privadas y centros de formación que han empezado a introducir BIM de una forma u otra en sus ofertas de formación.

En los estudios de grado son principalmente las escuelas en las que se imparte el Grado en Arquitectura Técnica (GAT) las que empezaron, a partir de 2010, a intentar implementar la formación en BIM como herramienta transversal de aprendizaje. Pero donde la oferta formativa se ha ido imponiendo es en los estudios de posgrado, tanto másteres como títulos propios.

Sin embargo, la Universitat Politècnica de València (UPV), siendo el referente estatal de BIM en aquellos años, no disponía de oferta alguna de posgrado que permitiese a los recién egresados y profesionales del sector formarse en una metodología y herramientas que ciertamente iban a necesitar cada vez más para su desarrollo profesional y mejora de la empleabilidad

2. La UPV como referente del BIM en España

A partir del año 2009, en el que el Grado en Ingeniería de Edificación se acababa de implantar en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación (ETSIE) de la UPV, y hasta este año 2023, en el que acaba de celebrarse el 12º Encuentro de Usuarios de BIM de España-EUBIM, se han sucedido en la ETSIE una serie de hitos en el mundo BIM que han acabado convirtiéndola en un referente BIM en nuestro país. Estos hitos se han producido tanto en el campo de la formación como en investigación y difusión de la metodología.

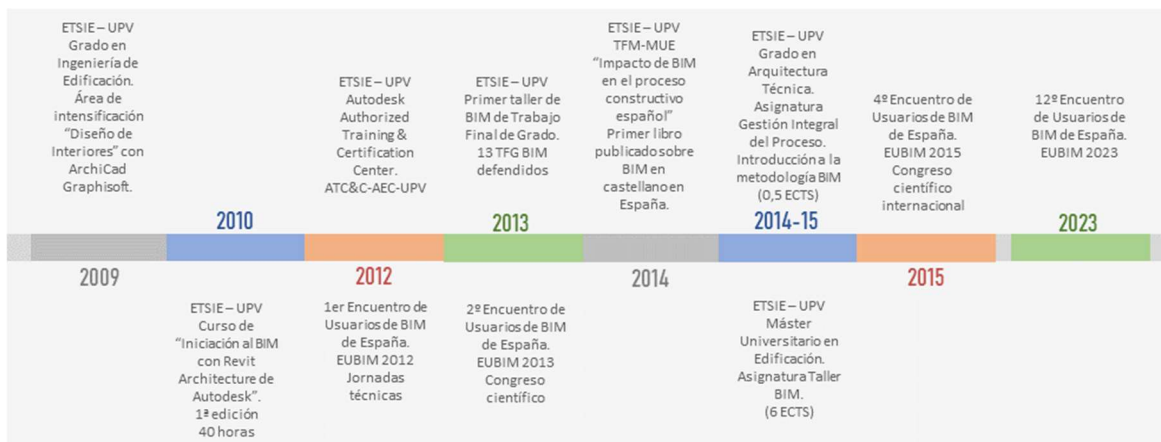


Figura 1. Hitos BIM en la ETSIE-UPV

Fuente: Elaboración propia (2023)

3. Motivación para la creación un posgrado en BIM management en la UPV

Conocedores de todo ello por su participación como fundadores, organizadores y/o docentes en las actividades reseñadas en el punto anterior, los autores eran conscientes de la necesidad de unos estudios de posgrado que ofreciesen una formación integral en gestión de proyectos en BIM. Además, el éxito de las distintas ediciones de los cursos BIM ofertados desde el ATCC&C-AEC-UPV y la proliferación de cursos de formación continua en BIM en otras escuelas de la UPV, en distintos colegios profesionales, organismos y universidades

privadas de València, dan muestra del interés que la formación en esta área suscita entre los profesionales y estudiantes de carreras técnicas relacionadas con la construcción.

En aquel curso 2014-15 se realizó un muestreo de la oferta que había de cursos de posgrado en metodología BIM, gestión de proyectos en BIM e incluso de tecnología BIM en el ámbito nacional, y el resultado fue el siguiente:

Tabla 1. Oferta de formación posgrado BIM en España curso 2014-15

Alcance	ECTS	Institución
Máster BIM Management	60	ZIGURAT, IDESIE
Diploma BIM	Entre 30 y 60	UPC, UNED, CAATM
Experto BIM	Hasta 30	UEM, ETSAM-UPM, UDC
Otros que incluyen parcialmente BIM	--	ZIGURAT, UEM, CICE

Como puede observarse, no había constancia de oferta de formación de posgrado en BIM en la Comunitat Valenciana, en ninguna de sus universidades públicas o privadas. Sin embargo, el curso de posgrado de experto universitario en BIM (27 ECTS, 1 año de duración) que se estaba impartiendo en el curso 2014-15 en la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de la Universidade da Coruña (UDC), el 40 % de la docencia estaba impartida por profesorado de la UPV y profesionales externos a la UPV, pero relacionados con ella por ser miembros fundadores del congreso EUBIM. Fruto de esta colaboración y del deseo de ambas Escuelas de que el título propio no fuese exclusivamente de la UDC, sino interuniversitario UPV-UDC, surge la primera propuesta de una formación posgrado integral en BIM management en la UPV: el *Máster en BIM - Gestión de Información de la Construcción Interuniversitario* en el curso 2015-16.

El título propio tendría estructura de Máster (70 ECTS, 1 año de duración). La secretaría técnica y administrativa del máster tendría su sede en la UPV y los títulos emitidos serían conjuntos de ambas universidades. La docencia sería en un 60% aproximadamente de profesorado UPV y externos UPV y en un 40% de profesorado UDC y externos UDC. Este formato interuniversitario solo duró dos cursos y en el curso 2017-18 se convierte en un título propio de la UPV.

4. Programa de posgrado en BIM management de la UPV

4.1 El primer plan de estudios del Máster en BIM management

El primer plan de estudios del *Máster en Gestión de Información de la Construcción- BIM Interuniversitario* en el curso 2015-16 (Centro de Formación Permanente [CFP], s.f.) se diseña para dar la formación que permita cubrir la necesidad de aquellos recién egresados y profesionales que desean, partiendo de cero, ser especialistas en el desarrollo de proyectos en entorno BIM, con capacidad para implementar esta metodología de trabajo y sus herramientas dentro de su estructura empresarial o profesional, preparándoles para trabajar colaborativamente con otros profesionales y empresas y dominar los sistemas BIM para el desarrollo y control de proyectos y obras.

La experiencia profesional, docente e investigadora en BIM del elenco de profesores que constituye el cuadro académico del título propio garantiza una formación técnica de calidad, orientada a las demandas del mercado y a las exigencias de cambio y adaptación que se están produciendo en el sector de la construcción en ese momento. Además, se cuenta con la colaboración directa de las grandes empresas fabricantes de software BIM y de construcción, así como empresas interesadas en ofrecer a los alumnos del título propio realizar las prácticas en ellas.

El objetivo fundamental de este curso de posgrado es sido, pues, brindar la formación metodológica, técnica y profesional necesaria para el desarrollo de una carrera profesional basada en el uso de BIM aplicado a la gestión de proyectos de construcción durante todo el ciclo de vida del edificio o construcción a realizar.

Para ello el título se estructura en:

- **Diploma de Especialización en BIM** (30 ECTS): dedicado al aprendizaje de la tecnología BIM y su interoperabilidad.

- **Máster en Gestión de Información de la Construcción-BIM (70 ECTS):** amplía la formación del diploma con asignaturas con las que se alcanza el dominio de la gestión del ciclo de vida de un proyecto de construcción, su ejecución y mantenimiento. Se adquiere el título de máster con el desarrollo del Trabajo Fin de Máster (TFM) en el que se ponen en valor las competencias profesionales adquiridas durante el curso.

4.2 La evolución histórica hasta llegar al actual plan de estudios

Aunque la andadura del título propio que nos ocupa es de ocho cursos académicos, desde el 2015-16 hasta el actual 2022-23, se van a detallar solo 3 de las 5 modificaciones (fig.2) que ha sufrido el plan de estudios a lo largo de estos años.



Figura 2. Evolución plan de estudios

Fuente: Elaboración propia (2023)

Plan del 2017-18

Durante dos cursos el título ha sido interuniversitario UPV-UDC. Las dificultades para la gestión administrativa en ambas universidades que aparecen son: plazos y condiciones para la renovación de las sucesivas ediciones; diferentes condiciones económicas dado que la UDC obliga a ofertar un 20% de becas de matrícula cuando la UPV no lo contempla; exigencias académicas para la viabilidad de la oferta; mayoría de alumnos matriculados egresados de la UPV; mayoría de alumnos solicitan la asistencia presencial y eligen hacerlo en la UPV; y finalmente, la UDC no ha aportado ningún alumno en ambas ediciones. Todo ello motiva el cambio más importante: que el título pase a ser un título propio UPV y se rescinda de común acuerdo el convenio con la UDC.

Se aprovecha esta circunstancia para actualizar y redondear los contenidos del título propio introduciendo nuevas materias y asignaturas y reorganizando la docencia de las existentes. La creación de la Comisión *es.BIM* del Ministerio de Fomento, y sus previsiones de implantación obligatoria de la metodología en, al menos, los proyectos públicos según la Disposición Adicional 15 de la Ley 9/2017, lo aconseja. Este plan (CFP, s.f.) se mantiene durante 4 ediciones.

Plan del 2021-22

Tal y como se había previsto, la recomendación de la DA 15 con respecto a la posibilidad de exigir BIM en los proyectos de financiación pública, genera un mayor interés por el aprendizaje de esta metodología y la tecnología que lo acompaña, interés que, además, vira claramente hacia la ingeniería civil. Es por ello por lo que la Comisión Académica del Título (CAT) se plantea la necesaria reestructuración de los contenidos más globales en la gestión de proyectos de otros tipos y no solo arquitectónicos. Estructuración que además asegure, en la gestión de previsibles modificaciones y actualizaciones futuras, una mayor agilidad dentro del complejo y largo proceso burocrático que supone la modificación de un título propio en la UPV. Todo ello permitirá seguir estando a la vanguardia de la formación posgrado BIM de alto nivel.

Así, este nuevo plan (CFP, s.f.) agrupa antiguas asignaturas resultando otras de mayor tamaño. Con ello se pretende solucionar diversas cuestiones. Algunas de ellas son planteadas desde la CAT:

- Conseguir asignaturas más amplias en las que, en un futuro, poder alojar nuevos contenidos sin que ello suponga una modificación sustancial del plan docente y el consiguiente trámite largo y costoso.
- Mejorar la necesaria coordinación entre asignaturas consecutivas en la docencia, que permita un reparto de la docencia y de los contenidos con mayor flexibilidad y ajuste a las necesidades del proceso de aprendizaje.

Y otras sugeridas directamente por el alumnado por medio de las encuestas de satisfacción:

- Mejorar la organización del programa docente de forma que ayude al estudiante a comprender mejor la hoja de ruta formativa.
- Eliminar los numerosos actos de evaluación que se producían en cada asignatura, agrupándolos en trabajos de mejor aplicación práctica de lo aprendido en el aula, que sean compendio del conocimiento y demuestren mejor el “saber hacer” del alumno con respecto a cada materia.
- Optimizar la realización de las encuestas de evaluación de la calidad de la docencia, que han supuesto una queja por el elevado número de estas (una por asignatura y por profesor).

Plan del 2022-23

La aprobación del RD 822/2021 hace necesaria la adaptación del título (CFP, s.f.). La modificación más significativa es que debe cambiar de tamaño: reducir a 60 o ampliar a 90 ECTS. Las razones por la que la CAT decide reducir a 60 ECTS son las siguientes:

- Con la modificación realizada en el 21-22, ya se adelantó trabajo y la adecuación al RD no necesitará ser del todo disruptiva.
- El programa que se quiere ofrecer es exactamente el que se está ofertando en ese momento. La opción de introducir nuevos contenidos y poder incorporar docentes de calidad para ello no es prioritario, en opinión de la CAT.
- El TFM con 15 ECTS en el formato que se viene dando hasta ahora, es un lastre para el alumnado. La enorme oferta laboral y/o de prácticas de empresa que recibe el alumnado y la carga de trabajo autónomo que supone el TFM hace que el nivel de titulados haya caído en picado. Reducir el tamaño del TFM y la metodología de aprendizaje en esa parte del máster para hacerlo más asequible al alumnado se plantea como la mejor opción.
- Un título de más de 60 ECTS requiere más de un curso lectivo de duración y eso reducirá su atractivo, sobre todo entre los potenciales alumnos ya profesionales.
- Aumentar un 50% los ECTS supone el equivalente 50% de incremento de coste de matrícula ya de por sí elevada en este título.

Resultado de estas reflexiones es el plan del 2022-23 de 60 ECTS, con una asignatura Tesina de solo 9, con un 50% de docencia presencial y guiada y que incorpora a la asignatura Trabajo Colaborativo en sus contenidos.

4.1.1. Evolución histórica de las asignaturas

Para finalizar con este análisis de la evolución razonada del plan de estudios, se presenta con detalle la variación de asignaturas y el reparto de créditos en las ediciones revisadas en este apartado:

Tabla 2. Evolución del Plan de estudios: asignaturas y créditos

Edición 2015-16		Edición 2017-18		Edición 2021-22		Edición 2022-23	
Asignatura	ECTS	Asignatura	ECTS	Asignatura	ECTS	Asignatura	ECTS
Introducción a la metodología BIM	1	Introducción a la metodología BIM	1	Introducción a la metodología BIM	1	Introducción a la metodología BIM	1
Iniciación a Revit de Autodesk	4	Iniciación a Revit de Autodesk	4	Revit básico	4	Revit básico	4
Iniciación a Archicad de Graphisoft	2	Archicad I	2,5	Archicad	4	Archicad	4
Técnicas de trabajo avanzadas con Archicad	2	Archicad II	1,5				
Ampliación Archicad	1						
Técnicas de trabajo avanzadas con Revit	3	Técnicas de trabajo avanzadas con Revit	3	Revit avanzado	4	Revit avanzado	4
Genérica creación de familias de elementos	1	Ampliación de Revit architecture	3	Modelado arquitectónico BIM	4	Modelado arquitectónico BIM	4

Edición 2015-16		Edición 2017-18		Edición 2021-22		Edición 2022-23	
Asignatura	ECTS	Asignatura	ECTS	Asignatura	ECTS	Asignatura	ECTS
Genérico modelado conceptual	1						
Ampliación Revit architecture	1						
Nivelación análisis energético de edificios	0,5	Análisis de rendimiento energético de edificios con BIM	1,5				
Análisis rendimiento energético de edificios con plataforma Autodesk	3						
Ecodesigner de Archicad	1,5						
Nivelación diseño y cálculo de estructuras de edificación	0,5	Diseño y cálculo de estructuras de edificación con BIM	4,5	Modelado de estructuras BIM	4	Modelado de estructuras BIM	4
Diseño y cálculo de estructuras de edificación con BIM	4						
Nivelación diseño y cálculo de instalaciones de edificación	0,5	Diseño y cálculo de instalaciones de edificación con BIM	4,5	Modelado de instalaciones BIM	4	Modelado de instalaciones BIM	4
Diseño y cálculo de instalaciones con BIM	4						
Nivelación cuantificación y gestión económica de obras	0,5	Mediciones y presupuesto de un proyecto BIM	2	Mediciones BIM	2,5	Mediciones BIM	2,5
BIM 5D	1,5	5D BIM	1				
GIS y BIM	0,5	Nuevas tecnologías aplicadas a la construcción	2,5	Tecnologías digitales	3	Tecnologías digitales	3
Uso de drones en construcción	1						
Aplicaciones BIM online	0,5						
Construcción de marca y reputación online BIM	1,5	Construcción de marca y reputación online BIM	1				
Uso de BIM en intervención en patrimonio	1	Uso de BIM en intervención en patrimonio	1	Activos BIM (FM + HBIM)	3	Activos BIM (FM + HBIM)	3
		BIM y Facility management	1				
Comunicación gráfica del proyecto BIM	3	Comunicación gráfica del proyecto BIM	2,5	Comunicación BIM	2,5	Comunicación BIM	2,5
		Principios sobre la gestión de la información en el ámbito del sector de la construcción	2	Programación y datos BIM	4	Programación y datos BIM	4
		Programación en entornos BIM: programación visual con Dynamo	2				
Introducción al trabajo colaborativo en construcción	0,5	Fundamentos de gestión de proyectos	3	Lean & project management	3	Trabajo colaborativo	3
Project management	1,5						
Lean construction	1,5						
Plan de ejecución BIM	3	Plan de ejecución BIM	3	Gestión BIM	4	Gestión BIM	4
Nivelación programación de obras	0,5	4D BIM	3,5	Planificación y control BIM	4	Planificación y control BIM	4
BIM 4D	3						
Control de calidad de proyectos BIM	1	Control de calidad de proyectos BIM	1				
Trabajo colaborativo con Revit	3	Trabajo colaborativo con Revit	3	Trabajo colaborativo	4	Tesina	9
Trabajo colaborativo con Archicad	1,5	Trabajo colaborativo con Archicad	1				
Tesina / Prácticas en empresa	15	Tesina	15	Tesina	15		
		Prácticas en empresa (extracurriculares)	28				
TOTAL	70		70+28		70		60

4.3 Breve revisión del estado actual de la formación BIM en España.

Del mismo modo que el plan de estudios del Máster BIM UPV ha cambiado desde el curso 14-15 también lo ha hecho la oferta formativa que motivó su aparición. Con objeto de obtener una visión del estado actual se ha realizado una búsqueda de la oferta actual de productos de formación en metodología y tecnología BIM en nuestro país. La búsqueda se ha realizado exclusivamente en el ámbito universitario público y privado. No se ha analizado la formación que, a partir de 2018, y gracias a las ayudas otorgadas a los colegios profesionales AECO y administraciones por el Ministerio de Fomento para impulsar la definición y adopción de la metodología en España, todavía se está impartiendo por todo el territorio. (Cerdán y Oliver-Faubel, 2019).

Tabla 3. Oferta de formación posgrado BIM en España en el año 2023

Alcance	ECTS	Tipo de Institución	Modalidad (número de títulos)				
			Presencial	Presencial y On-line	Híbrida	On-line	Total
Máster BIM	60	Academia				1	1
		Academia // Universidad Privada				6	6
		Academia // Universidad Pública			1		1
		Universidad Privada	1			1	2
		Universidad Pública	3	2	3	4	12
Diploma BIM	entre 30 y 60	Academia			3	1	4
		Academia // Universidad Privada				1	1
		Universidad Privada				1	1
		Universidad Pública	2			3	5
Experto BIM	Hasta 30	Academia			2	1	3
Otra formación BIM	¿?	Academia		3		6	9
		Academia // Universidad Privada				8	8
Total			6	5	9	28	53

5. Revisión de la gestión del título propio

5.1 Cuadro de profesorado

En la actualidad el claustro está formado por 32 profesores con diversas titulaciones, mayoritariamente de Arquitectura Técnica y Arquitectura, además de Ingeniería civil, Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos e Ingeniería Informática. Todos los docentes tienen su propia actividad profesional o académica enmarcados en el sector de la Arquitectura, Ingeniería, Construcción y Operaciones (AECO) y se dedican a tiempo parcial en el máster. Como se puede observar en la fig. 3, históricamente es menor el porcentaje de plantilla de la UPV, y se mantiene así en la actualidad.

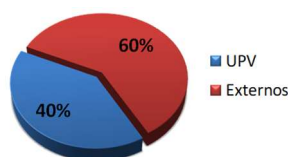


Figura 3. Vinculación del claustro de profesores

Fuente: Elaboración propia (2023)

5.2 Alumnado

La mayoría del alumnado ha respondido al perfil para el que se ha diseñado el máster, esto es, graduados en arquitectura técnica, arquitectura e ingeniería civil y de caminos. Sin embargo, es de agrado que a otros perfiles le suscite interés como a graduados en industriales o topografía, por ejemplo, y mucho más su implicación y resultados docentes alcanzados.

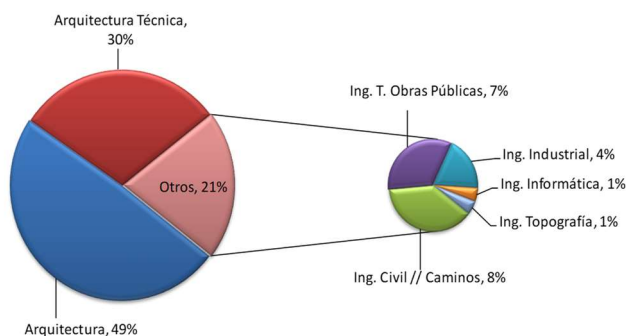


Figura 4. Titulación de acceso al máster

Fuente: Elaboración propia (2023)



Figura 5. Número de estudiantes nuevos por curso

Fuente: Elaboración propia (2023)

En la fig. 4 se muestra las titulaciones que han accedido hasta la actualidad al máster. Es sorprendente únicamente un 30 % de los estudiantes tengan el perfil de arquitectura técnica sobre todo porque el máster, que tiene su sede en la ETSIE, dedica gran cantidad de créditos a la gestión ejecutiva de las obras de construcción, lo que coincide precisamente con las atribuciones de la profesión a la que da acceso el GAT.

El número de estudiantes a lo largo de las 7 ediciones ha fluctuado un poco. El valor promedio se sitúa en 14 alumnos para el máster y entre 3 y 4 para el diploma.

En cuanto internacionalización del máster, si bien no ha sido un objetivo primario de la oferta de formación, se ha alcanzado un 23% de alumnos extranjeros. Cabe destacar que, como se muestra en la fig. 6, la gran mayoría de alumnos extranjeros son de Latinoamérica o Europa, hispanoparlantes (2 han sido italianos); las clases se imparten en castellano; la metodología docente exige la asistencia (on-line o presencial); el sistema docente permite el seguimiento de las clases on-line de forma síncrona; y la diferencia horaria con otros países más al este dificulta el seguimiento de las clases.



Figura 6. Procedencia de los alumnos

Fuente: Elaboración propia (2023)

5.3 Metodología didáctica y sistemas de evaluación

El curso está diseñado de manera que el aprendizaje es creciente: los contenidos que se adquieren un día son imprescindibles para seguir con solvencia la clase del día siguiente. Y ocurre lo mismo con las asignaturas, son consecutivas y no se inicia una hasta que se ha terminado la anterior. Se trata de un programa muy exigente y rígido que pretende ofrecer al alumnado una formación de calidad.

En ningún caso se está en la línea de formación online basada en vídeos alojados en una plataforma docente que el alumno puede seguir según su disponibilidad. Es por ello, y por el correcto progreso del aprendizaje del alumnado, que la CAT plantea como requisito para superar el curso que las clases se sigan de forma síncrona, es decir, en directo, bien presencialmente en el aula de la ETSIE-UPV en la que se imparten las clases, bien en el aula virtual desde fuera de la UPV. En cualquiera de los dos casos se controla la asistencia para comprobar el cumplimiento del 80% mínimo.

Por último, hay que añadir que las clases se graban y se ponen a disposición del alumnado en la plataforma docente con el objeto de que el alumno las pueda consultar para resolver dudas cuando está realizando los trabajos de evaluación, en ningún caso para seguirlas de forma asíncrona, en sustitución de la metodología explicada en el párrafo anterior.

Modificar estas cuestiones es algo que la CAT no ha considerado en ningún momento a lo largo de las 8 ediciones.

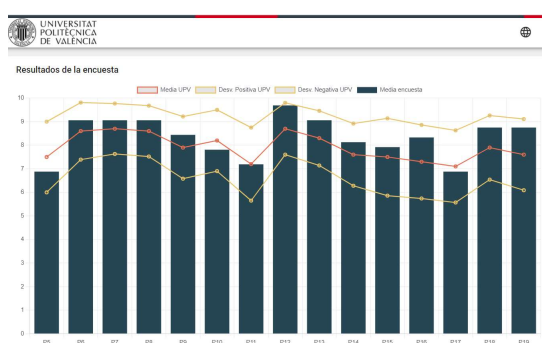
La evaluación de cada asignatura se realiza mediante la entrega de trabajos individuales o en equipo según la asignatura. Para realizarlo, el alumno dispone de 8 días aproximadamente a partir de la finalización de la docencia de esa asignatura. Posteriormente a la publicación de las notas, el alumno podrá optar a la recuperación en caso de no haberla superado. En este caso, el tiempo para realizar la tarea de recuperación se reduce 5 días. Esto significa que el alumno debe realizar las tareas de evaluación y/o recuperación de una asignatura mientras ya está inmerso en la docencia de la siguiente asignatura.

La modificación del programa docente en el sentido de agrupar contenidos y disminuir el número de asignaturas, entre otras razones que se han explicado, ha perseguido reducir la carga de trabajo simultánea para los alumnos, a solicitud de ellos mismos.

6. Resultados

En general, la retroalimentación que nos reportan tanto los propios exestudiantes como los empleadores que los contratan, es muy positiva.

En la fig. 7 se muestra la encuesta de **satisfacción** de la última edición. Cabe resaltar la pregunta 12 en la que los estudiantes consideran que el máster es útil para su campo en la que se mantiene valores de sobresaliente al igual que en ediciones anteriores. Y las preguntas 18 y 19 en la que se roza el sobresaliente considerando que el máster es de calidad y que sus expectativas han quedado satisfechas. En la mayoría de las preguntas el Máster en BIM está por encima de la media UPV.



- P5. La organización general del curso es buena.
- P6. Puedo contactar con la dirección/coordiación del curso siempre que lo solicito.
- P7. El trato recibido por parte del equipo de dirección/coordiación del curso es correcto.
- P8. En términos generales, la relación profesor-alumno es buena.
- P9. El material de promoción consultado tenía la información suficiente.
- P10. El horario actual del curso se adapta a mi disponibilidad.
- P11. Hay suficiente coordinación entre las diferentes asignaturas.
- P12. Considero que la realización del curso puede ser útil en mi campo profesional.**
- P13. En términos generales, la documentación entregada en el curso es útil para mí.
- P14. Los métodos de enseñanza utilizados me parecen adecuados el tipo de curso.
- P15. Las actividades complementarias (visitas a empresas, etc.), en caso de haberse organizado, me parecen interesantes.
- P16. La realización del curso me ayuda a crear relaciones profesionales útiles.
- P17. La relación entre la calidad del curso y su precio de inscripción me parece adecuada.
- P18. Opino que la calidad del curso es buena.**
- P19. Mis expectativas ante el curso quedan satisfechas.**

Figura 7. Encuesta organización del máster de la última edición

Fuente: Elaboración propia (2023)

Los empleadores, por su parte, anteponen la formación de la UPV a la de otros másteres disponibles en el panorama español. En este mismo aspecto, la alta **empleabilidad** del máster es un hecho contrastado. Ya sin finalizar el título, esto es, a falta del TFM, muchos de los alumnos obtienen trabajo, ya sea mediante prácticas externas u ofertas laborales, dejando relegado la realización de aquel. El máster contabiliza cerca de 90 ofertas laborales que en ocasiones quedan desiertas debido a que simplemente no hay suficientes alumnos para cubrir las.

A destacar que se mantiene, tras 8 ediciones, la imposibilidad de aumentar significativamente el **número de profesorado UPV** en relación al externo. La UPV todavía tiene dificultades para suministrar al máster BIM profesorado con la formación o experiencia en gestión BIM requerida para impartir los contenidos del título.

Como dato negativo aportado por los estudiantes, durante el periodo de formación, suelen resaltar la **exigencia del programa y del sistema de evaluación**. No todos los alumnos consiguen aprobar todas las asignaturas y el estrés al que se ven sometidos en las entregas de cada asignatura les afecta en el seguimiento. Sin embargo, una vez se incorporan al mercado laboral, el **feedback** que dan es siempre positivo y de total satisfacción por el esfuerzo realizado. Esto, unido a la satisfacción de los empleadores a la que se ha aludido anteriormente, solo ha hecho que reafirmar a la CAT en sus principios a la hora de diseñar un programa de formación en BIM exigente, de calidad y ajustado a las necesidades del mercado profesional en cada momento. La única variación que se ha llevado a cabo ha sido la reducción del número de asignaturas y por lo tanto el número de pruebas de evaluación, pero en ningún caso han disminuido los contenidos ni los resultados de aprendizaje esperados.

Otro dato objetivo, como se muestra en la fig. 8, es que una mayoría de los estudiantes de ediciones anteriores no logra terminar con éxito (56%). El problema fundamental de la baja **tasa de graduación** (44%) es que la dedicación del TFM, hasta ahora, era de 15 ECTS y se permitía su realización hasta 12 meses desde la finalización de la docencia del resto de asignaturas. El dilatado periodo establecido para desarrollarlo, unido al hecho de que la mayoría de los estudiantes están trabajando ya en ese año, favorece

que muchos de ellos dejen en segundo lugar la realización del TFM. Aun así, solo un 12 % de alumnos abandona.

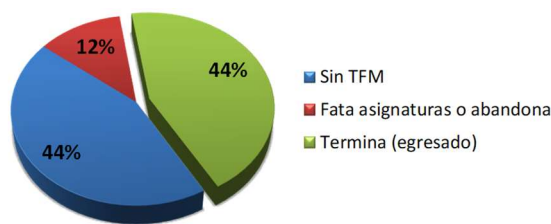


Figura 8. Finaliza estudios
Fuente: Elaboración propia (2023)

7. Conclusiones

Tras 7 ediciones, 100 alumnos y varias modificaciones del programa docente, la valoración global que se obtiene es, en general, positiva. Solo se podría considerar dos aspectos negativos:

1. La tasa de matriculación. Se estima que no se corresponde con las necesidades del mercado. Es posible que una de las razones sea la sobresaturación actual de formación en metodología BIM. Es de esperar que el propio mercado vaya ajustándose por la calidad de lo ofertado y los resultados laborales de los egresados de cada formación. Otra razón puede que sea el precio, pero tanto el cuadro de profesores, externos en su mayoría, como su dedicación y la calidad y nivel que aportan a la formación, no permiten reducirlo.

Y dentro de este mismo punto hay una cuestión que preocupa especialmente a la CAT por su condición de arquitectos técnicos y/o profesores del grado en Arquitectura Técnica y teniendo en cuenta la idoneidad del programa docente para este perfil. Se trata del porcentaje de alumnos recién egresados del GAT o profesionales arquitectos técnicos. No acaba de repuntar y en las últimas ediciones más bien ha descendido.

2. La tasa de graduación. Ha sido el detonante principal de la última modificación del programa y se ha planteado como una propuesta de mejora en el Informe de Gestión de TTPP que el CFP ha realizado tras el curso 2021-22 y que se propuso que fuese vinculante a la hora la adecuación de los títulos propios al nuevo RD. Como se ha explicado, el TFM se reduce de 15 a 9 créditos ECTS y el 50 % de esos ECTS se realizan con talleres de trabajo colaborativo, presenciales y guiados por los profesores de la asignatura. El resto de los ECTS son de trabajo autónomo del alumno para el que solo va a disponer de 1 mes.

Con este planteamiento, y en base al seguimiento de los actuales estudiantes que ya están cursando los talleres de TFM, todo indica que cerca del 70% de los estudiantes se graduará el curso actual.

Por último, cabe destacar que se empieza a exigir no solo formación sino titulación nivel máster en BIM para poder aplicar a las licitaciones de obra pública. Por ello las empresas ya no se interesan solo de las horas de formación sino también del título que el candidato a empleado puede aportar al equipo. Este ha sido el segundo detonante que ha movido a la CAT a motivar al alumnado a terminar el TFM en su curso de primera.

Referencias

Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014. BOE núm. 272, de 09/11/2017.

Real Decreto 822/2021, de 28 de septiembre, por el que se establece la organización de las enseñanzas universitarias y del procedimiento de aseguramiento de su calidad. BOE núm. 233, de 29/09/2021.

Centro de Formación Permanente. Universitat Politècnica de València (s.f.). Recuperados en 2015, 2017, 2021 y 2022 de <https://www.cfp.upv.es/formacion-permanente/>.

Máster BIM UPV. <https://www.masterbimupv.com/>, Último acceso 31/05/2023.

Fuentes Giner, Begoña. 2014. Impacto de BIM en el proceso constructivo español. ISBN 8494259318. LGV Editorial.

Oliver-Faubel, Inmaculada, Pérez-Ordóñez, Juan Luis, Fuentes Giner, Begoña y Cerdán Castillo, Alberto

Cerdán Castillo, Alberto y Oliver-Faubel, Inmaculada. 2020. BIM para la arquitectura técnica. Guía técnica BIMAT. ISBN: 978-84-09-18999-1. CGATE Consejo General de la Arquitectura Técnica de España (Ed).
<https://www.cgate.es/Pagina.asp?Pagina=223>

Estudios simultáneos entre los Grados en Ingeniería de Edificación y en Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Murcia

Aledo Guerao, S.^a, González Ponce, E.^b, Rosa Roca, N.^c

^a UCAM Universidad Católica de Murcia. saledo@ucam.edu, ^b UCAM Universidad Católica de Murcia. egonzalez@ucam.edu, ^c UCAM Universidad Católica de Murcia. nrosa@ucam.edu

Abstract

This communication explains the offer of the academic training project of the Catholic University of Murcia for simultaneous studies from the Degree in Building Engineering with the Degree in Civil Engineering and vice versa, under Article 24 of Royal Decree 822/2021, so that the student can obtain, if all the subjects that make up the simultaneity are passed, each of the official university degrees that comprise it.

This possibility of studying the two degrees simultaneously is based on having established the corresponding recognition of subjects between the two, which although they are two different degrees have a great academic coherence, belonging to the same field of knowledge and knowing that, in the professional world, in many occasions their actions coincide. These formative itineraries allow the student to assume the fundamental competences and knowledge, which are those defined in both Memories of the Syllabus of the respective Degrees.

The result of the establishment of the recognition between both degrees has led to the conclusion that a student of one of these 2 Degrees must complete his training with another 111.0 ECTS of the other Degree, a circumstance that occurs in both directions and therefore, he needs to take a total course load of 351 ECTS to obtain both Degrees.

In order to facilitate this possibility to the students, the two itineraries have been elaborated consisting of a set of compatible schedules distributed in 5 academic years foreseen to study the two degrees.

The simultaneous training itineraries cover 2 possibilities:

- To take the Degree in Building Engineering plus the complementary subjects of the Degree in Civil Engineering.
- Taking the Degree in Civil Engineering plus the complementary subjects of the Degree in Building Engineering.

Keywords: Simultaneous studies, Degree in Building Engineering, Degree in Civil Engineering

1. Introducción

La Universidad Católica de Murcia UCAM tiene implantados los Grados de Ingeniería de Edificación, desde el curso académico 2008/2009, y el de Ingeniería Civil desde el 2010/2011, previas evaluaciones positivas de ANECA (Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación), autorizaciones de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, resoluciones del Consejo de Universidades e inscripción en el Registro de Universidades (RUCT). Y a fecha de hoy, ambos Grados han pasado 2 renovaciones de su acreditación en los años 2016 y 2022.

El Grado en Ingeniería de Edificación dispone en la Memoria de su Plan de Estudios en cumplimiento de la *“Orden ECI/3855/2007, de 27 de diciembre, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Arquitecto Técnico”*.

El Grado en Ingeniería Civil en cumplimiento de la *“Orden CIN/307/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico de Obras Públicas”*.

Durante estos años se observa que graduados en una de estas 2 ingenierías se interesan por cursar la otra, al igual que pasaba con los estudios de Arquitecto Técnico y de Ingeniero Técnico de Obras Públicas, normalmente por motivos laborales, ya que se da la circunstancia de que hay empresas que intervienen realizando obras, tanto en el ámbito civil como en el de la edificación, y técnicos cualificados y preparados en ambas disciplinas les resulta muy interesante. También se repara en que estudiantes que provienen de intercambio o becados de países latinoamericanos reclaman formación tanto de una titulación como de la otra para configurar sus itinerarios acordes al curriculum compatible con las tendencias del mercado laboral de sus países de origen.

Al amparo del Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales, las universidades pueden realizar reconocimientos y transferencia de créditos entre enseñanzas oficiales en la misma u otra universidad para la obtención de un título oficial, teniendo en cuenta la adecuación entre las competencias y conocimientos adquiridos. Por lo tanto, a un estudiante de la misma u otra universidad se le pueden realizar reconocimientos en otra titulación distinta a la que aporta, para así cursar solamente la diferencia de créditos y obtener una segunda titulación.

Actualmente el Real Decreto 822/2021, de 28 de septiembre, por el que se establece la organización de las enseñanzas universitarias y del procedimiento de aseguramiento de su calidad, en su artículo 24, programas académicos de simultaneidad de dobles titulaciones con itinerario específico, incorpora esta posibilidad para dos titulaciones diferenciadas que tenga coherencia académica, es decir, titulaciones que se complementan desde el punto de vista educativo y profesional, como es este caso, y refuerce la formación integral del estudiantado.

2. Objetivos

Elaborar un proyecto formativo académico que permita a un estudiante cursar uno de los Grados como opción principal, la que él elija, y tener la oportunidad de completar, con formación adicional del otro Grado, hasta la obtención de los dos títulos.

3. Metodología

Partiendo de la base de poder aplicar reconocimientos entre titulaciones, la dirección de los Grados en Ingeniería de Edificación e Ingeniería Civil de la UCAM, analizan detalladamente los planes de estudios de ambos Grados para establecer las tablas de reconocimientos entre uno y otro.

Una vez conocidos los créditos y las asignaturas que le restan a un graduado en una de estas ingenierías para obtener la otra, se diseña un conjunto de horarios compatibles de forma que los estudiantes que cursan un Grado puedan completar su formación en el otro, distribuyendo los créditos que le restan con una carga media entre 15 a 30 ects por cada uno de los cuatro cursos del Grado, dejando para el último curso académico el resto.

4. Resultados

Del estudio entre las competencias y conocimientos que trabajan las distintas asignaturas de las dos titulaciones se elaboran las tablas 1 y 2 de reconocimientos, como el modelo de reconocimiento de asignaturas entre los títulos implicados.

Tabla 1. Tabla de reconocimientos de IE desde el Grado en Ingeniería Civil UCAM

Curso	Para el reconocimiento de la asignatura de Ingeniería de Edificación - UCAM (240 ECTS)	Es preciso tener aprobadas las asignaturas de Ingeniería Civil - UCAM (240 ECTS)
1º	Expresión gráfica en la edificación I (6,0)	Sistemas de representación (6,0)
	Matemáticas aplicadas I (6,0)	Instrumentos matemáticos para la ingeniería I (6,0)
	Física aplicada I (6,0)	Fundamentos físicos de la ingeniería I (6,0)
	Introd. materiales construcción (6,0)	A cursar
	Expresión gráfica en la edificación II (6,0)	Dibujo CAD (3,0) y Sistemas de representación (6,0)
	Teología I (3,0)	Teología (4,5)
	Historia de la construcción (3,0) *	A cursar
	Matemáticas aplicadas II (6,0)	Instrumentos matemáticos para la ingeniería II (6,0)
	Física aplicada II (6,0)	Fundamentos físicos de la ingeniería II (6,0)
	Materiales construcción I (4,5)	A cursar
2º	Introducción a la construcción (4,5)	Edificación y Prefabricación (6,0)
	Ética fundamental (3,0)	Ética (3,0)
	Introducción a las instalaciones (6,0)	Instalaciones eléctric (4,5) e Hidráulica e hidrología I (6,0)
	Derecho en la edificación (6,0)	A cursar
	Materiales de construcción II (3,0)	Ciencia y Tecnología de los materiales (6,0)
	Construcción I (4,5)	Cimentaciones (4,5)
	Topografía y replanteos (4,5)	Topografía y Geodesia (4,5)
	Introd. estructuras de edificación (4,5)	Mecánica de Estructuras (6,0)
	Teología II (3,0)	Teología (4,5)
	Instalaciones de edificación I (4,5)	A cursar
3º	Economía de empresa (6,0)	Economía y Empresa (6,0)
	Materiales de construcción III (4,5)	Ciencia y Tecnología de los materiales (6,0)
	Construcción II (4,5)	Procedimientos de Construcción (4,5)
	Análisis e interpretación graf. del proyecto arq. (4,5)	A cursar
	Estructuras de edificación I (4,5)	Teoría Estructuras I (6,0) y Teoría Estructuras II (3,0)
	Estructuras de edificación II (4,5)	Tecnología de Estructuras (6,0)
	Construcción III (4,5)	A cursar
	Control de calidad de materiales y ejecución (4,5)	A cursar
	Seguridad, salud y prevención (4,5)	Seguridad y Salud en la IC (4,5)
	Instalaciones de edificación II (4,5)	A cursar
4º	Doctrina Social de la Iglesia (3,0)	A cursar
	Inglés I (4,5)	A cursar
	Estructuras de edificación III (4,5) *	A cursar
	Construcción IV (4,5)	A cursar
	Gestión y aseguramiento calidad (4,5)	A cursar
	Estudios, planes y coord. seguridad (4,5)	A cursar
	Valoraciones y tasaciones (4,5)	A cursar
	Humanidades (3,0)	Humanidades (3,0)
	Optativa 1 (Instalaciones de infraestructuras 4,5)	Ingeniería viaria (Ob 6,0) y Abast. Aguas (Ob 4,5)
	Proyectos técnicos I (4,5)	A cursar
4º	Mediciones y presupuestos (4,5)	A cursar
	Equipos de obra y medios (4,5)	A cursar
	Gestión medioambiental y urbanística (3,0)	Urb. y ordenac. territorio II (6,0) + Ecología y M. Am (4,5)
	Construcción industrializada y C Sost. (4,5)	Edificación y prefabricación (6,0)
	Deontología, organización y ejercicio profes (4,5)	A cursar
	Introducción al TFG (4,5)	A cursar
	Proyectos técnicos II (4,5)	Planif. Gest. Proy. y Obras (4,5) y Procedimi Const. (4,5)
Análisis y control de costes (4,5)	Planif. Gest. Proy. y O (4,5), Economía (6,0) y Estad (4,5)	

Técnicas de organización y programación (4,5) *	A cursar
Prácticas Externas Obligatorias (4,5)	A cursar
Optativa 2 (Informática aplicada a la IE 4,5)	Informática aplicada (4,5)
Elaboración Trabajo Final de Grado (7,5)	A cursar

* Asignatura reconocible con Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos UCAM

Tabla 2. Tabla de reconocimientos de IC desde el Grado en Ingeniería de Edificación UCAM

Curso	Para el reconocimiento de la asignatura de Ingeniería Civil - UCAM (240 ECTS)	Es preciso tener aprobadas las asignaturas de Ingeniería de Edificación - UCAM (240 ECTS)
1º	Instrumentos matemáticos para la ingeniería I (6,0)	Matemáticas aplicadas I (6,0)
	Fundamentos físicos de la ingeniería I (6,0)	Física aplicada I (6,0)
	Dibujo CAD (3,0)	Expresión gráfica en la edificación II (6,0)
	Sistemas de representación (6,0)	Expresión gráfica en la edificación I (6,0)
	Informática aplicada (4,5)	Informática aplicada a la IE (4,5)
	Teología (4,5)	Teología I (3,0) y Teología II (3,0)
	Instrumentos matemáticos para la ingeniería II (6,0)	Matemáticas aplicadas II (6,0)
	Fundamentos físicos de la ingeniería II (6,0)	Física aplicada II (6,0)
	Ciencia y Tecnología de los materiales (6,0)	Materiales de construcción II (3,0) y Materiales III (4,5)
	Geología aplicada (3,0)	A cursar
2º	Estadística (4,5)	Análisis y control de costes (4,5)
	Instalaciones eléctricas (4,5)	Introducción a las instalaciones (6,0)
	Economía y Empresa (6,0)	Economía de empresa (6,0)
	Ecuaciones de la Física Matemática (4,5)	A cursar
	Topografía y Geodesia (4,5)	Topografía y replanteos (4,5)
	Mecánica de Estructuras (6,0)	Introd. estructuras de edificación (4,5)
	Hidráulica e Hidrología I (4,5)	A cursar
	Ingeniería de Tráfico (4,5)	A cursar
	Ecología y Medio Ambiente (4,5)	Gestión medioambiental y urbanística (3,0)
	Métodos numéricos (4,5)	A cursar
3º	Teoría de Estructuras I (6,0)	Estructuras de edificación I (4,5)
	Hidráulica e Hidrología II (3,0)	Construcción I (4,5)
	Geotecnia (6,0)	A cursar
	Ingeniería Viaria (6,0)	A cursar
	Teoría de Estructuras II (3,0)	Estructuras de edificación I (4,5)
	Cimentaciones (4,5)	Construcción I (4,5)
	Ferrocarriles, Teleféricos y Transp por Tubería (6,0)	A cursar
	Urbanismo y Ordenación del Territorio I (6,0)	A cursar
	Sist Gestión Bases Datos y Desar de Aplic (Op 3,0)	Proyectos Técnicos I (4,5) y Proyectos Técnicos II (4,5)
	Ingeniería Marítima y Costera I (4,5)	A cursar
4º	Ética (3,0)	Ética fundamental (3,0)
	Hidrología Aplicada (4,5)	A cursar
	Tecnología de Estructuras (6,0)	Estructuras de edificación II (4,5)
	Urbanismo y ordenación del territorio II (6,0)	A cursar
	Ingeniería Marítima y Costera II (3,0)	A cursar
	Humanidades (3,0)	Humanidades (3,0)
	Abastecimiento de Agua (4,5)	A cursar
	Desarrollo Sistemas Información Geográfica (3,0)	Proyectos Técnicos I (4,5) y Proyectos Técnicos II (4,5)
	Planificación y Gestión del Transporte (4,5)	A cursar
	Procedimientos de Construcción (4,5)	Proyectos técnicos II (4,5) y Construcción II (4,5)
4º	Planificación y Gestión Recursos Hidráulicos (4,5)	A cursar
	Edificación y prefabricación (6,0)	Construcción industrializada y Construc sostenible (4,5)
	Planificación y Gestión de Proyectos y Obras (4,5)	Proyectos técnicos II (4,5) y Análisis y control coste (4,5)
	Prácticas en empresa (6,0)	A cursar
	Logística del Transporte (4,5)	A cursar
	Ingeniería Sanitaria y Ambiental (4,5)	A cursar
	Seguridad y Salud en la IC (4,5)	Seguridad, salud y prevención (4,5)
	Sistemas Energéticos e Hidroeléctricos (4,5)	A cursar
	Trabajo Fin de Grado (12,0)	A cursar

Como resultado de las tablas de reconocimientos, entre ambos Grados y en ambos sentidos, a cada Grado le restan 111,0 ECTS por cursar para completar la formación del otro, haciendo un total de 351 ECTS a cursar por un estudiante que quiera obtener las 2 titulaciones. Cabe mencionar que las condiciones de acceso a ambos Grados son similares, por lo que es el estudiante quien decide qué itinerario elegir.

Para no sobrecargar demasiado la carga de trabajo del alumnado en cada curso académico, se diseñan un conjunto de horarios compatibles, de forma que los estudiantes que cursan un Grado puedan completar su formación con el otro Grado, distribuidos en los 5 cursos para la obtención de los dos Grados.

Para ello, en cada semestre el estudiante cursa lo correspondiente a su Grado y alguna asignatura más del otro Grado, con una carga mayor o menor dependiendo del semestre, intentando siempre no superar los 90 ECTS por curso para que el esfuerzo, por parte del alumnado, no sea excesivo. Se pretende que, al terminar su cuarto curso académico satisfactoriamente y haber cursado todas las asignaturas del Grado principal, pueda tener la opción de egresar con dicha titulación y en el siguiente quinto curso, realizar el proceso de reconocimiento de créditos en la otra titulación y terminar de cursar el resto de asignaturas para conseguir el segundo título.

La siguiente tabla 3 refleja la distribución de créditos en los distintos cursos académicos para aquellos estudiantes que cursan como Grado principal Ingeniería de Edificación (IE) y simultanean estudios con Ingeniería Civil (IC) y la tabla 4 está la distribución para los de Ingeniería Civil que complementan con Ingeniería de Edificación.

Tabla 3. N.º de créditos previstos para cursar simultáneamente IE e IC

Curso	Semestre	ECTS IE	ECTS IC	Total ECTS	
1º	1	33.0	0.0	33.0	63.0
	2	27.0	3.0	30.0	
2º	1	30.0	9.0	39.0	76.5
	2	30.0	7.5	37.5	
3º	1	25.5	10.5	36.0	84.0
	2	34.5	13.5	48.0	
4º	1	30.0	0.0	30.0	76.5
	2	30.0	16.5	46.5	
5º	1	-	19.5	19.5	51.0
	2	-	31.5	31.5	
Total		240.0	111.0		351.0

Tabla 4. N.º de créditos previstos para cursar simultáneamente IC e IE

Curso	Semestre	ECTS IC	ECTS IE	Total ECTS	
1º	1	30.0	6.0	36.0	73.5
	2	30.0	7.5	37.5	
2º	1	30.0	12.0	42.0	76.5
	2	30.0	4.5	34.5	
3º	1	30.0	4.5	34.5	79.5
	2	30.0	15.0	45.0	
4º	1	30.0	9.0	39.0	87.0
	2	30.0	18.0	48.0	
5º	1	-	18.0	18.0	34.5
	2	-	16.5	16.5	
Total		240.0	111.0		351.0

El segundo condicionante que se ha tenido en cuenta para el reparto de los 111,0 ECTS en los diferentes semestres, además de la lógica distribución temporal de las asignaturas, ha sido el horario de impartición de las diferentes sesiones en el aula, que no sean coincidentes y el estudiante, si así lo desea, pueda asistir presencialmente a todas las asignaturas al no solaparse los horarios.

Como consecuencia de todo esto, la propuesta de asignaturas complementarias para el alumnado del Grado en Ingeniería de Edificación que cursa simultáneamente el Grado en Ingeniería Civil es la que refleja la tabla 5

y la de las asignaturas complementarias para los del Grado en Ingeniería Civil que cursan simultáneamente el Grado en Ingeniería de Edificación están en la tabla 6.

Este diseño de simultaneidad de los dos Grados en 5 años académicos, es decir los 351 ECTS, puede y debe considerarse como una propuesta, el estudiante es el que debe decidir su itinerario según sus capacidades e intereses.

Tabla 5. Asignaturas complementarias para el alumnado de IE que cursa simultáneamente el Grado en IC

Curso / Semestre (ECTS complementarios)	Asignaturas de IC	Horario
1º (3.0)	1 (0.0) 2 (3.0)	
2º (16.5)	1 (9.0) 2 (7.5)	Geología aplicada (3,0) Ecuaciones de la Física Matemática (4,5) Hidráulica e Hidrología I (4,5) Hidráulica e Hidrología II (3,0) Métodos Numéricos (4,5) Ingeniería de Tráfico (4,5)
3º (24)	1 (10.5) 2 (13.5)	Ferrocarriles, Teleféricos y Transportes por Tubería (6,0) Logística del Transporte (4,5) Sistemas Energéticos e Hidroeléctricos (4,5) Abastecimiento de Agua (4,5)
4º (16.5)	1 (0.0) 2 (16.5)	Geotecnia (6,0) Ingeniería Sanitaria y Ambiental (4,5) Ingeniería Viaria (6,0) Urbanismo y Ordenación del Territorio I (6,0) Planificación y Gestión del Transporte (4,5) Planificación y Gestión de Recursos Hidráulicos (4,5)
5º (51.0)	1 (19.5) 2 (31.5)	Ingeniería Marítima y Costera I (4,5) Hidrología Aplicada (4,5) Ingeniería Marítima y Costera II (3,0) Prácticas en Empresa (6,0) Urbanismo y Ordenación del Territorio II (6,0) Trabajo Fin de Grado (12,0)
Total 111.0 ECTS		

Nota: no se ha puesto el horario por considerar un dato irrelevante para el objeto de esta comunicación

Tabla 6. Asignaturas complementarias para el alumnado de IC que cursa simultáneamente el Grado en IE

Curso / Semestre (ECTS complementarios)	Asignaturas de IE	Horario
1º (13.5)	1 (6.0) 2 (7.5)	Introducción a los materiales (6.0) Materiales de Construcción I (4.5) Historia de la construcción (3.0) Doctrina Social de la Iglesia (3.0)
2º (16.5)	1 (12.0) 2 (4.5) 1 (4.5)	Análisis e Interpretación Gráfica del Proyecto Arquitectónico (4.5) Equipos de obra y medios (4.5) Instalaciones de la Edificación I (4.5) Construcción III (4.5)
3º (19.5)	2 (15.0)	Construcción IV (4.5) Derecho en la edificación (6.0) Gestión y Aseguramiento de la calidad (4.5) Control de calidad de materiales y ejecución (4.5)
4º (27.0)	1 (9.0) 2 (18.0)	Instalaciones de la Edificación II (4.5) Inglés (4.5) Estructuras de Edificación III (4.5) Estudios, planes y coord. seguridad (4.5) Valoraciones y Tasaciones (4.5)
5º	1 (18.0)	Proyectos Técnicos I (4.5)

(34.5)	Mediciones y Presupuestos (4.5)
	Deontología, organización y ejercicio profes (4,5)
	Introducción al TFG (4.5)
	Técnicas de organización y programación (4,5)
2 (16.5)	Prácticas Externas Obligatorias (4.5)
	Elaboración Trabajo Final de Grado (7,5)
<hr/>	
Total 111.0 ECTS	
<i>Nota: no se ha puesto el horario por considerar un dato irrelevante para el objeto de esta comunicación</i>	

Como este programa se ha ofertado y puesto en marcha como tal desde el curso 2020/2021 aun no se tienen resultados de egresados, en cuanto al rendimiento, grado de superación, etc. para mostrar.

5. Conclusiones

El programa académico de simultaneidad de dobles titulaciones con itinerario específico que ha diseñado la UCAM cumple con los requisitos del Real Decreto 822/2021 y permiten a un estudiante obtener en cinco años académicos, si supera todas las asignaturas que forman dicho programa, cada uno de los títulos universitarios oficiales que lo configuran.

Referencias

Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales.

Real Decreto 822/2021, de 28 de septiembre, por el que se establece la organización de las enseñanzas universitarias y del procedimiento de aseguramiento de su calidad.

Orden ECI/3855/2007, de 27 de diciembre, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Arquitecto Técnico.

Orden CIN/307/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico de Obras Públicas.

Universidad Católica de Murcia UCAM. Grado en Ingeniería de Edificación.
<https://www.ucam.edu/estudios/Grados/ingenieria-edificacion-presencial>

Universidad Católica de Murcia UCAM. Grado en Ingeniería Civil.
https://www.ucam.edu/estudios/Grados/ingenieria_civil-presencial

Integración de competencias de sostenibilidad y de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el Grado en Arquitectura Técnica: El proyecto JOIN-RISe

Garabito López, Javier^a, Gutiérrez González, Sara^b, Alameda Cuenca Romero, Lourdes^c, Calderón Carpintero, Verónica^d, Muñoz Ruipérez, Carmelo^e y Fiol Olivan, Francisco^f

^a Universidad de Burgos, calle Villadiego sn, 09001 Burgos, jgarabito@ubu.es, ^b Universidad de Burgos, calle Villadiego sn, 09001 Burgos, sggonzalez@ubu.es, ^c Universidad de Burgos, calle Villadiego sn, 09001 Burgos, lalameda@ubu.es, ^d Universidad de Burgos, calle Villadiego sn, 09001 Burgos, vcalderon@ubu.es, ^e Universidad de Burgos, calle Villadiego sn, 09001 Burgos, cmruip@ubu.es, ^f Universidad de Burgos, calle Villadiego sn, 09001 Burgos, ffiol@ubu.es

Abstract

The University of Burgos teaches the Degree in Technical Architecture, which develops skills on Sustainability in subjects such as Sustainable Construction and Energy Efficiency, or in the Materials and Construction subjects, where new content is proposed, such as waste management and recycling.

This concept of sustainability is expanded with the United Nations 2030 Agenda for Sustainable Development. To achieve the 17 Sustainable Development Goals, it is necessary to educate creative and entrepreneurial people with critical thinking. STEM education is essential for the achievement of the SDGs.

The University of Burgos is developing a Plan for the Integration of Sustainability-SDG in the degrees to achieve the full inclusion of these skills in the academic training of the university community.

The JOIN-RISe Project is led by the Center for Cooperation and Solidarity Action and professors from the Degree in Technical Architecture of the University of Burgos and co-financed by the Erasmus+ 2021-2027 Program. It aims to encourage the integration of the SDGs in the academic curricula of the STEM degrees. Its objective is to design an innovative mixed virtual training environment on the SDGs, aimed at both students and teachers. To do this, it will create courses, optional subjects, and different contents for subjects and databases to help professors and coordinators of degrees and masters to adapt the current study plans to the needs contemplated in the 2030 Agenda. A course of Introduction to the SDGs of 8 hours online, in four modules, which will be supported by a first course of the Degree in Technical Architecture, as well as an elective subject of 3 ECTS specific on SDGs. Thus, students will be able to use their knowledge and experience to contribute to the achievement of the SDGs, with an inclusive and digital approach.

Keywords: Sustainability, Sustainable Development Goals, Skills, Virtual training

1. Introducción

La Universidad de Burgos es una de las universidades con más tradición en la titulación de Arquitectura Técnica, ya que los estudios de Aparejadores se iniciaron en Burgos el curso académico 1962-1963, dependiendo de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Actualmente se imparte el Grado en Arquitectura Técnica, basado en los fundamentos del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES).

Con el proceso de convergencia europea en la Universidad de Burgos aprovechamos la necesidad de la acreditación para renovar y actualizar los programas con el fin de adaptarlos a las necesidades del mundo profesional, más competitivo y en constante cambio.

Así, uno de los objetivos de la adaptación de la titulación fue introducir criterios de sostenibilidad (Edwards, 2008) para el Grado, de modo que se ofertaron tres nuevas asignaturas obligatorias: Construcción Sostenible (3 ECTS), Eficiencia Energética (3 ECTS) y Gestión Integral de Calidad, Seguridad y Medioambiente (6 ECTS).

Este nuevo enfoque en la titulación no se ha limitado a estas nuevas asignaturas, ya que las asignaturas tradicionales desarrollan competencias directamente relacionadas con la sostenibilidad. Las disciplinas de materiales y las de construcción consideran la sostenibilidad ambiental como un valor a fomentar, desarrollando temas como gestión de residuos y reciclaje, nuevos materiales, energía gris, ...

Como marco de referencia normativo, se consideraba el Objetivo 20-20-20, compromiso pactado y firmado entre los Estados miembros de la Unión Europea para alcanzar una mayor eficiencia energética. Este compromiso energético, Directiva 2012/27/UE, básicamente consiste en alcanzar: 20% de reducción de las emisiones de gases efecto invernadero, 20% de aumento en la participación en las Energías Renovables, 20% en la mejora de la Eficiencia Energética global del Estado Miembro. Este enfoque energético está muy claro en el Grado, con asignaturas y competencias específicas.

El 25 de septiembre de 2015, 193 países se comprometieron con los 17 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS) de Naciones Unidas y su cumplimiento para el año 2030 (Agenda 2030) (Figura. 1). Estos objetivos se concretan en 169 metas específicas. Los ODS tienen carácter mundial y son universalmente aplicables, tomando en cuenta las diferentes realidades, capacidades y niveles de desarrollo nacionales y respetando las políticas y prioridades nacionales. Los ODS no son independientes entre sí, y es necesario que se apliquen de manera integrada. Los ODS instan a los países, así como al resto de actores, incluidas las empresas, a intensificar sus esfuerzos para poner fin a la pobreza en todas sus formas, reducir la desigualdad y luchar contra el deterioro ambiental.



Figura 1. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible
Fuente: Naciones Unidas (2015)

Los ODS que tienen más incidencia en nuestro sector de la edificación, de acuerdo con la Federación Europea de Asociaciones de Ingeniería son (Feani, 2021):

Objetivo 6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.

Objetivo 7. Asegurar el acceso a energías asequibles, fiables, sostenibles y modernas para todos.

Objetivo 9. Desarrollar infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación.

Objetivo 11. Conseguir que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

De este modo, el enfoque de la sostenibilidad en la Agenda 2030 se amplía, ya que ahora se incide en la sostenibilidad en tres ámbitos: social, económico y medioambiental.

La Universidad de Burgos (Portal de sostenibilidad UBU, 2023) se ha comprometido, junto con otras instituciones y entidades, a propiciar las condiciones para que los ODS se alcancen. En 2019, la universidad de Burgos se incorporó a la Red Española del Pacto Mundial de las Naciones Unidas (aprobado en Consejo de Gobierno el 18 de noviembre), al Compromiso de la CRUE a favor de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible (aprobado en Consejo de Gobierno el 17 de diciembre) y a la Red SDSN (Red Española para el Desarrollo Sostenible).

Todas estas iniciativas realizadas desde la Universidad de Burgos quedaron recogidas en el Informe de Responsabilidad Social de la Universidad de Burgos 2021 elaborado por el Vicerrectorado de Responsabilidad Social, Cultura y Deporte.

La experiencia en el compromiso con la consecución de los ODS se describe en una página web específica (ODS 2030 UBU, 2023) que la Universidad ha abierto en su portal de transparencia. Aquí las acciones se agrupan según el Objetivo al que contribuyen, mostrando el gran esfuerzo y número de acciones llevadas a cabo en prácticamente todos los ODS.

Con este fin se está llevando a cabo un Plan de Integración de la Sostenibilidad-ODS en las Titulaciones de la Universidad de Burgos.

La primera acción ha consistido en identificar las competencias y contenidos relacionados con la Sostenibilidad-ODS en cada titulación universitaria. Se han analizado las competencias del Grado en Arquitectura Técnica que desarrollaban los principios y valores democráticos y los ODS enunciados en el RD 822/2021 de 28 de septiembre (Figura. 2).

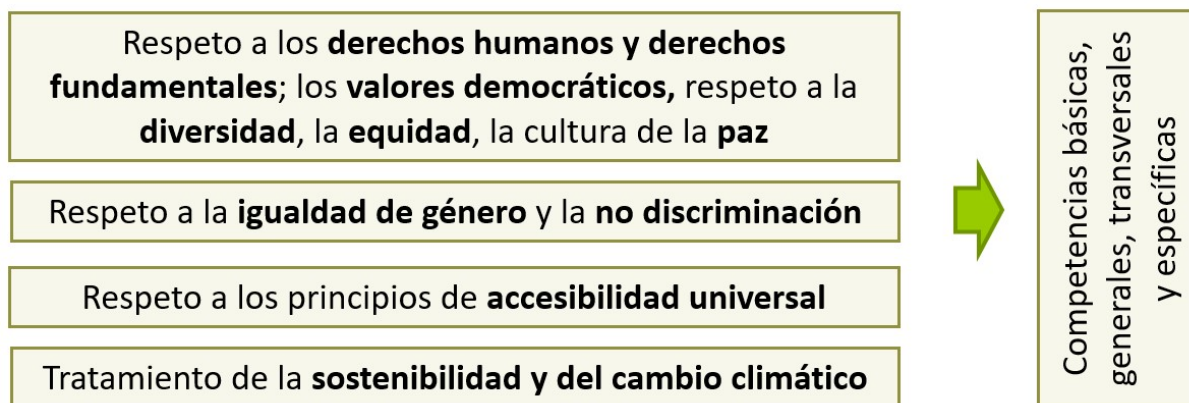


Figura 2. Principios y valores democráticos y los ODS
Fuente: Elaboración propia

Otra de las acciones que se está desarrollando en la Universidad de Burgos es el Proyecto JOIN-RISe (Joint development of innovative blended learning in STEM curricular based on SDGs for a resilient, inclusive and sustainable education), (JOIN-RISe, 2023), liderado por el Centro de Cooperación y Acción Solidaria y docentes del Grado en Arquitectura Técnica de la Universidad de Burgos, que pretende incentivar la integración de los ODS en los currículos académicos de los grados STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics).

El proyecto está cofinanciado por el Programa Erasmus+ 2021-2027 (Figura. 3).



Figura 3. El proyecto JOIN RISe

Fuente: proyecto JOIN RISe

2. Objetivos

El objetivo principal de JOIN-RISe es lograr que los estudiantes de STEM de educación superior, en este caso en el Grado en Arquitectura Técnica, se conviertan en ciudadanos con pensamiento crítico y comprometidos con los ODS.

Para lograr esto, es crucial que se produzcan cambios en los planes de estudio actuales y que los ODS se incluyan en la enseñanza de los grados STEM. Así, los profesores son actores clave para cumplir con el objetivo principal del proyecto. Por lo tanto, otro objetivo es concienciar a los profesores de STEM sobre los desafíos globales y la necesidad de integrar los valores y la ética en su enseñanza para ayudar a los estudiantes a desarrollar una mentalidad sostenible y utilizar la ciencia para hacer el bien en la sociedad.

Concienciar a los estudiantes del Grado que la sostenibilidad, muy presente en la titulación, se plantea de un modo integral, incidiendo en tres ámbitos: social, económico y medioambiental.

Ampliar la visión de la enseñanza de los ODS a los estudiantes de educación superior, en este caso en el Grado de Arquitectura Técnica, ya que explicar los ODS va más allá de permitirles comprender, realizar y aprender los ODS. Por ejemplo, aplicado al cambio climático (ODS 13), los resultados del aprendizaje deben incluir la comprensión de la escala, la urgencia, las causas, las consecuencias y las soluciones del cambio climático; cómo las normas y prácticas sociales están impulsando la crisis climática; y la capacidad de identificar rutas para la participación directa en soluciones a través de todas las disciplinas (Thew et al, 2021). Por lo tanto, además de conocimientos y habilidades, los estudiantes deben adquirir actitudes, mentalidades, valores y comportamientos. En consecuencia, muchos autores proponen visiones de aprendizaje más holísticas, como el enfoque 3H: Cabeza (pensar), Corazón (sentir) y Manos (actuar), donde la educación gravita en torno a la enseñanza del pensamiento, la emoción y el comportamiento (Morrison, 2001).

3. El Proyecto JOIN-RISe. Metodología pedagógica

El consorcio del proyecto, con un fuerte carácter internacional, incluye cuatro instituciones académicas: Universidad de Burgos (España), Technische Universiteit Delft (Países Bajos), Trinity College Dublin (Irlanda), Universidad de Pécs (Hungria) y una empresa de consultoría tecnológica, Bjaland Technologies (España).

El proyecto JOIN-RISe plantea revolucionar la enseñanza y el aprendizaje de STEM en la educación superior mediante el diseño de un innovador entorno virtual mixto de capacitación en los ODS, que tiene dos funciones distintas, una específicamente dirigida a profesores y la otra a estudiantes, como actores clave en la educación para el desarrollo sostenible.

Para ello, JOIN-RISe está desarrollando cursos, asignaturas optativas, contenidos para distintas materias y bases de datos para ayudar a los profesores y coordinadores de grados y másteres a adaptar los planes de estudio actuales a las necesidades contempladas en la Agenda 2030.

Además, el proyecto proporcionará a las universidades e instituciones de educación superior una guía metodológica para adaptar el Certificado de Compromiso Sostenible (CSC) al Marco Europeo de Cualificaciones (EQF) y a la idiosincrasia de cada universidad implicada. La Certificación de Compromiso Sostenible (CSC) es una micro-credencial con reconocimiento ECTS que se integrará en el currículo académico de grados y másteres. Reconocerá los conocimientos y habilidades adquiridos por los estudiantes de educación superior en relación con los ODS a través de los resultados del programa Join-Rise.

Se ha analizado la implementación actual de los ODS desde la perspectiva de las disciplinas STEM, y se ha detectado que presentan algunos puntos en común. Los estudiantes de STEM tradicionalmente tienen menos oportunidades para abordar los desafíos globales en sus títulos (Chan et al., 2022), como la pobreza (ODS 1), la igualdad de género (ODS 5) o la paz, la justicia y las instituciones sólidas (ODS 16). Sin embargo, el ODS 16 es crucial para lograr los otros ODS, dado que, sin una buena gobernanza e instituciones sólidas, no será posible tener éxito (Dasandi et al., 2019). Curiosamente, los ODS más comunes que se enseñan actualmente en la educación superior son el cambio climático (ODS 13), las ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11) y educación de calidad (ODS 4) (Leal Filho et al, 2019). Los dos primeros de estos ODS encuentran en las disciplinas STEM el entorno natural a desarrollar dentro de grados como Arquitectura Técnica, y cada vez es más frecuente encontrar cátedras en estas áreas en las universidades técnicas.

De las encuestas realizadas a docentes, una limitación principal identificada fue la falta de tiempo disponible para los docentes al introducir los conceptos de los ODS en los cursos existentes, así como la falta de recursos disponibles para adaptar o crear nuevos materiales. En el lado positivo, la encuesta identificó que muchos docentes ya introducen conceptos de los ODS en sus asignaturas, sin embargo, estos tienden a ser aquellos ODS que están directamente relacionados con la asignatura, lo que significa que hay varios ODS que se descuidan dependiendo del enfoque del programa educativo. En algunas instituciones puede ser aconsejable impartir un curso introductorio que cubra aquellos ODS que tienen menos probabilidades de estar integrados en las materias básicas del plan de estudios, como puede ser el caso del Grado en Arquitectura Técnica.

La plataforma de aprendizaje, Sustainable Development Goals Virtual Learning Platform (SDGs-VLP) será abierta, accesible (se evaluará para cumplir los requisitos del World Wide Web Consortium (W3C) y de diseño universal) y se adaptará a diferentes contextos educativos. Por lo tanto, la plataforma puede ser implementada en todas las instituciones de enseñanza superior.

La plataforma se diseñará y desarrollará en base a la metodología planteada por BJ Fogg (Fogg, 2002) sobre la adquisición de nuevas competencias. Esta tecnología pretende aumentar la adherencia a nuevos hábitos tecnológicos a través del diseño y desarrollo de plataformas altamente amigables que permitan una implicación natural en el proceso formativo.

La inclusión de las nuevas tecnologías también permitirá una auto-regulación, es decir, una instrucción guiada del proceso de aprendizaje.

El proyecto desarrolla la estructura y los objetivos de aprendizaje de 5 cursos/asignaturas/programas:

- (1) Curso de iniciación para estudiantes universitarios de primer curso, curso introductorio de los ODS.
- (2) Una descripción completa de una asignatura optativa, incluido su funcionamiento y los requisitos para ponerlo en práctica,
- (3) Una descripción completa de un nuevo programa de 5 módulos sobre Desarrollo Humano Sostenible, su funcionamiento y los requisitos para ponerlo en práctica,
- (4) Un curso en línea para profesores sobre cómo integrar los ODS en una asignatura existente o en Proyectos de Grado/Máster

(5) Un curso en línea para coordinadores de grado sobre cómo integrar los ODS en el plan de estudios.

En esta ponencia nos centraremos en los dos primeros cursos, ya que son los más específicos para la titulación de Grado en Arquitectura Técnica.

3.1. Curso de iniciación para estudiantes universitarios de primer curso

El curso introductorio de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, que se implementará en la Universidad de Burgos (UBU) en España, tiene como objetivo proporcionar a los estudiantes de primer año de grado una visión general y amplia de los desafíos que enfrenta la Agenda 2030. Los estudiantes universitarios serán los profesionales involucrados en el logro de estos objetivos en el futuro. Por lo tanto, es muy necesaria una pronta introducción y capacitación en el campo del desarrollo sostenible. También es esencial centrarse en las aplicaciones prácticas de este conocimiento, para promover la implicación y la participación en acciones para alcanzar estos objetivos.

Por lo tanto, el objetivo principal del curso es proporcionar a los estudiantes conocimientos teóricos y prácticos que les permitan adquirir y desarrollar las competencias y habilidades necesarias para trabajar hacia el desarrollo sostenible. El título del curso será 'Mi papel como estudiante universitario y futuro profesional dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible'.

MÓDULO 1. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE: UNA INTRODUCCIÓN A LA SOSTENIBILIDAD	
Duración total del módulo: dos horas Primer año, primer semestre.	
Objetivos de aprendizaje: Al final del módulo, el estudiante será capaz de	
<ul style="list-style-type: none"> • Comprender los conceptos clave que guían las acciones diseñadas para lograr los ODS. • Comprender los factores clave y las bases de las desigualdades sociales y territoriales en todas las dimensiones y a diferentes escalas geográficas. • Desarrollar una visión global e integral de la naturaleza, el enfoque y los objetivos de las acciones de cooperación al desarrollo. • Aplicar los valores de la cooperación universitaria en sus dimensiones docente e investigadora. 	
Unidad 1.1.	Introducción: Desarrollo Humano Sostenible
Unidad 1.2.	La Cooperación para el Desarrollo
Unidad 1.3.	Los actores de la cooperación al desarrollo
Unidad 1.4.	Marco normativo para la cooperación
Criterios de evaluación: Para superar el módulo, los estudiantes deben alcanzar un 60% de respuestas correctas en las pruebas de autoevaluación.	

Figura 4. Módulo 1. Curso introductorio de los ODS

Fuente: proyecto JOIN RISe

El curso de formación incluirá una introducción centrada en el origen de los objetivos, regulaciones y compromisos que existen en esta área, módulo 1, "Objetivos de desarrollo sostenible: una introducción a la sostenibilidad" (Figura. 4). El segundo módulo, "Objetivos y desafíos en la agenda 2030 para el desarrollo sostenible", explicará los 17 objetivos, sus metas, los logros alcanzados y los desafíos futuros. El tercer módulo, "Enfoques intersectoriales de la cooperación para el desarrollo", se centrará en los enfoques que deben guiar cualquier intervención en el campo del desarrollo sostenible. Finalmente, el curso módulo, "Aplicaciones prácticas de los ODS", finalizará con aplicaciones prácticas de los conocimientos adquiridos. Proporcionar a los estudiantes una visión clara de las acciones que pueden tomar en sus carreras profesionales dará como resultado un mayor compromiso de los estudiantes con los ODS.

Este curso será obligatorio y común a todas las titulaciones ofertadas por la Universidad de Burgos. Se llevará a cabo durante los primeros meses en la universidad de los nuevos estudiantes de grado (primer semestre/año). Se impartirá en cuatro sesiones de dos horas, por lo que la dedicación total no superará las 8 horas. Las primeras seis horas se centrarán en la formación general, común a todos los grados, y las dos últimas en la formación adaptable para áreas específicas de estudio. Al finalizar el curso, los alumnos recibirán un diploma por la formación que hayan realizado que les dará méritos para obtener el Certificado de Compromiso Sostenible. También recibirán información sobre las opciones adicionales disponibles en la universidad para desarrollar su compromiso con la Agenda 2030 durante su vida académica.

En el caso del Grado en Arquitectura Técnica se plantea que este curso on-line se desarrolle como una práctica obligatoria de una asignatura del primer curso y del primer semestre, como puede ser Fundamentos de Materiales, por lo que su implantación en la titulación es muy sencilla, con cambios menores en la guía docente.

3.2. Asignatura optativa sobre los ODS

Esta asignatura optativa tiene como objetivo proporcionar a los estudiantes los conocimientos y habilidades necesarios para trabajar en proyectos arquitectónicos en el campo de la cooperación internacional para el desarrollo.

El título de la asignatura, en el caso del Grado en Arquitectura Técnica es “Proyectos en el ámbito de la cooperación internacional para el desarrollo” con una carga lectiva de 3 ECTS.

Los objetivos de esta asignatura son los siguientes:

- Definir la organización de un proyecto arquitectónico y la gestión del proyecto en el contexto de la cooperación internacional.
- Conocer tecnologías de bajo coste y sostenibles para el diseño, cálculo y ejecución de proyectos de cooperación arquitectónica.
- Aprender cómo combinar soluciones tecnológicas de bajo coste con soluciones industrializadas, buscando la innovación.
- Aplicar criterios de economía circular en los proyectos desarrollados.
- Sensibilizar, comprometer e iniciativa a los estudiantes en el ámbito de la cooperación.

La implantación de la asignatura optativa es más compleja porque implica revisar el Plan de Estudios del Grado.

4. Conclusiones

Con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas se ha ampliado el concepto de sostenibilidad. Para alcanzar los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, ODS, es necesario educar personas inteligentes, creativas y emprendedoras, buscando que tengan confianza en sí mismas y piensen de forma crítica.

El conocimiento y aplicación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) es clave para que la humanidad logre un futuro sostenible. Muchos de los futuros administradores y ejecutivos de temas que afectan a los ODS son estudiantes de STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas), específicamente del Grado en Arquitectura Técnica. Por lo tanto, la implementación de los ODS en las enseñanzas STEM es esencial para un futuro sostenible.

El proyecto JOIN-RISe proporciona algunas pautas y herramientas que facilitarían la transferencia de la esencia y el conocimiento de los ODS al currículo de STEM, en diferentes niveles de organización y estructura. Se proporcionan pautas para que los profesores, coordinadores de títulos y supervisores de proyectos incorporen los ODS en sus asignaturas.

El proyecto JOIN-RISe plantea revolucionar la enseñanza y el aprendizaje de STEM en la educación superior, en este caso en el Grado en Arquitectura Técnica, mediante el diseño de un innovador entorno virtual mixto de capacitación en los ODS, tanto para los profesores como para los estudiantes, ya que son los actores clave en la educación para el desarrollo sostenible.

Para lograr este objetivo de una enseñanza integral de las ODS, las Universidades e instituciones de educación superior tendrán a su disposición una guía metodológica para adaptar el Certificado de Compromiso Sostenible (CSC) al Marco Europeo de Cualificaciones (MEC) y a la idiosincrasia de la universidad implicada.

Referencias

- Chan M.-N., Nagatomo D. 2022. Estudio de STEM para la sostenibilidad en la educación del diseño: Marco para el aprendizaje y los resultados de los estudiantes con el diseño para un proyecto de desastre. *Sostenibilidad* 2022, 14, 312. <https://doi.org/10.3390/su14010312>
- Dasandi N., Mikhaylov S. J. 2019. AI para el ODS 16 sobre paz, justicia e instituciones sólidas: seguimiento del progreso y evaluación del impacto. En Documento de posición para el Taller IJCAI sobre Inteligencia Artificial y Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.
- Edwards B. 2008. Guía básica de la sostenibilidad, Editorial Gustavo Gili, Barcelona.
- FEANI 2021. Los Objetivos de Sostenibilidad de la ONU: El papel de FEANI / Engineers Europe y la Comunidad Europea de Ingeniería. Disponible en: https://www.feani.org/sites/default/files/FEANI_Position_Paper_1.pdf (acceso 17 de marzo de 2022).
- Fogg B.J. 2002. Persuasive technology: using computers to change what we think and do. *Ubiquity*, 2002. <https://doi.org/10.1145/764008.763957>
- JOIN RISE (2023, 12 de junio) <https://join-rise.org/>
- Leal Filho W., Shiel C., Paço A., Mifsud M., Ávila L.V., Brandli L.L., Molthan-Hill P., Pace P., Azeiteiro U.M., Vargas V.R., Caeiro S. 2019. Objetivos de Desarrollo Sostenible y enseñanza de la sostenibilidad en las universidades: ¿Quedarse atrás o adelantarse a la manada? *Journal of Cleaner Production*, 232, 285–294. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.309>
- Morrison T. 2001. Aprendizaje accionable: un manual para la creación de capacidad a través del aprendizaje basado en casos, Instituto del Banco Asiático de Desarrollo
- ODS 2030 UBU (2023, 12 de junio) <https://www.ubu.es/portal-de-transparencia/ods-objetivos-para-el-desarrollo-sostenible-2030>
- Portal de sostenibilidad UBU (2023, 12 de junio) <https://www.ubu.es/portal-de-sostenibilidad>
- Thew H., Graves C., Reay D., Smith S., Petersen K., Bomberg E., ... & Worsfold N.T. 2021. Integración de la educación climática en las instituciones de educación superior. Documento de trabajo de la Red de Universidades COP26.

Modification of the ECI/3855/2007 Order. An opportunity after the Act for the University System and the Decree 822/2021

Santiago-Zaragoza, Juan Manuel^a, García-Carrillo, Fabián^a y Segarra-Cañamares, María^b

^a E.T.S Ingeniería de Edificación, Universidad de Granada, Campus de Fuente nueva, s/n, 18071, Granada santi@ugr.es, fabian@ugr.es. ^b Escuela Politécnica Superior de Cuenca, de la Universidad de Castilla-La Mancha, Calle de Sta. Teresa Jornet, 4, 16002 Cuenca maria.segarra@uclm.es

Abstract

The implementation of the European Higher Education Area (EHEA) for the Grade in Building Engineering, meant an in-depth analysis of the corresponding or related studies in Europe, considering the characteristics of the selected European degree, insertion studies of the graduates during the last five years, and the profiles and professional skills.

After its approval by ANECA, Order ECI/3855/2007, of December 27, was published. It established the requirements for the verification of official university degrees that enabled the exercise of the profession of Technical Architect. Pursuant to said Order, the corresponding study plans were drawn up.

It is well known the unusual ruling of the Spanish Supreme Court, which, seeming to ignore the existence of the EHEA, and even the very essence of the EU, invalidated such a name, for being supposedly "confusing". This forced certain universities to change the name of the title.

However, the study plans, with fully comparable content in the field of engineering, were never questioned, so they are still fully valid today.

The new Law for the University System and the Royal Decree 822/2021, that establishes the Organization of University Education and its Quality, will make compulsory to modify the study plans. In this sense, the competences granted by the ECI Order. At the time of its approval, they did not reflect the contents and competences that were collected in the subjects of the different study plans so, at present they have become completely obsolete; therefore, a deep reflection must be made in order to modify and update it according to the national and international situation of our graduates.

In this article, he proposes a methodology for reviewing and updating that Order, to make it coincide with the academic and professional reality.

Keywords: Building Engineering, European Higher Education Area, ECI Order.

1. Introducción

En junio de 1999 se produce la Declaración de Bolonia que dio lugar al proceso por el que se establecieron las bases para crear el Espacio Europeo de Educación Superior, EEES, (EEES, Bolonica 1999) organizado conforme a los principios de calidad, movilidad, diversidad y competitividad; y con el fin del reconocimiento internacional de titulaciones y, por tanto, la libre circulación de profesionales en la Unión Europea. En aplicación y desarrollo de aquellos principios y objetivos, el 21 de octubre de 2002, en España se produce una segunda convocatoria de la Agencia Nacional de Calidad y Evaluación, ANECA, en su Programa de Convergencia Europea, de ayudas para la elaboración de los Libros Blancos que habrían de servir de base para el diseño de los nuevos planes de estudio y títulos de Grado.

El proceso de elaboración, en nuestro caso, duró casi dos años (desde la preparación de la solicitud a la aprobación definitiva del Libro Blanco), con multitud de consultas, trabajos específicos y reuniones. Se buscó e identificó a nuestros colegas europeos más próximos, para saber dónde y cómo se formaban, y cómo se llamaban. En ese sentido, se debatió, fundamentalmente, el tema de competencias básicas, generales, transversales y específicas; los módulos de conocimiento, asignaturas y número de créditos. Y sólo al final surgió el debate sobre la denominación del nuevo título de Grado, partiendo de una terna de denominaciones, entre las que la Asamblea de Delegados de los Centros que impartían el título se decidió, definitivamente, por la de Ingeniero de Edificación, adoptando, en nuestro idioma, el nombre por el que se identifica, mayoritariamente y no solo en la UE, sino en todo el mundo, a los profesionales dedicados al mismo campo de actividad que nosotros: *Building Engineer, Constructing Engineer, Bauingenieur, Génie de Bâtiment, Ingegnere Edile*, y otras denominaciones análogas en las diferentes lenguas.

Terminada la elaboración, en noviembre de 2004 se presenta el documento final de Libro Blanco del Título de Grado en Ingeniería de Edificación (Libro Blanco IE, 20024). En la valoración de la Comisión evaluadora de la ANECA se resalta el siguiente párrafo: *“Merece destacarse el trabajo realizado para la definición de la situación de la actividad profesional y de los estudios en Europa, los perfiles profesionales y las competencias transversales y específicas asociadas a ellos en la titulación propuesta”*.

Como consecuencia se firmó un acuerdo entre el Consejo General de la Arquitectura Técnica CGATE y el Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España, CSCAE, con el visto bueno de los Ministerios de Educación y de Vivienda, aceptando todos, plenamente, la denominación de Ingeniero de Edificación para el título que se proponía en el Libro Blanco.

Y, a partir de este, las distintas universidades españolas, públicas y privadas, comenzaron la elaboración de los diferentes Planes de Estudios. La distinta denominación de los títulos académicos (causa aún abierta) conduciría, no obstante, a un profesional habilitado para ejercer una actividad regulada en España.

2. La orden ECI/3855/2007 en los Planes de Estudios de Grado

Finalmente, en 2007, se aprueba la ORDEN ECI/3855/2007, de 27 de diciembre, por la que se establecían los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Arquitecto Técnico, con actividad regulada en nuestro país, y que los nuevos Grados asumirían. Para ello, un total de 180 créditos de enseñanzas estipuladas deberían atender a los requisitos de dicha Orden.

Las diferentes Escuelas fueron desarrollando sus Planes de Estudios, interpretando y estructurando en ellos módulos, materias y asignaturas, según los contenidos de la Orden. No obstante, la diversidad de Planes que, en definitiva, otorgan un título de Grado universitario de 240 créditos, y, simultáneamente, habilitaban para el ejercicio de la actividad regulada en España del Arquitecto Técnico, hizo necesario el planteamiento de una Convergencia de Títulos de Grado, conforme a la Orden ECI, para el reconocimiento de, al menos, los 180 créditos comunes u homologables, es decir, los habilitantes.

Ello se hizo desde el impulso de la CODATIE, Conferencia de Directores/as de Escuelas de Arquitectura Técnica e Ingeniería de Edificación, (CODATIE, 2019) mediante reuniones de los Subdirectores de Docencia, Jefes de Estudios de las distintas Escuelas, sobre la base de un consenso de reconocimiento mutuo en relación con las asignaturas que estarían sujetas a los 108 créditos de Formación Específica que recoge la citada Orden, a añadir 60 y 12 créditos de Enseñanzas Básicas y de Proyecto Fin de Grado, respectivamente.

Los acuerdos adoptados y sus efectos se transcriben a continuación:

ASIGNATURAS BÁSICAS DEL GRADO

- Se reconocerán todas las asignaturas Básicas que pertenezcan a la Rama de Ingeniería Arquitectura, con un MAXIMO de 60 créditos ECTS

ASIGNATURAS ESPECÍFICAS

- Si un/a alumno/a tiene completado un módulo en la Universidad de Origen, de los seis que, según la estructura global de contenidos de la Orden ECI, componen el Plan de Estudios, se intentará reconocer dicho módulo en la Universidad de Destino, aun cuando hubieran ciertas diferencias cuantitativas. A continuación, se exponen los requerimientos de máximos y mínimos sobre los créditos de cada uno de los módulos que se podrán reconocer en Bloque.

Tabla 1. Módulos y requisitos máximos y mínimos

Módulo de <u>Expresión Gráfica</u>	Máximo 12 ECTS y mínimo 9 ECTS
Módulo de <u>Técnicas y Tecnologías de la Edificación</u>	Máximo 36 ECTS y mínimo 30 ECTS <u>Se intentará que la parte de Materiales sea un 40% y la parte de Construcción sea un 60%</u>
Módulo de <u>Estructuras e Instalaciones de la Edificación</u>	Máximo 18 ECTS y mínimo 15 ECTS <u>Se intentará que la parte de Instalaciones sea un 66,67% y la parte de Estructuras sea un 33,33%</u>
Módulo de <u>Gestión del Proceso</u>	Máximo 18 ECTS y mínimo 16,5 ECTS
Módulo de <u>Gestión Urbanística y Economías aplicadas</u>	Máximo 18 ECTS y mínimo 14 ECTS
Módulo de <u>Proyectos Técnicos</u>	Máximo 12 ECTS y mínimo 9 ECTS

La suma de los créditos de todos los módulos de Formación Específica convalidables tiene que ser por tema de créditos de la Orden ECI, si se puede, de 108 ECTS, no siempre coincidentes entre los distintos Planes de Estudios. El margen por módulo y sobre el total admisible será de +- 3 créditos.

En consecuencia, con el total, entre básicas y específicas obligatorias, se intentaría, al menos, llegar a 168 ECTS reconocibles o “intercambiables”, que serían 180 con el PFG.

Desde ese momento, las respectivas Escuelas, a través de sus órganos de Gobierno, fueron aprobando las tablas de reconocimiento así elaboradas y, en su caso, acordadas, que permitían a los estudiantes de nuestros Grados la movilidad entre los diferentes Centros y Universidades, sin que la formación recibida en el centro de origen pudiera sufrir menoscabo a la hora de su reconocimiento oficial en la universidad de destino, y viceversa.

Actualmente casi 2 de cada 3, esto es 13 Escuelas de las 21 que se integran en la CODATIE, tienen aprobadas tablas de reconocimiento, éxito relativo en cuanto a movilidad interna, pero que sigue pudiéndose considerar una anomalía, en el sentido de falta de automatismo en el reconocimiento de unos estudios con una misma base de formación académica, habilitante para un mismo ejercicio profesional regulado. La experiencia de miles de intercambios entre universidades europeas demuestra una realidad completamente distinta, diametralmente opuesta, a pesar de que las universidades, los títulos, los planes de estudios y la formación son mucho más diversos.

Dieciséis años han transcurrido desde la aprobación de la Orden ECI/3855/2007. En los últimos años se han aprobado, además, la Ley Orgánica 2/2023, de 22 de marzo, del Sistema Universitario, el Real Decreto 822/2021, de 28 de septiembre, por el que se establece la Organización de las Enseñanzas Universitarias y del Procedimiento de Aseguramiento de su Calidad. Ello plantea, de nuevo, la oportunidad de revisar la incardinación de los Planes de Estudios en el sistema universitario español y, como consecuencia, invita a

realizar un análisis crítico de la mencionada Orden, así como una posible revisión del Libro Blanco del título de Grado en Ingeniería de Edificación. Con ese objeto, a continuación, se hace un análisis crítico de la, por otro lado, más que controvertida Orden ECI, comparándola con normas análogas de otros dos Grados del mismo Área de Conocimiento, en relación con las competencias que ellas establecen para la Academia, y otorgan profesionalmente para su ejercicio (se supone que en España).

3. Capacitación y habilitación en la Orden ECI. Análisis comparativo

A continuación, se exponen, algo más detenidamente, algunas derivaciones de la, a nuestro juicio, desatinada, por limitativa y obsoleta, Orden ECI-3855/2007. Aun reconociendo que una parte de las fortalezas que el estudiante del Grado adquiere hoy, son las heredadas de las que, en su formación y actividad, el Arquitecto Técnico ha ejercitado y hecho gala proverbialmente. Se trata de competencias hoy ampliadas cualitativa y cuantitativamente, basadas en el conocimiento y la capacitación; un todo constituido de saber y saber hacer en unos campos de actividad, la ciencia y la tecnología de la Edificación, en los que los nuevos Graduados son o están al mismo nivel de los máximos especialistas en la materia. Así, y aun atendiendo sólo al ejercicio regulado de la profesión, la que habilita para ejercer como AT, se pueden distinguir cinco grandes áreas competenciales en las que nuestros titulados concentran su formación y pueden ejercer su profesión:

1. Construcción; tecnologías y procesos.
2. Materiales de construcción.
3. Economía del proyecto; presupuestos y gestión.
4. Estructuras arquitectónicas.
5. Instalaciones de los edificios.

En un análisis más concreto de una materia que en esta titulación y profesión de ningún modo puede considerarse “colateral”, como las Estructuras Arquitectónicas, resulta que las competencias / conocimientos que puede tener un titulado habilitado para ejercer como Arquitecto Técnico, según la cuestionada Orden ECI, se concentran en una competencia y capacitación menor, resumida en una corta frase: “*Aptitud para el predimensionado, diseño, cálculo y comprobación de estructuras y para dirigir su ejecución material*”. Aun cuando en el futuro, el egresado universitario pudiera ejercer en otros campos de especialización, ¿realmente puede sentirse identificado y satisfecho el colectivo profesional con las especificaciones que, incluso contraviniendo la trayectoria y la realidad cotidiana se establecen en la restrictiva Orden ECI? Actividad profesional que, además, nunca –y menos en nuestro caso- se limita y acaba con la formación académica. Para poner de manifiesto su déficit se propone un somero análisis comparativo.

Sobre la misma materia de Estructuras, otra norma equivalente, en este caso, la Orden CIN-351/2009, concerniente a los Ingenieros Técnicos Industriales, especialidad de Mecánica, de formación análoga, aunque diverso en su ejercicio profesional, establece como competencia: “*Conocimientos y capacidades para aplicar los fundamentos de la elasticidad y resistencia de materiales al comportamiento de sólidos reales*”. Y añade: “*Conocimientos y capacidad para el cálculo y diseño de estructuras y construcciones industriales*”.

Pese a la pugna habida entre Ingenieros Técnicos e Ingenieros Industriales, la realidad es que su Orden CIN, no “negoció” ni limitó sus competencias, las contempló en sentido positivo, como conocimientos y capacidades necesarios, y cómo podían ser estudiados y aplicados profesionalmente. Las tensiones existentes entre ambos colectivos, agravadas por el posicionamiento de los Rectores, del que se hiciera portavoz el Consejo de Universidades, condujo a que, por la imposibilidad de llegar a consenso alguno, se adoptaran por el Consejo de Ministros, en su reunión de 26 de diciembre de 2008, los acuerdos determinantes de las condiciones que habrían de reunir los Planes de Estudios para las distintas profesiones de Ingeniero Técnico e Ingeniero”. Pese a este disenso ¿o, a lo mejor, quizá gracias a él?, los Ingenieros Técnicos consiguieron que en su Orden CIN se les reconociera que, en su paso por la Universidad, deberían adquirir “conocimientos y capacidades”, y no solo meras “aptitudes”.

En análogas circunstancias, la Orden CIN-307/2009 de los actuales Graduados en Ingeniería Civil recoge las competencias de los anteriores Ingenieros Técnicos de Obras Públicas. En este caso, no parece que haya habido conflicto, ni confusión en cuanto a la denominación de los títulos; ni mucha controversia con los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, en el mismo apartado de la materia de Estructuras. Esta Orden

establece que tendrán *“Capacidad para aplicar los conocimientos de materiales de construcción en sistemas estructurales. Conocimiento de la relación entre la estructura de los materiales y las propiedades mecánicas que de ella se derivan. Capacidad para analizar y comprender cómo las características de las estructuras influyen en su comportamiento. Capacidad para aplicar los conocimientos sobre el funcionamiento resistente de las estructuras para dimensionarlas siguiendo las normativas existentes y utilizando métodos de cálculo analíticos y numéricos. Conocimiento de los fundamentos del comportamiento de las estructuras de hormigón armado y estructuras metálicas y capacidad para concebir, proyectar, construir y mantener este tipo de estructuras”*.

Así que, frente a la restringida, insuficiente e irreal *“aptitud para el predimensionado...”* de la Orden reguladora de la actividad del Arquitecto Técnico y de los Grados habilitantes, vemos que el resto de las órdenes referidas, establecen sin limitación y al alza, los conocimientos y capacidades reales que los estudiantes adquieren a lo largo de la carrera y aplicarán después, y, por tanto, sus competencias y, desde luego, atribuciones profesionales.

Se puede ahondar, aún más, en esta hiriente discordancia, al señalar, como caso concreto que, en la ETSIE de Granada, en el Grado hay tres asignaturas obligatorias, más una optativa, de la materia Estructuras, con lo que pueden llegar a cursar 24 créditos (un 10% de la titulación, 240 créditos) sólo de dicha materia, a los que se añaden, muy relacionados con los anteriores, 12 créditos obligatorios de Física, más otros 6 optativos de la misma materia. Y algo similar ocurre en el resto de nuestras Escuelas. La realidad nos demuestra que cuando nuestros egresados de la Escuela de Granada quieren cursar el Grado en Ingeniería Civil, generalmente, ven reconocidos todos sus créditos de Estructuras. En concreto en la Escuela Politécnica Superior de Linares, de la Universidad de Jaén, no tienen que cursar ninguna otra asignatura de dicha materia, y tan sólo 6 créditos en la UGR. Luego, ¿a igual formación, distinto reconocimiento oficial de competencias y atribuciones?

Un análisis comparado parecido se podría hacer con otras materias, como Construcción, Materiales, Instalaciones, Gestión Económica o de los Procesos, Urbanismo, y el resultado sería igual de decepcionante. La Orden ECI-3855/2007 no sólo parece desconocer el Libro Blanco de Ingeniería de Edificación y sus efectos, retrocediendo sobre lo que realmente ocurría y ocurre en nuestras Escuelas, sino que parece redactada por verdaderos competidores o “adversarios” profesionales, censores de los contenidos que en ellas se impartían y se imparten. Parece, en definitiva, hacerse hincapié en aquello que nuestros estudiantes no pueden aprender, reservándoles, para el futuro, un papel restringido al de cierto ejercicio profesional habilitado, y aparentemente subordinado. Como si el conocimiento / competencias a adquirir y aplicar, en el extenso y forzosamente multidisciplinar sector de la construcción, desde la gestión, a la restauración, incluida la producción, la empresa o la investigación, estuviera limitado y reservado, en exclusiva, a otros.

Puede que esa desregulación “a la baja” de la capacitación y las funciones a desarrollar se pretenda aplicar en España (con relativo éxito, pues las competencias habilitantes AT de la Orden ECI solo son una parte de la formación y la actividad profesional de los Graduados, como así lo acreditan incluso los Tribunales de Justicia (sirvan de ejemplo las numerosas sentencias, todas favorables, emitidas por los Juzgados de lo Contencioso Administrativo números 1, 2 y 3 de Jaén). Pero ¿a los profesionales europeos de la Ingeniería de Edificación, con los que, desde una formación equiparable demostrada, nos homologamos, se les podría cercenar sus opciones laborales en otro país de la UE? Aceptar esto implica asumir lo que, despreciando el Libro Blanco de Ingeniería de Edificación, se afirma, injusta, irrespetuosa y ofensivamente, en el Libro Blanco de los Estudios de Arquitectura: *“...A esto último debe añadirse que los arquitectos españoles tienen reconocido en Europa su título para desempeñar las funciones propias de los ingenieros de edificación (u otros de denominación similar, como ingeniero de la construcción, ingeniero civil de edificación, etc.) expresamente incluidos en la directiva comunitaria. También es de reseñar que, si bien el título de ingeniero de edificación no existe en España, sí que contamos con el de arquitecto técnico o aparejador, el cual no está reconocido en Europa a pesar de la formación que sus graduados reciben, y no es completamente homologable al de los ingenieros civiles comunitarios, al no coincidir plenamente sus funciones con las de éstos.”* Subráyese la prepotencia e indisimulada pretensión de supremacía del *“contamos...”* de los tantas veces autodenominados *superiores*.

El aparentemente apacible *status quo* interno entre los profesionales del Sector, en parte sustentado en una regulación anacrónica y previa al EEES, no solo es artificial, sino insostenible en la Unión Europea. Los efectos de la crisis financiera de 2007, que posteriormente devino en crisis económica, tuvieron especial repercusión en el Sector de la Construcción y en la Universidad. La consiguiente disminución del número de estudiantes en

nuestras Escuelas, tuvo su mínimo absoluto durante el curso 2016-2017. Mantenerse y preparar su recuperación fue prácticamente el único objetivo de los equipos de gobierno. Y cuando la recuperación del Sector y, por ende, de los centros académicos parecía estar asegurada, sucedió la pandemia de la COVID-19 que mediatizó y dosificó el proceso de enseñanza-aprendizaje dos años más.

Finalmente, el Sector y los Centros de formación parecen haberse recuperado y, por el transcurso del tiempo tanto para el Libro Blanco de Ingeniería de Edificación, como para la Orden ECI, se hace ineludible retomar el envite de su revisión, tanto para actualizar los estudios, como para hacer congruente la realidad académica, profesional y social. Son varias las Conferencias de Directores de áreas técnicas las que han iniciado un proceso análogo. Sin embargo, una novedad legislativa viene a impulsar dicha revisión. El Ministerio de Universidades inició un proceso de reformas del sistema universitario, que puede suponer una nueva oportunidad de abordar esas tareas pendientes. A continuación, se hace un breve análisis de dichas normas y sus implicaciones ante este reto que aquí proponemos.

4. El Real Decreto 822/2021 y la LOSU. Implicaciones en la modificación de los Planes de Estudios

En su exposición de motivos, el RD 822/2021 menciona los principios en los que se fundamenta el EEES, que implicaban construir el andamiaje de una formación universitaria focalizada en el estudiantado y en sus competencias, entendidas estas como el conjunto de conocimientos, capacidades y habilidades académicamente relevantes, que le confiere el título universitario alcanzado. Estas competencias permiten al estudiantado su inserción en el mundo laboral y, lógicamente, formar parte activa de la sociedad. De esta forma, progresivamente en gran parte de Europa, la oferta académica universitaria ha ido convergiendo en torno a esa estructura organizativa cíclica.

También lo hace con la necesidad de redefinir la organización y las estructuras de las enseñanzas universitarias oficiales, recogidas en este Real Decreto, atendiendo a la experiencia acumulada en el transcurso de esta década de implementación del EEES en las instituciones de educación superior del país, y teniendo muy presentes las demandas de unas sociedades locales y globales crecientemente interconectadas, y caracterizadas por unos mercados laborales en reestructuración.

La aprobación posterior de la Ley Orgánica 2/2023, de 22 de marzo, del Sistema Universitario, LOSU, vino a abundar en dicho procedimiento de renovación de las enseñanzas universitarias y tenía previsto su desarrollo mediante la aprobación de los correspondientes decretos. Entre otros cabe destacar:

1. RD 822/2021. Anexo I. Ámbitos de Conocimiento.

En el borrador de propuesta se modificaba a Campos de Estudio. Su única función era la adscripción de los títulos universitarios de Grado y de Máster, y se abrió un periodo para, a propuesta del Consejo de Universidades, modificar el anexo I del RD 822/2021.

2. RD de Ámbitos de Conocimiento.

El artículo 64.4 de la LOSU estableció que todos los puestos de trabajo de profesorado funcionario y laboral deberán adscribirse a los Ámbitos de Conocimiento que serán establecidos reglamentariamente por el Gobierno, previo informe del Consejo de Universidades. Se estableció, además, que dichos Ámbitos de Conocimiento serán suficientemente amplios para permitir y favorecer la movilidad del profesorado y facilitar su carrera profesional. Dicho listado de Ámbitos de Conocimiento, tenía una única función, permitir la adscripción de los puestos de trabajo de profesorado funcionario y laboral.

3. RD de Acreditaciones y Concursos.

Especialidades a las que podrán perfilarse las plazas de profesorado cuando se convoquen por las universidades para llevar a cabo los correspondientes concursos.

Listado de especialidades (a definir sobre la base de las actuales áreas de conocimiento). En este caso la función única era permitir la perfilación especializada de las plazas de profesorado convocadas por las universidades.

Durante la exposición pública de dichos decretos se abrió un periodo de alegaciones al que la CODATIE no podía permanecer ajena. En concreto, al primero de los Decretos, que modificaba el RD 822/2021, se planteó una alegación que, entre otras cuestiones incluía:

El Real Decreto 822/2021, de 28 de septiembre, por el que se establece la organización de las enseñanzas universitarias y del procedimiento de aseguramiento de su calidad, establece en su exposición de motivos:

“Esta norma introduce una modificación significativa al cambiar la adscripción de los títulos de Grado y Máster de las cinco ramas del conocimiento a los denominados Ámbitos de Conocimiento. Esta modificación tiene un doble objetivo.

...

- En segundo lugar, al no ser los Ámbitos de conocimiento espacios tan extraordinariamente genéricos y amplios como lo eran las cinco ramas, permiten que, garantizando la transversalidad, la oferta de asignaturas tenga mayor coherencia formativa, lo que finalmente beneficia nítidamente al estudiantado. Los Ámbitos de Conocimiento se han propuesto teniendo en cuenta, en buena medida, la estructura de comisiones de la Comisión Nacional Evaluadora de la Actividad Investigadora (CNEAI), aunque adaptados al hecho de que se trata de actividad docente y que deben abarcar más de ocho mil títulos que actualmente componen la oferta universitaria oficial en España, así como, y SOBRE TODO, agrupando temáticamente los códigos del International Standard Classification of Education (ISCED, 2013), de la UNESCO, que igualmente se utilizan en el Registro de Universidades, Centros y Títulos (RUCT), y en el Sistema Integrado de Información Universitaria (SIU), al adscribir todos los títulos de Grado y de Máster a dicha codificación”.

El INTERNATIONAL STANDARD CLASSIFICATION OF EDUCATION Fields of education and training 2013 (ISCED, 2013) – Detailed field descriptions, [CLASIFICACIÓN ESTÁNDAR INTERNACIONAL DE LA EDUCACIÓN Campos de la educación y la formación 2013 (ISCED, 2013) – Descripciones detalladas de los campos], establece en el ámbito:

073 Architecture and construction (Arquitectura y Construcción)

0732 Building and civil engineering (Ingenierías de Edificación y Civil).

Entrando en el proyecto de Real Decreto se hacían las siguientes observaciones:

1. El actual Proyecto de Real Decreto establece en su artículo 2 los listados de Ámbitos de Conocimiento al que deberán adscribirse todos los puestos de trabajo asignados a los cuerpos docentes universitarios y al profesorado laboral.

En el ámbito XV se incluye: Arquitectura, ingeniería civil y topografía.

Ello limita en exceso los Ámbitos de Conocimiento, en clara contradicción con la manifestación hecha por el propio Decreto de, sobre todo, adoptar la clasificación ISCED, 2013, reduciéndolos a tan sólo tres, y excluyendo, completamente, la INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN, expresamente reflejada en el mismo, con lo que el profesorado de las Escuelas de Ingeniería de Edificación, Edificación y Arquitectura Técnica, y sus titulaciones correspondientes, queda sin un Ámbito de Conocimiento propio, distinto de los anteriormente mencionados, al que pueda adscribirse y con el que se pueda considerar plenamente identificado.

2. En su Disposición final segunda, modificación del Real Decreto 822/2021, de 28 de septiembre, por el que se establece la Organización de las Enseñanzas Universitarias y del Procedimiento de Aseguramiento de su Calidad, se abrió una nueva posibilidad de incluir la Ingeniería de Edificación, a la que podrían adscribirse los nuevos títulos universitarios de Grado en dicho campo.

“El Real Decreto 822/2021, de 28 de septiembre, por el que se establece la Organización de las Enseñanzas Universitarias y del Procedimiento de Aseguramiento de su Calidad, se modifica como sigue:

...

Diez. El anexo I queda redactado en los siguientes términos:

“ANEXO I

Campos de estudio

Los campos de estudio en los cuáles inscribir los títulos universitarios oficiales de Grado y de Máster serán los siguientes:

...

– *Arquitectura, construcción, edificación y urbanismo, e ingeniería civil y topografía*”.

En este caso los campos de estudio eluden nuevamente las directrices establecidas en el mencionado ISCED, 2013, que, como hemos visto anteriormente, establece:

0732 Ingenierías de Edificación y Civil, y lo sustituye por Edificación... e Ingeniería Civil.

Pese a recoger el término EDIFICACIÓN, se elude la directriz, que tiene que ver con el cumplimiento del mandato del Real Decreto 822/2021, que “SOBRE TODO, agrupando temáticamente los códigos del International Standard Classification of Education (ISCED, 2013), de la UNESCO, que como se ha mencionado anteriormente, incluye específicamente el ámbito:

073 Architecture and construction (Arquitectura y Construcción)

0732 Building and civil engineering (Ingenierías de Edificación y Civil).

Con ello, las titulaciones de Grado que se imparten en las Escuelas del ámbito de la Arquitectura Técnica / Ingeniería de Edificación, o denominación análoga, no estarán incluidas en un Campo de Estudio propio, que recoja las directrices anteriormente mencionadas, que ha de entenderse de OBLIGADO CUMPLIMIENTO y que constituyen la denominación generalmente utilizada en el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) que, se puede reiterar, de acuerdo con la Ley de Ordenación del Sistema Universitario: “*Ya no es posible imaginar que podamos articular y orientar el futuro de las universidades en España sin incorporar la perspectiva, las iniciativas y la regulación que procede de la Unión Europea*”. En las universidades europeas, la INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN, está plenamente reconocida dentro de los Campos de Estudio, y volveríamos a ser una excepción en un ámbito de movilidad cada vez más extendido. Tampoco, como se ha señalado, se sigue, según estándar internacional, el listado de Campos establecido por el ISCED, 2013.

Ello provoca un considerable perjuicio, en primer lugar el estudiantado, al quedar marginadas las titulaciones mencionadas de los Campos de Estudio comunes, tanto de la Unión Europea, como del resto del mundo, y, en segundo, para los egresados, muchos de los cuales desempeñan su actividad profesional tanto en los países de la Unión Europea, en los que se encontrarán con trabas administrativas, en el reconocimiento de sus titulaciones españolas, para el ejercicio profesional como, por ende, en el resto del mundo que sigue los códigos de la UNESCO.

Dado que, el Ministerio de Universidades “*es el Departamento de la Administración General del Estado, encargado de la propuesta y ejecución de la política del Gobierno en materia de universidades...*” (las cuales desempeñan su labor en el marco de la autonomía que le reconoce el artículo 27 de la Constitución Española), tiene la responsabilidad de, en el desarrollo normativo, proponer dentro de sus normas que, los Ámbitos de Conocimiento y los Campos de Estudio en España sean los totalmente homologables, recogiendo su denominación precisa, en el marco de la Unión Europea y a nivel mundial.

Dicha propuesta, que iba a ser avalada por la Conferencia de Rectores de Universidades Españolas, CRUE, requisito previo para ser adoptada en la modificación del Real Decreto mencionado, se vio paralizada por el adelanto electoral al 23 de julio de 2023. A partir del mismo, la Secretaría de Estado de Universidades, en nota enviada a los rectores/as de las universidades españolas, de 31 de mayo de 2023, decidió:

“...

3. De momento, no continuar con la tramitación de los Reales Decretos de ámbitos de conocimiento y de organización de los Departamentos universitarios”.

Sin embargo, pese a la paralización que supone esta situación, la CODATIE no puede eludir por más tiempo el planteamiento de unas bases como las anteriormente fundamentadas, para la revisión de la Orden ECI mencionada y en su caso del Libro Blanco de la titulación de Grado en Ingeniería de Edificación

5. Propuesta metodológica, a modo de conclusiones

Sin dilación, la asamblea anual ordinaria de la CODATIE, máximo órgano decisorio y de representación de nuestros Centros y nuestros Estudios, para fortalecer su función institucional de coordinación e interlocución, deberá consensuar y establecer unas bases académicas únicas e inequívocas, en lo que atañe a la regulación de la formación en nuestro ámbito de estudio específico y sus efectos laborales, que bien podría ser resultado de la coordinación de varios grupos de trabajo, internos y externos, en relación a los siguientes aspectos:

- Analizar, establecer y defender un posicionamiento propio sobre la potencial nueva Ley Orgánica de Universidades (LOSU), atendiendo a su repercusión en nuestros Estudios y, esencialmente, en salvaguardia de la especificidad y singularización de nuestros titulados en el Sector, y de acuerdo a la máxima homologación internacional.
- Analizar la evolución y los efectos globales y parciales del Libro Blanco de Ingeniería de Edificación, y en concreto la situación actual de la figura del Graduado en Ingeniería de Edificación, o denominación equivalente en España, en relación con la correspondencia entre competencias y ejercicio profesional, habilitante o no, y en comparación con la situación en otros países europeos: denominación, ámbito laboral, existencia o no de regulación nacional, reservas de actividad, asociaciones, etc.
- Analizar el contexto y las características distintivas de la investigación en el ámbito de la Edificación, comparando y valorando su reflejo en la formación y su impacto en el ejercicio de la profesión, regulada o no, y en otras áreas, como la gestión pública o la empresarial. Se estudiarán, entre otros aspectos, el impulso de los Programas de Doctorado específicos, y el fomento de las ayudas económicas para dar soporte a los Grupos de Investigación y a las personas investigadoras en nuestro ámbito.
- La Orden ECI 3855/2007 es de hace 15 años, habilita para un ejercicio profesional pretendidamente limitado y concreto, en nuestro País, ignorando la situación real de los nuevos graduados, sus competencias y su impacto social, dentro y fuera de nuestras fronteras. Por ello es indispensable actualizar y adaptar los contenidos a la realidad de la formación y de la profesión (no solo la heredada). Y, sobre todo en cuanto a la definición y alcance de las competencias que adquieren los graduados durante su formación.

El proceso puede parecer ambicioso y ser lento y dificultoso. Pero entendemos que, para nuestro colectivo, académico y profesional, en la actual coyuntura, es muy importante tener y defender, cuanto antes, una postura común, diríamos que casi existencial, sobre estos temas, que debería estar fundamentada en una identidad reforzada, con unos títulos de Grado de contenido y mirada internacional, que se afirmen en una denominación común, homologable, por la que habrá que seguir luchando. Para ello, la CODATIE puede y debe ser, como lo viene siendo, un ámbito de debate, de entendimiento y de tránsito hacia mejor.

Referencias

- CODATIE, 2019, <https://www.codatie.es/estudios/reconocimiento-de-creditos>, lasta accesed, 2023/05/12
- EEES, Bolonica 1999, <https://www.ehea.info/page-ministerial-conference-bologna-1999>, last accessed, 2023/05/12
- Libro Blanco IE, 2004, https://www.aneca.es/documents/20123/63950/libroblanco_jun05_edificacion.pdf/c7a27074-cb27-d316-b9a0-15b50a00562c?t=1654601777930 last accessed 2023/06/01

On the affinity of three degrees "Building", "Architecture studies" and "Civil Engineering" at the University of Granada

Santiago-Zaragoza, Juan Manuel^a, García-Carrillo, Fabián^a, Gómez-Cobos, Emilio^a

^a E.T.S Ingeniería de Edificación, Universidad de Granada, Campus de Fuentenueva, s/n, 18071, Granada
santi@ugr.es, fabian@ugr.es, emiliog@ugr.es

Abstract

It is an elementary investigation that addresses and distinguishes the academic correspondence between related university studies of the University of Granada, such as the Degrees of technical training directly related to the Construction Sector.

This work is elaborated and supported through data and comparative graphs that are easy to read and interpret, referring to the qualitative (field of knowledge and competence) and quantitative (ECTS credits) contents of the subjects, grouped by general topics, which are taught in each Degree.

The data of the current Study Plans are explored (without considering the Masters to which they give access for forward education), taking into account their unequal duration, of 4 years in the Degrees of Building and Civil Engineering, being 5 in the Degree of Architecture Studies. All subjects, compulsory and optional, in any level are covered, grouped by blocks of common matter, which, even with their own specific orientation, are included in each Grade.

Based on the results obtained and the subsequent analysis, the reflections and conclusions of the study are made, which, even globally, allow to characterize what is common and what is specific for these Degrees of the UGR.

Based on this, the potential new students are offered a tool to select, with better criteria, their future career and profession. And, likewise, to the academic managers of said Degrees, Centers and Departments of the UGR, and even of other universities, to establish possible guidelines to improve mutual recognition and/or transition-interaction between careers or curricular itineraries.

Keywords: Building Engineering, Architecture, Civil Engineering

1. Introducción – el reconocimiento de la formación superior en Europa

El paso de la Comunidad Económica Europea, a la Unión Europea, produjo una cada vez mayor integración de los países que la componían. Uno de los hitos fundamentales en su transcurso fue la creación del Espacio Schengen. El espacio se creó en 1985 por el Acuerdo de Schengen (Schengen Area EU, 1985) y empezó a funcionar en 1995 para suprimir las fronteras comunes entre los países integrantes. Ello implicaba la posibilidad de movimiento entre los distintos países de la Unión (en la actualidad 23 de los 27), sin controles aduaneros.

En lo económico, supuso además la creación de un mercado laboral único en el que los trabajadores de un país podían establecer su residencia en cualquier otro y disfrutar de las condiciones laborales y por tanto de todos los derechos y obligaciones asociados, como los nacionales del país. Y si ese ámbito de relaciones se abrió a todas las categorías profesiones, las universidades, que habían sido una muestra de la cooperación y de las relaciones intracomunitarias no podía permanecer al margen.

Así pues, las principales reformas a nivel europeo en el ámbito universitario se produjeron en la década de los 80. Dos eran las premisas que la impulsaban:

- Fomentar la competitividad internacional
- Promover el empleo de los estudiantes europeos

En un espacio común, cada vez más integrado, se hacía necesario el reconocimiento de los estudios superiores a nivel internacional como forma de terminar con los "localismos" que provocaban dilaciones innecesarias en la movilidad internacional, de los trabajadores, en especial de los trabajadores cualificados, de los universitarios.

Por ello, en 1988 se firma la Carta Magna de las Universidades Europeas (Magna Charta, 1988), que establece en su preámbulo: cuatro años antes de la supresión definitiva de las fronteras intracomunitarias y ante la perspectiva de una colaboración más amplia entre todos los pueblos europeos, estimando que los pueblos y los Estados deben tomar más conciencia que nunca del papel que las Universidades están llamadas a jugar en una sociedad que se transforma y se internacionaliza consideran:

"...

2º Que la tarea de difusión de los conocimientos que la Universidad debe asumir hacia las nuevas generaciones implica, hoy en día, que se dirija también al conjunto de la sociedad, cuyo porvenir cultural, social y económico requiere especialmente un considerable esfuerzo de formación permanente";

Y entre los principios fundamentales establecen el aliento a la movilidad de profesores y estudiantes y consideran que una política general de equivalencia en materia de estatus, títulos, exámenes (aún manteniendo los diplomas nacionales) y de concesión de becas, constituye el instrumento esencial para garantizar el ejercicio de su misión actual.

Diez años después, en 1998 se produce la Declaración de la Sorbona (Sorbone Declaration, 1998) con un claro discernimiento entre lo económico y lo social: "A pesar de la relevancia que ello tiene, no deberíamos olvidar que, al hablar de Europa no sólo deberíamos referirnos al euro, los bancos y la economía, sino que también debemos pensar en una Europa de conocimientos".

Y considera que un área europea abierta a la educación superior traerá consigo una gran riqueza de proyectos positivos, siempre respetando nuestra diversidad, pero requiere, por otra parte, el esfuerzo continuo que permita acabar con las fronteras y desarrollar un marco de enseñanza y aprendizaje. Continúa declarando: "Se espera que, de ahora en adelante, éste favorezca una movilidad y una cooperación más estrechas".

Gran parte de la originalidad y flexibilidad de este sistema se conseguirá mediante el sistema de créditos europeos, como en el sistema ECTS (*Europeana Credit Transfer System* / Sistema Europeo de Transferencia de Créditos) y semestres. Esto permitirá la convalidación de los créditos obtenidos para aquellos que elijan una educación inicial o continua en alguna de las universidades europeas y, asimismo, tengan intención de obtener una titulación. De hecho, los estudiantes deberían ser capaces de acceder al mundo académico en cualquier momento de su vida profesional y desde diversos campos. El objetivo es facilitar a los universitarios el acceso a gran variedad de programas, a oportunidades para llevar a cabo estudios multidisciplinarios, al perfeccionamiento de idiomas y a la habilidad para utilizar las nuevas tecnologías informativas.

En el campo de las relaciones laborales, continúa señalando la importancia del reconocimiento internacional de la titulación de primer ciclo como un nivel de cualificación apropiado para el éxito de esta iniciativa, en la que se desea ofrecer una visión clara de todos nuestros esquemas de educación superior.

Todo lo anterior se completaba con la declaración de Bolonia, de 19 de junio de 1999, que crea el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES, Bolonia, 1999), con el compromiso de alcanzar en la primera década del tercer milenio, entre otros objetivos considerados de capital importancia para establecer el Área Europea de educación superior y promocionar el sistema Europeo de enseñanza superior en todo el mundo:

“...La adopción de un sistema de titulaciones fácilmente comprensible y comparable, incluso a través de la puesta en marcha del Suplemento del Diploma, para promocionar la obtención de empleo y la competitividad del sistema de educación superior Europeo.

...El establecimiento de un sistema de créditos -similar al sistema de ETCS -como medio adecuado para promocionar una más amplia movilidad estudiantil. Los créditos se podrán conseguir también fuera de las instituciones de educación superior, incluyendo la experiencia adquirida durante la vida, siempre que esté reconocida por las Universidades receptoras involucradas”.

Con base en todo lo anterior, las universidades europeas iniciaron un proceso de reforma para la homogeneización del sistema incluyendo dos ciclos (de duración variable según los países)

1er ciclo o ciclo de grado y

2º ciclo de posgrado, que se subdividió además en dos etapas:

Másteres y

Doctorado

Todo este proceso había sido avalado y facilitado por la experiencia del programa Erasmus de intercambio académico que comenzó a funcionar en 1987 (Erasmus, 1987) y que suponía el reconocimiento automático, en las universidades de origen, de los estudios cursados en universidades de destino, de cualquier país Europeo, mediante la firma del correspondiente convenio entre las instituciones.

Muchos fueron los inconvenientes y las resistencias que se produjeron durante los 12 años que transcurrieron entre la creación del programa Erasmus y la implantación del Espacio Europeo de Educación Superior. Sin embargo, el sistema de reconocimiento funciona de manera cercana al óptimo.

Posteriormente, la implantación del programa SÉNECA, supuso algo parecido, en este caso entre las universidades españolas, permitiendo a los estudiantes la realización de un periodo académico de un curso en una universidad distinta a la de origen y la posibilidad de conocer otras realidades de la titulación que están cursando, con el consiguiente enriquecimiento en todos los aspectos.

2. La formación en la ETSIE y su reconocimiento exterior

La Universidad de Granada, ha sido, desde la creación del programa Erasmus, pionera en cuanto a número de convenios y de intercambios, tanto de estudiantes “in-coming” como de estudiantes “out-going”. En 2023, el programa Erasmus+ ha otorgado a la UGR un total de 9.228.238 de euros en movilidad KA131, que está dedicada a la movilidad internacional dentro de la Unión Europea, siendo la universidad europea líder en intercambios de este tipo.

La Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, anteriormente Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica, ha participado, desde el principio en este tipo de intercambios. En el catálogo de Escuelas y Facultades con las que se tiene convenio de reciprocidad, basados en el reconocimiento mutuo de la formación figuran:

- Ingeniería de Edificación
- Ingeniería de Construcción
- Ingeniería Civil
- Politécnicos
- Ingeniería de Materiales y,

- en menor medida, Arquitectura



Figura 1. E.T.S. de Ingeniería de Edificación

Fuente: Elaboración propia (2022)

En la actualidad en la ETSIE-UGR están vigentes 67 convenios con prácticamente todos los países de la Unión Europea, además de con otros países del mundo.

Así pues, en el nivel de reconocimiento académico de cursos completos entre diferentes escuelas y universidades se puede decir que el sistema, sustentado en esa confianza mutua, se ha automatizado completamente no existiendo dificultades dignas de mención. Tratándose la misma titulación, se ofrece incluso la posibilidad de cursar un conjunto de materias que pueden ser específicas del centro de destino, pero no tener su equivalente en el centro de origen, sin que por ello se considere que se menoscaba la formación.

Otra cosa bien distinta es, paradójicamente, el reconocimiento que se produce entre las mismas titulaciones universitarias de diferentes universidades de un mismo país, o titulaciones distintas de la misma área de conocimiento y de la misma universidad. En ese caso la situación, tal vez influenciada de la competitividad profesional, no es tan idílica, cuando no es la diametralmente opuesta.

Para dar solución a esa problemática, en el nivel de reconocimientos académicos, la CODATIE, Conferencia de directores/as de Escuelas de Arquitectura Técnica e Ingeniería de Edificación, estableció un acuerdo para el reconocimiento de créditos entre las diferentes Escuelas que la componen, siguiendo las directrices establecidas en la Orden ECI/3855/2007, de 27 de diciembre, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio regulado de la profesión de Arquitecto Técnico (CODATIE, 2019).

En dicho reconocimiento, se tienen en cuenta los 180 créditos que se incluyen en la orden ECI, pero el reconocimiento del resto de materias, está sometido a la supervisión de Centros y Departamentos, con lo que se pierde esa visión holística que caracteriza al programa Erasmus.

Concretamente, en Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, de la Universidad de Granada, se ha querido hacer un estudio comparativo entre las distintas titulaciones del mismo Área de Conocimiento, relacionadas con el Sector de la Construcción, desde el punto de vista de la comparación cualitativa y cuantitativa de las competencias que ofrecen las distintas materias.

3. Metodología – los Grados afines del Sector de la Construcción en la UGR

Con el fin de distinguir y precisar entre estudios universitarios afines, se elaboran estas tablas, a partir de los datos de los Planes de Estudios vigentes en 2023 en la UGR, de los Grados de formación técnica con relación directa con el Sector de la Construcción (Ingeniería Civil tiene asimismo las Menciones o especialidades de: Hidrología y Transportes y Servicios Urbanos). Recogen las asignaturas obligatorias y optativas, agrupadas por bloques de materia común, que, aún con su propia orientación, se incluyen en cada Grado. Todas las asignaturas son de 6 créditos ECTS (a razón de 25 horas de trabajo del estudiante por crédito), salvo las indicadas con su propio valor, como (n). Del total de créditos ECTS por bloques de materias, se especifican, en cursiva (n), los que corresponden a *asignaturas optativas*.

El resultado se muestra en las siguientes tablas de distribución de asignaturas y créditos, por bloques de materias, en los grados en: “Edificación”, “estudios de Arquitectura” e “Ingeniería Civil” (mención construcciones civiles), impartidos en la universidad de granada.

Tabla 1. Grados, bloques de materias y asignaturas

GRADOS / Bloques de Materias	EDIFICACIÓN (cuatro cursos – 240 ECTS)	ESTUDIOS DE ARQUITECTURA (cinco cursos – 300 ECTS)	INGENIERÍA CIVIL (CONST. CIV.) (cuatro cursos – 240 ECTS)
Historia y Patrimonio	<ul style="list-style-type: none"> ● Construcción I: Historia, Tipologías y Fundamentos de la Edificación 1/2 – (3) ● <i>El Patrimonio Edificado: Gestión y Conservación</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ● Introducción a la Historia del Arte y de la Arquitectura ● Historia de la Arquitectura 1 ● Historia de la Arquitectura 2 ● <i>Historia Urbana</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ● Planificación Territorial e Historia de la Ingeniería Civil 1/2 – (3)
ECTS	9 (6)	24 (6)	3
Matemáticas aplicadas	<ul style="list-style-type: none"> ● Matemáticas I ● Matemáticas II ● <i>Ampliación de Matemáticas</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ● Fundamentos Matemáticos en la Arquitectura 1 ● Fundamentos Matemáticos en la Arquitectura 2 ● <i>Matemática Aplicada a la Arquitectura</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ● Análisis Matemático ● Estadística ● Matemática Aplicada (9) ● Ampliación de Matemáticas
ECTS	18 (6)	18 (6)	27
Física aplicada	<ul style="list-style-type: none"> ● Física I: Mecánica ● Física II: Fundamentos Físicos e Instalaciones ● <i>Física III: Energía, Contaminación y Confort en Edificación</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ● Fundamentos Físicos Aplicados a las Estructuras ● Fundamentos Físicos Aplicados a las Instalaciones ● <i>Complementos de Física para la Adaptación de la Arquitectura al Medio</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ● Física ● Mecánica para Ingenieros (9) ● Mecánica de Suelo y Rocas. Geotecnia
ECTS	18 (6)	18 (6)	21
Expresión y Comunicación gráfica	<ul style="list-style-type: none"> ● Expresión Gráfica I: Procedim. D ● Geometría Descriptiva ● Expresión Gráfica II: Procedim. I 	<ul style="list-style-type: none"> ● Ideación Gráfica e Introducción al Proyecto Arquitectónico ● Expresión Gráfica Arquitectón. 1 	<ul style="list-style-type: none"> ● Ingeniería Gráfica I ● Ingeniería Gráfica II

	<ul style="list-style-type: none"> ● Expresión Gráfica - Tecnología Ed ● Expresión Gráfica - Proyecto Ed 	<ul style="list-style-type: none"> ● Expresión Gráfica Arquitectón. 2 ● Expresión Gráfica Arquitectón. 3 ● <i>Técnicas de Visualización y Presentación</i> ● <i>Levantamiento Arquitectónico</i> 	
ECTS	30	36 (12)	12
Topografía y Documentación avanzada	<ul style="list-style-type: none"> ● Topografía ● <i>Fotogrametría y Documentación</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ● <i>Infografía y Patrimonio</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ● Topografía ● <i>Sistemas de Información Geográfica y Visualización</i>
ECTS	12 (6)	6 (6)	12 (6)
Geotecnia y Materiales	<ul style="list-style-type: none"> ● Materiales I: Química y Geología de los Materiales ● Materiales II: Tecnología de los Materiales ● Materiales III: Ensayos y Control ● <i>Geotecnia y Cimentación aplicadas a la Ingeniería de Edificación</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ● Materiales de Construcción ● Ingeniería del Terreno ● <i>Materiales y Técnicas Constructivas</i> ● <i>Prefabricación</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ● Geología ● Ciencia y Tecnología de los Materiales ● Geotecnia de Obras Civiles ● Elementos Prefabricados (3) ● <i>Ampliación de Materiales</i> ● <i>Métodos Avanzados de Reconocimiento de Terrenos</i>
ECTS	24 (6)	24 (12)	33 (12)
Construcción	<ul style="list-style-type: none"> ● Construcción I: Historia, Tipologías y Fundamentos de la Edificación 1/2 – (3) ● Construcción II: Sistemas Estructurales ● Construcción III: Sistemas Complementarios ● Construcción IV: Sistemas Integrados de Tecnología Elemental ● Construcción V: Sistemas Integrados de Tecnología Compleja ● Construcción VI: Sistemas Integrados de Tecnología Avanzada 	<ul style="list-style-type: none"> ● Introducción a la Construcción ● Construcción 1: Sistema de Estructura Portante (Ac. Md. Fb.) ● Construcción 2: Sistemas de Estructura Portante (Hormigón) Sistemas Constructivos en Obras de Urbanización ● Construcción 3: Envolverte. Compartim. Int. Revestimientos ● Construcción 4: Patología de la Edificación (3) ● Restauración Arquitectónica 	<ul style="list-style-type: none"> ● Procedimientos de Construc. I ● Edificación ● Procedimientos de Construc. II (9)
ECTS	33	33	21
Instalaciones y Dotaciones	<ul style="list-style-type: none"> ● Instalaciones I ● Instalaciones II ● <i>Instalaciones III</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ● Instalaciones 1: Sistemas de Abastecimiento, Saneamiento y Electricas ● Instalaciones 2: Sistemas Instal. Climatización, 	<ul style="list-style-type: none"> ● Electrotecnia ● Hidráulica e Hidrología (9) ● Ingeniería Sanitaria en la Construcción Civil

		<p>Elementos Mecán. desplazam. vertical, Protección contra Incendios</p> <ul style="list-style-type: none"> • Instalaciones 3: Instalaciones Urbanas. Sostenibilidad 	
ECTS	18 (6)	18	21
Cimentación y Estructuras	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras I • Estructuras II • Estructuras III • Estructuras IV 	<ul style="list-style-type: none"> • Fundamentos de Estructuras • Estructuras 1: Análisis Estructural y Dimensionado de Estructuras Metálicas • Estructuras 2: Análisis y dimens. Estructuras y Cimentaciones de Hormigón Armado • Estructuras 3: Diafragmas Horizontales, Pantallas triang. Y Hormigón pretensado • Estructuras Sismorresistentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Cimientos en la Ingeniería Civil (3) • Teoría de Estructuras (9) • Análisis de Estructuras • Hormigón Armado • Estructuras Metálicas • Ampliación de Análisis de Estructuras • Ampliación de Estructuras de Hormigón y Metálicas
ECTS	24 (6)	30 (6)	42 (12)
Proyectos específicos	<ul style="list-style-type: none"> • Proyectos I: Ingeniería de Edificación Elemental • Proyectos II: Ingeniería de Edificación Compleja 	<ul style="list-style-type: none"> • Proyectos 1 • Proyectos 2 • Proyectos 3 • Proyectos 4 • Proyectos 5 • Proyectos 6 (12) • Proyectos 7 • Proyectos 8 (9) • Proyectos 9 (9) • Monográfico de Proyectos 	<ul style="list-style-type: none"> • Proyecto y Construcción de Obras Marítimas
ECTS	12	72 (6)	6 (6)
Técnicas de Diseño aplicado		<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de las Formas Arquitectónicas 1 • Análisis de las Formas Arquitectónicas 2 • Composición Arquitectónica 1 • Composición Arquitectónica 2 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño Geométrico de Obras Lineales
ECTS	0	24	6 (6)
Urbanismo	<ul style="list-style-type: none"> • Proyecto de Desarrollo Urbano • Proyecto Interdisciplinario de Planeamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Urbanismo 1 • Urbanismo 2 • Urbanismo 3 • Urbanismo 4 • Urbanismo 5 • Monográfico de Urbanismo y Paisaje 	<ul style="list-style-type: none"> • Planificación Territorial e Historia de la Ingeniería Civil 1/2 – (3)
ECTS	12 (6)	36 (6)	3

Gestión de procesos	<ul style="list-style-type: none"> • Organización y Programación en Edificación • Gestión de la Calidad • Prevención y Seguridad • Proyecto de Gestión del Proceso y Equipos de Obras • <i>Control de Edificación y Desarrollo Sostenible</i> • <i>Gestor de Proyectos de Producción y Mantenimiento</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción 5: Gestión y Ejecución de Obras de Edificación y Urbanas (3) 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto Ambiental (3) • Seguridad y Salud en las Obras de Construcción (3) • Organización y Gestión de Proyectos
ECTS	36 (12)	3	12
Gestión económica	<ul style="list-style-type: none"> • Economía Aplicada a la Empresa • Mediciones y Presupuestos • Valoraciones, Tasaciones y Perit. 	<ul style="list-style-type: none"> • Valoraciones Inmobiliarias 	<ul style="list-style-type: none"> • Organización y Gestión de Empresas Constructoras
ECTS	18	6 (6)	6
Legislación aplicada	<ul style="list-style-type: none"> • Derecho e Intervención Pública en Edificación • <i>Legislación Administrativa aplicada a la Edificación</i> 		<ul style="list-style-type: none"> • Legislación en la Ingeniería Civil (3)
ECTS	12 (6)	0	3
Inglés aplicado	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Inglés aplicado a la Ing. de Edif.</i> 		
ECTS	6 (6)	0	0
Informática específica			<ul style="list-style-type: none"> • Fundamentos de Informática • <i>Tecnologías de la Información en la Ingeniería Civil</i>
ECTS	0	0	12 (6)
Infraestructuras civiles			<ul style="list-style-type: none"> • Caminos • Ingeniería Marítima y Costera • Ferrocarriles
ECTS	0	0	18
Prácticas curriculares	<ul style="list-style-type: none"> • Prácticas Externas de Fin de Grado 	<ul style="list-style-type: none"> • Prácticas Emergentes de Proyectos 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Prácticas Externas de Proyectos</i>
ECTS	6	6 (6)	6 (6)
Proyecto / Trabajo final de Grado	<ul style="list-style-type: none"> • Proyecto Fin de Grado (12) 	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo Fin de Grado 	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo Fin de Grado (12)

ECTS	12	6	12
------	----	---	----

Agrupando las distintas materias puede hacerse una tabla comparativa, entre las distintas asignaturas y los distintos grados, sin entrar, como suele hacerse en el tipo de contenidos ni en las “competencias” que otorga, confusión especialmente presente en las titulaciones técnicas en las que se confunde competencia adquirida por el estudiante durante su aprendizaje académico, con la atribución profesional que posteriormente podrá desarrollar en virtud de la normativa establecida en cada país de la Unión Europea. La experiencia demuestra que, cuando el reconocimiento es transnacional la dificultad para llevarlo a cabo es mucho menor.

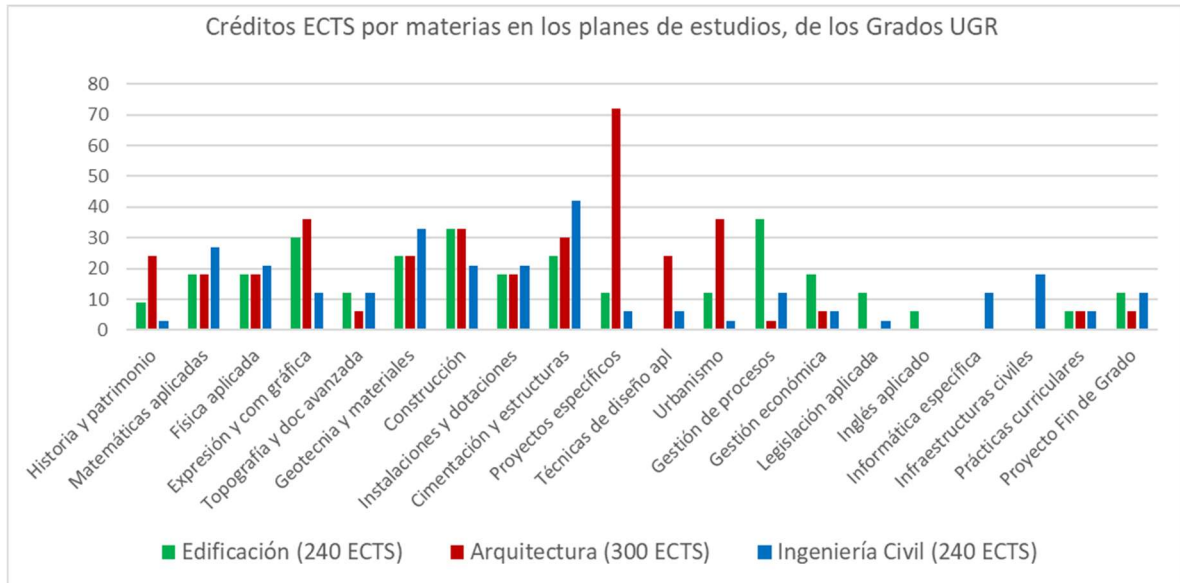


Figura 2. Gráfico comparativo de grados por bloques de materias
Fuente: Elaboración propia (2022)

4. Reflexiones y comentarios a modo de conclusiones

- Los tres títulos son Grados Universitarios que, con distinta orientación según su especialización, capacitan para intervenir en las variadas actividades que se desarrollan, en distintos campos, el amplio Sector de la Construcción. Los titulados serán profesionales de primer nivel, necesarios en la transformación planificada y controlada del hábitat, para satisfacer las necesidades humanas.
- Tienen bloques de materias comunes, con asignaturas de contenido y formación orientada en cada uno de los Planes de Estudios. Así, en el Grado en Estudios de Arquitectura, con un curso más, destacan aquellas que fomentan la imaginación y el diseño; en el Grado en Edificación, más orientado a la faceta ejecutiva, se acentúa la parte tecnológica y de gestión; mientras que el Grado en Ingeniería Civil, con mayor carga científica, se centra, además, en las grandes infraestructuras territoriales.
- Entre estos Grados no existe ninguna jerarquía ni rango por la formación académica recibida, aunque de la orientación e intensificación cualitativa y cuantitativa de las materias, y del carácter obligatorio u optativo de las asignaturas, según los respectivos Planes de Estudios y los itinerarios curriculares posibles, devienen capacitaciones y competencias comunes, y también diferentes.
- En España se necesita estar en posesión de una determinada habilitación, o soporte legal reconocido, para realizar un concreto ejercicio profesional, que sí está vinculada a algunas titulaciones universitarias. Son las conocidas como “atribuciones” que, sin embargo, no siempre están amparadas en competencias ciertas, según la formación académica recibida por los egresados.

- Los Grados en Edificación y en Ingeniería Civil son de 240 créditos ECTS en cuatro cursos, y, en España, habilitan (o dan atribuciones) para el ejercicio regulado de las profesiones de Arquitecto Técnico, y de Ingeniero Técnico de Obras Públicas, respectivamente. El Grado en Estudios de Arquitectura es de 300 ECTS en cinco cursos y no tiene habilitación regulada en nuestro país.
- Los Graduados en Estudios de Arquitectura y en Ingeniería Civil pueden acceder, después, a sendos Másteres denominados "profesionalizantes", que, respectivamente, habilitan para el ejercicio regulado, en España, de las profesiones de Arquitecto (60 ECTS, en un curso académico), e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (120 ECTS, en dos cursos).
- Todos los Grados tienen acceso a diferentes Másteres "de especialización" (60 ECTS en un año), que amplían las competencias de aquellos, y, en el caso de la Universidad de Granada y relacionados con el Sector de la Construcción, serían Master en: Rehabilitación Arquitectónica; Estructuras; Ingeniería Acústica; Gestión y Seguridad Integral en Edificación; Prevención de Riesgos Laborales; y en Ciencia y Tecnología del Patrimonio Arquitectónico. Así como los Másteres dobles (90 ECTS, en un curso y medio) en: Rehabilitación + Ingeniería Acústica; Rehabilitación + Estructuras; y Rehabilitación + Ciencia y Tecnología del Patrimonio.

Referencias

- CODATIE, 2019, <https://www.codatie.es/estudios/reconocimiento-de-creditos>, last accessed, 2023/05/12
- EEES, Bolonica 1999, <https://www.ehea.info/page-ministerial-conference-bologna-1999>, last accessed, 2023/05/12
- Erasmus, 1987, <https://erasmus-plus.ec.europa.eu/es>, last accessed, 2023/05/12
- Magna Charta, 1988, <https://www.magna-charta.org/magna-charta/en/magna-charta-universitatum/mcu-1988>, last accessed, 2023/05/12
- Schengen Area, EU, 1985, <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/schengen-area/>, last accessed, 2023/06/20
- Sorbone Declaration, 1998, <https://www.ehea.info/page-sorbonne-declaration-1998>, last accessed, 2023/05/12

The Renewal of the Study Plan of the Degree in Building of the Higher Technical School of Building Engineering of the UGR

García Carrillo, Fabian^a, Santiago Zaragoza, Juan Manuel^b y Gómez Cobos, Emilio^c

E.T.S Ingeniería de Edificación, Universidad de Granada, Campus de Fuente nueva, s/n, 18071, Granada,
fabian@ugr.es, santi@ugr.es, emiliog@ugr.es

Abstract

The training program of this Degree maintains its design, organization and development, without significant changes with respect to the initial Verification document on November 2012. Periodically, the Quality Assurance Commission of the School, through annual follow-up self-reports, verifies that it is developing normally, in accordance with the Subject Teaching Guides.

However, the evolution of the knowledge, as well as the increasingly global context in which it develops, both university education and professional practice, have led ETSIE to start a process to renew the 2012 Study Plan.

In addition to the logic updating of the curriculum: contents and competencies, the possibility of undertaking a structural reform, as well as versatile of teaching, is proposed, so that, on the one hand, the subjects are developed in groups, in homogeneous modules and coordinated internally, as well as horizontally and vertically. On the other, students are offered the possibility of opting for a more personalized curriculum, being able to choose, at the end of their studies, between various orientations or mentions, which bring them closer to the increasingly specialized professional world.

However, as this process coincides with the delayed arrival at the university of the effects of the crisis in the Construction Sector, and the consequent decrease in enrolled students, prudence advised slowing down, rather than giving up, that objective, until that situation, without a doubt conjunctural, will improve. Something that was already taking place before the exceptional COVID19 pandemic.

Therefore, to the extent that the current reality allows it, this transformative project is resumed, which is presented here before a qualified audience.

Keywords: Building, Curriculum, Study plan, Quality

1. Introducción

Sirva de preámbulo, para contextualizar el tema de la comunicación y para ubicarlo temporalmente, lo manifestado al respecto del origen y la evolución de los actuales estudios del Grado en Edificación de la Universidad de Granada. Por lo demás una trayectoria, y, como aquí se plantea, también un reto de futuro, seguramente común con aquellos Grados afines que, con distintos nombres, se imparten en las distintas universidades españolas [1].

La construcción del Espacio Europeo de Educación Superior, EEES, iniciada al amparo de los Acuerdos de Bolonia de 1999 ha sido y es uno de los hitos de mayor trascendencia para materializar la idea de una Europa Unida. Supuso un reto hercúleo para todas las universidades implicadas, que no sólo hubieron de confrontar y equiparar la formación de sus titulados, -finalmente trabajadores europeos-, sino que, desde entonces, han tenido que rivalizar entre sí, por los alumnos y por la excelencia, en una liga mundial de rankings heterogéneos. La Universidad de Granada no eludió el desafío ni el compromiso y, en apenas tres lustros, tuvo actualizadas sus estructuras académicas para afrontar las nuevas exigencias de homologación, calidad y competitividad.

Consecuentemente, los estudios de Arquitectura Técnica españoles debieron adaptarse a los nuevos estándares europeos. Por un lado, el nuevo Grado obligó a una renovación, -con un recorrido al alza en nuestro caso-, de Planes de Estudios y contenidos competenciales, facilitando además, el acceso al postgrado de especialización o Máster. Y, con ello, a la investigación. Simultáneamente, se buscó la homologación con aquellos estudios universitarios europeos afines, centrados en la formación de profesionales de primer orden para intervenir en los procesos tecnológicos y científicos que, desde la gestión a la conservación, y desde la producción a la explotación, hacen posible la compleja actividad en el Sector de la Construcción. Para estos estudios, en la UE encontramos denominaciones diversas en los diferentes idiomas: Building Engineer, Génie du bâtiment, Ingegnere Edile,...; pero coincidentes en el nivel de formación: la Ingeniería, que en algunos casos incluiría distintas escalas, y en el ámbito de cualificación: la Edificación.

El Grado en Edificación de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, de la Universidad de Granada, ETSIE-UGR, habilita, en España, para el ejercicio regulado de la profesión de Arquitecto Técnico [2]. Para ello se destinan 180 créditos de la carrera. El resto, hasta los 240 créditos europeos, ECTS, completan un Plan de Estudios homologable internacionalmente en el campo de la Ingeniería de Edificación. Así lo acreditan cada año, los estudiantes de la ETSIE-UGR, con estancias formativas en universidades de toda Europa y de otras partes del mundo, dándoles la oportunidad de diversificar y enriquecer su currículo académico y personal, y su competencia lingüística. Nuestros egresados ejercen hoy en cualquier parte del mundo, generalmente integrados en equipos multidisciplinares, tanto en la esfera pública como en la privada, con unos estudios y un título perfectamente reconocidos y homologables a nivel internacional.

El programa formativo del Grado en Edificación de la ETSIE-UGR, mantiene en la actualidad su diseño, organización y desarrollo, sin cambios significativos respecto al documento de Verificación inicial. Periódicamente, la Comisión de Garantía Interna de la Calidad del Centro, a través de los Autoinformes de seguimiento anuales, constata que aquél se viene desarrollando con normalidad, de acuerdo a las Guías Docentes de las asignaturas [3]. No obstante, la evolución de la disciplina, así como el contexto cada vez más global en que se desarrolla, tanto la formación universitaria, como el ejercicio profesional, llevaron al equipo de Dirección de la ETSIE-UGR a iniciar, ya en 2017, un proceso para la renovación del Plan de Estudios de 2010.

Sin embargo, al coincidir este proceso con la llegada retardada a la universidad de los efectos de la gran crisis del Sector de la Construcción, y la consiguiente disminución de estudiantes matriculados, la prudencia aconsejó ralentizar, que no renunciar, a aquel objetivo, hasta que esa situación, sin duda coyuntural, mejorara. Algo que se ya se estaba produciendo antes de la excepcional pandemia COVID19. Por tanto, en la medida que la actual realidad lo permite, se retoma dicho proyecto transformador, que aquí se expone ante un auditorio cualificado.

2. Objetivos

Se plantea, además de la lógica actualización del currículo, contenidos y competencias, desde la experiencia acumulada, la posibilidad de acometer una reforma estructural, a la vez que versátil de la enseñanza, de manera que, por un lado, las materias se desarrollen agrupadamente, en módulos homogéneos y coordinados internamente, a la vez que horizontal y verticalmente. Y por otro, se ofrece a los estudiantes la posibilidad de optar por un currículo más personalizado, pudiendo elegir, al finalizar sus estudios, entre varias orientaciones o Menciones, que le aproximen al mundo profesional cada vez más especializado. Estos objetivos generales se desgranar en el siguiente decálogo de principios que fundamentarían la renovación del Plan de Estudios:

- 1) Analizar y evaluar el funcionamiento del Plan 2010, tras 10 promociones de egresados, con todas sus vicisitudes. Aprovechar fortalezas y corregir debilidades.
- 2) Actualizar el proyecto formativo para incorporar las últimas innovaciones que demanda profesionalmente el sector (Eficiencia Energética, Ciencia de Datos, BIM, SIG,...).
- 3) Acrecentar la homologación internacional de la estructura y los contenidos formativos, con la Ingeniería de Edificación como referencia.
- 4) Posibilitar los reconocimientos académicos interuniversitarios -mutuos-, internos y externos, nacionales e internacionales.
- 5) Singularizar y equilibrar todos los bloques de contenidos competenciales, tanto habilitantes para el ejercicio profesional regulado, como los demás.
- 6) Intensificar la formación según las áreas o fases de intervención en el proceso edificatorio, con tres menciones: Gestión, Producción y Conservación.
- 7) Facilitar la coordinación horizontal y vertical del proceso, ordenando y agrupando las materias por módulos, según sus contenidos, y prevalencias relacionales.
- 8) Facilitar y potenciar la diversificación y personalización del currículo de los estudiantes, aumentando la optatividad.
- 9) Relacionar y potenciar la estructura secuencial: Grado + Máster, como un proceso continuo al que deberían optar, mayoritariamente los estudiantes.
- 10) Promover e incentivar la investigación desde la formación, potenciando los PFG y TFM, hasta un Programa de Doctorado en Edificación.

El cuadro adjunto (figura 1) recoge la propuesta de la ETSIE-UGR, de ir hacia una estructura general conjunta de Grado y Master, por cursos y créditos específicos, que inspiraría y en la que se insertaría la renovación del Plan de Estudios del Grado en Edificación en la Universidad de Granada, según los objetivos anteriores.

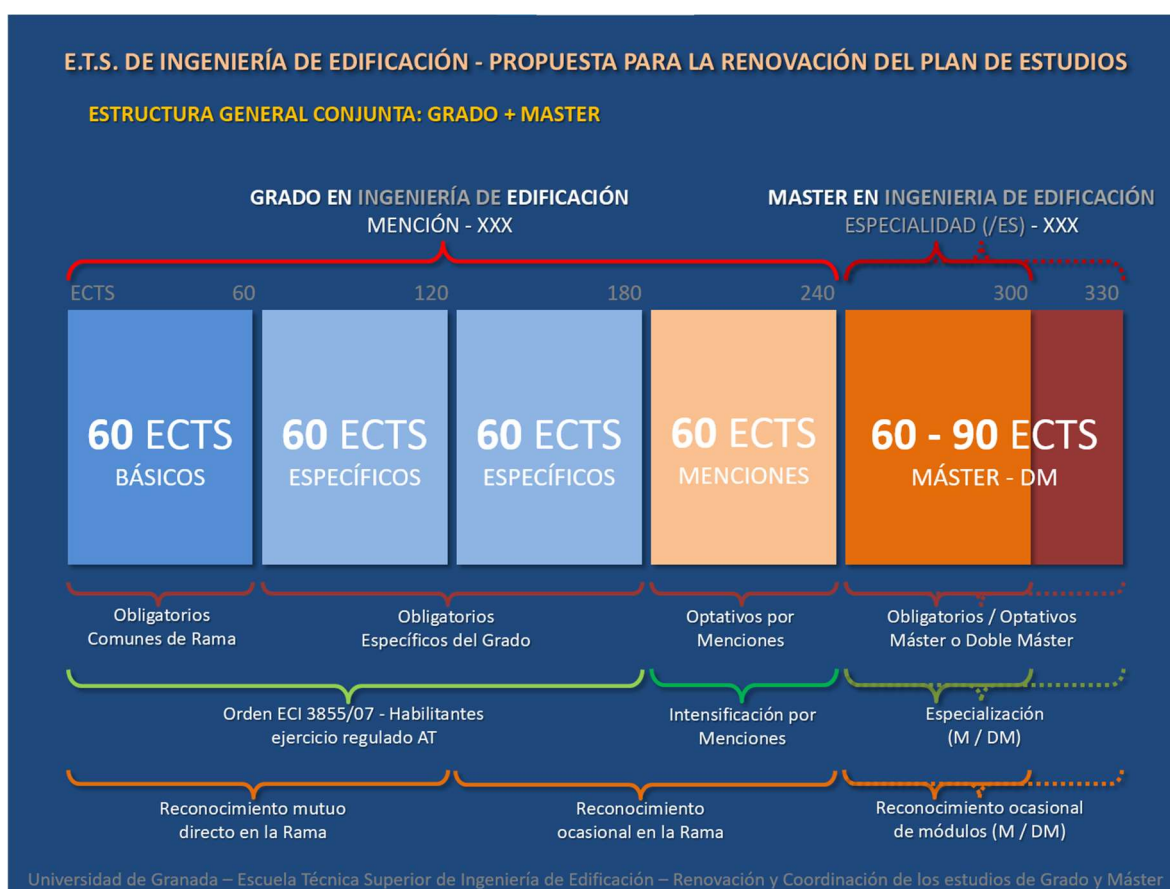


Figura 1. Estructura continua Grado + Master
Fuente: Elaboración propia

3. Metodología

Un primer borrador del equipo de Dirección, a propuesta del Coordinador de la Titulación, iniciaría el proceso formalmente en 2018. Presentada y asumida por la Comisión de Gobierno y la entonces vigente Comisión de Titulaciones (hoy sustituida por la de Ordenación Académica y Planes de Estudio) de la ETSIE, incluiría los objetivos, una justificación de los cambios sobre el Plan de Estudios vigente, y la propuesta de la nueva estructura y organización de las materias y cursos del nuevo Plan de Estudios. Documento este que sirvió de base sobre el que, descendiendo cada vez más en detalle, se debatiría en los distintos estamentos del Centro. A tal efecto se convocaron reuniones específicas a distinto nivel contando con todos los implicados: profesorado, PAS y estudiantes.

Una vez informados los Departamentos implicados, en la persona de sus directores/as, a los que se pidió colaboración en el ámbito de sus competencias, desde la Coordinación del Grado, se trasladó, a continuación, la propuesta al profesorado, informándosele sobre los objetivos y criterios seguidos para su elaboración, e incitando a la participación de todos los docentes en la elaboración de este importante instrumento, que, sin duda, determinaría y condicionaría la vida académica de nuestro Centro en los próximos años. En una convocatoria especial participaron los coordinadores de las asignaturas del Grado en Edificación y el resto del profesorado que quiso asistir. Posteriormente se convocaron reuniones con el PAS y con el estudiantado, pidiéndosele la aportación de cada grupo, según su experiencia y puntos de vista. Hay que decir que el Borrador concitó un nivel de aceptación considerable entre todos los colectivos.

En esta primera etapa, demorada varios meses hasta el curso siguiente, los coordinadores de asignaturas serían los encargados de vehicular las sugerencias del profesorado, así como de elaborar una primera propuesta de “contenidos clave” de las nuevas asignaturas, a efectos de la necesaria delimitación de competencias, como de su coordinación horizontal y vertical. Es en este momento, cuando se avanzaba hacia

concretar el documento definitivo y redactar el Modifica correspondiente, cuando más se deja notar en la universidad los efectos retardados de la crisis del Sector de la Construcción iniciada caso una década antes, con la consiguiente disminución de estudiantes matriculados en nuestros estudios. Ello aconsejó ralentizar un proceso no exento de ambición, que contaba con varias menciones curriculares opcionales que, sin suficientes alumnos, no se cubrirían, y esperar a que la situación mejorara. Pues renunciar a la reforma proyectada nunca fue una opción para el equipo de Dirección.

Esta coyuntura ya se estaba normalizando antes de que la excepcional pandemia COVID19 volviera a alterar todos los planes en la universidad y en nuestro Centro. Pero ese tiempo ha pasado, y además en EDIFICATE 2021 comprobamos que no éramos los únicos en esta tesitura [4]. Así que, en la medida que la actual realidad lo permite, con un aumento notable de las matriculaciones y creciendo, y unos números de demanda e inserción laboral excepcionales, en 2022 se retoma de nuevo dicho proyecto transformador, que aquí se expone.

4. Resultados (provisionales)

Prueba de la aceptación de la iniciativa, es que sólo se presentaron nueve Sugerencias al Borrador inicial de la propuesta del equipo de Dirección, para la renovación del Plan de Estudios del Grado en Edificación, algunas de contenido múltiple. Tres de ellas las formalizó el propio equipo de Dirección, atendiendo indicaciones de algunos miembros del profesorado. Todas se consideraron, estudiaron y, si no contravenían los principios, o los fundamentos que animaban y justificaban la propuesta, se procuró atenderlas. El correspondiente informe, con un relato sintético de todas las sugerencias, indicando su origen, contenido y justificación, seguido de la respuesta dada por el equipo de Dirección, con la argumentación y la propuesta de resolución, se presentó a Comisión de Titulaciones, que sería la encargada de divulgar su contenido a los interesados, quienes podrían, en su caso, alegar ante la Comisión de Gobierno de la ETSIE. No se presentaron tales alegaciones, aunque el proceso, como se ha dicho, quedó interrumpido en esta coyuntura.

Suficientemente avanzado en lo que a la estructura y organización, se refiere, el trabajo se retoma nuevamente, como uno de los Objetivos cardinales del Plan Estratégico de la ETSIE-UGR, instrumento básico de su Sistema de Garantía de la Calidad. Y, además, en ese punto, para trasladar a la propuesta del equipo de Dirección, la opinión del profesorado, en lo que al contenido, competencias y coordinación de las materias y asignaturas respecta. A continuación, y tras la correspondiente supervisión académico-administrativa por parte de la UGR, se procederá a redactar y elevar el, -probablemente- necesario Modifica, dado el alcance de los cambios propuestos, a las autoridades académicas competentes, ACCUA, ANECA.

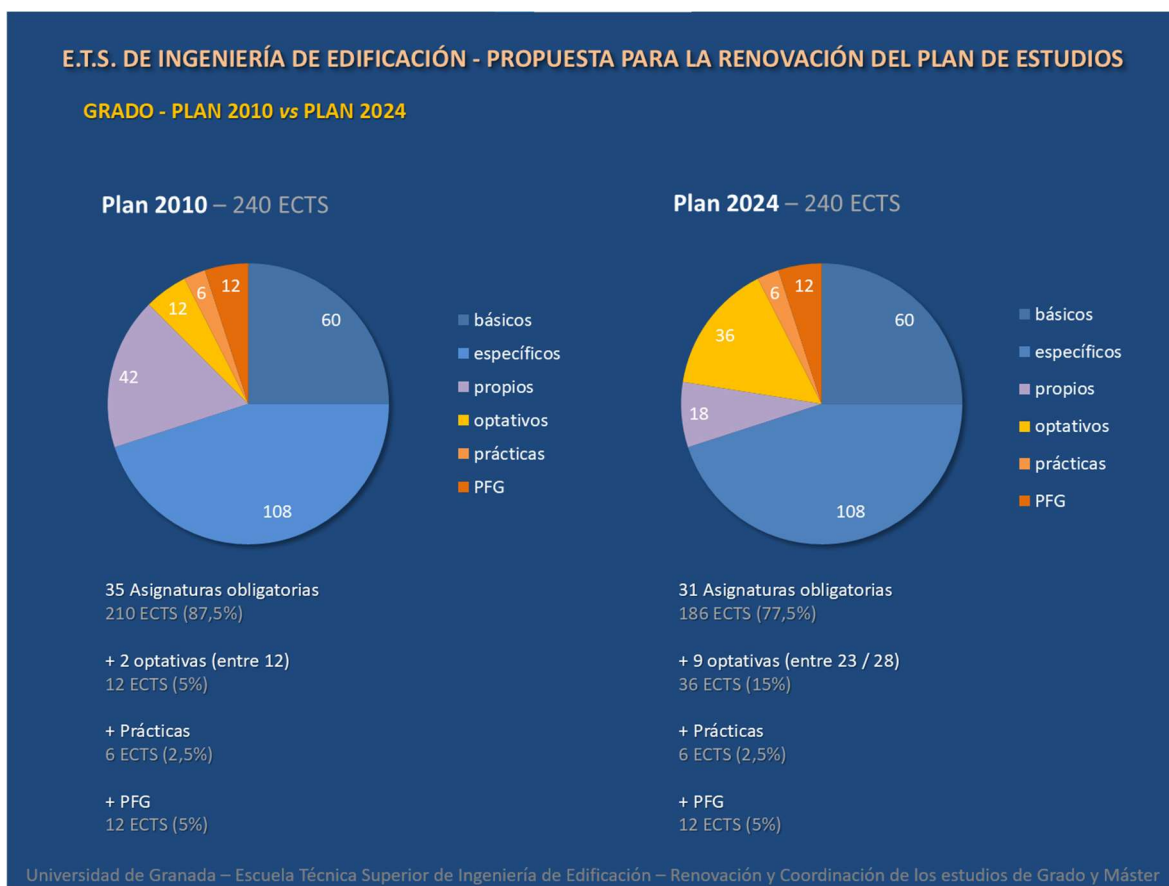


Figura 2. Plan 2010 vs Plan 2024

Fuente: Elaboración propia

Por consiguiente, estando la ETSIE-UGR en pleno proceso de renovación del Plan de Estudios, al tiempo en que se envían las Comunicaciones a este Congreso, se recoge aquí la situación general del Borrador del Proyecto en este momento, que, en síntesis, se refleja en los gráficos adjuntos (figuras 2 y 3).

En resumen los resultados, aún provisionales, son:

1. Propuesta de tres Menciones de intensificación de la formación, a elegir libremente por el estudiantado, y a desarrollar en los cursos 3º y 4º, según las grandes áreas o fases de intervención profesional en el proceso edificatorio (finalmente se desprende del Borrador una cuarta mención, inicialmente contemplada, de Investigación y Ciencia de Datos, pero no los conocimientos y competencias a ella asociados, que formarán parte de las menciones mantenidas). Estas serían:
 - **Mención Gestión**
 - **Mención Producción**
 - **Mención Conservación**
2. Aumento de la optatividad total, pasando del 5% al 15% de los créditos ECTS elegibles, lo que junto con las Prácticas curriculares y el Proyecto Fin de Carrera, asimismo vinculados con las Menciones, permitirá diversificar, a la vez que intensificar, el currículum de los estudiantes con hasta 54 créditos (22,5%).
3. Aumento de la oferta de optatividad específica elegible dentro de las Menciones, ajustando los créditos de estas asignaturas a 4,5 ECTS, lo que permitiría aumentar el número de materias optativas a cursar, y por tanto, la diversificación y mayor personalización del currículum de los estudiantes.

4. Ordenar y agrupar las materias / asignaturas temporalmente, según sus contenidos y prevalencias relacionales, lo que facilitará la coordinación horizontal y vertical del proceso de aprendizaje. Las prácticas sería comunes a todas las asignaturas en dichos módulos (talleres).
5. Actualizar el proyecto formativo incorporando las últimas innovaciones que demanda profesionalmente el sector (Sostenibilidad, Eficiencia Energética, Ciencia de Datos, BIM, SIG,...), a la vez que acrecentar la homologación internacional de los estudios, con la Ingeniería de Edificación como referencia.
6. Potenciar la secuencia: Grado + Máster (hasta ocho Másteres y Dobles Másteres se relacionan con la ETSIE-UGR) [5], como proceso continuo al que deberían optar, mayoritariamente, los estudiantes. Potenciar los PFG y TFM, incentivando la investigación desde la formación. Un Programa de Doctorado propio en Ingeniería de Edificación, facilitaría la carrera docente.



Figura 3. Plan 2024 con 3 menciones
Fuente: Elaboración propia

5. Conclusiones

1. El Plan de Estudios vigente, de 2010, viene cumpliendo su función sin problemas reseñables, bien que el paso del tiempo aconseja y obliga a su actualización, fundamentalmente para mejorar la organización, así como la coordinación de la formación, y en pos, asimismo, de una mayor homologación internacional.
2. La renovación de la estructura organizativa y la revisión del programa formativo que se propone, aumentará y diversificará la oferta curricular a la que podrán acceder los estudiantes, con tres menciones de intensificación elegibles, Gestión, Producción y Conservación, con más optatividad y con más aproximación a la actividad profesional.

3. La estructura modulada que se propone, de bloques de materias / asignaturas relacionadas, que se imparten simultáneamente y que, en la medida de lo posible, compartirán las prácticas, facilitará el aprendizaje y facilitará la coordinación de la formación, hasta donde el Centro es responsable.
4. El proceso puesto en marcha en la ETSIE-UGR para la renovación del Plan de Estudios del Grado en Edificación, aunque paralizado por imponderables, alcanzó un nivel de desarrollo razonable, que, una vez superados aquellos, se retoma, para renovar o incluir nuevas competencias sobre todo en Sostenibilidad, Eficiencia Energética, Ciencia de Datos.
5. Grado y postgrado deberían ser más abiertos y dinámicos en su oferta formativa, así como potenciar y mantener un tránsito más fluido entre ellos, tanto porque las demandas sociales exigen cada vez más especialización de los profesionales universitarios, como para facilitar la investigación y la carrera académica.

Referencias

- [1] Santiago Zaragoza J.M. y García Carrillo, F. Un salto de nivel en la UGR – Granada Hoy, 6 de junio de 2018. [En línea]. Disponible en: https://www.granadahoy.com/granada/salto-nivel-UGR_0_1252075161.html, [accedido 1 de junio de 2023].
- [2] España. Orden ECI/3855/2007, de 27 de diciembre, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Arquitecto Técnico. Boletín Oficial del Estado, nº. 312, pp. 53739-53742, 29 de diciembre de 2007. [En línea]. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2007-22447 [accedido 1 de junio de 2023].
- [3] ETSIE-UGR. Guías Docentes, E. T. S. de Ingeniería de Edificación – Universidad de Granada. [En línea]. Disponible en: <https://etsie.ugr.es/docencia/grados/guias-docentes> [accedido 1 de junio de 2023].
- [4] EDIFICATE. Actas I Congreso de Escuelas de Edificación y Arquitectura Técnica de España. Universitat Politècnica de València, Valencia, 4 de noviembre de 2021. doi: 10.4995/EDIFICATe2021.2021.13987. [En línea]. Disponible en: https://edificate.upv.es/wp-content/uploads/2021/12/Edificate_2021.pdf [accedido 1 de junio de 2023].
- [5] ETSIE-UGR. Posgrados, E. T. S. de Ingeniería de Edificación – Universidad de Granada. [En línea]. Disponible en: <https://etsie.ugr.es/docencia/posgrados> [accedido 1 de junio de 2023].

Case study of energy demand in near-zero energy houses and houses under the passivhaus standard

Piña Ramírez, Carolina^a, Aguilera Benito, Patricia^b, Vidales Barriguete, Alejandra^c, Vidales Barriguete, Roberto^d, Santiago Rasilla, Victoria^e

^a Departamento de Construcciones Arquitectónicas y su Control, Escuela Técnica Superior de Edificación, Universidad Politécnica de Madrid, carolina.pina@upm.es, ^b Departamento de Tecnología en la Edificación, Escuela Técnica Superior de Edificación, Universidad Politécnica de Madrid, patricia.aguilera@upm.es; ^c Departamento de Tecnología en la Edificación, Escuela Técnica Superior de Edificación, Universidad Politécnica de Madrid, alejandra.vidales@upm.es; ^d Arquitecto Técnico - Tradeperson Passivhaus, AUNA Arquitectos SL; ^e Arquitecto - Passivhaus Designer, AUNA Arquitectos SL.

Abstract

Building based on the standard Passivhaus or passive building is based on an adapted design that includes aspects such as orientation, distribution of spaces, surroundings and the provision of natural light among others. The main objective is to reduce the amount of energy consumed by the building. In the promotion of living quarters projected by AUNA Arquitectos, located in calle Cerrillo de las Pozas de Moralarzal (Madrid), it was decided to build two single-family living quarters in zero consumption cases (ECCN) and two single-family living quarters below the standard Passivhaus. Due to the similarity in terms of surfaces, exterior design, number of plants and orientation of these livestock, it was considered the perfect opportunity to make a real comparison between them in terms of assumptions and energy demand. The comparative analysis covered the following data: the realization of a consumption building in zero cases supposes, in front of a traditional living, an increase above the real presupuesto of approximately 2.80%, while making it based on the standard Passivhaus supposes an increase in approximately 16.18%; that supposes a difference between them of a 13,80 % less in the houses of consumption in no case respect to the houses Passivhaus. As for the energy demand, while the houses of energy consumption in no case have a reduction in the consumption of non-renewable primary energy of 70-75% compared to the traditional houses, the Passivhaus houses have a reduction of 85-90%, the which supposes an additional difference of 15 -20% in comparison with an ECCN building.

Keywords: Energy demand, Passivhaus, Near-zero energy houses, Consumption reduction

1. Introduction

The Passivhaus concept was born in the 80s in the United States and became more relevant in the 90s in Germany, with the creation of the Passivhaus Institute and its certification standard. The term Passivhaus refers to the construction of buildings that do not need to consume energy to generate adequate comfort inside [1].

This standard has focused, above all, on new buildings located in cold climates, such as those of central and northern Europe. The primary requirements being to have greater insulation than other conventional buildings, avoiding all thermal bridges, sealing and infiltration control and the use of ventilation systems with heat recovery.

The objectives of the standard is to limit the energy demand for heating to 15 kWh/m² and that the total primary energy needs (heating and domestic hot water) be less than 1.5 kW/h. In addition, the total primary energy demanded by the building (including air conditioning, lighting, electrical appliances, lighting, etc.) must not exceed 120 kWh/m². All the indicated energy figures are referenced to the net living area of the building.

On the other hand, the infiltrations must be less than 0.6 renewals per hour with a pressure difference of 50 pascals [2].

Until now, the application of this standard has given good results [3]–[6], even serving to give rise to the concept of zero energy building, introduced in the EU Directive 2010/31 [7]. The European Commission proposed that from 2030 all new buildings must be zero-emission, and specifically new public buildings must have zero emissions from 2027. However, its diffusion outside central and northern Europe, more specifically in areas with hot climates, it is questionable, so it was necessary to develop lines of research that glimpse this issue.

There are investigations that indicate that the main strategy in buildings located in hot climates consists of dissipating the accumulated heat inside the building, the result of solar gains and internal gains. To this end, one of the measures to be adopted is that the insulation be significantly lower than that used in cold or severe climates, or also to have materials with greater thermal mass, such as ceramic enclosures in the interior, favor thermal comfort and interior temperatures will be more regular [8]–[12].

This paper goes one step further, showing the difference in consumption in a standard passivhaus house and another with similar characteristics of almost zero NZEB energy consumption. Both located in Spain (northern hemisphere) with a warm continental climate. The objective is to provide a comparison of results in the theoretical and experimental energy parameters.

2. Methodology

The research presented here is an analysis of parameters related to energy efficiency in single-family homes. The results obtained in the projection of two single-family homes are studied theoretically and experimentally, one built under the Passiv standard (type A) and the other ECCN (type B). Both houses are analyzed before their construction with energy simulation programs and after their construction through the actual consumption collected from each of them.

2.1 Simulation setup and parameterization

2.1.1 Dwellings. Location and typology

The study is characterized by the analysis of two semi-detached single-family homes, with the same distribution, but in a symmetrical position, two floors with 3 bedrooms and 2 bathrooms (1 suite type) on the first floor and a multipurpose room, toilet, storage room and utility room. on the ground floor, with a private garden for exclusive use. Three parking spaces are also planned inside the plot (two in a covered garage on the ground floor and a third in the front yard). Figure 1.

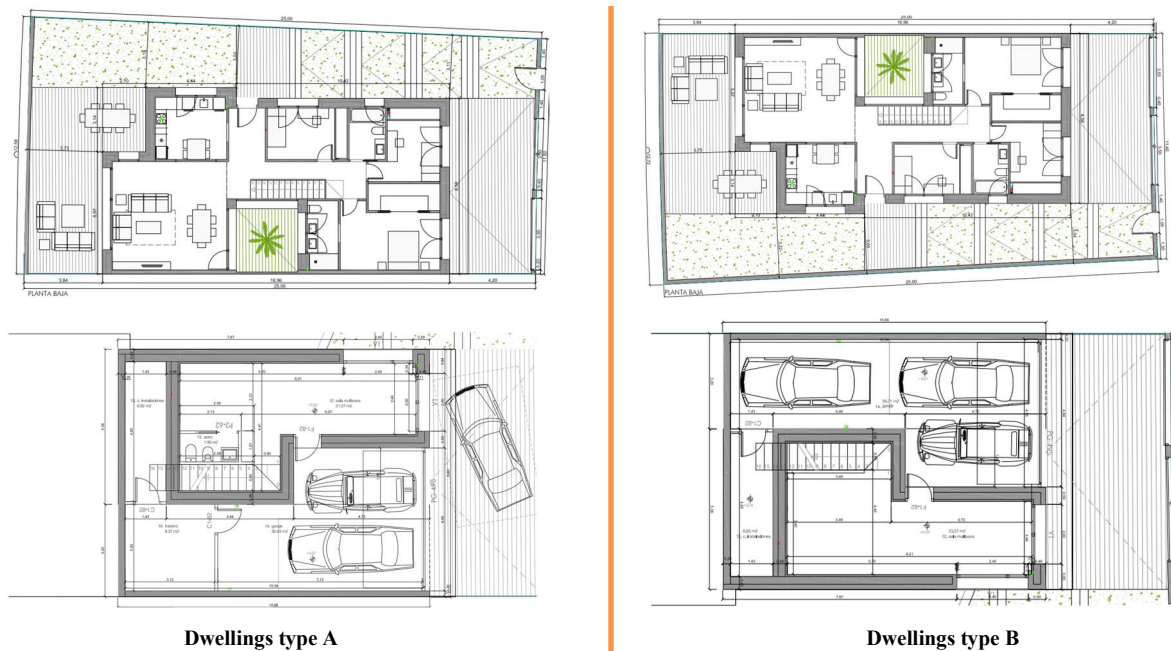


Figure 1. Dwellings typology
Source: own elaboration (2022)

Both houses have a constructed area of 92.16 m² on the ground floor and 132.79 m² on the first floor. The total area of each building is 224.95 m² and the plot area is 301.05 m².

This type of semi-detached house, compared to detached single-family houses (with all its external surfaces) is likely to have lower heat transmission losses in winter, but on the contrary may be prone to higher risks of overheating in summer due to reduced exchange. external heat surfaces and fewer ventilation openings.

In this study, the houses were oriented towards the south, since this parameter is essential in the optimal design of Passivhaus in the northern hemisphere (Spain), since it allows the greatest use of passive solar gains during the winter heating season.

The location of the houses is in Spain, specifically in the municipality of Moralarzaral, which is located in the northern sierra of the Community of Madrid. Figure 2.



Figure 1. Dwellings location
Source: own elaboration (2022)

2.1.2 Design, simulation and preliminary analysis phase

Numerical simulation is carried out using computational fluid dynamics (CFD) and validated with experimental data generated by the research.
















The transmission of heat to the outside through the heavy construction elements (Figure 4) that form the thermal envelope of the living areas of the building (-23.7 kWh/(m²·year)) accounts for 42.5% of the total thermal transmission through of said envelope (-55.7 kWh/(m²·year)).

Tipo	S (m ²)	c (kJ/(m ² ·K))	U (W/(m ² ·K))	δQ _{ext} (kWh/año)	α	L (°)	O. (°)	F _{abs}	δQ _{ext} (kWh/año)
Vivienda unifamiliar									
Fachada de una hoja con aislamiento por el exterior, sistema 'ETICS', con trasdosado autoportante	3.56	14.22	0.16	-41.6	0.4	V	158.39	0.99	6.9
Tabique PYL 78/600(48) LM	14.93	13.28	0.61	-143.4	Hacia 'Zona no habitable 2 (14.Aseo)'				
Cerramiento de una hoja de termoarcilla con aislamiento SATE por el exterior y trasdosado interior	29.45	8.75	0.14	-248.4	Hacia 'Zona no habitable 1'				
Cerramiento de una hoja de termoarcilla con aislamiento SATE por el exterior y trasdosado interior	5.78	15.77	0.14	-48.7	Hacia 'Zona no habitable 1'				
Muro de sótano con impermeabilización exterior Aislado al Exterior y Trasdado	19.89	17.11	0.14	-202.2					
Losa de cimentación	63.07	129.83	0.14	-641.4					
Forjado de placa alveolar prefabricada 20+5	20.37	53.48							
Fachada de una hoja con aislamiento por el exterior, sistema 'ETICS', con trasdosado autoportante	10.96	14.22	0.16	-127.9	0.4	V	-21.57	1.00	4.3
Fachada de una hoja con aislamiento por el exterior, sistema 'ETICS', con trasdosado autoportante	5.24	14.22	0.16	-61.1	0.4	V	68.43	0.57	3.1
Fachada de una hoja con aislamiento por el exterior, sistema 'ETICS', con trasdosado autoportante	0.98	14.22	0.16	-11.4	0.4	V	158.42	0.59	1.1
Medianería de hoja de fábrica, con trasdosado autoportante en ambas caras	40.16	16.59							
Tabique PYL 78/600(48) LM	198.17	13.28							
Cubierta inclinada de teja plana de hormigón (Losa maciza)	30.02	18.19	0.12	-278.1	0.6	8	158.43	1.00	104.7
Fachada de una hoja con aislamiento por el exterior, sistema 'ETICS', con trasdosado autoportante	10.47	14.22	0.16	-122.2	0.4	V	-21.57	0.50	2.0
Fachada de una hoja con aislamiento por el exterior, sistema 'ETICS', con trasdosado autoportante	35.25	14.22	0.16	-411.5	0.4	V	68.43	1.00	36.8
Fachada de una hoja con aislamiento por el exterior, sistema 'ETICS', con trasdosado autoportante	1.50	14.22	0.16	-17.6	0.4	V	158.43	0.67	2.0
Cubierta inclinada de teja plana de hormigón (Losa maciza)	10.89	54.88	0.14	-110.7	0.6	8	158.43	1.00	42.3
Forjado de placa alveolar prefabricada 20+5	2.48	131.12	0.81	-30.3	Hacia 'Zona no habitable 2 (14.Aseo)'				
Forjado de placa alveolar prefabricada 20+5	20.37	131.12							
Cubierta plana no transitable, no ventilada, con grava, impermeabilización mediante láminas asfálticas. (Losa maciza)	3.85	18.16	0.11	-31.9	0.6	H		1.00	11.4
Cubierta inclinada de teja plana de hormigón (Losa maciza)	16.56	18.19	0.12	-153.4	0.6	8	-21.57	1.00	48.9
Fachada de una hoja con aislamiento por el exterior, sistema 'ETICS', con trasdosado autoportante	10.72	14.22	0.16	-125.2	0.4	V	158.39	0.88	18.5
Tipo									
Forjado de placa alveolar prefabricada 20+5	34.14	130.42	0.42	-896.1	Hacia 'Zona no habitable 1'				
Fachada de una hoja con aislamiento por el exterior, sistema 'ETICS', con trasdosado autoportante	13.14	14.22	0.16	-153.4	0.4	V	158.39	0.88	22.7
Cubierta inclinada de teja plana de hormigón (Losa maciza)	35.83	54.88	0.14	-364.4	0.6	8	-21.57	1.00	118.1
Fachada de una hoja con aislamiento por el exterior, sistema 'ETICS', con trasdosado autoportante	8.71	14.22	0.16	-101.7	0.4	V	-21.57	0.50	1.7
Fachada de una hoja con aislamiento por el exterior, sistema 'ETICS', con trasdosado autoportante	3.42	14.22	0.16	-40.0	0.4	V	O(-111.57)	0.63	3.6
Cubierta plana no transitable, no ventilada, con grava, impermeabilización mediante láminas asfálticas. (Losa maciza)	9.14	54.76	0.12	-79.2	0.6	H		1.00	28.3
Cubierta inclinada de teja plana de hormigón (Losa maciza)	1.87	54.88	0.14	-19.0	0.6	8	158.43	0.87	6.3
				-3093.9	-1367.0*				462.8
Zona no habitable 1									
Tabique de una hoja, con revestimiento	4.66	89.46							
Cerramiento de una hoja de termoarcilla con aislamiento SATE por el exterior y trasdosado interior	29.45	15.77	0.14	248.4	Desde 'Vivienda unifamiliar'				
Cerramiento de una hoja de termoarcilla con aislamiento SATE por el exterior y trasdosado interior	3.38	15.77	0.14	21.3	Desde 'Zona no habitable 2 (14.Aseo)'				
Muro de sótano con impermeabilización exterior Aislado al Exterior	15.03	323.44	0.17	-33.4					
Losa de cimentación	7.11	69.93	0.13	-12.1					
Forjado de placa alveolar prefabricada 20+5	34.14	14.89	0.42	896.1	Desde 'Vivienda unifamiliar'				
Fachada de una hoja con aislamiento por el exterior, sistema 'ETICS', con trasdosado autoportante	4.62	14.22	0.16	-9.4	0.4	V	158.39	0.99	9.0
Medianería de hoja de fábrica, con trasdosado autoportante en ambas caras	26.81	16.59							
Fachada de una hoja con aislamiento por el exterior, sistema 'ETICS', con trasdosado autoportante	1.55	14.22	0.16	-3.1	0.4	V	158.39	1.00	3.0
Fachada de una hoja con aislamiento por el exterior, sistema 'ETICS', con trasdosado autoportante	1.28	14.22	0.16	-2.6	0.4	V	158.39	1.00	2.5
Cerramiento de una hoja de termoarcilla con aislamiento SATE por el exterior y trasdosado interior	5.78	8.75	0.14	48.7	Desde 'Vivienda unifamiliar'				
Tabique PYL 78/600(48) LM	12.98	13.28							
Solera	29.93	184.69	0.90	-351.7					
Muro de sótano con impermeabilización exterior	6.90	297.04	0.91	-81.5					
Solera	9.62	78.59	0.56	-70.9					
Cubierta plana transitable, no ventilada, con solado fijo, impermeabilización mediante láminas asfálticas. (Losa maciza)	9.04	58.16	1.46	-174.1	0.6	H		0.28	95.6
				-738.8	+1214.5*				110.1

Figure 4. Constructive composition. Heavy construction elements

Source: own elaboration

The transmission of heat to the outside through the light construction elements (Figure 5) that form the thermal envelope of the habitable areas of the building (-23.9 kWh/(m²·year)) accounts for 42.8% of the total thermal transmission through of said envelope (-55.7 kWh/(m²·year)).

	Tipo	S (m ²)	U _g (W/ (m ² ·K))	F _F (%)	U _f (W/ (m ² ·K))	δQ _g (kWh /año)	g _{gl}	α	I (°)	O. (°)	F _{sh,gl}	F _{sh,o}	δQ _{sol} (kWh /año)		
Vivienda unifamiliar															
		Triple acristalamiento 3+3 (BE)/12/6/12/3+3	2.40	0.93	0.37	1.00	-169.8	0.40	0.8	V	158.39	0.74	0.99	513.2	
		Puerta cortafuegos, de acero galvanizado	1.60		1.00	2.25	-225.4	Hacia 'Zona no habitable 1'							
		Triple acristalamiento 3+3 (BE)/12/6/12/3+3	8.80	0.93	0.25	1.00	-617.4	0.40	0.8	V	-21.57	1.00	1.00	1224.0	
		Triple acristalamiento 3+3 (BE)/12/6/12/3+3	2.25	0.93	0.20	1.00	-157.2	0.40	0.8	V	68.43	0.76	0.62	251.5	
		Triple acristalamiento 3+3 (BE)/12/6/12/3+3	7.80	0.93	0.25	1.00	-546.9	0.40	0.8	V	158.42	0.86	0.63	1435.2	
		Triple acristalamiento: 6 (BE)/15/4/15/6	2.10	0.93	0.39	1.00	-148.8	0.40	0.8	V	68.43	0.68	1.00	267.7	
		Triple acristalamiento: 6 (BE)/15/4/15/6	2.50	0.93	0.35	1.00	-176.7	0.40	0.8	V	68.43	0.82	1.00	399.0	
		Triple acristalamiento: 6 (BE)/15/4/15/6	3.20	0.93	0.28	1.00	-225.0	0.40	0.8	V	158.39	0.74	0.98	754.6	
		Triple acristalamiento: 6 (BE)/15/4/15/6	3.20	0.93	0.28	1.00	-225.0	0.40	0.8	V	158.39	0.74	0.99	759.7	
		Triple acristalamiento: 6 (RF)/15/4/15/6	1.90	0.93	0.43	1.00	-85.3	0.40	0.8	V	68.43	0.76	1.00	158.5	
		Triple acristalamiento 3+3 (BE)/12/6/12/3+3	1.20	0.93	0.56	1.00	-86.1	0.40	0.8	V	-21.57	1.00	0.89	91.8	
		Puerta entrada vivienda 1000x2100 mm	2.10		1.00	0.87	-135.2				68.43	0.00	1.00	33.4	
		Triple acristalamiento 3+3 (BE)/12/6/12/3+3	7.80	0.93	0.12	1.00	-542.0	0.40	0.8	V	O(-111.57)	0.86	0.64	1496.1	
							-3115.2	-225.4*				7384.7			
Zona no habitable 1															
		Puerta de garaje	6.60		1.00	2.00	-152.5			0.8	V	158.39	0.00	1.00	396.4
		Puerta cortafuegos, de acero galvanizado	1.60		1.00	2.25	-225.4	Desde 'Vivienda unifamiliar'							
							-152.5	+225.4*				396.4			

donde:

S: Superficie del elemento.

U_g: Transmitancia térmica de la parte translúcida.

F_F: Fracción de parte opaca del elemento ligero.

U_f: Transmitancia térmica de la parte opaca.

Q_g: Calor intercambiado con el ambiente exterior, a través del elemento, a lo largo del año.

*: Calor intercambiado con otras zonas del modelo térmico, a través del elemento, a lo largo del año.

g_{gl}: Transmitancia total de energía solar de la parte transparente.

α: Coeficiente de absorción solar (absortividad) de la parte opaca del elemento ligero.

I: Inclinación de la superficie (elevación).

O.: Orientación de la superficie (azimut respecto al norte).

F_{sh,gl}: Valor medio anual del factor reductor de sombreadamiento para dispositivos de sombra móviles.

F_{sh,o}: Valor medio anual del factor de corrección de sombra por obstáculos exteriores.

Q_{sol}: Ganancia solar acumulada a lo largo del año.

Figure 5. Constructive composition. Heavy construction elements

Source: own elaboration

The transmission of heat through the thermal bridges (Figure 6) included in the thermal envelope of the habitable areas of the building (-8.1 kWh/(m²·year)) accounts for 14.6% of the total thermal transmission through said envelope. (-55.7 kWh/(m²·year)). Taking as a reference only the thermal transmission through the heavy elements and thermal bridges of the habitable envelope of the building (-31.9 kWh/(m²·year)), the percentage due to thermal bridges is 25.6%.

	Tipo	L (m)	y (W/(m·K))	δQ_p (kWh/año)
Vivienda unifamiliar				
Esquina saliente		5.04	0.050	-19.0
Suelo en contacto con el terreno		23.47	0.206	-364.3
Frente de forjado		25.33	0.003	-6.2
Esquina entrante		23.87	-0.042	76.2
Esquina saliente		13.82	0.022	-23.3
Cubierta plana		20.15	0.232	-352.1
Cubierta plana		15.29	0.251	-289.2
Frente de forjado		1.26	0.008	-0.7
Cubierta plana		4.41	0.252	-83.8
				-1062.4

donde:

L: Longitud del puente térmico lineal.

y: Transmitancia térmica lineal del puente térmico.

n: Número de puentes térmicos puntuales.

X: Transmitancia térmica puntual del puente térmico.

Q_p : Calor intercambiado en el puente térmico a lo largo del año.

Figure 6. Constructive composition. Heavy construction elements

Source: own elaboration

The characterization of the spaces (Figure 7) that make up each of the calculation areas of the building is shown below. For each space, its surface and volume are shown, along with its operational conditions in accordance with the use profiles of Appendix C of CTE DB HE 1, its thermal conditioning, and its interior stresses due to energy contributions from occupants, equipment, and lighting. .

Housing type A

	S (m ²)	V (m ³)	b_{ve}	ren_h (l/h)	$\Sigma Q_{occ,p}$ (kWh/año)	ΣQ_{equip} (kWh/año)	ΣQ_{lum} (kWh/año)	T ^o calef. media (°C)	T ^o refriger. media (°C)
Vivienda unifamiliar (Zona habitable, Perfil: Residencial)									
12.Sala multiusos	23.34	58.79	1.00	0.63	309.0	337.4	337.4	19.0	26.0
3.Salón/Comedor	29.71	95.27	1.00	0.63	393.3	429.4	429.4	19.0	26.0
2.Cocina	10.78	32.90	1.00	0.63	142.6	155.7	155.7	19.0	26.0
5.Dormitorio 1	9.96	28.32	1.00	0.63	131.9	144.0	144.0	19.0	26.0
7.Dormitorio 2	10.27	36.32	1.00	0.63	135.9	148.4	148.4	19.0	26.0
8.Dormitorio 3	19.53	66.58	1.00	0.63	258.6	282.3	282.3	19.0	26.0
6.Baño 1	4.59	14.83	1.00	0.63	60.8	66.4	66.4	19.0	26.0
9.Baño 2	5.21	15.19	1.00	0.63	69.0	75.4	75.4	19.0	26.0
1-4.Vestíbulo/Distribuidor	17.09	48.30	1.00	0.63	226.2	247.0	247.0	19.0	26.0
130.49 396.48 1.00 0.63/1.010^o/4^o** 1727.4 1886.0 1886.0 19.0 26.0									
Zona no habitable 1 (Zona no habitable)									
14.Cuarto Instalaciones	7.11	18.09	1.00	3.00	--	--	--	Oscilación libre	
15.Garaje	29.99	77.91	1.00	3.00	--	--	--	Oscilación libre	
Trastero	9.61	24.08	1.00	1.00	--	--	--	Oscilación libre	
46.71 120.08 1.00 2.60 0.0 0.0 0.0									
Zona no habitable 2 (14.Aseo) (Zona no habitable)									
14.Aseo	2.64	6.86	1.00	1.00	--	--	--	Oscilación libre	
2.64 6.86 1.00 1.00 0.0 0.0 0.0									

Housing type B

	S (m ²)	V (m ³)	b _{ve}	ren _h (1/h)	ΣQ _{ocup,s} (kWh /año)	ΣQ _{equip} (kWh /año)	ΣQ _{ilum} (kWh /año)	T ^o calef. media (°C)	T ^o refriger. media (°C)
Vivienda unifamiliar (Zona habitable, Perfil: Residencial)									
12.Sala multiusos	23.34	58.79	1.00	0.63	309.0	337.4	337.4	19.0	26.0
3.Salón/Comedor	29.71	95.27	1.00	0.63	393.3	429.4	429.4	19.0	26.0
2.Cocina	10.78	32.90	1.00	0.63	142.6	155.7	155.7	19.0	26.0
5.Dormitorio 1	9.96	28.32	1.00	0.63	131.9	144.0	144.0	19.0	26.0
7.Dormitorio 2	10.27	36.32	1.00	0.63	135.9	148.4	148.4	19.0	26.0
8.Dormitorio 3	19.53	66.58	1.00	0.63	258.6	282.3	282.3	19.0	26.0
6.Baño 1	4.59	14.83	1.00	0.63	60.8	66.4	66.4	19.0	26.0
9.Baño 2	5.21	15.19	1.00	0.63	69.0	75.4	75.4	19.0	26.0
1-4.Vestíbulo/Distribuidor	17.09	48.30	1.00	0.63	226.2	247.0	247.0	19.0	26.0
	130.49	396.48	1.00	0.63/1.010*/4**	1727.4	1886.0	1886.0	19.0	26.0
Zona no habitable 1 (Zona no habitable)									
14.Cuarto Instalaciones	7.11	18.09	1.00	3.00	--	--	--	Oscilación libre	
15.Garaje	29.99	77.91	1.00	3.00	--	--	--		
Trastero	9.61	24.08	1.00	1.00	--	--	--		
	46.71	120.08	1.00	2.60	0.0	0.0	0.0		
Zona no habitable 2 (14.Aseo) (Zona no habitable)									
14.Aseo	2.64	6.86	1.00	1.00	--	--	--	Oscilación libre	
	2.64	6.86	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0		

S: Superficie útil interior del recinto, m².

V: Volumen interior neto del recinto, m³.

b_{ve}: Factor de ajuste de la temperatura de suministro de ventilación. En caso de disponer de una unidad de recuperación de calor, el factor de ajuste de la temperatura de suministro de ventilación para el caudal de aire procedente de la unidad de recuperación es igual a $b_{ve} = (1 - f_{ve,frac} \cdot h_{hrv})$, donde h_{hrv} es el rendimiento de la unidad de recuperación y $f_{ve,frac}$ es la fracción del caudal de aire total que circula a través del recuperador.

ren_h: Número de renovaciones por hora del aire del recinto.

*: Valor medio del número de renovaciones hora del aire de la zona habitable, incluyendo las infiltraciones calculadas y los periodos de 'free cooling'.

** : Valor nominal del número de renovaciones hora del aire de la zona habitable en régimen de 'free cooling' (ventilación natural nocturna en las noches de verano).

Q_{ocup,s}: Sumatorio de la carga interna sensible debida a la ocupación del recinto a lo largo del año, conforme al perfil anual asignado y a su superficie, kWh/año.

Q_{equip}: Sumatorio de la carga interna debida a los equipos presentes en el recinto a lo largo del año, conforme al perfil anual asignado y a su superficie, kWh/año.

Q_{ilum}: Sumatorio de la carga interna debida a la iluminación del recinto a lo largo del año, conforme al perfil anual asignado y a su superficie, kWh/año.

T^o calef. media: Valor medio en los intervalos de operación de la temperatura de consigna de calefacción, °C.

T^o refriger. media: Valor medio en los intervalos de operación de la temperatura de consigna de refrigeración, °C.

Figure 7. Characteristics of the spaces that the living ones conform to.

Source: own elaboration

3. Results

The calculation procedure used consists of the annual simulation of a zonal model of the building with thermal coupling between zones, using the complete simplified method on a dynamic hourly basis described in UNE-EN ISO 13790:2011, whose implementation has been validated by the tests described in Standard EN 15265:2007 (Energy performance of buildings - Calculation of energy needs for space heating and cooling using dynamic methods - General criteria and validation procedures). This calculation procedure uses an equivalent resistance-capacitance (R-C) model of three nodes on an hourly basis. This model makes a distinction between the indoor air temperature and the average radiant temperature of the interior surfaces (building area lining), allowing its use in thermal comfort checks, and increasing the accuracy of the consideration of the radiant parts and convective of the solar, luminous and internal gains. (Figure 8).

Housing type A

Demandas energéticas de calefacción y de refrigeración*

D_{cal}	37,62	kWh/m ² año	$D_{cal,lim}$	39,28	kWh/m ² año	Sí cumple
D_{ref}	12,95	kWh/m ² año	$D_{ref,lim}$	15,00	kWh/m ² año	Sí cumple

Consumo de energía primaria no renovable*

C_{ep}	27,66	kWh/m ² año	$C_{ep,lim}$	78,42	kWh/m ² año	Sí cumple
----------	-------	------------------------	--------------	-------	------------------------	-----------

Housing type B

Demandas energéticas de calefacción y de refrigeración*

D_{cal}	34,78	kWh/m ² año	$D_{cal,lim}$	38,94	kWh/m ² año	Sí cumple
D_{ref}	13,32	kWh/m ² año	$D_{ref,lim}$	15,00	kWh/m ² año	Sí cumple

Consumo de energía primaria no renovable*

C_{ep}	26,50	kWh/m ² año	$C_{ep,lim}$	77,91	kWh/m ² año	Sí cumple
----------	-------	------------------------	--------------	-------	------------------------	-----------

Figure 8. Energy and consumption demands
Source: own elaboration

In terms of energy demand, while nearly zero-energy houses have a reduction in non-renewable primary energy consumption of 70-75% compared to traditional houses, Passivhaus houses have a reduction of 85-90%, which means an additional difference of 15-20% compared to an ECCN building.

4. Conclusions

With the results obtained it can be concluded that, despite the increase in the real construction budget, this does not represent a great difference with respect to a traditional construction budget; but, on the contrary, both nearly zero consumption buildings and Passivhaus, have a great impact on the reduction of the user's energy costs throughout the useful life of the building, as well as for the minimisation of CO₂ emissions into the atmosphere and consumption of non-renewable energies.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the data and information kindly made available by AUNA GESTIÓN DE COOPERATIVAS, S.L.

References

- A. Consoli, V. Costanzo, G. Evola, and L. Marletta, "Refurbishing an Existing Apartment Block in Mediterranean Climate: Towards the Passivhaus Standard," *Energy Procedia*, vol. 111, no. September 2016, pp. 397–406, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.201.
- Consejería de Economía y hacienda. and Comunidad de Madrid., "Guía del estándar Passivhaus," Fenercom, p. 209, 2011.
- J. Forde, C. J. Hopfe, R. S. McLeod, and R. Evins, "Temporal optimization for affordable and resilient Passivhaus dwellings in the social housing sector," *Appl. Energy*, vol. 261, no. January, p. 114383, 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114383.
- R. S. McLeod, C. J. Hopfe, and A. Kwan, "An investigation into future performance and overheating risks in Passivhaus dwellings," *Build. Environ.*, vol. 70, pp. 189–209, 2013, doi: 10.1016/j.buildenv.2013.08.024.
- I. García Kerdan, R. Raslan, P. Ruyssevelt, S. Vaiciulyte, and D. Morillón Gálvez, "Thermodynamic and exergoeconomic analysis of a non-domestic Passivhaus retrofit," *Build. Environ.*, vol. 117, pp. 100–117, 2017, doi: 10.1016/j.buildenv.2017.03.003.
- M. J. Fletcher, D. K. Johnston, D. W. Glew, and J. M. Parker, "An empirical evaluation of temporal overheating in an assisted living Passivhaus dwelling in the UK," *Build. Environ.*, vol. 121, no. January, pp. 106–118, 2017, doi: 10.1016/j.buildenv.2017.05.024.
- E. Commission, "Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)," *Off. J. Eur. Union*, pp. 13–35, 2010, doi: 10.3000/17252555.L_2010.153.eng.
- Y. Kang, V. W. C. Chang, D. Chen, V. Graham, and J. Zhou, "Performance gap in a multi-storey student accommodation complex built to Passivhaus standard," *Build. Environ.*, vol. 194, no. November 2020, p. 107704, 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.107704.
- R. S. McLeod, C. J. Hopfe, and Y. Rezgui, "A proposed method for generating high resolution current and future climate data for Passivhaus design," *Energy Build.*, vol. 55, pp. 481–493, 2012, doi: 10.1016/j.enbuild.2012.08.045.
- M. O'Kelly, M. E. Walter, and J. R. Rowland, "Simulated hygrothermal performance of a Passivhaus in a mixed humid climate under dynamic load," *Energy Build.*, vol. 81, pp. 211–218, 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.06.015.
- J. Feijó-Muñoz et al., "Energy impact of the air infiltration in residential buildings in the Mediterranean area of Spain and the Canary islands," *Energy Build.*, vol. 188–189, pp. 226–238, 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.02.023.
- M. Zune, R. Tubelo, L. Rodrigues, and M. Gillott, "Improving building thermal performance through an integration of Passivhaus envelope and shading in a tropical climate," *Energy Build.*, vol. 253, p. 111521, 2021, doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111521.

EDIFICAT^E2023

**II NATIONAL CONGRESS AND
I INTERNATIONAL CONGRESS OF ADVANCED SCHOOLS BUILDING ENGINEERING
AND TECHNICAL ARCHITECTURE**

GRANADA, November, 9-10, 2023
Advanced Technical School for Building Engineering
University of Granada

TOPIC 2.

**Active teaching approaches in undergraduate
and postgraduate courses**

New ways of teaching and learning in architectural design

Bernardo, Graziella ^a y Palmero Iglesias, Luis Manuel ^b

^a Università degli Studi della Basilicata, Via Lanera 20, 75100 Matera, Italia. graziella.bernardo@unibas.it,

^b Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n 46022, Valencia. lpalmero@csa.upv.es

Abstract

The paper reports on an international teaching experience between the University of Basilicata and the Polytechnic University of Valencia. Starting from the academic year 2016-2017 in the teaching of Materials in the master's degree in architecture, an innovative group work method has been initiated with the provision of audiovisual films on the theme of the key role of materials in architectural design, both in interventions in the recovery and restoration of the architectural heritage and in the sustainable design of architecture. The working methodology used consisted of theoretical lectures relating on the chemical composition, microstructural characteristics and technological properties of materials, and seminars with the presence of a lecturer from the Polytechnic University of Valencia on the functions and forms of building components in the architecture. The presence of a foreign teacher with a complementary and synergistic vision to the basic knowledge imparted in the course of Materials has allowed the achievement of the educational objectives according to the Dublino descriptors (knowledge and understanding, applying knowledge and understanding; judgment autonomy, communication skills, learning skills).

Keywords: Flipped teaching and learning, Active learning, Audiovisuals films, Dublino Descriptors.

1. Introduction

University teaching is a particularly difficult work. It has considerable implications not only for the skills learners, but also also for their personalities and for their future way of living and working. It requires a special dedication and a high sense of responsibility by teachers. According the European teaching quality systems a continuous improvement must be pursued with the experimentation of more and more effective ways of teaching.

In the European higher education system, the Bologna Process of 1999 harmonized higher education pathways with the two degree cycles (Bachelor's degree at 1st level, Master's degree at 2nd level) and the subsequent doctorate (3rd level). Increasing attention has subsequently been paid to a proper definition and declination of the educational objectives by means the so-called Dublin Descriptors which define the five types of skills that must be acquired to earn the degree in the three levels of education: 1) knowledge and understanding; 2) applied knowledge and understanding; 3) making judgment; 4) communication skills; 5) learning skills.

In 2005, Standards and Guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area was defined by European Association for Quality Assurance in Higher Education ENQA (ESG 2015 <https://enqa.eu>). It is part of ENQA's tasks to accredit the Quality Assessment and Assurance Agencies operating in the Bologna Process countries. The Italian Agency ANVUR (National Agency for the Evaluation of the University System and Research) as member of ENQA establishes the Italian normative frame to the periodic accreditation of University sites and courses of study. The SUA CdS (Single Annual Form of Course of Study) is the document functional to the design, implementation, management, self-evaluation and redesign of the CdS; it collects the information useful to make known the outgoing profiles, the objectives of the training, the training path, the learning outcomes, the roles and responsibilities that pertain to the management of the CdS's QA system, the prerequisites for the periodic review of its system, any corrections identified and possible improvements.

Higher education in Building Engineering and Architecture requires a special aptitude for communication in design teams and ability to mediate between different requirements. Moreover, the ability to update one's skills plays a crucial role in the professional practice with a process of continuing education in view of the continuous technological innovations in the construction industry.

In the pandemic period, remote learning highlighted the possibilities offered by computerization and digitization of information with the recording of lectures and their enjoyment even at times other than class time. However, the pandemic period has also greatly slowed learning processes that require classroom presence and sharing of experiences between teacher and students and among students in working groups. In fact, group design activities on case studies that require on-site visits and survey activities are a particularly important educational activity moment in Architecture and Building Engineering degrees.

The paper reports on a teaching cooperation experience initiated in A.Y. 2016-2017 between the Materials course of the Architecture degree program of the University of Basilicata and the Construction I course of the Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación de Valencia, España. Thanks to the exchange of experiences between the two universities, the educational activities allowed the experimentation of innovative ways of teaching and learning through the use of audiovisual films as practical exercises of group work.

2. The pedagogical model of the flipped teaching and learning

The flipped teaching and learning is an increasingly popular pedagogy in secondary and higher education. This pedagogical model consists of doing at home what is traditionally done in the classroom (namely theoretical exposition) and doing in the classroom what is commonly done at home (i.e. problem solving). In the flipped classroom, students independently study theoretical topics at home and spend time in the classroom engaged in active learning experiences such as discussions, peer teaching, presentations, projects, problem-solving, calculations and group activities. In other words, the teaching and learning strategy "flips" the typical presentation of content, in which lecture hours are used for theoretical exposition and practical exercises, while homework consists of the study of classroom topics and a series of practical problems or group projects (Roehling, 2018).

Active learning allows students to create their own knowledge based on pre-existing cognitive frameworks, resulting in a deeper level of learning than occurs in more passive learning contexts. The main advantage of the active learning is the acquisition of key information into the long-term memory before class. This lightens the

cognitive load during class so that students can form new and deeper connections and develop more complex ideas. Finally, classroom activities in the flipped model can be intentionally designed to teach students valuable interpersonal skills, such as being able to listen to and understand the opinion of others, mediating between different project visions and needs.

The origin of the methodology dates back to the early 2000s when a group of economics professors at Miami University in Ohio, USA, asked their students to prepare a lecture and then encourage class discussion. In 2007, Jonathan Bergmann and Aaron Sams, two chemistry teachers at Woodland Park High School in Colorado, began videotaping their course content and uploading it to the Internet. In this way they solved the problem of some students not attending class with various out-of-school activities (Bergamnn and Sams, 2105). Although they were not pioneers in the use of video tutorials, they were among the first to advocate it as a teaching tool.

The pedagogical model of the flipped classroom has been used for some time at the Polytechnic University of Valencia which has always stood out in the landscape of European universities for international cooperation in educational activities (Figure 1). This methodology used by a significant number of teachers as a pedagogical model has more followers every day. As the Professor Enrique David of the Architectural Construction Departments states, it is a continuous learning with the provision of practical activities discussed during class time that requires effort and responsibility by teachers and students (Figures 2 and 3). This pedagogical approach is not a cancellation of the traditional model but an alternative proposal that is giving very good results.



Figure 1. Lecture by Prof. Stefania De Gregorio of the University of L'Aquila (Italy) in the course Construction I by Prof. Luis Palmero

This innovative educational methodology also makes use of audiovisual films that make practical lessons more enjoyable and usable even during home study hours. In addition, the audiovisual films relate the theoretical aspects to the practical ones, expose the construction problems and encourage debate between teacher and students on the solutions adopted in the case study presented. However, the use of video for educational purposes must be planned and focused on the the achievement of educational objectives. In fact, the presentation of a topic through its audiovisual footage must always be preceded by an introduction by the teacher on the most relevant aspects and objectives. Audiovisual techniques are a very effective pedagogical tool because they use sounds and images and by using multiple senses the content transmitted is more easily acquired by the human mind. The image in teaching very eloquently supports and sustains the idea to be conveyed, which is much more faithful to the reality studied. Statistics on data acquired during different forms of learning state that these are only 10 percent of what is read, 20 percent of what is heard, 30 percent of what is seen, 50 percent of what is seen and heard, and the percentage increases to 70 percent when audiovisual films are used and content is discussed in class.



Figures 2 and 3. Model building activities and discussion among students during classroom practice hours at the Polytechnic University of Valencia

3. The innovative use of audiovisual films as group work

The general training objective of the Materials course, taught in the fourth year, of the Master's Degree in Architecture at the University of Basilicata is to provide specialised knowledge of the production cycles and technological properties of the different classes of materials used in architectural design (ceramic, metal, polymeric and composite) in relation to the chemical composition and microstructure of the materials. According to the Dublin Descriptors introduced in the European training framework the learning objectives of the course are:

Knowledge and understanding: The student must demonstrate the ability to understand and predict the technological behaviour of materials in order to assess their durability taking into account their function in construction and climatic and environmental conditions.

Applied knowledge and understanding: The student must demonstrate the ability to make an informed choice of materials in sustainable design that takes into account the entire life cycle, from the production of the material to its disposal, favouring materials that are durable, recyclable and have a lower environmental impact.

Autonomy of judgement: The student must be able to independently assess the behaviour of materials based on knowledge of technological properties and measurement methods and to evaluate their sustainability in terms of use of natural resources, impact on the environment and durability.

Communication skills: The student must have the ability to explain, using appropriate technical and scientific language, the technological behaviour of materials and the function they perform within the building organism.

Learning ability: The student must be able to continuously update himself/herself, through the consultation of books and publications in scientific and technical magazines.

The teaching includes theoretical lectures and an architectural design exercise on a case study assigned to working groups of a minimum of two and a maximum of five students. In the academic year 2016-2017, a new teaching method was experimented thanks to international cooperation, which made it possible to adopt and implement the good practices used in the Construction course of the Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación de Valencia. The working methodology used consists of theoretical lectures relating the technological properties of materials with their chemical composition and microstructural characteristics and seminars held by the lecturer of Construction I at the Polytechnic University of Valencia on the functions and forms of building components in architecture. As group work, it was also left to the free choice of working groups to investigate a specific material with the production of an audiovisual film in English on the subject of "Materials and Architecture: Limits and Possibilities".

The class divided into eight groups produced 8 audiovisual films in English as group work, listed in Table 1. Each group independently chose a topic to be covered in order to demonstrate that they had acquired knowledge and understanding of materials in architecture, the ability to apply knowledge and understanding of materials in

architectural design. With the audio-visual film, the groups also had to demonstrate that they had acquired the so-called soft skills, i.e. autonomy of judgement, learning ability and communication skills.

Table 1. List of working groups and titles of audiovisual films produced by students of the Materials course of the fourth year of the Master's degree in Architecture of the University of Basilicata in the A.Y. 2016-2017

Number of working-group	Names of the Students	Titles of audiovisual films
1	Giovanna Andrulli Marco Ditommaso Giulia Petrucci Gaetano Pistone	Interiorlente
2	Di Noia Letizia Lovino Anna Sbano Francesca Vittiglio Silvia	Draw.Model.Create New Horizon for The Architecture
3	Maria Cristina Angiulli Sbano Francesca Vittiglio Silvia	Ethylene-Tetrafluoroethylene (ETFE) and the breathing architecture
4	Tiziana Colucci Annachiara Porcari Roberta Palermo	Materials and shapes of Architecture
5	Chiara Giancipoli Marika Mussari	The power of materials on the Architecture
6	Rossella Laera Mara Manicone Antonella Miraglia	A window on the future
7	Francesco Catena Mariangela Piumini Emanuele Quarto Nicola Scasciamacchia	Limestone Lifestone Livestone
8	Barbara Carbone Lucia Nardiello Anna Salinaro	Frank Ghery and the material of the future

Group 1 and Group 7 chose calcarenite, a sedimentary rock of biochemical origin that is the typical building material of the geographical area of the city of Matera, and the Sassi di Matera, a UNESCO World Heritage Site since 1993.

Group 1 with the work Interiorlente focuses on the microstructural aspects of the rock with fossil shells still clearly recognisable and on the phenomenon of alveolisation, which is the most widespread phenomenon of degradation. The video uses an immediate and appropriate language and engages the viewer who, to the rhythm of music with rhythms ranging from slow to fast, is accompanied on an intimate journey through a fascinating city whose thousand-year history depends on the ease of excavation and processing of calcarenitic rock. The students demonstrate their knowledge of basic chemistry by using images of immediate communication, for example by writing the reaction of dissolving calcium carbonate into bicarbonate on a notebook on one of the streets of Matera while preparations are underway for the celebration of the Madonna della Bruna, one of the oldest religious festivals in the city of Matera that is still very much felt and participated in by citizens and huge crowds of tourists (Figure 4).

Group 2 with the audiovisual film Draw.Model.Create New Horizon for the Architecture highlights the possibilities of using 3D moulding with PolyLactic Acid (PLA) filaments for the reintegration of missing parts in the architectural heritage. PLA is a thermoplastic polymer derived from natural resources, in particular corn starch or sugar cane. Its production process distinguishes the material from other commonly used plastics obtained through distillation and polymerisation of non-renewable oil reserves. PLA is a biodegradable material that is decomposed by natural processes of microorganisms such as bacteria and fungus. It is considered an ecological and economical material and is widely used in 3D moulding technology. The work illustrates the moulding of a decorative element of the high altar of the Church of San Francesco d'Assisi in Matera with the use of a PLA filament.

Group 3 with the audiovisual film Ethylene-TetraFluoroEthylene (ETFE) and the breathing architecture deals with the more and more use of ETFE in architectural design. ETFE is a transparent plastic material with high thermal and weather resistance (Figure 5). It is an increasingly popular material in architectural façade construction due to its lightweight, transparent and cost-effective characteristics compared to traditional glass constructions. Furthermore, due to the ease with which the film can be processed, shapes can be realised that would be impossible or very expensive with glass. ETFE used in the form of air-blown cushions allows large areas to be covered with minimal weight.

Group 4 with the work Materials and shapes of Architecture focuses on the close connection between materials and architecture and highlights the importance of the choice of materials in all phases of architectural design starting with the concept. The work describes the ceramic trencadis cladding made famous by Gaudi's works at the beginning of the last century. This type of cladding was also used by Santiago Calatrava in the Reina Sofia building of the City of Science and the Arts in Valencia. At the high temperatures of the city, the building immediately after its inauguration was damaged due to the different values of the coefficients of thermal expansion of the metal support and the ceramic coating.

Group 5 with the work The power of materials on the Architecture focuses on the importance of the type of finish on architectural surfaces. The audiovisual film presents striking solutions of gold leaf cladding of anonymous and uninteresting buildings in the city of Matera.

The work of Group 6 and Group 8 focuses on graphene, an allotropic form of carbon consisting of a monoatomic layer of carbon atoms arranged to form a hexagonal net. It is the most promising nanotechnological material of the future in several fields, including architecture. It has a thickness equivalent to the size of a single atom, diamond stiffness and plastic flexibility. This amazing material was discovered in 2004 by the two physicists Andrej Gejm and Konstantin Novosëlov of the University of Manchester that for this reason won the Nobel Prize for Physics in 2010.

Group 6, with the work A window on the future, proposes a prototype home with large graphene windows.

Group 7 with the work Limestone Livestone illustrates in the first part the thousand-year history of the city of Matera through historical photographs and aerial images from drones. In the second part, it focuses on the contemporary production of limestone blocks from quarries close to the city. The audiovisual film describes also the contemporary construction of masonry in calcaretic ashlar with bedding mortar based on hydraulic lime and the fine powder by the cutting of ashlar, called tufina.

Group 8 with the work Frank Ghery and the material of the future reports an interesting interview of the architect Frank Gehry that is a warning to act with creative inspiration and for the good of the community (Figure 6). The joy with which the architect describes the moment of creative flicker is overwhelming. The video describes the structure of graphene that has the same chemical composition of the pencil mine used by Frank Gehry for his buildings' sketches.

The properties of graphene are described by a from a narrating voice in English with Italian subtitles while scrolling images of the architectural heritage of the city of Matera. The sinuous movement of a classical dancer, Giulia Quaranta student of the degree course in architecture evokes the lightness and flexibility of graphene (Figure 7).



Figure 4. Dissolution reaction of calcium carbonate in calcium bicarbonate. Image taken from the audiovisual film entitled Interiores produced by working group number 1.

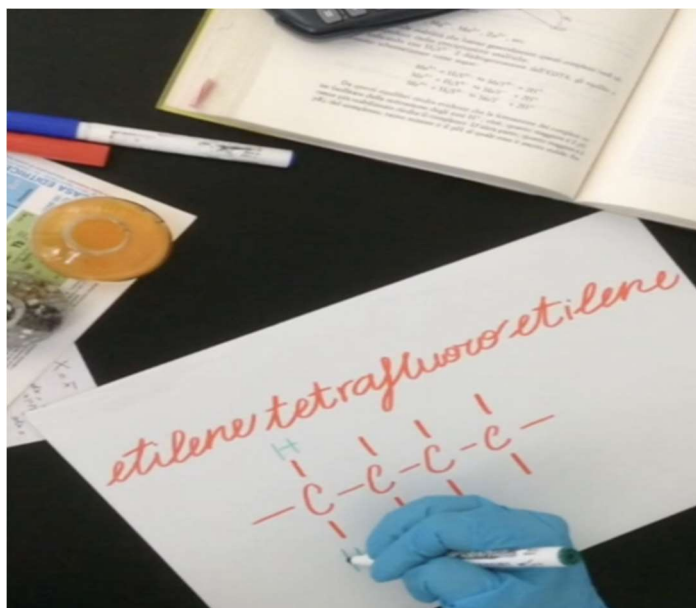


Figure 5. Writing the chemical formula of ethylene tetrafluoroethylene. Image taken from the audiovisual film entitled Ethylene-Tetrafluoroethylene (ETFE) and the breathing architecture produced by working group number



Figure 6. Guggenheim Museum in Bilbao (Spain) designed by Canadian architect Frank O. Gehry. Image taken from the audiovisual film entitled Frank Ghery and the material of the future produced by Working Group 8. Image taken from the audiovisual film entitled Frank Ghery and the material of the future produced by Working Group 8.



Figure 7. The student Giulia Quaranta with classical dance steps evokes the lightness and flexibility of graphene on the scenario of the Sassi di Matera, UNESCO heritage since 1993. Image taken from the audiovisual film entitled Frank Ghery and the material of the future produced by Working Group 8.

4. Conclusions

The international educational cooperation make it possible to adopt and experiment new teaching and learning methods.

Thanks to the well-established collaboration between the degree in Building Engineering of the Polytechnic University of Valencia and the five-years degree in Architecture of the University of Basilicata, the pedagogical model of flipped learning and teaching has been adopted in the Materials course. Starting from the Academic Year 2016-2017. The students produced audio-visual films as group work with which they demonstrated their ability to apply the competences required by the Dublin Descriptors of the European learning framework. Experimenting with audiovisual films as group work was particularly effective in the development of so-called soft skills, i.e. autonomy of judgement, communication skills and learning ability.

The adoption of innovative methods of active learning was fully appreciated by the students, as evidenced by the annual teaching evaluation tests, and enabled the course's educational objectives to be achieved more effectively than in previous years.

The audiovisual films were presented at an informative day on international cooperation held on 3 July 2017 at the Casa Cava auditorium in Matera. The topic "Materials and architecture: limits and possibilities" was debated in the presence of the then Rector of the University of Basilicata, Aurelia Sole, the Undersecretary of the Ministry of University Vito De Filippo, and the Director of the Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, Francisco Javier Medina Ramón. The presentation of the videos by the Italian and Spanish teachers involved in the course highlighted the key role of the choice of materials in the sustainable design of both new buildings and conservation of architectural heritage.

The audiovisual films produced by the students were published in two audiovisual volumes collected in the CD "Materials and Architecture: limits and Possibilities" that the editors wished to dedicate to the memory of their late friend Professor Francisco Ramirez Ruiz of the Universidad Politecnica de Valencia (Bernardo, Palmero, 2018).

In view of the results obtained, the assignment as group work of audiovisual films on types of material of the student's choice was repeated in the academic years 2017-2018 and 2018-2019.

The international educational experimentation was discontinued with distance learning imposed by the pandemic. The remote teaching methods did not allow for fruitful coordination and revision of group work by teachers. Moreover, it hindered the development of interpersonal relationships between students required for practical group exercises on the course topics.

References

- Bergmann, J., Sams, A. (2015). Dale la vuelta a tu clase. Innovación Educativa SM. Madrid.
- Bergmann, J., Sams, A. & cols. (2014) What Is Flipped Learning? Flipped Learning Network (FLN). http://www.flippedlearning.org/cms/lib07/VA01923112/Centricity/Domain/46/FLIP_handout_FNL_Web.pdf [Consulta: 9 junio 2023].
- Bernardo G., Palmero, L.M. (2018). Materials and Architecture: Limits and Possibilities. Vol I y Vol.II. Edit: UPV. Valencia.
- Bloom, B. (1975). Evaluación del Aprendizaje. Editorial Troquel. Buenos Aires.
- De la Cruz, Tomás, A. (1998). ¿Cómo mejorar las clases en el aula universitaria? ICE Valencia.
- Lage, M.J., Platt, G.J., Treglia, M. (2000). "Inverting the classroom: A gateway to creating an inclusive learning environment" en The Journal of Economic Education, vol. 31, issue 1, p.30-43.
- López Moreno, M. (2015). "¿Qué es el aula invertida?" en Nubemia, tu academia en la nube, enero de 2015. < <http://www.nubemia.com/aula-invertida-otra-forma-de-aprender/>> [Consulta: 15 junio 2023].
- Palmero Iglesias, L.M., Giner García, I, David, E (2020). Guía Docente. ETSIE-UPV.Valencia.
- Programa Académico UNIBAS (2018). <https://portale.unibas.it/site/home.html> [Consulta: 15 de mayo 2023]

- Roehling, P., (2018). Flipping the College Classroom, An Evidence-Based Guide, Publisher Palgrave Pivot Cham <https://doi.org/10.1007/978-3-319-69392-7>. Pag.45-78.
- Sánchez Nuñez, J.A. (2000). Estrategias metodológicas para la enseñanza universitaria. Instituto de Ciencias de la Educación. Valencia.
- Santiago, R., Diez, A. The flipped classroom. <<http://www.theflippedclassroom.es/>> [Consulta: 21 de mayo de 2023]
- Tourón, J. J. Talento-Educación-Tecnología. <<http://www.javiertouron.es>> [Consulta:15 de junio 2023].
- Vidal Melos, A. et al. (2016). Flipped Teaching: una metodología en construcción.GIERMAC Proceeding IN RED. Doi: <http://dx.doi.org/10.4995/INRED2016.2016.4304>.

Learning by teaching: Flipped classroom model applied to quality test and control of building materials

Serrano-Jiménez, Antonio ^a, Martínez-Rojas, María ^a, Esquivias, Paula M. ^a, Cuenca-Moyano, Gloria ^a y Martín-Morales, María ^a

^a Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Granada, Avda. Severo Ochoa (s/n), Granada. dca@ugr.es

Abstract

An adequate quality control of construction materials must guarantee that their characteristics satisfied the requirements defined in the project. Quality control in construction sector demands new teaching models and professional insights about the test to be performed and competencies regarding decision-making when testing building materials. This communication presents a teaching innovation experience applied in “Materials III: Testing and Control” subject, corresponding to the second year of the Degree in Building Engineering at the University of Granada. The proposed experience is based on a flipped classroom model in which students provide realistic experiences applied to different materials and techniques, exemplifying diverse real situations and simulating through decision-making the responsibility in the profession when executing the works. Under this teaching model, the students are the ones who explain and develop the control plan and test of the corresponding assigned materials to actively teach it to their classmates and professors. The aim of this new teaching pattern in the subject is to achieve much more effective learning through the resolution of practical exercises in the classroom by the students themselves, ensuring group reasoning and collaborative learning with real testing and control experiences in laboratory. As methodological insights, the design of this model involves professors organizing the schedule of practical exercises and the previous supervision and tutoring of students for the preparation of the exhibition, facilitating the resolution of problems that they will solve with the flipped classroom model. In order to assess the results of this experience, this innovative teaching model provides the description of methodological resources and their assessment tools, through participatory rubrics filled by students and professors, both about their own experience and also about the quality of the exposition of their classmates, to draw global and particular conclusions and considerations for its replication to other subjects from building studies.

Keywords: Construction materials, Flipped Classroom, Participatory learning; Quality control, Rubric assessment.

1. Introduction

Quality control of building materials is fundamental to ensure the quality of materials and the construction process in a building, based on certain testing models and procedures in materials in order to know if they fulfil the required properties. Aiming to get a value of the tested property to be comparable with other tests, the laboratory tests are standardized. However, the objective of the course of quality control of building materials is not only to know what properties to be tested are and the standards of testing, but also to assess the results of the tests and to determine if the building material tested is acceptable to be used in the execution of the building. Thus, the practical component of the course is high but based on theoretical contents.

It is assumed that a large majority of students enter into the university stage without prior technical knowledge about construction materials and without ever having had the opportunity to visit a construction site. This context supposes a knowledge gap on quality control in the second year of the Degree in Building Engineering, at the University of Granada, in which a group of professors of the subject "Material III: Testing and Control" have highlighted the need and concern in innovating their practical teaching mechanisms in this subject. In this way, the professors have planned to develop a teaching model that integrates the basic knowledge of the subject with a much high motivation of the students through a much more participative dynamic in this 22-23 academic year, through innovative resources and methodologies based on flipped classroom insights, taking advantage of the practical resources offered by the Construction Laboratory.

In traditional approaches, the instructor spent certain amount of time providing the traditional lecture while the students assume a receiver and passive learning role with primary responsibilities of listening and note-taking (Zappe et al. 2009). In this situation the practical time of the course to develop the tests in the laboratory and to assess the results is shared with the time dedicated to lectures and with high frequency is not enough to learn with certain detail the tests required in a quality control of building materials plan and the students sometimes do not completely understand the different aspects involved.

In order to increase understanding and for enhancing problem solving skills the students need to be more actively engaged with the course material by increasing an active learning (Zappe et al. 2009). In this case, by maximizing the course time dedicated to practical issues such as performing different laboratory tests and solving the problems that results implies on the acceptance of the building material tested. To maximise the practical time, lecture content must occur outside the classroom.

On the other hand, the flipped classroom is a pedagogical model whereby the typical lecture and homework components of a course are reversed (Kerr, 2015). In this model, most of the technical content is delivered outside the classroom via a virtual platform which in turn makes the classroom a congenial place for discussions, problem-solving and promoting active learning in the presence of the professor (Sathyendra et al. 2020). As the technical and theoretical content is provided outside the classroom, the students are expected to employ homework time to self-study and to come to classroom ready for problem solving and deliberations in the class (Kerr, 2015). Flipping the classroom in engineering graduate courses promote the acquisition of determinant professional skills such as determination on solving real-world problems and work in teams.

Although flipped classroom is progressively introduced, there is limited research on the impact of this pedagogical model in engineering education. Zappe et al. (2009) experimented in an architectural engineering course with six flipped classroom sessions and extracted a general positive performance as the students indicated that active learning and the additional project time available in class had improved their understanding; however, the authors also get some aspects to be improved, such as dedicating time at the beginning of the class for review the theoretical content in order to answer any questions and to make sure that the majority of the students have sufficient understanding of the material.

For these reasons, the flipped classroom methodology is currently assessed in recent teaching studies that have shown the benefits it generates in learning, such as increasing student class attendance (McLaughlin et al., 2014). The student acquires an active attitude in the prior learning process (Mingorance et al., 2017) leading to increased participation during class (Gilboy et al., 2015) and improving the interaction between the student and the teacher through communication (McLean and Attardi, 2018). Likewise, various studies have revealed that students experience an improvement in their personal skills related to motivation, interest, responsibility, and commitment to learning (Lasry 2014; Troehling, 2017; Martínez-Jiménez and Ruiz-Jiménez, 2020). The academic results also show an improvement in the student who receives teaching through a flipped classroom.

Mingorance-Estrada et al. (2019) concluded that, with the inverted approach, the number of students who dropped out of the course decreased significantly and the number of students who passed the course was higher than those who followed the traditional methodology. Lastly, regarding the application of the flipped classroom methodology to laboratory practices in higher education degrees, Del Río-Gamero et al. (2022) analysed the influence of the use of videos in the flipped classroom on the academic performance of students, showing that the students who carried out the laboratory practices through the flipped classroom improved their skills and achieved better academic results.

Considering the current trends and the teaching gaps highlighted in this section, adjusted to the didactic context in which quality control in construction materials is located, this study presents an innovative experience based on a flipped classroom model applied in the subject "Materials III: Testing and Control" belonging to the Degree in Building Engineering at the University of Granada, developed in the 22-23 academic year, in which the professors have managed to introduce much more participatory learning guidelines, helping to achieve a "Learning by teaching" dynamic, in their students. In the following sections, the document defines the starting aims, the methodology carried out as an innovative model that can be replicated in other subjects, and describes the experience developed as results, ending with some implications generated after the experience.

2. Aims and objectives

Given the complexity and effort involved in transmitting to students the importance of quality control in the reception and execution of materials in the construction of buildings, and the context outlined in section 1 Introduction, this teaching innovation study presents the following main objective:

- Apply and develop a flipped classroom model in which the students are in charge of explaining to the rest of the class in the Laboratory the fundamental characteristics and corresponding control tests in the different families of construction materials.

Additionally, as aims and secondary implications derived from the main objective, the approach of the didactic model that is developed aims to:

- Achieve much more effective learning and highlight professional usefulness when checking the quality of materials through required technical prescriptions, documentation and tests.
- Promote debate and class participation, incorporating reflections on practical applicability and the implications of the degree of compliance required in the materials upon receipt and execution on site.
- Incorporate new evaluation mechanisms of the didactic model through evaluation rubrics completed by students and professors.
- Accompany these professional conference sessions given by manufacturers of different materials and products belonging to their quality control laboratories.
- Provoke, indirectly, the development and improvement of skills in communication and critical reflection in students.

3. Methodology

After pointing out the motivations that have led to planning the Materials III subject in an innovative way in the 22-23 academic year, a general idea of the methodology is defined below, based on a flipped classroom model in which students taught the sessions laboratory and highlight the importance of quality control in the reception and execution of construction materials. Figure 1 represents a flowchart that defines the main phases in which this innovation has been planned: 1. Organization of groups and timing of sessions; 2. Previous preparation of the professors-student group in a simulation; 3. Development of the Flipped-Classroom session; 4. Evaluation by a rubric system.

The methodology has a collaborative nature between students and professors since it implies a closeness in the preparatory phase of the presentation of their testing procedure and a tutoring process in the days prior to the laboratory session. This sequence of phases has an open and flexible methodological character, since it

establishes the guidelines to be able to be replicated in other types of subjects and other types of theoretical-practical teaching both in technical subjects and in other types of workshops, under different circumstances.

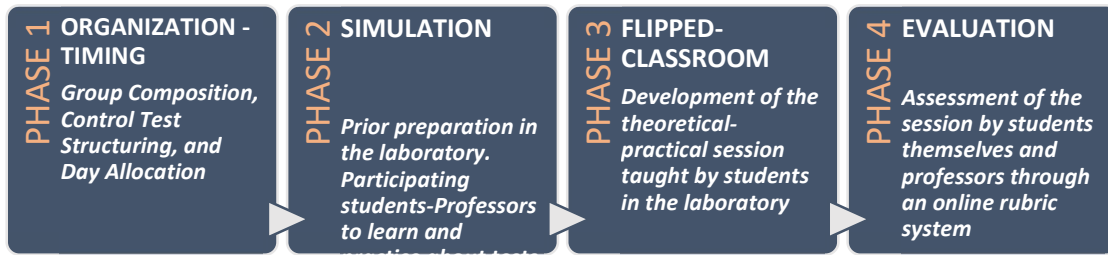


Figure 1. A general outline of the proposed innovative teaching model for quality test and control
Source: Authors (2023)

The students belonging to the two groups of subject A and B, correspondingly in the morning and afternoon, were organized in pairs and a letter (Group A) and a number (Group B) were assigned to each of them. Once organized, 6 laboratory sessions were scheduled and in each of them the control tests of the different families of materials were grouped. Table 1 shows an example of organization of one of the sessions, with the assignment to each pair of students and the different testing belonging to Aggregates and Concrete (manufacturing and consistency), having published on the subject board as many organizational tables as sessions of laboratory.

Table 1. Organizational tables with the tests for each group of students and the corresponding standards

Title	Students' Group	Tests - Methods	Standards
Components – Aggregates 3	O and 2	Sand equivalent and methylene blue	UNE EN 933-8, UNE EN 933-9
Components – Aggregates 4	V and 8	Los Angeles testing, absorption, weight loss in aggregates	UNE EN 1097-2, UNE EN 1097-6 UNE EN 1367-2
Components – Aggregates 5	D and 8	Organic matter and reactivity	UNE EN 1744-1, UNE 146508
Concrete 1 - Manufacturing	G and 14	Dosage, manufacture concrete and sampling	UNE EN 12350-1
Concrete 2 – Consistency 1	H and 10	Slump test – Abrams cone	UNE EN 12350-2 UNE EN 12350-8, UNE EN
Concrete 3 – Consistency 2	P and 17	Slump test – Self-compacting	12350-9, UNE EN 12350-10, UNE EN 12350-12

Next, corresponding to phase 2, the students of group A and B participating as speakers in each laboratory session were scheduled to meet one week in advance in the laboratory, in order to explain the rationale for the corresponding tests and its procedure that they were going to have to explain. This phase was highly useful for the students to recognize the equipment and utensils necessary to check in the test and for the professors to give suggestions on how to direct the explanation towards the rest of the classmates, the main insights of the procedure and the implications in the quality control of the materials (Figure 2).

In addition, this session served to convey to students the importance of taking scientific rigor into account, following the UNE and ISO standards, corresponding to each of the tests to achieve optimal conditions in carrying out the corresponding steps and in compliance with the demands and the regulations. The purpose of this session was for the students themselves to acquire the importance of each assigned essay so that they could later transfer it to the rest of their classmates in the formal session. Lastly in this phase, the professors motivated the students to replicate the actions to be carried out in the same laboratory, learning in many cases to use equipment, understand specific machinery and integrate into their knowledge the variety of utensils for each family of materials. In this way, the flipped classroom model meant a duplication of sessions for the professors, in order to ensure the correct transmission of knowledge to the students, but with the satisfaction of generating much more effective learning by making each pair of students responsible for their testing and procedure assigned.



Figure 2. Previous preparation of the testing laboratory session with the participating students
Source: Authors (2023)

Parallel to this whole teaching process, within the preparation phase of the laboratory sessions together with the students, the professors have organized several conferences by professionals in the quality control of materials from different manufacturers of paintings, mortars, thermal and acoustic insulations, among others (Figure 3). These sessions have been really useful to integrate them into the development of the theoretical-practical classes so that the students could broaden their knowledge, confirm that in real life the testing procedures in the materials are common and frequent, and to take advantage of the interest generated with the flipped classroom models, having been a combination of inverted classes with professional conferences of great utility and acceptance by students.



Figure 3. Complementary lectures given by control managers
Source: Authors (2023)

The authors have considered it convenient that the development of phase 3 forms part of the results of the experience, since it is the set of sessions in which the learning acquired by the students in the preparations and previous studies is demonstrated, as in the development of the exhibitions. The description of these sessions, along with their particularities and discussion, are presented in the following section.

Regarding phase 4 of the methodology, as an original complementary contribution to the flipped classroom model integrated by professors, an online evaluation system has been designed through surveys whose intention is to be completed by both professors and students. The questionnaires aim to know the degree of satisfaction and learning acquired by the students regarding the explanation of their own classmates. The survey content was designed to be brief and concise, including the following items on a 1–4-point scale, from poor to very good. The items included are the following: 1. Test domain; 2. Test comprehension; 3. Analytical capacity

and usefulness 4. Duration; 5. Clarity of ideas when explaining; 6. Quality of the audio-visual content created; 7. Teamwork.

This questionnaire was disseminated among the students through the Google Forms tool and after each essay was completed by a couple of students, it was completed by 1. Fellow students; 2. Professors; 3. Self-evaluation of the students themselves who have exposed.

4. Results and discussion

This section describes how the Laboratory sessions were developed through flipped classroom, considering these as the result of this teaching innovation experience. This innovation was developed throughout six laboratory sessions of two hours each, in which more than 15 pairs of students presented control tests of each of the main families of construction materials (aggregates, cement, concrete, steel, wood, paintings, among others).

In general, for each laboratory session there were three participating couples, so each group had approximately 30-40 minutes. As a general rhythm of the sessions, each group was in charge of preparing a previous, very brief, contextual and theoretical presentation in which they explained the usefulness and meaning of the test they were going to carry out in the laboratory. This presentation, which normally lasted about five minutes, gave way to the replication of the different tests in the laboratory following the procedures established in the UNE and ISO Standards, according to each case (Figure 4).



Figure 4. Theoretical and normative introduction of the essay by the students

Source: Authors (2023)

After this brief explanation, the students, with the help of the technical staff of the laboratory of the Department of Building Construction, have developed the different tests as they were explained and replicated in the simulation belonging to phase 2 of the established methodology. As additional remarks at the didactic level of this experience, the students themselves, at the end of their presentation, attended to the different questions generated in class by their classmates and on other occasions debates have been generated around the quality control of the material that has been of great interest for the subject. In general, on very few occasions professors have had to participate to moderate a debate or to clarify some aspect that was not clearly explained by the students, however, this situation has rarely occurred and in general the level of explanation offered by students has been more than satisfactory from the professors' point of view (Figure 5 and 6).

As implications for learning after having used this teaching model, this in situ laboratory test model has allowed the student speakers to interpret the results obtained for each of the tests, transfer the meaning of the results to the rest of their classmates and give implications and insights based on the acceptance and rejection criteria established for each circumstance and corresponding regulation. In fact, this decision-making is a fundamental value among the objectives of the subject, for which reason the students have played a leading role in the

contextualization, explanation, execution and consideration of the acceptance or rejection and its implications within professional manners.



Figure 5. Explanation and performance of the tests by the students

Source: Authors (2023)



Figure 6. Explanation and performance of the tests by the students

Source: Authors (2023)

As a discussion of the didactic values inserted by this experience in the subject, the professors have distinguished a higher motivation of the students in knowing the procedures to follow in different tests as well as the conditions to be required in a control plan, thus addressing fundamental premises to overcome under this subject. In fact, transversal values of decision-making, responsibilities in the reception of materials, and enhancement of qualities in construction materials have been transferred, which could hardly have been transferred with a traditional teaching model. Actually, compared to other years, it has been noticed that the level of learning acquired in the explanations and community debates between students has been much higher than under an exclusive teaching model by the professor.

Regarding the evaluations obtained in the rubric, the qualifications have generally been notable, all of them being approved and with outstanding qualifications according to the different groups. It should be remembered that it was the group of classmates who provided grades to the students who were presenting, together with a grade offered by the professors and a self-assessment by the students themselves. These grades, which are higher from other years under a traditional teaching model, have also motivated students to take this subject with satisfaction. In addition, this innovation has allowed for a much higher dialogue with the students, having fun moments in learning and even taking group photos at the end of some sessions (Figure 7). Thus, this model

has served to demonstrate that professional implications on quality control can be learned in an entertaining way and in which students teach their classmates under the tutoring and supervision of a group of professors, taking advantage of material resources offered by a Construction laboratory.



Figure 7. Photo of students and professors after the practical session in the laboratory
Source: Authors (2023)

5. Conclusions

This teaching innovation experience has turned out to be a stimulus to integrate an innovative and useful teaching model, taking the advantages offered by the flipped classroom resources, which have allowed students to emphasize the professional usefulness of having practical knowledge on quality control in construction materials to achieve a much more significant learning. In addition, students acquiring a higher role by taking responsibility for the preliminary knowledge about the essays and simulating them in front of their classmates have had the opportunity to integrate other transversal skills and competences in the subject such as group work, public communication of the students, and the awareness of the importance of compliance with the required properties.

As particular perceptions after the experience, the explanations from the students at the laboratory have been positive when receiving very exhaustive and professional presentations. The professors have noticed how the students have learned to know the operation of measuring utensils and equipment and transfer it with practical applicability to their classmates. In fact, in a great majority of the sessions, the professors have only had to intervene in the previous preparations of the sessions, being more than enough for the student to reply with great skills in the official sessions. Thus, although this model has meant a higher effort for the professor when preparing each session with the students, the learning results acquired by them are more than satisfactory enough to be replicated in future academic courses.

As general methodological implications after the experience, this innovation has proposed a sequence of phases that could be standardized as a teaching model that would allow the possibility of being replicated in other subjects and other fields of knowledge, by ensuring a successful practical learning model for students. The previous preparation of the sessions, in the workshop and laboratory, facilitate the transmission of knowledge from the professors to the students, and then, the community class between students increases the interest among them and a higher attention to their learning. Finally, when this model is developed in spaces for practical development, such as a laboratory or workshops, it implies a greater practical transmission of the usefulness of the knowledge transmitted and its application to reality.

Regarding the evaluation system of each presentation through rubrics, filled out by the students themselves and by the professors, an own form has been promoted, as a contribution to methodological resources, with a high potential to be further developed in future experiences. Each presentation has received three types of qualifications, from the rest of the classmates, from the speakers themselves and from the professors, which has been an incentive for the correct completion of the test and a way of involving the group of students in the

qualification of their companions. Thus, the experience gives additional implications on the importance of designing and adjusting the grading system, as it turns out to be an added motivation for effective learning and for the success of a teaching innovation model so that it is supported by students and professors.

As final remarks of this innovative experience, it is necessary to highlight the difficulties encountered in implementing this innovation in this course, since it required prior organization and planning by the professors, and particular preparation, in extra hours to class time, together with the students of each laboratory session. In addition to this extra effort, students have had to adapt their role to a new experience for them and to acquire leadership skills and self-management of the content to be taught, so professor-student group tutoring has been much broader. Finally, although this experience has generated the roots of a rubric evaluation system, it is expected that in future studies this system will adjust the weighting of their answers in a standardized way, and it is hoped that the authors can generate future works based on supported flipped classroom in an organized and standardized scoring system by rubric.

Referencias

- Del Río-Gamero, B.; Santiago, D.E.; Schallenberg-Rodríguez, J.; Melián-Martel, N. 2022. Does the use of videos in flipped classrooms in engineering labs improve student performance? *Education Sciences*. 2022, 12, 735. Doi:10.3390/educsci12110735
- Gilboy M, Heinerichs S, Pazzaglia G. 2015. Enhancing student engagement using the flipped classroom. *Journal of Nutrition Education and Behavior* 47: 109–14.
- Kerr, B. "The flipped classroom in engineering education: A survey of the research," 2015 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL), Firenze, Italy, 2015, pp. 815-818, Doi: 10.1109/ICL.2015.7318133.
- Lasry N, Dugdale M, Charles E. 2014. Just in time to flip your classroom. *The Physics Teacher* 52: 34–37.
- Martínez-Jiménez R, Ruiz-Jiménez M C. 2020. Improving students' satisfaction and learning performance using flipped classroom. *The International Journal of Management Education*, 18, 3, 100422 <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2020.100422>
- McLaughlin J, Roth M, Glatt D, Gharkholonarehe N, Davidson C, Grin L, Esserman D, Mumper R. 2014. The flipped classroom: A course redesign to foster learning and engagement in a health professions school. *Academic Medicine* 89: 236–43
- McLean S, Attardi S. 2018. Sage or guide? Student perceptions of the role of the instructor in a flipped classroom. *Active Learning in Higher Education*, 1–13.
- Mingorance, A C, Trujillo J M, Cáceres M P, Torres C. 2017. Mejora del rendimiento académico a través de la metodología de aula invertida centrada en el aprendizaje activo del estudiante universitario de ciencias de la educación. *Journal of Sport and Health Research* 9 (supl 1):129-136.
- Mingorance-Estrada A C, Granda-Vera J, Rojas-Ruiz G, Alemany-Arrebola I. 2019. Flipped classroom to improve university student centered learning and academic performance. *Social Sciences*. 2019, 8, 315; Doi:10.3390/socsci8110315
- Sathyendra, B, Ragesh R, Shreeranga B, D'Souza R. 2020. Redefining Quality in Engineering Education through the Flipped Classroom Model. *Procedia Computer Science*, 172, 906-914, Doi: 10.1016/j.procs.2020.05.131.
- Troehling P, Root L, Richie F, Shaughnessy J. 2017. The benefits, drawbacks, and challenges of using the flipped classroom in an introduction to psychology course. *Teaching of Psychology* 44: 183–92.
- Zappe, S., Leicht, R., Messner, J., Litzinger, T., & Lee, H. W. (2009). "Flipping" the classroom to explore active learning in a large undergraduate course. Paper presented at the ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings

Teaching passive design strategies and sustainability in construction by using BIM and project-based learning

Hormigos-Jiménez, Susana; Horrach, Gabriel; Carmona, Cristian; Muñoz, Joan y Masdeu, Francesc

Departamento de Ingeniería Industrial y Construcción, Universitat de les Illes Balears, Cra. de Valldemossa, km 7.5. 07122 Palma (Illes Balears). susana.hormigos@uib.es, gabriel.horrach@uib.es, cristian.carmona@uib.es, joan.munoz@uib.es, francesc.masdeu@uib.es

Abstract

Building Information Modeling (BIM) has increased its influence on the architecture, engineering and construction (AEC) field in the last years. In fact, in Spain, the Ministry of Public Works created, in 2015, the National Commission called es.BIM, which is analyzing how to implement BIM in the AEC sector and how to introduce it in public tenders. Therefore, in the Degree in Construction of the University of the Balearic Islands, BIM education was imported into several university courses. This paper shows experiences, acquired throughout 5 academic years, of three university courses: Sustainability, Construction and Technical Projects (the first two are taught during the third year of the degree, and the latter during the fourth). The methodology applied is based on effectively using BIM, in projects-based learning (PBL), in order to educate students on the benefits of passive design strategies and sustainability in construction, by considering different phases the lifecycle of a project. Therefore, the use of BIM is intended to be extended to several of its dimensions, specifically to the idea, the sketch, the information model, time and simulation. The results obtained shows that students could understand the different construction strategies more successfully through BIM and the PBL methodology. On the other hand, by working with three-dimensional models, the spatial vision of the students improves and they come to better understand the relationship between the different elements of the building and the influence they have on it. Additionally, with online video tutorials, students feel free to adjust their learning process to their personal needs. The findings of this study are expected to bring innovation on future BIM curriculum improvements.

Keywords: Building Information Modeling, Project-Based Learning, Sustainability, Passive Design Strategies, Construction

1. Introducción

La tecnología Building Information Modelling (BIM) consiste en una metodología de trabajo colaborativa, en la que es posible documentar, a través de herramientas informáticas y mediante un repositorio de información, todas las fases que conforman el ciclo de vida de un edificio. Esta información resulta esencial para todos los agentes que participan en el diseño, uso, mantenimiento y demolición, en su caso, del edificio (Gosalves López et al. 2016).

La tecnología BIM se basa en tres bloques: el modelo digital, la información y la colaboración (Gosalves López et al. 2016):

- El modelo BIM representa un prototipo virtual, que define digitalmente aquello que se pretende construir. Es posible tanto llevar a cabo la visualización interactiva, como extraer información relativa a: representación en 2D y 3D, listados de mediciones y características, opciones de diseño, etc.
- En el modelo BIM es viable introducir la información que se desee sobre la construcción, mediante metadatos o enlaces a documentos externos.
- La colaboración es esencial para emplear la tecnología BIM, siendo imprescindible designar los flujos de información y coordinación, al igual que las responsabilidades de cada uno de los agentes intervinientes.

El uso del BIM en el sector de la Arquitectura, la Ingeniería y la Construcción (AIC) ha sufrido un incremento notable desde la última década (Clevenger, Glick, and del Puerto 2012; Forsythe, Jupp, and Sawhney 2013; Šadauskienė and Pupeikis 2018). En 2019 fue constituida la Comisión BIM, Interministerial, para impulsar la coordinación de la Administración General del Estado en la implantación de la tecnología BIM en la contratación pública (Ministerio de Transportes 2023). Sin embargo, la formación en BIM en el ámbito universitario sigue presentando carencias; en este contexto, es esencial trabajar hacia la implantación en estudios de grado de esta metodología (Tsai, Chen, and Chang 2019; Wang and Leite 2014; Leite 2016).

A la hora de emplear la tecnología BIM en diferentes asignaturas de grado, resulta altamente fructífero utilizar la metodología docente del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP). Se trata de una metodología que, como se ha demostrado con anterioridad (Wang and Leite 2014; Maida 2011), influye positivamente tanto en el desarrollo del pensamiento crítico del alumnado como en el aprendizaje autónomo. Por este motivo, se trata de una metodología idónea, ya que la tecnología BIM es altamente cambiante.

Adicionalmente, la metodología ABP alberga una gran similitud con el campo profesional en el ámbito AIC (Clevenger, Glick, and del Puerto 2012; Šadauskienė and Pupeikis 2018), esto supone una motivación adicional para el alumnado: en un principio, se presenta una problemática a solucionar; seguidamente, la clase, dividida en grupos, propone soluciones mientras que, el equipo docente, facilita orientación o líneas de mejora; finalmente, una vez alcanzada una solución que se entiende como final, se expone en una puesta en común para enriquecer el conocimiento grupal.

Para aplicar la metodología APB deben tenerse en cuenta dos características principales: (1) los grupos de trabajo no deben ser muy numerosos, inferiores a 6 integrantes, así mejora la productividad y la actitud; y (2) la responsabilidad de cada miembro del grupo debe estar claramente definida.

Por otro lado, la inversión de tiempo adicional que supone, para el equipo docente, la implantación tanto de la metodología ABP como de la tecnología BIM, es elevada y puede resultar compleja (Ferreira and Canedo 2020; Leite 2016; Wu and Luo 2016). No obstante, dado el interés de la Administración Pública por impulsar la tecnología BIM y la similitud existente entre la metodología ABP y el ámbito profesional, resulta esencial impulsar este aprendizaje en asignaturas del grado, para adaptarse a una actualidad altamente cambiante, donde la digitalización del sector de la construcción se encuentra en auge.

2. Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo es describir la experiencia obtenida durante el proceso, de 5 cursos académicos de duración (2018-2023), de implantación de la tecnología BIM junto con la metodología APB. Dicha implantación se lleva a cabo en varias asignaturas del Grado en Edificación de la Universitat de les Illes

Balears. Las asignaturas son: Sostenibilidad (del primer semestre de tercer curso), Construcción IV (del segundo semestre de tercer curso) y Proyectos Técnicas (del primer semestre de cuarto curso).

Como objetivo secundario, pretenden identificarse líneas de mejora, sobre las que trabajar, para ofrecer al alumnado la posibilidad de perfeccionamiento en el nivel del manejo de la tecnología BIM, pero también un beneficio que radique en el pensamiento crítico, el aprendizaje autónomo y el trabajo en equipo.

3. Metodología

En las asignaturas de Sostenibilidad (3 ECTS), Construcción IV (6 ECTS) y Proyectos Técnicos (9 ECTS) del Grado en Edificación de la Universitat de les Illes Balears se ha implantado, en un proceso progresivo, el empleo de tecnología BIM, mediante la metodología docente APB. La tabla 1 refleja los contenidos temáticos de cada una de las citadas asignaturas.

Tabla 1. Contenidos temáticos de las asignaturas objeto de estudio

Sostenibilidad	Construcción IV	Proyectos Técnicos
Conceptos básicos de la sostenibilidad	Pilares, pantallas y vigas	El Proyecto de Edificación. Fases y Documentos
Arquitectura bioclimática	Forjados unidireccionales y bidireccionales	Proyectos técnicos de competencia profesional
Criterios energéticos y medioambientales en la construcción	Estructuras metálicas	Dirección y final de obra. Documentación
Material de construcción	Estructuras de madera	Visión global de la normativa técnica de aplicación
Gestión de residuos en la construcción y la demolición	Interacción de las instalaciones con los elementos del edificio	Estudio de la documentación gráfica, escrita y de cálculo. Revisión y análisis
El Código Técnico de la Edificación y la Sostenibilidad	Muros de contención	Herramientas informáticas para la redacción de proyectos
Certificación de la Sostenibilidad	Muros de fábrica	Gestión y documentación colegial
	Cimentaciones superficiales	
	Cimentaciones profundas	

Las actividades de evaluación que se llevan a cabo para cada asignatura se reflejan en la tabla 2. Se trata de llevar a cabo trabajos individuales, trabajos grupales y exámenes (en su caso).

Tabla 2. Actividades a desarrollar por asignatura de implantación del BIM

Actividades	Asignaturas		
	Sostenibilidad	Construcción IV	Proyectos Técnicos
Trabajos individuales	1	4	2
Trabajos grupales	3	2	1
Exámenes	2	2	0

3.1. Descripción de las prácticas cuya resolución se solicita con tecnología BIM

El presente trabajo se centra en mostrar las experiencias adquiridas mediante la implantación del uso de la tecnología BIM, que se desarrolla en los trabajos grupales y/o individuales del alumnado. Por ello, la siguiente tabla (tabla 3) refleja en qué consiste cada uno de los trabajos en los que, para su desarrollo, se solicita el uso de tecnología BIM; concretamente, el uso de Revit, de Autodesk.

Tabla 3. Actividades para las que se solicita el uso de tecnología BIM (uso del software Revit)

Asignaturas			
Actividades	Sostenibilidad	Construcción IV	Proyectos Técnicos
Trabajos individuales	Se solicita una memoria, con sus correspondientes planos, en la que se detalla la envolvente de una vivienda conforme a un clima concreto. Se pide el/los archivo/s de Revit, de resolución del ejercicio.	No se solicita la resolución de estos ejercicios con tecnología BIM.	Para cada entrega, se solicita una memoria, con sus correspondientes planos, en el que se detalla la resolución de un proyecto planteado por el equipo docente. Deben resolverse aquellas actuaciones que se soliciten, relacionadas con: redistribución, instalaciones, estructura, construcción, etc.
Trabajos grupales	Para cada entrega, se solicita 1 o 2 láminas, tamaño A2, en las que se muestra el desarrollo de un proyecto sostenible: (1) análisis de clima y parcela e implantación, (2) sistemas pasivos de control climático y (3) materiales.	Para cada entrega, se solicita una memoria, con sus correspondientes planos, donde se refleja la resolución constructiva de un proyecto concreto: (1) pilares, vigas, forjados de hormigón armado y/o de acero y madera; y (2) elementos de cimentación y muros. Se piden los archivos de Revit, de resolución del ejercicio.	Se solicita una memoria, con sus correspondientes planos, en el que se detalla la resolución de un proyecto planteado por el equipo docente. Deben resolverse aquellas actuaciones que se soliciten, relacionadas con: redistribución, instalaciones, estructura, construcción, etc.

3.2. Proceso de implantación de la metodología APB y el uso de tecnología BIM

En la tabla 4 se describe el proceso de implantación de la tecnología BIM y la metodología APB en los 5 últimos cursos académicos. Las tres asignaturas pertenecen a la misma área de conocimiento: Construcciones Arquitectónicas.

La implantación de la metodología APM junto con el uso del software Revit para el desarrollo de las actividades se inicia en el curso académico 2018-2019 en la asignatura de Construcción IV, al curso siguiente (2019-2020) se implanta en la asignatura de Sostenibilidad y, al siguiente curso (2020-2021), se inicia en la asignatura de Proyectos Técnicos. Cabe destacar que, en marzo de 2020, debido a la pandemia de Covid-19, la docencia pasa a desarrollarse en línea durante el segundo semestre del curso 2019-2020 y, en el primer semestre del siguiente curso (2020-2021) la docencia se realiza de manera semipresencial.

No obstante, debido a la situación de semipresencialidad o de docencia en línea, el equipo docente adquiere un aprendizaje muy valioso para enriquecer la docencia: la grabación de las explicaciones de la resolución de los ejercicios con el software Revit. En el Grado en Edificación de la Universitat de les Illes Balears, en la asignatura específica para explicar las herramientas informáticas de representación arquitectónica, no se adquieren la información relativa al empleo de tecnología BIM; por tanto, el primer contacto que tienen los estudiantes con esta tecnología es en tercer curso, en la asignatura de Sostenibilidad o de Construcción IV.

Por último, una vez el alumnado cursa la asignatura de Proyectos Técnicos, en 4º curso del grado, salvo excepciones concretas, ya ha adquirido la base para resolver, con dicha tecnología, los ejercicios que propone el equipo docente. Sin embargo, es preciso seguir explicando el uso de esta tecnología al existir nuevos modos de uso para detallar, por ejemplo: el paso de instalaciones, estudios energéticos, fases de ejecución, etc.

Tabla 4. Proceso de implantación de la metodología APB y el uso del software Revit (APB+BIM)

Asignaturas			
Cursos	Sostenibilidad	Construcción IV	Proyectos Técnicos
2018-19	Se emplea la metodología APB, pero la resolución de los ejercicios se solicita con AutoCAD.	Se inicia APB+BIM. En clase se dedican unos minutos a explicar el software, pero se observa insuficiente.	Se emplea la metodología APB, pero la resolución de los ejercicios se solicita con AutoCAD.
2019-20	Se inicia APB+BIM. En clase se dedican unos minutos a explicar el software. Se detecta que el tiempo dedicado a ello no es suficiente para que el alumnado conozca cómo usar el software.	2º curso con APB+BIM. La pandemia de Covid-19 obliga a realizar las clases en línea. En ese momento, el equipo docente inicia un canal de Youtube con vídeos explicativos de resolución de los ejercicios por medio del software Revit realizados por el mismo equipo docente.	Se emplea la metodología APB, pero la resolución de los ejercicios se solicita con AutoCAD y, de forma voluntaria, puede emplearse el software Revit.
2020-21	2º curso con APB+BIM. Debido a la pandemia de Covid-19, se la docencia es semipresencial. Las clases en las que se explican las prácticas se realizan en línea y se graban, por lo que el alumnado puede consultar los vídeos explicativos del software Revit cuando precise.	3º curso con APB+BIM. La docencia vuelve a ser presencial, pero las enseñanzas adquiridas durante la pandemia conducen hacia la grabación de las explicaciones de resolución de los ejercicios con el software Revit.	Se inicia APB+BIM. Debido a la pandemia de Covid-19, se la docencia es semipresencial. En el momento de explicación de resolución de los ejercicios con Revit, se realiza la grabación, por lo que el alumnado puede consultar los vídeos explicativos del software Revit cuando precise.
2021-22	3º curso con APB+BIM. Las enseñanzas adquiridas durante la pandemia conducen hacia la grabación de las explicaciones de resolución de los ejercicios con el software Revit.	4º curso con APB+BIM. Se continúa con el mismo procedimiento que el curso anterior.	2º curso con APB+BIM. Las enseñanzas adquiridas durante la pandemia conducen hacia la grabación de las explicaciones de resolución de los ejercicios con el software Revit.
2022-23	Es necesaria una modificación del equipo docente, por lo que se interrumpe el uso de tecnología BIM pero se continúa con la metodología APB.	5º curso con APB+BIM. Se continúa con el mismo procedimiento que el curso anterior.	3º curso con APB+BIM. Se continúa con el mismo procedimiento que el curso anterior.

3.3. Material de apoyo para la resolución de los ejercicios

Cada curso académico, el equipo docente lleva a cabo la grabación de las explicaciones respecto al uso del software Revit para resolver ejercicios concretos. Estas grabaciones se incluyen en un canal de Youtube y quedan en opción oculta, lo que implica que únicamente pueden ser visualizados por aquellas personas que tengan el enlace correspondiente (el alumnado y el equipo docente de la asignatura). Estos vídeos no se eliminan de un curso a otro, sino que se mantienen en la plataforma, generando un repositorio para los/las estudiantes, que pueden consultar las grabaciones en cualquier momento.

3.4. Objetivos del aprendizaje del alumnado

Los objetivos de aprendizaje que se presenten conseguir con el empleo de la metodología APB-BIM son:

- Específicos: capacidad para elaborar manuales y/o planes de mantenimiento y gestionar su implantación en el edificio; aptitud aplicar la normativa específica de edificación aplicable a los ejercicios propuestos y mejora de la visión espacial y en las competencias de modelado en 3D.
- Genéricos: capacidad para aplicar los conocimientos adquiridos al trabajo de forma profesional, capacidad para demostrar la resolución de problemas en el área de estudio.
- Transversales: resolución de problemas, razonamiento crítico y trabajo en equipo.

3.5. Evaluación de las actividades del alumnado y del equipo docente

3.5.1. Rúbrica y criterios de evaluación de las actividades realizadas por el alumnado

La rúbrica empleada para evaluar los trabajos es similar a aquella que se presentó anteriormente en el estudio realizado por Hotmigos et.al en 2021 (Hormigos Jiménez et al. 2021), aunque con salvedades dependiendo de los requisitos a tener en cuenta para cada asignatura, tal y como se refleja en la siguiente tabla (tabla 5).

Tabla 5. Rúbrica de evaluación, general, para los trabajos solicitados

Criterios de evaluación	Excelente	Satisfactorio	Mejorable	Deficiente
Expresión escrita	Sin faltas ortográficas o pocas faltas leves. Redacción correcta.	Número elevado de faltas ortográficas leves o número bajo de faltas ortográficas graves. Mejoras en cuanto a organización de párrafos y formas de expresión.	Número alto de faltas ortográficas. Alto margen de mejora en cuanto a organización de párrafos y formas de expresión.	Deficiencias graves en cuanto al desarrollo del texto. Número elevado de faltas ortográficas.
Desarrollo de la memoria	Organización correcta de información. Cálculos y justificaciones correctas.	Mejoras mínimas en la organización de la memoria. Errores leves en cálculos. Falta de información en algún punto.	Mejoras acusadas en la organización de la memoria. Errores graves en cálculos. Mayor justificación en varios puntos.	Organización deficiente de la memoria. Cálculos incorrectos, con errores muy graves. Sin justificación.
Definición de elementos solicitados	Resolución correcta respecto a la disposición de elementos y explicación del proceso constructivo.	Mínimas mejoras respecto a la disposición de elementos y explicación del proceso constructivo.	Errores en la disposición de elementos y en la explicación del proceso constructivo.	Errores graves en la disposición de elementos y en la explicación del proceso constructivo.
Definición gráfica	Se presenta la información necesaria para definir de forma correcta el edificio. Nivel alto en la definición gráfica de elementos y en la composición de las láminas.	Mejoras a la hora de definir de forma correcta el edificio. Nivel medio en la definición gráfica de elementos y en la composición de las láminas.	Grandes mejoras a la hora de definir correctamente el edificio. Nivel bajo en la definición gráfica de elementos y en la composición de las láminas.	No se presentan los planos y hay errores graves en la definición gráfica del ejercicio.

Cada estudiante o grupo de estudiantes, según el caso, recibe una calificación numérica de cada trabajo entregado, sobre 10 puntos, que se clasifican de la siguiente manera: 0 - 4,9, suspenso; 5 – 6,9, aprobado; 7 – 8,9, notable; 9 – 10, sobresaliente.

3.5.2. Evaluación de la tarea docente

Cada curso académico, el Servicio de Estadística y Calidad Universitaria de la Universitat de les Illes Balears realiza, al alumnado, las encuestas sobre la tarea docente del profesorado. En estas encuestas se evalúan varios puntos, pero los que concierne al presente trabajo se entienden los siguientes:

- Se planifican adecuadamente las actividades que se realizan.
- Las explicaciones son claras.
- Se facilita la adquisición de las competencias previstas.
- Satisfacción global con la tarea docente en la asignatura.

4. Resultados

La figura 1 refleja el número de matriculados, por curso, para cada una de las asignaturas que se tienen en cuenta en este trabajo, desde los cursos académicos en los que se ha implantado la metodología APB+BIM y durante los que se ha desarrollado.

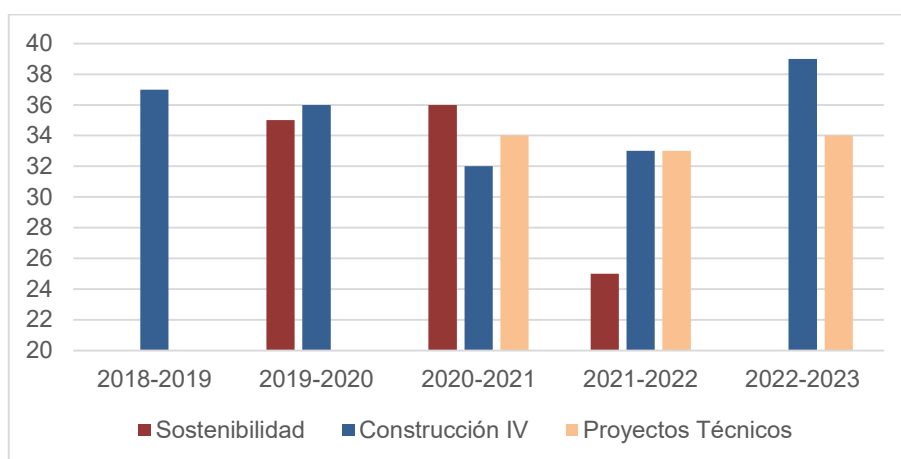


Figura 1. Número de matriculados por asignatura

Fuente: Elaboración propia (2023)

La figura 2 muestra el número de grupos y los integrantes por grupo, para cada asignatura.



Figura 2. Número de grupos e integrantes de cada grupo por asignatura

Fuente: Elaboración propia (2023)

4.1. Ejemplos de modelizado de los edificios propuestos

El alumnado se implica notablemente en la realización de los trabajos solicitados mediante ABP+BIM. Al pertenecer a un grupo y tener tareas concretas asignadas, con el propósito de no perjudicar al resto de integrantes, la dedicación es mayor. Adicionalmente, se les explican las diferentes dimensiones de BIM: (1) idea, (2) boceto, (3) el modelo de información, (4) tiempo, (5) coste, (6) simulación y (7) manual de instrucciones. En cada una de las 3 asignaturas, se ejercitan las dimensiones 1-3; en sostenibilidad y en proyectos técnicos, además, la 4 y en proyectos técnicos la 6.

El estudiantado comprende la relevancia de conocer el manejo del software para su actividad profesional y son capaces de valorar lo que les ofrece el software en cuanto a visualización de elementos, comprensión del proceso constructivo o almacenaje de información para todas las fases del ciclo de vida de un edificio. Algunos ejemplos de modelos de información son los siguientes (figuras 3-5).



Figura 3. Ejemplos de modelo de información del alumnado de la asignatura Sostenibilidad. 2019-2020 (izquierda), 2020-2021 (centro) 2021-2022 (derecha)
Fuente: Elaboración propia (2023)

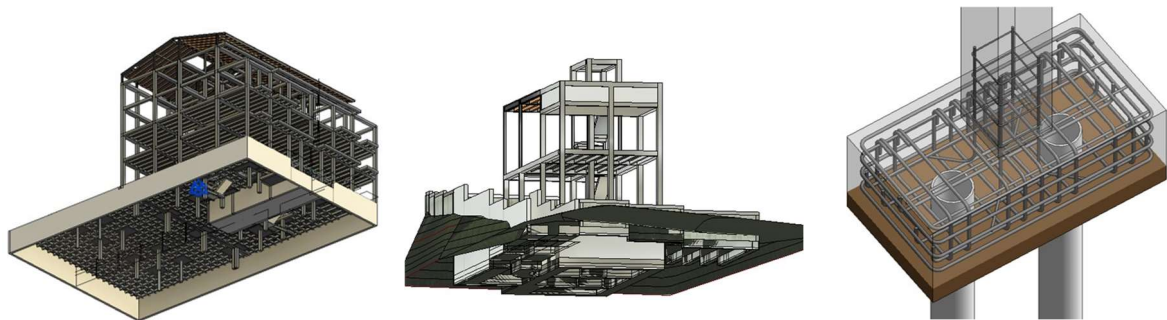


Figura 4. Ejemplos de modelo de información del alumnado de la asignatura Construcción IV. 2019-2020 (izquierda), 2020-2021 (centro) 2021-2022 (derecha)
Fuente: Elaboración propia (2023)



Figura 5. Ejemplos de modelo de información del alumnado de la asignatura Proyectos Técnicos. 2020-2021 (izquierda), 2021-2022 (centro) 2022-2023 (derecha)
Fuente: Elaboración propia (2023)

4.2. Calificaciones de las actividades realizadas con APB+BIM

La figura 6 refleja la media de las calificaciones obtenidas por el alumnado en las actividades con desarrollo de la metodología APB+BIM.

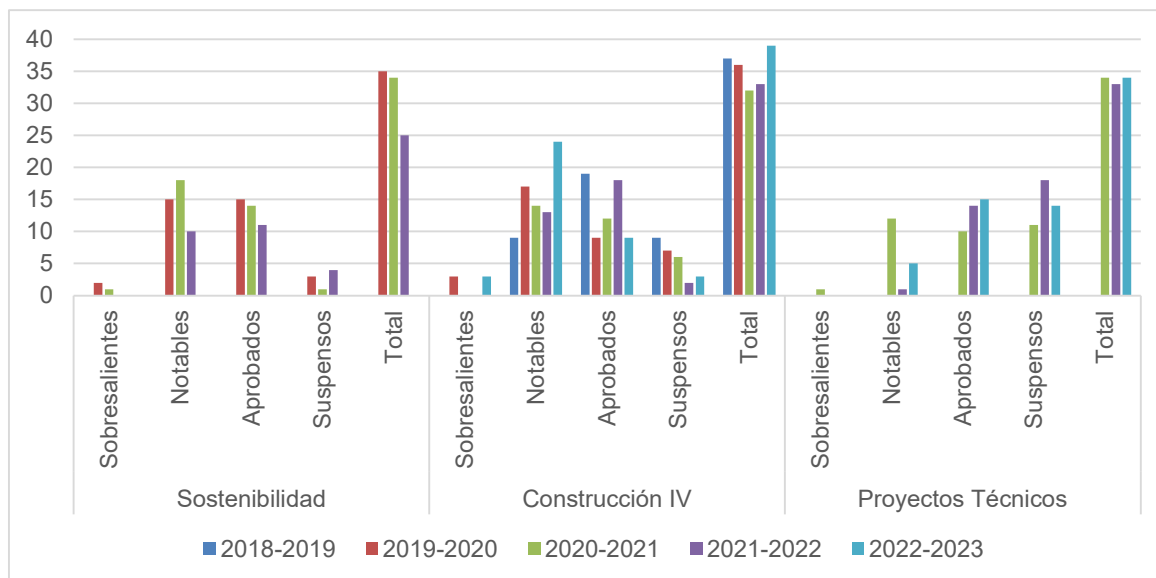


Figura 6. Calificaciones obtenidas por el alumnado en los cursos académicos en los que se desarrolla la metodología APB+BIM

Fuente: Elaboración propia (2023)

4.3. Satisfacción del alumnado con la tarea docente

A continuación, la tabla 6 refleja la satisfacción del alumnado con respecto a aquellos factores que influyen en las actividades desarrolladas con APB+BIM, indicados anteriormente.

Tabla 6. Satisfacción del alumnado con la tarea docente

Cursos	Sostenibilidad	Construcción IV	Proyectos Técnicos
2018-19	-	7,9*	-
2019-20	7,3*	9,1	-
2020-21	9.7	8,7	9,1**
2021-22	9.2	9,6	6,8*
2022-23	-	-	-

* Implantación de la metodología APB+BIM. ** El empleo del software Revit es opcional.

5. Conclusiones

De la experiencia en la implantación de la metodología APB+BIM se concluye que, para el alumnado, realizar estas tareas de manera individual supone un suspenso en las prácticas, puesto que las horas de dedicación son bastantes para una única persona. Adicionalmente, cabe destacar que el empleo del software Revit supone un reto y alberga interés por parte del alumnado, aunque el año de implantación de esta metodología, al suponer un cambio con respecto al curso anterior, el desarrollo de actividades supuso una importante carga de trabajo, como se puede observar en los resultados de las encuestas del alumnado. Como líneas de mejora, se propone diseñar actividades que comprendan la mayoría de las dimensiones BIM y mejorar así el trabajo colaborativo entre el alumnado.

Referencias

- Clevenger, Caroline, Scott Glick, and Carla Lopez del Puerto. 2012. "Interoperable Learning Leveraging Building Information Modeling (BIM) in Construction Education." *International Journal of Construction Education and Research*. <https://doi.org/10.1080/15578771.2011.647249>.
- Ferreira, Vinícius Gomes, and Edna Dias Canedo. 2020. "Design Sprint in Classroom: Exploring New Active Learning Tools for Project - Based Learning Approach." *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, no. August 2019. <https://doi.org/10.1007/s12652-019-01285-3>.
- Forsythe, Perry, Julie Jupp, and Anil Sawhney. 2013. "Building Information Modelling in Tertiary Construction Project Management Education: A Programme-Wide Implementation Strategy." *Journal for Education in the Built Environment* 8 (1): 16–34. <https://doi.org/10.11120/jebe.2013.00003>.
- Gonsalves López, Jordi; Murad Mateu, Malek; Cerdán Castillo, Alberto; Fuentes Giner, Begoña; Hayas López, Rafael; López García, Juan; Zuñeda Ruiz, Paula Patricia. 2016. "BIM En 8 Puntos."
- Gosalves López, Jordi, Malek Murad Mateu, Alberto Cerdán Castillo, Begoña Fuentes Giner, Rafael Hayas López, Juan López García, and Paula Patricia Zuñeda Ruiz. 2016. "Bim En 8 Puntos."
- Hormigos Jiménez, Susana, Gabriel Horrach Sastre, Joan Muñoz Gomila, Cristian Carmona Gómez, and Francesc Masdeu Mayans. 2021. "Aprendizaje Del Proceso Constructivo, Basado En Proyectos, Mediante El Empleo de BIM," December, 1–15. <https://doi.org/10.4995/EDIFICATE2021.2021.13325>.
- Leite, Fernanda. 2016. "Project-Based Learning in a Building Information Modeling for Construction Management Course." *Journal of Information Technology in Construction* 21 (April): 164–76.
- Maida, Carl A. 2011. "Project-Based Learning: A Critical Pedagogy for the Twenty-First Century." *Policy Futures in Education* 9 (6): 759–68. <https://doi.org/10.2304/pfie.2011.9.6.759>.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Aenda Urbana. 2023. "Comisión BIM." <https://Cbim.Mitma.Es/Comision-Bim>, last accessed 2023/03/21.
- Šadauskienė, Jolanta, and Darius Pupeikis. 2018. "Review of BIM Implementation in Higher Education." *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering* 1 (22): 99–109. <https://doi.org/10.5755/j01.sace.22.1.21116>.
- Tsai, Meng-han, Kuan-lin Chen, and Yu-lien Chang. 2019. "Development of a Project-Based Online Course for BIM Learning," 1–18.
- Wang, Li, and Fernanda Leite. 2014. "Process-Oriented Approach of Teaching Building Information Modeling in Construction Management." *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice* 140 (4): 04014004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000203](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000203).
- Wu, Wei, and Yupeng Luo. 2016. "Pedagogy and Assessment of Student Learning in BIM and Sustainable Design and Construction." *Journal of Information Technology in Construction* 21 (April): 218–32.

Systemic approach for management of project complexity. The role of the discipline of Architectural Technology in university education

Cellucci, Cristiana

Iuav, University of Venice, Department of Architecture and Arts, Terese, Dorsoduro 2206
30123 Venezia, ccellucci@iuav.it

Abstract

Vulnerability (economic, social, environmental and health) projects us into a condition of sudden discontinuity in which every single fragility is related to the "whole" and every single action produces an echo or a cascading effect on the well-being of the users and on the health of the planet. The universities are increasingly directed both to consider reality as an engine of research and consequently to respond to fundamental training needs through teachings and knowledge suitable for the demands of the real world; and to seek a balance between method/experimentation/pedagogical forms by providing "meta-professional" and "meta-technical" teaching, a real "culture". It is an important challenge that expresses a certain harmony with the operational/cultural scope of the technological disciplines within the training schools, which have always aimed at directing research towards the territory and the sector production. Architectural Technology, is configured as a cognitive resource in achieving this convergence, in that it represents a theoretical tool to make explicit the aims of both scientific research and teaching as a convergence between the needs/expectations of the person and the overall reasons of the territory and of the built environment. In relation to these reflections, the paper aims to open a reflection on the role of Architectural Technology, through the theoretical richness of the methodological/operational contribution of the systemic approach and the multiscale dimension of the technological project (present in the urban, building and of the object), which has always been central in recomposing the global and local dimensions of the transformation processes of the built environment. It can constitute a useful cultural reference to pedagogical knowledge in universities, called to be mediators towards such an uncertain world of work, but in which it is still possible to spend one's skills flexibly.

Keywords: Technological design, Environmental design, Systemic approach

1. Introduction

These are times of rapid transformations of the physical and non-physical world, in which every single fragility – economic, social, environmental and health – is related to the “whole” and every single action produces an echo or a cascading effect on the well-being of users and on the health of the planet. In such times thoughts on how architecture needs to be done (intellectual performance versus design service) and on its social perception (superfluous and luxurious activity versus added value of civilization and culture) should be recovered, systematized and placed at the basis of a debate, not only didactic but cultural and professional. Marc Augé started from an original anthropological approach in the face of the changes taking place, the uncertainty and indeterminacy of the future, and the need to re-found the same ethical models in the man/technique/technology relationship. He indicated in training the only possible way to give a human and shared meaning to the change, to trace the reasons for the “project” and to guarantee the university institution a critical role within the ‘system crisis’ we are going through¹.

It is evident that this complex nature of reality entails the observation that in the architectural project there is a more uncertain and insufficiently investigated threshold between the analysis of the problems of demand and needs and the functional and spatial synthesis that the realization of the work must assume (Schiaffonati, 2011). This requires a wide-ranging nonlinear approach that takes into consideration material and immaterial aspects and the different time scales (Jabareen, 2013), which directly reverberates on the architect's work and consequently on the evolution of teaching. This means that the component of knowledge that gives rise to design and construction cannot be reduced to the repetitiveness of a few rules, shifting the design and construction theme:

- from the problem of “function” to that of “relationships”, identifiable through methods and tools that are increasingly transversal across disciplines, sectors and scales of investigation and thought;
- from the definition of “forms” to the conception of the “system” (Vittoria, 1987) which involves the adoption of a systemic approach to the project, capable of grasping the relationship between man, the territory and the built environment as well as between the social and productive fabric;
- from a “synchronic” vision of the project as a response to the uncertainties that traditionally characterize the construction sector² to its “diachronic” vision, which considers the difficulty of predicting the lifespan and performance over time of what is built and the opportunities deriving from demolition, recovery, reuse and recycling processes.

At the same time, increasingly pressing social and economic issues require not only rapid advancement of knowledge but also tangible results that can immediately be used by the entrepreneurial economic system. In this way it is possible to direct university bodies both to consider reality as a driving force for research and teaching and consequently to respond to the fundamental training needs through teachings and knowledge suitable for the demands of the real world, and to seek a balance between method/ experimentation/pedagogical forms, thus providing “meta-professional” and “meta-technical” teaching, a real “culture” (Morin, 2000; Nardi, 2001). It is an important challenge that expresses a certain harmony with what is, and has been, the cultural and operational scope of the technological disciplines (Technical Architecture, Building Production and Technological Architecture) within training schools, which have always sought to direct research and teaching towards the territory, the production sector, and issues of national interest (green and innovation).

¹ It refers to the conference on *Anthropology and Landscape: Comparative Experiences*, that Marc Augé, invited by Massimo Venturi Ferriolo, held May 4, 2009 in the Faculty of Architecture and Society at Milan Polytechnic. The references to structuralism and to Lévi-Strauss's investigation methods are obvious.

² The many uncertainties that traditionally afflict the construction sector are: the uncertainty of the market, which is often met with increased specialization or by maximizing flexibility with respect to a rapidly changing demand; the uncertainty of the correspondence between designed and built due largely to the general fragmentation of operators and the separation between the conception phase and the construction phase; the uncertainty of the organization and construction management always conditioned by the specificity of each individual site and by the significant number of operations carried out in sequence.

The objective is to guarantee acquisition by the students – during the training course – of an adaptive attitude to the “dialogue with uncertainty”, to use Edgar Morin's expression, which presupposes basic knowledge, awareness of role, but above all the ability to pose and deal with problems, build relationships and bring to a synthesis (necessarily imperfect and contingent) the issues that concern us, in the awareness that today an architect must do what it is necessary to do in order to make the living spaces of people better and impact the environment as little as possible. As A. Yaneva suggests, we should have “awareness of the challenges that the profession of the architect-designer must face, squeezed between market pressures and creative drives, between the many prefiguration scenarios of users and the tortuous course of the project, whose dynamics are conditioned by multiple forces ranging from creative choices to customer requests, from natural to economic pressures.” (Yaneva, 2018).

It is an important challenge that expresses a certain harmony with the operational/cultural sphere of the “technological disciplines” within training schools, which have always aimed to direct research towards the user, the territory and production in the sector. Technological and Environmental Planning is configured as a cognitive resource for achieving this convergence, as it represents a theoretical tool for clarifying the purposes of both scientific research and teaching as a convergence between the needs/expectations of the person and the overall reasons of the territory and of the built environment. In relation to these reflections, the paper intends to open up a reflection on the role of Architectural Technology, through the theoretical richness of the methodological/operational contribution of the systemic approach and the multiscale dimension of the technological project (present in the urban, building and object environment), which has always been central in recomposing the global and local dimensions of the transformation processes of the built environment. It can constitute a useful cultural reference to pedagogical knowledge in universities, called on to be mediators in relation to such an uncertain world of work, in which, however, it is still possible to spend one's skills with flexibility. What this essay intends to do is to retrace the historical passages that have marked the discipline of Architectural Technology – in Italian training schools – as a design discipline, highlighting the contribution, still relevant today, of its methodological rigor in interpreting the “context” dynamics and in providing “answers” to a constantly evolving “demand”.

2. Architectural technology and the systemic approach for understanding and managing complexity

The systemic approach developed around the 1950s just as technological culture established itself as a discipline of contemporary design within the international debate on “project methods and theories”. In this context, two complementary research developments arose: research on the project as a process-organization (building project management) and research on the project as a building system (building system design), in which the systemic vision, now applied to processes, and now to spaces and technologies, is guided by a scientific and non-empirical approach (which inspired the formal experiences of the great architects at the beginning of the century). Buckminster Fuller (1895-1983) in America followed in Great Britain by Leslie Martin (1908-2000) (head of the Architecture School of Cambridge University) and by Christopher Alexander (who worked at Harvard MIT around 1936) were among the first, on the international scene, to propose a systemic vision of the project. In particular, Alexander developed important contributions on the applicability of scientific methods to design methods the latter being called on to respond to a variability of conditions that interfere with the form and material of the built environment, with needs and activities too complex to be grasped intuitively (Alexander, 1964).

In Europe, the systemic approach characterized the applied research on building industrialization issues, carried out in the 1960s in different operational contexts: in the Netherlands by John Habraken and S.A.R. (1960-79) (Habraken, 1974, 1998; SAR, 1965) applied to the housing theme; in France by Gerard Blachère, who introduced the demand-performance approach in relation to industrial-construction production (Blachère, 1974); and in Italy by Giuseppe Ciribini (1913-1990) and Pierluigi Spadolini (1922-2000). In particular, Ciribini laid the foundations of the systemic approach and technological culture (and industrialization in construction (with dimensional coordination tools) (Ciribini, 1969, 1984); while Spadolini addressed the concept of system in the prefabrication of components and in the industrialization of the building industry (Spazzolini, 1969, 1974). It was precisely the rise of building industrialization that shifted the center of gravity of the *tekne* to constructive

innovation³. From the practices of material culture (the ways of building handed down for generations on the construction site) we move on to the new rules marked by the serial pieces produced by the new industry. The first attempts at building industrialization in Italy were made between the two wars: prestressed reinforced concrete beams, vegetable fiber panels and asbestos cement were just examples of the progressive industrial transformation of the production of technical elements for a world of construction otherwise stuck to the age-old statutes of the “rule of art”. It was the reconstruction process and the vast social housing programs – resulting from the great wave of urbanization that occurred after the reconstruction of the cities out of the rubble of war – that was the driving force behind the innovation of the construction procedures of mass housing. New rules were theorized for industrialization of the building cycle, especially in the Milanese environment: already around the 60s the debate on 'closed' or 'open' prefabrication began. The former was aimed at enhancing and speeding up execution/construction techniques (and in particular the technology of reinforced concrete castings) and was the prerogative of the builders, while the other aimed at allowing flexibility and plurality of projects, but above all integration between different markets of industrial components in a grand design of free circulation of techniques and components (to be assembled with a great wealth of different solutions) was fomented by European technical culture⁴.

After years of great urban disorder, in Italy the first plans for cheap social housing promoted by law 167/62 (Ina-Casa was dissolved in these years, giving way to Gescal) definitively broke away from the practice of the project and of “artisanal techniques” which had guided the reconstruction experience of Ina-Casa⁵, promoting so-called “integral planning” and “coordinated planning” of the construction work. For Italy the Gescal years constituted the occasion for a first large-scale approach to prefabrication and procedural innovation. The Gescal standards reaffirmed the idea that innovation does not act only on the product but also on the production process, so that the overall quality of a building action does not depend only on the correctness of the architectural project, on the appropriate use of construction materials, but also on a design approach capable of guaranteeing “efficient coordination of all the forces and skills involved in production, programming design, execution and management” (Technical standards Gescal, 1964). The systemic approach, although it began in the 1950s, became truly visible in Italy in the 1970s, where the concept of “building system” and “system planning” became public domain to replace the ambiguous “integrated project” outlined by the Gescal standards, seen as a set of interrelated and interacting decisions on the level of architecture, technology and organized model, and a question no longer of “quantity” but of “quality”. Starting from the 1970s, and above all in the following decades, ever more complex performances were demanded of buildings, from the substantial ones of functioning and duration to the aesthetic-formal and image ones, erasing the old criteria that made trust and tradition the means for choosing professionals, techniques and materials.

The transition from a “quantitative” to a “qualitative” question involved a sort of “genetic” mutation in the way of conceiving and constructing buildings, confirmed by the shift of attention from the objective quality of the product, such as compliance with the technical specifications (UNI 7867/1978 norm) to quality seen as “a set of properties and characteristics of a product, which give them the ability to satisfy expressed or implicit needs.” These needs and expectations are subject to change over time, and they must therefore take into account aspects related to maintainability, safety, availability, durability and legal liability.

³ Giedion's works - *Space, time, architecture and Mechanization takes command* - written before the war but translated into Italy in the mid-1950s, show architects who came out of the Faculties of those years different cultural models (linked to the role of industrialization in the renewal of architectural production) from those learned in academic studies suffocated by disciplinary statutes that pay little attention to the changes of the time. While in Europe studies and research were transformed into reconstruction policies and regulations, in Italy the Aep (European Productivity Agency) project limited itself to producing a standard (however late and never applied) issued in 1968 on the subject of modular coordination (Maggi, Sinopoli, Turchini, 1973).

⁴ See the experiences of the Eames couple, in which architecture and design are brilliantly mixed; Fuller's research; and J.Prouvé's experiences in France.

⁵ INA-Casa refers to the intervention plan of the Italian State, in force between 1949 and 1963 and conceived by the Minister of Labor Amintore Fanfani (for this reason also called Piano Fanfani), to build public housing throughout the Italian territory. Conceived immediately after the Second World War, it had available funds managed by a special organization at the National Insurance Institute (INA), the INA-Casa Management. From the transformation of the INA-Casa plan, the Gescal (acronym of GESTione CASE per i Lavoratori) was born, it was a fund destined for the construction and assignment of houses to workers, with contributions coming from the workers themselves, from companies and in part from government funding.

These changes in thinking paved the way for a vision of the finished product (internal, external or object) as a “system-organism” which is no longer form/essence, but the product of interactions between users/ designed systems/contextual and/or environmental factors (Ciribini, 1984)⁶. The architect, in carrying out his activities, becomes increasingly aware of the relationship with a much more complex reality, in which anticipating and controlling the consequences of the choices involves a professional reality that is wider than his professional studio, and the need to interact with other process operators (clients, executors, suppliers, users), often acting as a director and as a coordinator of the various operators (figure 1).

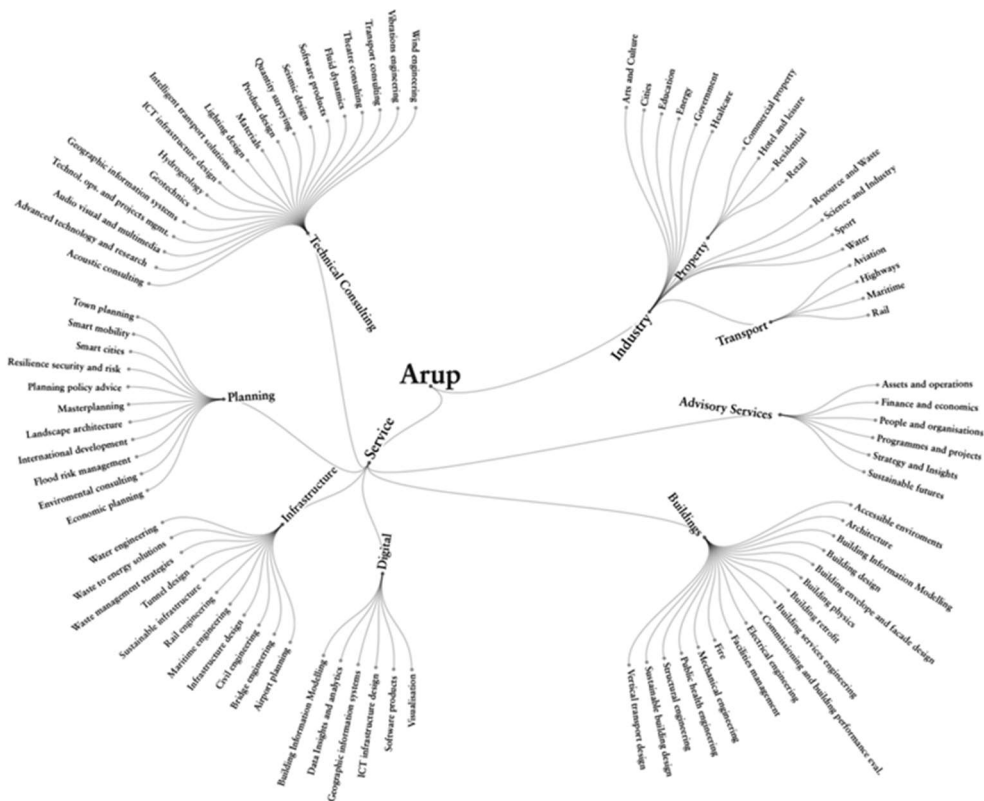


Figure 1. Circular dendrogram representing the ramifications of the services offered by Arup Group Limited⁷

Source: <https://www.arup.com/expertise> - page consulted in September 2019

In this connection, precisely with the thrust of the industrialization process in the years immediately following the Second World War (early 1950s), new spaces opened up for the disciplines of technology (legislation, requirement legislation, dimensional and modular coordination, certification, site management, ergonomics etc.) as a response to a request from professional figures who play a central role in the design process, capable of interpreting complex needs, of defining the form and configuration of the functions up to taking an interest in the aspects of production, economy and management.

With the development of the systemic approach, the way opened up for the emergence of a possible “technological method” – a demand-performance approach – in which the form is not an expression of itself, but is the mediation of the multiple activities and complex components that interact for its definition, and where in the ideation-planning-realization relationship the “project” takes on a central role in recomposing the

⁶ The interest of Architectural Technology is linked to the systemic vision with regard to all the issues concerning the "building process", to its complexity in terms of management and implementation linked to the relationships between subsystems, activities and processes, between technical choices and conditions of life of man in the spaces dedicated to him.

⁷ The number and nature of the services that the company is able to offer have, for years now, largely exceeded the usual professional boundaries of an engineering company or a design company, proving to be able to follow any phase of a project construction or infrastructure from its conception to its maintenance.

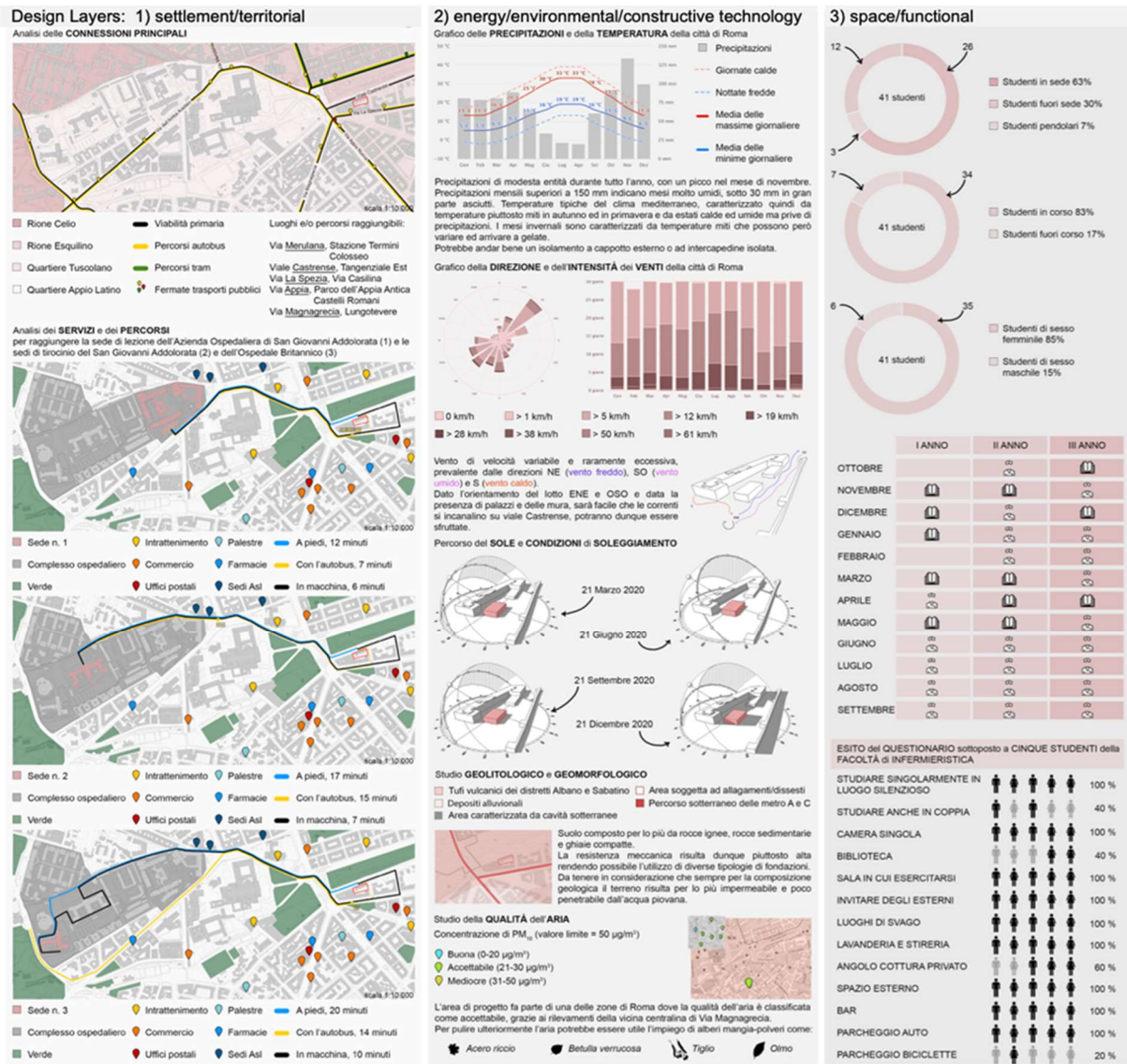
quantifiable parameters of a physical-technical nature with anthropological, psychological and sociological factors. As long ago as the mid-60s, Ciribini, in his courses at the Polytechnic of Turin of Architecture Technology, introduced a rigorous methodological approach based on precise correspondence of requirements and performances to offer a methodological and scientific scaffolding for any design action, for which the "form" is obtained not from formal aesthetic logics but from the response to needs that will have to be identified, explored, and finally made explicit in "requirements" (considering the definition of the system⁸ of user needs as the start of designing, a fundamental phase that requires a greater dose of creativity in putting intelligent questions to the project). As Edgar Morin (1985) demonstrated in his contribution on the method, in order to deal with the knowledge of complex realities without incurring in reductive readings, it is necessary to go beyond an object vision to embrace a systemic vision that includes the interactions between the various parts, highlighting the 'set of relationships between the different components that make up the systems (structure of the system), the activities (facts causing variations in the systems) that concern them, the states they can be in, the processes (changes in state) that can involve them (Germanà, 2005). The concept of finished product as a system (whether it is a closed/open space or an object) is, therefore, strictly interconnected with the physical system, relating to the material components of the existing, the social system which includes the regulatory and behavioral system and the economic, defined by activities, by financial resources (Ciribini, 1968; Di Battista, 1988). In an operational context in which the demand for quality is increasingly aimed at overcoming the conflict between user enhancement, implementation of new technologies and control of operating conditions, the systemic approach to project definition, as a combination of spatial aspects (physical aspects of the interaction and relationship between people-spaces-objects) and spatial aspects (immaterial aspects of the interaction and decision-making relationships with the power structure and the organization of information) can constitute a valid operational tool for "construction" and "selection" of the choices and the essential prerequisite for developing/evaluating, in a participatory way, different design hypotheses. Even today this important methodological/operational contribution of the systemic approach shows its relevance in understanding the complexity of the project and contemporary design, making the contribution of architectural technology central – in the different levels of design, from the urban scale, to the building, up to the object – in recomposing the global/general and local/specific dimensions of the transformation processes of the built environment.

3. The project as a question of method

This important methodological-technological contribution has currently been partly lost or dilated between diversified cognitive fields and, sometimes in a multiplicity of overly specialized derivations within the various Italian architecture faculties (building process management technologies, construction industrialization, maintenance technologies, recovery technologies, technological innovation, regulatory instrumentation, energy-environmental design, sustainable technology design, etc.), undermining the originality/recognizability of the technological approach to design and leading to a fragmentation of training in narrow areas, as if understanding a single aspect of the project (environmental, sustainable, structural, conservation, architectural, urban planning, etc.) covered everything (Nardi, 1998; Del Nord, 2011).

A reflection should therefore be made on the role of Technological and Environmental Design courses in Architecture degree courses. In particular in the most recent teaching experiences as a lecturer in the Environmental Technology Design course at La Sapienza University of Rome (II year of the five-year degree, academic year 2019/2020-2020/2021) and currently of Technology Design at the Luav University of Venice (1st year master's degree), I led/encouraged [scegliere] the student to tackle a design theme with a critical approach and a collective understanding of the phenomena, through application of a methodology capable of defining all the steps necessary for its development, and at the same time to include the solutions to make the conceived object buildable. The aim is to provide the student with an organic framework of the approach to the project through knowledge of the rules, tools and methods that relate the needs of man, the values of the context (environmental, economic, social) and the available resources in order to achieve functional, environmental, technological and semantic coherence in the construction of the architecture.

⁸ Kant in the Critique of Pure Reason observes that architectural art is the art of the system, meaning by system "the unity of multiple consequences gathered in the form of an idea". C. Alexander speaks of systems that are "systems of systems of systems", finally Ciribini himself defines the finished product as a system-organism made up of interconnected subsystems.
2023, Universidad de Granada



Floor plan and urban strategies. External variables (climate, orientation, technological choices appropriate to the context, outdoor spaces for active design).



Figure 2. Analysis layers. Source: architecture student course elaborations

For the student this methodology involves acquisition of skills that allow him or her to pass from identification of the needs deriving from the context and from users (individual, collective, implicit, explicit) – through an analysis of the settlement/territory, energy/environmental, spatial/functional, technological/constructive context – to their

translation into project requirements (quantified requests/demands for spaces and components) to guarantee the integrated quality of the interventions, and finally to check the correlations between space (environmental system), physical components (technological) and context variables and govern the functional, formal and technical effects (feasibility, evaluations). This methodology allows the designer to approach the design solution through controllable steps, allowing him to rigorously and scientifically evaluate the response to give to the project starting from the technological contents. The methodological steps include the following:

- analysis of contextual factors, through a list of constraints of various kinds (socio-cultural, economic, technical-productive, regulatory, biological, physical-morphological); analysis of user analysis with identification of needs and aggregation of these with respect to the activities (figure 2);
- transposition of needs into project requirements and identification of project strategies and ideogram of the functional relationships between dimensionless spatial areas (figure 3);
- performance requests of the building object for identification of design alternatives.

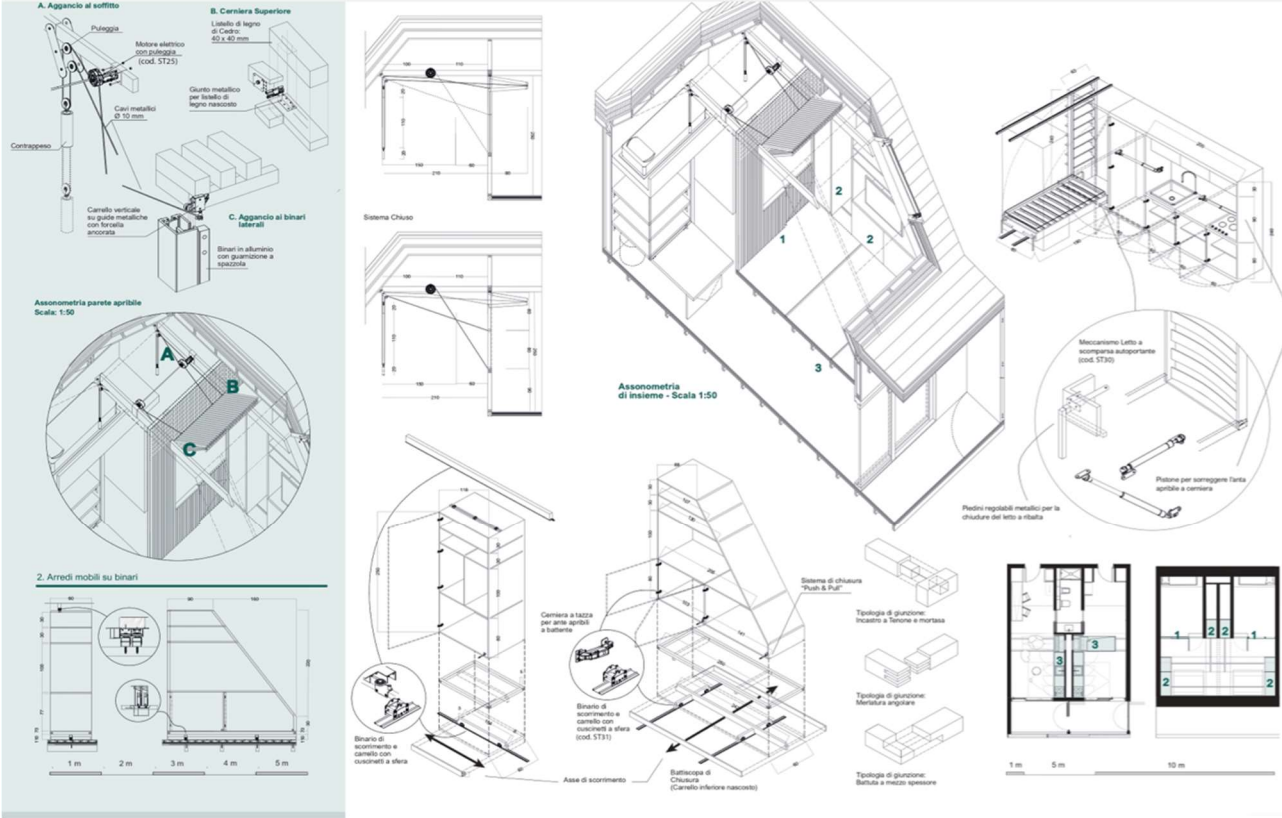
The next steps involve identification of the design idea as an act of synthesis of the previous points and the deeper examination of some design requirements at the scale of the internal space, the building and the public space (figure 2e).

4. Conclusions

Hence the proposed methodology considers the technological approach as a "flexible means" to help "produce differentiated living conditions, closely linked to a place and its momentary condition" (Gangemi, 1987) through a scenario and dynamic vision aimed at recovering, within the processes of transformation of the environment, the range of potential that each context and user expresses (Vittoria, 1987). At the basis of its application is an attempt to train critical "professionals", if by this term we mean the possibility of considering ourselves constantly in training, as the perspective of lifelong learning suggests. Regardless of the scale of the investigation, it emerges that the quality of the project is the result of a vision:

- "Relational" as Vittoria said, for which the quality of architecture lies in the change of design instances, which have passed from a submission to the figurative schemes deriving from the humanistic culture to an adherence to relational systems (space-time, matter-energy, nature -form) deriving from scientific culture. For which we speak of "overall quality" of the habitat giving value to a "planning, aware of operating within a field of variability, where there are no solutions or forms valid for all seasons, universal and absolute rules, but solutions, forms and rules to be rediscovered every time, continuously verifying the contents with respect to the globality of the problems at hand" (Vittoria, 1984).
- "Dynamic - Adaptive" of the system designed on a human scale understood as the ability of the physical elements to deal with the user not only in proportional and metric terms (Barrier-free design, Optimized design) but also in metabolic terms (*Ubiquitous design, Sustainable design, Environment-friendly design*) physiological and perceptive (*Universal Design, Design for all, User Center Approach etc*). According to this vision, the technological attention towards the design activity plays a role in the transformation processes both in the field of thought (*hard or soft technology*) and in that of matter (strong or hard technology) (Ciribini, 1984), rediscovering a profitable marriage between material culture and environmental culture, mediated through a revitalized "design hope" (Maldonado, 1992; 2004), a plausible way for the future habitat to correspond, in the best possible way, to the evolution of human needs without distorting the features of a civilization painstakingly built over millennia but identifying forms of harmonization between traditional and innovative techniques, to reconstruct a framework of co-evolution between spaces, resources and energies of the built environment (Nardi, 1998).

Requirements for the design of the internal space: flexibility, modularity, customization.



Requirements for the design of the internal space: environmental friendliness, reversibility, disassembly.

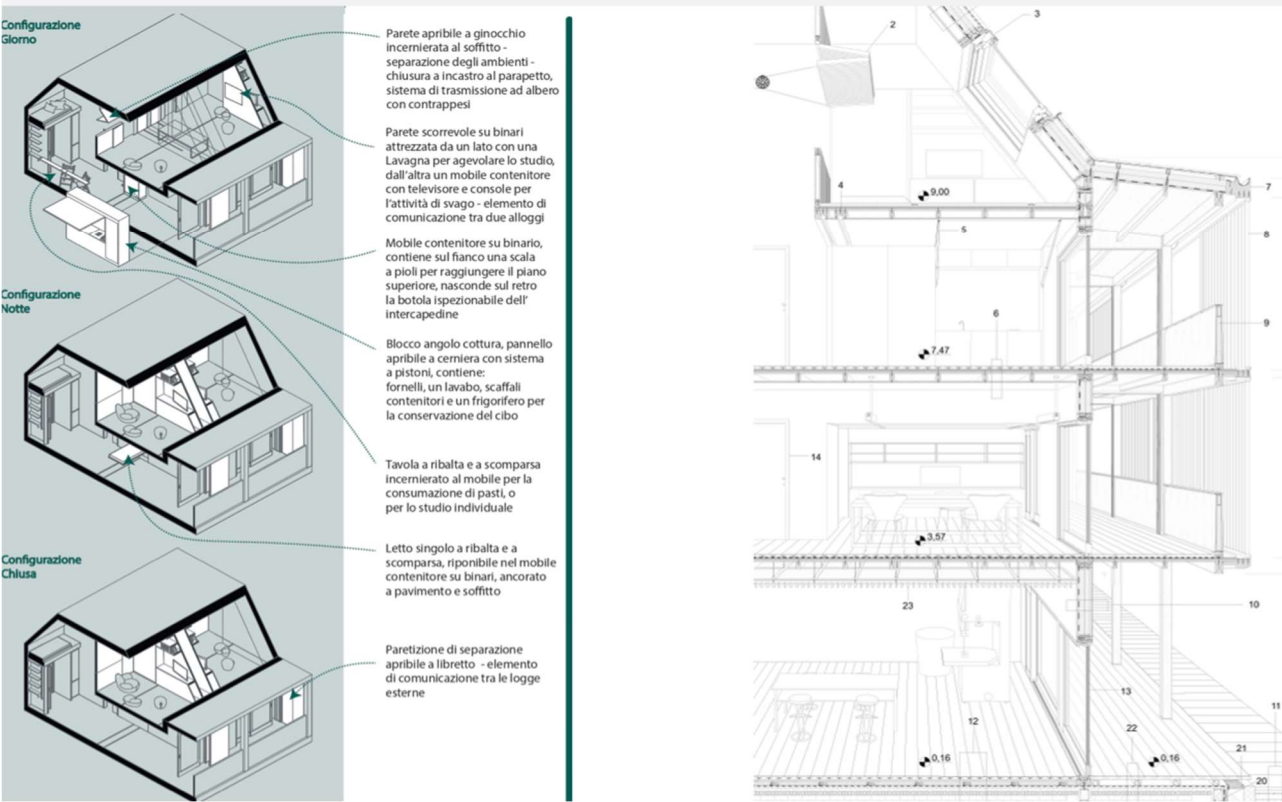


Figure 3. Design process: application of design requirements. Source: architecture student course elaborations

It is a difficult objective, the one to which the Schools of Architecture and Engineering are called on to attain. In the scenario of the current reality, where research topics and consequently teaching are constantly evolving, 2023, Universidad de Granada

and the results themselves mature and evolve very rapidly, the ability to control the choices within a field of variability – where there are solutions, forms and rules that are universal and absolute, but have to be rediscovered from time to time by continuously verifying the contents with respect to the globality of the problems at stake – involves the need for a broader knowledge of the disciplinary specificities, an ability to direct and coordinate different professional figures and appropriation of a method in the approach to the project (Vittoria, Nardi). We can therefore only make our own the saying “he who has no memory has no future”, but the future must be contextualized by enhancing those cultural roots which in their foundations and in their guiding and inspiring principles maintain their relevance, incisiveness and effectiveness.

References

- Schiaffonati F. 2011. Design in the Educational Process for Architects and Engineers. In *Techne, Design in the Educational Process for Architects and Engineers*, 2: 52-59.
- Jabareen Y. 2013. Planning the resilient city: Concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk. *Cities* 31: 220-229.
- Morin E. 1985. *Il Metodo*. Feltrinelli, Milano.
- Nardi G. 2001. *Tecnologie dell'Architettura*. CLUP, Milano.
- Alexander C. 1964. *Notes on the Synthesis of Form*, Harvard University Press, Cambridge (MA); trad. It 1967. *Note sulla sintesi della forma*, Il Saggiatore, Milano, 12.
- Habraken N. J., 1974. *Strutture per una residenza alternativa*, nota introduttiva e traduzione di Franco Mancuso. Il saggiatore Milano.
- Habraken N. J., 1998. *The structure of ordinary: form and control in the built environment*, edited by Jonathan Teicher. MIT Press, Cambridge (Mass).
- SAR 65, 1965. *Proposals by the Foundation for Architect's Research*, First publication of the basic principles of SAR method for support design. SAR, Eindhoven.
- Blachère G. 1974. *Savoir bâtir*, Parigi.
- Ciribini G, 1969. Dal 'performance design' alla strategia dei componenti. In *Casabella*, n. 342.
- Ciribini G. 1984. *Tecnologia e progetto. Argomenti della cultura tecnologica della progettazione*. Ed. Celid, Torino.
- Spadolini P. 1969. *Design e società*. F. Le Monnier, Firenze.
- Spadolini P., 1974. *Design e Tecnologia: un approccio progettuale all'edilizia industrializzata*. L. Parma, Bologna.
- Maggi P.N., Sinopoli N., Turchini, G. 1973. *Un modulo per l'edilizia*, Associazione italiana per la Prefabbricazione, Milano.
- Gescal *Gestione case per lavoratori* 1964. *Norme tecniche di esecuzione delle costruzioni con speciale riferimento alla progettazione*, Roma.
- Nardi G. 1998. *Percorsi di un pensiero progettuale*. CLUP, Milano.
- Del Nord R., 2011. *Potenzialità e criticità del raggruppamento di recente istituzione sullo sfondo della Riforma Universitaria*. In: Germanà, M.L. (a cura di). *Permanenza e Innovazioni dell'Architettura del Mediterraneo*,. Firenze University Press, Firenze.
- Gangemi V. 1987. *Il governo del progetto*. Edizioni Luigi Parma, Bologna, I, pp.18-26.
- Vittoria E., 1987. *Progettare nell'incertezza*. Crespi L. (ed.), *La progettazione tecnologica. Argomenti di teoria e pratica del progetto in condizioni di complessità*. Alinea editrice, Firenze.
- Germanà M.L., 2005. *Architettura Responsabile, gli strumenti della tecnologia*. Dario Flacco Editore, Palermo.

Ciribini G., 1968. Brevi note di metodologia della progettazione architettonica, 7 marzo 1968.

Di Battista V., 1988. La concezione sistemica e prestazione nel progetto di recupero. In *Recuperare* 6: 4.

Maldonado T., 1992. *La speranza progettuale*. Einaudi, Roma.

Maldonado T., 2004. Le prospettive dell'innovazione tecnologica. In: Torricelli M.C, Lauria A., *Innovazioni tecnologiche per l'architettura, un diario a più voci*. Edizioni ETS, Pisa, 11.

Challenges in the transition towards courses focused on project-based learning

Echebarria Domínguez, Blas, Rodríguez Jordana, Juan y Rodríguez Cantalapiedra, Inmaculada

^a Escola Politècnica Superior d'Edificació, Universitat Politècnica de Catalunya, Av Dr. Marañón 44-50, Barcelona. blas.echebarria@upc.edu, inmaculada.rodriguez@upc.edu, juan.rodriguez@upc.edu

Abstract

The study program of the Degree in Technical Architecture and Building of the Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona underwent, in 2019, a modification that, among other things, introduced each quarter project-based learning through courses consisting on workshops.

The details of this reform, which was implemented during the 2019/2020 and 2020/2021 academic years, as well as the difficulties in its implementation, were the subject of a communication in the last edition "Edificate 2021". On this occasion, our goal is to analyze the performance of the workshops and their effect on the students' learning and on the dynamics of the rest of the courses that interact with them.

Workshops are hands-on work sessions in which students work in teams to plan, design, implement, and present a project that can focus on specific areas for understanding the different building concepts. Its objective is to encourage creativity, innovation, teamwork, and problem solving. By working on specific projects, students develop practical and useful skills for their professional and personal future. But we have found that they also present some challenges and problems, such as:

- The design and implementation of projects by students can take a long time.
- Project planning by teachers can be complex and requires a great deal of time and resources.
- Project evaluation can be difficult
- Teamwork can be challenging, especially when students have different abilities and work styles.
- Although project-based learning implies a focus on student autonomy, some may need more guidance and, therefore, dedication from the teaching staff.
- Being synthesis subjects, they require coordination with other subjects

In conclusion, courses consisting on workshops represent an innovative teaching methodology with multiple benefits, but they require of specific coordination needs that have to be taken care of.

Keywords: Projects, Workshops, Problem solving, Study program

Resumen

El plan de estudios del Grado en Arquitectura Técnica y Edificación de la Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona sufrió, en 2019, una modificación que, entre otras cosas, introdujo cada trimestre el aprendizaje basado en proyectos a través de cursos consistentes en talleres.

Los detalles de esta reforma, que se implementó durante los cursos 2019/2020 y 2020/2021, así como las dificultades para su implementación, fueron objeto de una comunicación en la pasada edición "Edificate 2021". En esta ocasión, nuestro objetivo es analizar el desempeño de los talleres y su efecto en el aprendizaje de los estudiantes y en la dinámica del resto de cursos que interactúan con ellos.

Los talleres son sesiones de trabajo prácticas en las que los estudiantes trabajan en equipo para planificar, diseñar, implementar y presentar un proyecto que puede centrarse en áreas específicas para comprender los diferentes conceptos de construcción. Su objetivo es fomentar la creatividad, la innovación, el trabajo en equipo y la resolución de problemas. Al trabajar en proyectos específicos, los estudiantes desarrollan habilidades prácticas y útiles para su futuro profesional y personal. Pero hemos descubierto que también presentan algunos desafíos y problemas, tales como:

- El diseño e implementación de proyectos por parte de los estudiantes puede llevar mucho tiempo.
- La planificación de proyectos por parte de los profesores puede ser compleja y requiere una gran cantidad de tiempo y recursos.
- La evaluación del proyecto puede ser difícil.
- El trabajo en equipo puede ser un desafío, especialmente cuando los estudiantes tienen diferentes habilidades y estilos de trabajo.
- Aunque el aprendizaje basado en proyectos implica un enfoque en la autonomía del estudiante, algunos pueden necesitar más orientación y, por tanto, dedicación por parte del profesorado.
- Al ser materias de síntesis, requieren coordinación con otras materias.

En conclusión, los cursos consistentes en talleres representan una metodología de enseñanza innovadora con múltiples beneficios, pero requieren necesidades de coordinación específicas que deben ser atendidas.

Palabras clave: Proyectos, Talleres, Resolución de problemas, Programa de estudios.

1. Introducción

El aprendizaje por proyectos es un enfoque educativo que involucra a los estudiantes en la realización de proyectos prácticos, donde ellos mismos son los protagonistas de su propio aprendizaje (Kokotsaki D., Menzies V., Wiggins A. 2016; Zamarripa Franco R., Martínez Trejo I., Juárez Román G. 2016). Los proyectos se enfocan en situaciones reales y concretas, donde los estudiantes tienen que aplicar sus habilidades y conocimientos para resolver problemas y completar tareas.

Los talleres de aprendizaje por proyectos son sesiones de trabajo prácticas en las que los estudiantes trabajan en equipos para planificar, diseñar, implementar y presentar un proyecto. Estos talleres son temáticos, y se enfocan en áreas específicas como la comprensión de los conceptos edificatorios, la gestión de obra, la oficina técnica o el diseño gráfico, entre otros (R. Cantalapiedra I, Rodríguez-Jordana J. 2021).

El objetivo de los talleres de aprendizaje por proyectos es la resolución de problemas fomentando la creatividad, la innovación y el trabajo en equipo. Al trabajar en proyectos concretos, los estudiantes desarrollan habilidades prácticas y útiles para su futuro profesional y personal (Gil Piqueras T, Rodríguez Navarro P. 2021)

En resumen, los talleres de aprendizaje por proyectos son una forma efectiva de promover el aprendizaje activo y el desarrollo de habilidades prácticas, a través de la realización de proyectos concretos y la colaboración en equipo, pero también puede presentar algunos desafíos y problemas (Guo P., Saab N., Post L.S., Admiraal W. 2020)

1. Tiempo: El diseño y la implementación de proyectos puede llevar mucho tiempo, lo que puede limitar el tiempo disponible para cubrir otros contenidos curriculares.

2. Planificación: La planificación de proyectos puede ser compleja y requiere una gran cantidad de tiempo y recursos para diseñar proyectos adecuados y asegurar que se estén alcanzando los objetivos de aprendizaje.

3. Evaluación: La evaluación de proyectos puede ser difícil, ya que los proyectos son a menudo únicos y no se prestan a una evaluación estándar. Los profesores deben desarrollar criterios claros de evaluación y asegurarse de que los estudiantes los comprendan y los apliquen.

4. Dificultades en el trabajo en equipo: El trabajo en equipo puede ser desafiante, especialmente cuando los estudiantes tienen diferentes habilidades y estilos de trabajo. Los profesores deben enseñar a los estudiantes a trabajar en equipo y fomentar habilidades como la comunicación, la colaboración y la resolución de conflictos.

5. Inadecuación del proyecto: Si el proyecto no está bien diseñado o no está adecuadamente adaptado a las necesidades y habilidades de los estudiantes, puede no ser efectivo en términos de aprendizaje.

6. Falta de dirección: Aunque el aprendizaje por proyectos implica un enfoque en la autonomía del estudiante, algunos estudiantes pueden necesitar más orientación y dirección en el proceso de aprendizaje.

En resumen, aunque el aprendizaje por proyectos es una metodología efectiva para fomentar el aprendizaje activo y práctico, también puede presentar algunos problemas y desafíos que deben ser abordados y resueltos para asegurar su efectividad en el aula. En este trabajo analizaremos los resultados de los talleres en el nuevo plan de estudios (R. Cantalapiedra, Rodríguez –Jordana, 2021) del grado de Arquitectura Técnica y Edificación, realizados por los estudiantes y el profesorado. Por otra parte, en el caso concreto que nos ocupa, los talleres, uno por cuatrimestre más uno final, deben actuar como síntesis de otras materias que han cedido créditos para tratar aspectos prácticos, de manera conjunta, en un mismo problema. Este aspecto añade dos nuevos retos. La coordinación horizontal de las diferentes materias que intervienen en un mismo taller y la coordinación vertical de los diferentes talleres para crear un hilo conductor en el plan de estudios.

2. Objetivos

El objetivo principal en esta comunicación es analizar el funcionamiento de los talleres en su doble vertiente. Como metodología de aprendizaje y de desarrollo de competencias por parte del estudiantado y como eje vertebrador y argumental del plan de estudios.

Los 9 talleres objeto del análisis son:

- Taller 1. Aprender de la construcción tradicional.
Consiste en introducir al estudiantado en el mundo de la construcción desde la experimentación, el reconocimiento, la identificación y la reflexión a partir del estudio de un edificio concreto de construcción tradicional.
- Taller 2. Modelizar conceptos. BIM.
Consiste en una introducción al BIM a base de construir modelos virtuales utilizando herramientas que se puedan integrar en un proceso BIM.
- Taller 3. Gestión I.
Consiste en tomar contacto con toda la cadena de valor de una empresa del sector de la edificación.
- Taller 4. Análisis del edificio.
Consiste en establecer una solución constructiva-estructural de una edificación propuesta al inicio del curso.
- Taller 5. Diagnóstico.
Consiste en realizar un proceso de diagnosis contemplando diferentes aspectos como el estudio histórico y documental, el levantamiento gráfico, la prospección del edificio o el análisis de las lesiones y disfunciones.
- Taller 6. Gestión II.
Consiste en introducir al estudiantado en el mundo de la gestión inmobiliaria desde la experimentación, la recopilación de información, la identificación y la reflexión a partir de un producto concreto.
- Taller 7 Rehabilitación.
Consiste en analizar los diferentes aspectos de un proyecto de rehabilitación.
- Taller 8. Proyectos.
Consiste en poner en práctica, de forma transversal, los conocimientos adquiridos en el transcurso del grado materializados en redacción y el desarrollo de un proyecto de ejecución.
- Taller 9. Modelo final.
Consiste en simular, a partir de un proyecto ejecutivo real, los diferentes roles de los agentes del proceso constructivo.

3. Metodología

Para el análisis al que nos hemos referido, se cuenta con las encuestas que la UPC realiza cada cuatrimestre a todo el estudiantado. Hay encuestas sobre el profesorado y sobre las asignaturas. De estas últimas se dispone de información sobre los resultados de dos preguntas. Una sobre los contenidos de la asignatura y otra sobre satisfacción general.

Pero además, expresamente para este estudio, se han generado dos formularios. Uno para el estudiantado y otro para el profesorado coordinador de los talleres.

En el primero se pide puntuar de 1 a 5 los siguientes siete aspectos:

- Adecuación de la carga de trabajo.
- Coordinación entre los diferentes profesores que han intervenido en el taller.
- El sistema de calificación me ha parecido adecuado.
- Me ha ayudado a entender y profundizar en los conocimientos de las diferentes materias que intervienen.
- Me ha ayudado a aprender a trabajar en equipo.
- Me ha ayudado a desarrollar habilidades de comunicación oral y escrita.
- Me ha ayudado a desarrollar nuevas habilidades de búsqueda de información.

Además de dos preguntas de respuesta libre. Una sobre aspectos positivos a destacar y otra sobre aspectos mejorables.

En cuanto al cuestionario para profesorado coordinador, se ha preguntado sobre los siguientes aspectos

- ¿La coordinación entre los profesores que han intervenido en el taller ha sido adecuada? Si crees que puede mejorar, ¿de qué forma?
- ¿Con qué asignaturas consideras que tu taller debe actuar como asignatura de síntesis?
- De las asignaturas anteriores, ¿con cuáles te has podido coordinar satisfactoriamente?
- ¿Cuáles han sido las dificultades que has encontrado en la coordinación del taller con otras asignaturas?
- En cuanto a la coordinación entre asignaturas, ¿cuáles son tus propuestas de mejora?
- ¿A qué asignaturas de los cuatrimestres posteriores crees que los contenidos de este taller deben ser útiles?
- ¿El taller dispone de rúbrica para la evaluación del estudiantado y ésta se encuentra publicada en la guía docente?
- ¿Te has encontrado con dificultades a la hora de distribuir y evaluar el trabajo de los miembros en los grupos de trabajo? En caso afirmativo, ¿de qué forma crees que podría mejorar?
- ¿Quieres hacer alguna observación respecto al papel y la distribución de contenidos en los 9 talleres del plan de estudios actual?
- ¿Cuántas horas semanales crees que deberían dedicar los estudiantes fuera de clase para desarrollar correctamente los proyectos del taller?
- Aspectos positivos que te gustaría destacar.

En general, el número de alumnos que han respondido las preguntas en cada taller ha sido bajo, por lo que no es estadísticamente significativo para hacer un estudio individualizado de cada taller, pero sí podemos extraer conclusiones generales del conjunto de talleres.

4. Resultados

Empezamos por mostrar los resultados de las encuestas de satisfacción del estudiantado con estas asignaturas. En las encuestas que organiza la UPC, se hacen dos preguntas:

- Los contenidos de la asignatura le han resultado interesantes
- Está satisfecho con la asignatura

Como podemos ver en la Figura 1 y Tabla 1, la mayoría de las puntuaciones se mueven en una horquilla entre el 3 y el 4, destacando positivamente el Taller 2 (BIM), con una nota de más de un 4, y, en la parte baja, los talleres 4 (Análisis del edificio), 7 (Rehabilitación) y 8 (Proyectos), con notas de satisfacción por debajo del 3.

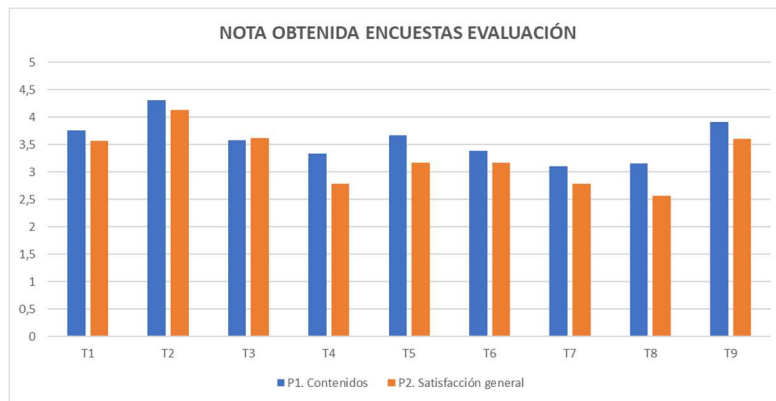


Figura 1: Nota de cada taller en las dos preguntas de las encuestas UPC. Media ponderada de los cursos 2020/2021 y 2021/2022.

De estas respuestas, se desprende que existen posibles disfunciones en el funcionamiento de los talleres, que hace que la satisfacción del estudiantado no sea óptima. Para poder determinar qué aspectos son susceptibles de mejora, hemos generado los cuestionarios específicos para el estudiantado y el profesorado. Como se puede ver en la figura 2, hay una variabilidad importante entre los diferentes talleres, pero podemos ver que uno de los aspectos que sale peor evaluados es la coordinación entre los profesores del taller. Esto se pone de manifiesto también en algunas de las respuestas que dan los estudiantes dentro del apartado de “aspectos a mejorar”. La coordinación entre los profesores, junto con la evaluación (porque no la consideran adecuada, o porque las correcciones no se publican a tiempo), son los motivos de la mayoría de las propuestas a mejorar. Por otra parte, los estudiantes valoran más positivamente el hecho de que las asignaturas de talleres les ayudan a entender y profundizar en los conocimientos de otras asignaturas y a que les ayudan a trabajar en equipo. Entre las respuestas a los aspectos positivos de los talleres, es mayoritaria la valoración de la parte práctica de los talleres y de cómo esto les ayuda a entender conceptos.

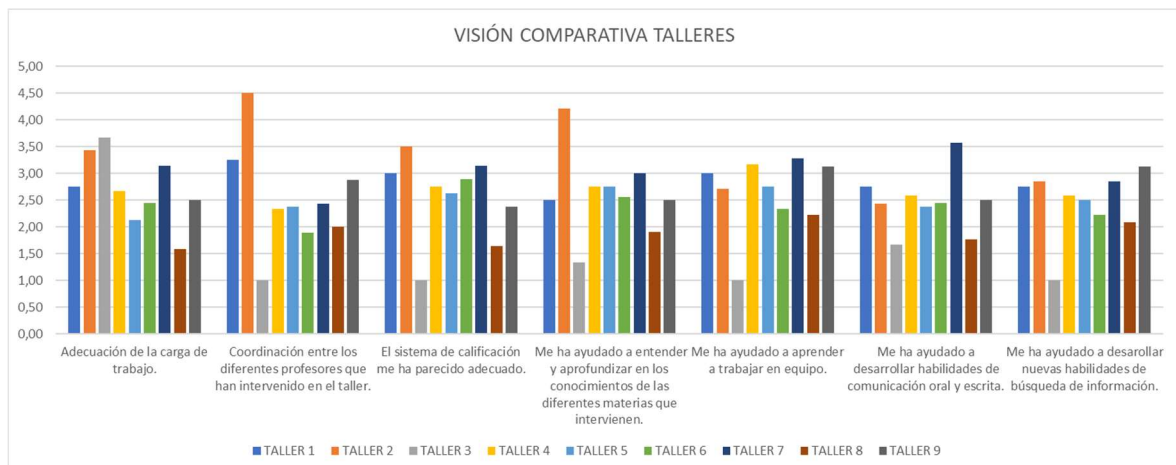


Figura 2: Promedio de las respuestas del estudiantado de cada taller en los diferentes aspectos que se han evaluado

Viendo las posibles disfunciones que indica el estudiantado, hemos realizado otra encuesta a los coordinadores de los diferentes talleres. De aquí podemos ver que la mayoría de coordinadores considera que la coordinación entre distintos profesores es correcta, aunque se han detectado algunas disfunciones. Por lo que respecta a la evaluación, hay algunos talleres que no utilizan rúbricas, lo cual se habría de corregir. Tampoco parece que haya mayor problema para evaluar el trabajo individual de cada alumno, a pesar de que se trabaje mayoritariamente en grupo. Finalmente, la carga de trabajo fuera del aula que suponen los talleres, se mueve

en la horquilla de 1 o 1.5 horas de trabajo fuera de clase por cada hora de trabajo en clase, aunque hay algunos talleres que requieren más o menos de este rango. Este es un parámetro que posiblemente debería homogeneizar entre los distintos talleres.

Tabla 3: Resumen de las respuestas de los coordinadores de los talleres a las diferentes preguntas del cuestionario. El código de colores se corresponde a una respuesta positiva (verde), negativa (rojo), o a la existencia del algún aspecto a mejorar (naranja).

Nombre del taller	Coordinación entre los profesores	Rúbrica para la evaluación del estudiantado	Dificultades a la hora de distribuir y evaluar el trabajo individual grupos de trabajo	Horas semanales que deberían dedicar los estudiantes fuera de clase
Taller 1- Aprender de la construcción tradicional	Verde	Naranja	Verde	1 hora extra/hora de clase
Taller 2- Modelizar conceptos (BIM)	Verde	Verde	Verde	1 hora extra/hora de clase
Taller 3- Gestión I	Naranja	Rojo	Naranja	1 hora extra/hora de clase
Taller 4- Análisis del edificio	Naranja	Verde	Naranja	2-2.5 horas extra/hora de clase
Taller 5- Diagnósis	Verde	Verde	Naranja	1-1.5 horas extra/hora de clase
Taller 6- Gestión II	Naranja	Verde	Verde	1.2 horas extra/hora de clase
Taller 7- Rehabilitación	Verde	Verde	Verde	0.5 horas extra/hora de clase
Taller 8- Proyectos	Verde	Verde	Verde	1.5-2 horas extra/hora de clase
Taller 9- Modelo final	Verde	Rojo	Verde	1.5 horas extra/hora de clase

Para analizar el resultado de los talleres como eje vertebrador y argumental del plan de estudios se han diseñado las preguntas del cuestionario a los coordinadores y coordinadoras:

- ¿Con qué asignaturas consideras que tu taller debe actuar como asignatura de síntesis?
- ¿A qué asignaturas de los cuatrimestres posteriores crees que los contenidos de este taller deben ser útiles?

Los resultados se resumen en el cuadro de la página siguiente.

Se muestran las asignaturas del plan de estudios repetidas en dos columnas paralelas, con el taller correspondiente a cada cuatrimestre como separación entre éstos. En la columna de la izquierda se relacionan las asignaturas que intervienen en cada taller y que son aquellas para las que el taller tiene que actuar como materia de síntesis. En la columna de la derecha se muestran las asignaturas a las que cada taller debe servir de base en algún sentido. Los números en la columna central corresponden a los créditos de las asignaturas del plan de estudios.

Tabla 4: Asignaturas del plan de estudios repetidas en dos columnas paralelas, con el taller correspondiente a cada cuatrimestre como separación entre éstos. En la columna de la izquierda se relacionan las asignaturas que intervienen en cada taller y que son aquellas para las que el taller tiene que actuar como materia de síntesis. En la columna de la derecha se muestran las asignaturas a las que cada taller debe servir de base en algún sentido. Los números en la columna central corresponden a los créditos de las asignaturas del plan de estudios.

Primer cuatrimestre		
Fundamentos Matemáticos T4	6	Fundamentos Matemáticos Fundamentos
Materiales, Química y Geología T1	3	Fundamentos Materiales, Q. y G.
Introducción a la Construcción T1 T2	4.5	Introducción a la Construcción Introducción
al Dibujo Arquitectónico T1 T4 T8	6	Introducción al Dibujo Arquitectónico
Mecánica T1	6	Mecánica
Taller 1: Aprender de la Construcción Tradicional 4.5		
Segundo cuatrimestre		
Arq., Constr. y Ciudad en la Hist. Occidente T5	4.5	Arq., Constr. y Ciu. en la Hist. de Occ. T1
Dibujo Arquitectónico T2 T4 T5 T9	6	Dibujo Arquitectónico
Física de las Instalaciones y Eficiencia Energética	4.5	Física de las Inst. y Efic. Energética T1
Introducción a las Estructuras	6	Introducción a las Estructuras T1
Materiales Pétreos T3 T5	6	Materiales Pétreos T1
Taller 2: Modelizar Conceptos (Bim) 3		
Tercer cuatrimestre		
Construcción de Estructuras T3 T4 T8 T9	4.5	Construcción de Estructuras
Estadística Aplicada	6	Estadística Aplicada
Estructuras de Acero y Hormigón T3 T4 T8	4.5	Estructuras de Acero y Hormigón
Gestión Empresarial T3	4.5	Gestión Empresarial
Materiales No Pétreos T5	6	Materiales No Pétreos T1
Taller 3: Gestión I 4.5		
Cuarto cuatrimestre		
Construcción Bajo Rasante T4 T8 T9	4.5	Construcción Bajo Rasante T2
Instalaciones de Fluidos T8 T9	6	Instalaciones de Fluidos T2
Legislación Aplicada a la Edificación T6	6	Legislación Aplicada a la Edificación T3
Levant. y Replanteos en la Edif. T1 T4 T8	4.5	Levant. y Repl. en la Edificación Prevención de
Riesgos Laborales	4.5	Prevención de Riesgos Laborales T3
Taller 4: Análisis del Edificio 4.5 T2		
Quinto cuatrimestre		
Constr. de Envolventes y Acabados T6 T8 T9	4.5	Construc. de Envolventes y Acabados T2
Gestión Urbanística T6	4.5	Gestión Urbanística T3
Instalaciones Electromecánicas T8 T9	6	Instalaciones Electromecánicas T2
Patología de la Edificación T5 T7	3	Patología de la Edificación
Sistemas Estructurales T5 T8	6	Sistemas Estructurales T4
Taller 5: Diagnóstico 6		
Sexto cuatrimestre		
Calidad en la Edificación T9	4.5	Calidad en la Edificación
Planificación y Organiz. de Obras T6 T8 T9	7.5	Planificación y Organiz. Obras T2 T3 T4
Presupuestos y Control de Costes T6 T7 T8 T9	7.5	Presupuestos y Control Costes T3 T4
Técnicas Avanzadas de Expresión Gráfica T6 T8	3	Técnicas Avanz. Expresión Gráfica
Taller 6: Gestión II 7.5		
Séptimo cuatrimestre		
Conservación y Mantenimiento	4.5	Conservación y Mantenimiento T2 T5
Coordinación de Seguridad y Salud Laboral T9	4.5	Coordinación Seguridad y Salud Laboral
Peritaciones y Tasaciones	4.5	Peritaciones y Tasaciones T5 T6
Taller 7: Rehabilitación 7.5 T2 T5		
T7 Taller 8: Proyectos 9 T2		
Octavo cuatrimestre		
T2 T6 T7 Taller 9: Modelo Final 6		

*relación de forma indirecta.

COLUMNA IZQUIERDA: ¿Con qué asignaturas consideras que el taller debe actuar como asignatura de síntesis?

COLUMNA DERECHA: ¿A qué asignaturas de los cuatrimestres posteriores crees que los contenidos de este taller deben ser útiles?

5. Discusión y Conclusiones

Como se ha dicho cuando se describían los objetivos, se pretende analizar el funcionamiento de los talleres en su doble vertiente. Como metodología de aprendizaje y de desarrollo de competencias por parte del estudiantado y como eje vertebrador y argumental del plan de estudios.

Como metodología de aprendizaje y de desarrollo de competencias por parte del estudiantado, se observa una satisfacción general por parte del estudiantado en cuanto a los contenidos y parcialmente en cuanto al funcionamiento. Hay que tener en cuenta que parte del estudiantado que ha accedido a los talleres lo ha hecho como resultado de la adaptación del plan de estudios anterior. Este hecho ha dificultado el buen funcionamiento de los talleres porque este estudiantado no está acostumbrado a esta metodología desde el primer curso.

Por otra parte, a partir de este análisis se han evidenciado dos de las mayores dificultades con que se encuentran este tipo de enfoques destinados a sintetizar diversas materias en una asignatura de aprendizaje por proyectos: la coordinación entre el profesorado y la evaluación de trabajos grupales. Otras instituciones han tenido similares enfoques y dificultades (OIFE).

En cuanto a su papel como eje vertebrador y argumental del plan de estudios, el análisis del cuadro expuesto más arriba muestra que se ha conseguido un flujo de contenidos que dota al plan de estudios de un discurso coherente. Por ejemplo, el taller de rehabilitación actúa como síntesis de la mayoría de materias del plan de estudios. Sin embargo, también ha servido para mostrar algunos aspectos mejorables. Hay asignaturas cuyos contenidos no están aprovechados correctamente. Por ejemplo, la Estadística Aplicada debería intervenir de alguna manera en los talleres de gestión y éstos no la contemplan como materia básica. Sin embargo, en el taller 1 se utilizan conceptos elementales de análisis estadístico de datos que se deben introducir en el propio taller. El BIM introducido en el taller 2 debería integrar más el plan de estudios. En el cuadro anterior aparecen las asignaturas en las que el coordinador del taller 2 considera que éste debería servir como base, pero faltaría comprobar si la realidad es así. En una continuación de este trabajo, se debería comprobar la presencia de los proyectos desarrollados en los diferentes talleres en el resto de asignaturas del plan de estudios.

Referencias

- Gil Piqueras T, Rodríguez Navarro P. 2021. Implantación de la metodología del Aprendizaje basado en Proyectos en la asignatura de Taller de Proyecto de Interiores. EDIFICATE. Ed. Universitat Politècnica de València. ISBN: 978-84-9048-409-8 (versión impresa) DOI: <https://doi.org/10.4995/EDIFICATE2021.2021.13987>
- Guo P., Saab N., Post L.S., Admiraal W. 2020. A review of project-based learning in higher education: Student outcomes and measures. *International Journal of Educational Research* 102, 101586
- Kokotsaki D., Menzies V., Wiggins A. 2016. Project-based learning: A review of the literature. *Improving Schools* 19(3) 267–277.
- OIFE Institute for the Future of Education (Tecnológico de Monterrey) <https://observatorio.tec.mx/edu-news/tec-de-monterrey-transforma-su-modelo-educativo-mas-flexible-y-vivencial/>, last accessed 2016/11/21.
- R. Cantalapiedra I, Rodríguez-Jordana J. 2021. Modificación del plan de estudios del Grado de Arquitectura Técnica y Edificación. EDIFICATE. Editorial Universitat Politècnica de València. ISBN: 978-84-9048-409-8 (versión impresa) DOI: <https://doi.org/10.4995/EDIFICATE2021.2021.13987>
- Zamarripa Franco R., Martínez Trejo I., Juárez Román G. 2016. El aprendizaje basado en proyectos en educación superior. *RECIE. Revista Electrónica Científica de Investigación Educativa* 3 (1), 391-402.

Use of digital and physical twins of construction details to improve spatial understanding of architecture in building engineering and technical architecture subjects.

Rueda Márquez de la Plata, Adela, Cruz Franco, Pablo Alejandro y Pérez Sendín, María

^a Universidad de Extremadura, Av. de la Universidad, s/n, Cáceres. adelarm@unex.es,
pablocruzfranco@unex.es, mperezppf@alumnos.unex.es

Abstract

The construction is one of the fundamental bases of the degree in building. The teaching of it has to combine traditional drawing and new technologies, understanding these as the modeling of construction details (generation of digital twins), the 3d printing of these construction details and the generation of online knowledge bases that are accessible to students through QR codes, links, etc...

In the case study shown in this communication, a total of five innovative lines for construction education have been implemented in the Construction II subject since 2018:

First of all, it has implemented teaching in 3D modeling of construction details. The initiation in modeling using simple elements allows the students to see their work rewarded with immediate visual results from the first moment.

Secondly, over the last five years, we have been working with complex construction details by modeling structural reinforcements or singular designs as a different way of approaching a traditional construction exercise.

Thirdly, the effort of the students is rewarded with the materialization of their work through the 3D printing of the details developed in the previous lines.

Fourth, it is intended to generate a digital construction library, a repository that keeps the students' work and is open to free distribution and access by everyone.

In this way, transversal skills are incorporated into teaching that improve students' abilities to face their future academic and professional projects.

Keywords: 3d printing, 3d construction modeling, Digital construction library, Digital twins, Physical twins; construction

1. Introducción

La tecnología de impresión 3d es ya una realidad innegable dentro de nuestra sociedad. Esta “nueva ciencia” se ha hecho hueco a lo largo de los últimos años y poco a poco la cultura “maker” se transformado en un movimiento fresco y con mucha energía que está revolucionando muchos ámbitos de nuestra vida a través de sus ideas. Esta cultura está cambiando la forma en la que entendemos la docencia, la arquitectura o la ingeniería a través de nuevas propuestas de afrontar el diseño, de nuevos métodos de entender el prototipado y por qué no, de nuevas formas de motivar a las nuevas generaciones.

Estas originales propuestas para motivar a los estudiantes actuales son un reto en la enseñanza porque plantean alternativas a la docencia tradicional, concretamente en este caso la docencia en construcción. Estas alternativas no son ni mejores ni peores, son siempre complementarias a las tradicionales, pero absolutamente necesarias como formación transversal de los futuros técnicos:

“Debemos fomentar la creatividad de nuestros alumnos a través de útiles que les permitan crear nuevas realidades utilizando la tecnología”

En nuestro caso de estudio la implementación dentro de la docencia ha tenido tres objetivos que han acompañado los contenidos de estructuras metálicas: en primer lugar, capturar la realidad (modelar); en segundo lugar, replicar la realidad (imprimir); y en tercer y último lugar, difundir el conocimiento (divulgar). Estos tres objetivos como veremos más adelante se desarrollan en cuatro hitos.

2. Estructura de la asignatura: contenidos teóricos e implementación de nuevas tecnologías (objetivos 1, objetivo 2 y objetivo 3)

2.1. Contenidos teóricos

Los contenidos teóricos impartidos de forma paralela a los conceptos de modelo son dos bloques temáticos. En primer lugar, una parte importante del tema de las estructuras metálicas es la historia de este tipo de construcción y la revolución que supone en la forma de concebir la arquitectura por lo que se dedica una sesión de aproximadamente una hora en la que se hace una introducción a estos sistemas, su historia y su evolución. Normalmente, esta exposición se basa en los trabajos de la profesora Adela Rueda (Rueda Marquez de la Plata 2016, Rueda Márquez de la Plata and Cruz Franco 2022).

En estos trabajos se hace una revisión muy interesante de los hitos estructurales del siglo XIX como se ve en la figura 1. Además se ejemplifica de forma muy clara las virtudes de este tipo de construcción: ligereza, grandes luces, excelente comportamiento a flexión, fachadas ligeras (Rueda Márquez de la Plata and Cruz Franco 2022) etc... En segundo lugar se desarrollan en el aula las estructuras metálicas (Urban Brotons 2009), tipos, elementos, sistemas de unión, nomenclatura (Rueda Márquez de la Plata, Cruz Franco et al. 2023), etc...

Por otro lado, incorporar esta visión histórica de las estructuras y por consiguiente de la construcción es fundamental para que los alumnos puedan tener una visión global de la arquitectura. Gracias a ella podrán entender las estructuras singulares que se encontrarán en su día. En definitiva, no solo comprender cómo funcionan si no también saber de dónde vienen para poder valorar una estructura histórica en su futura vida profesional.

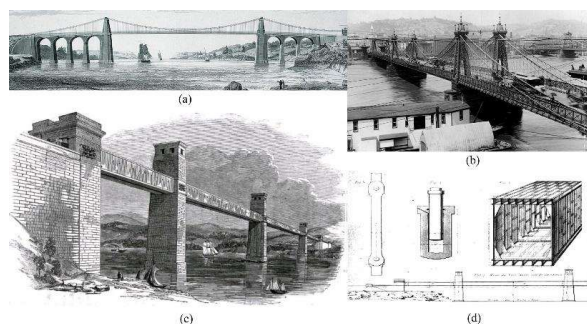


Figura 1. (a) Menai Bridge general view (b) Mononghaela Bridge (c) Britannia Bridge. England 1846 (d) The bridge tunnel over the Menai Street.
Fuente: the French magazine "Revue Générale"

De forma paralela a los contenidos teóricos se desarrollan los tres objetivos que hemos comentado:

2.2. Objetivo1: capturar la realidad (modelar la construcción)

2.2.1. Hito 1: modelado de detalles constructivos sencillos

El objetivo primordial de este primer hito ha sido motivar y enseñar a los estudiantes a modelar un elemento constructivo específico y obtener de esta manera un gemelo digital (Salem and Dragomir 2022, Yang, Lv et al. 2022, Cruz Franco, Rueda Márquez de la Plata et al. 2023). Para alcanzar este objetivo, se ha incorporado una formación básica en modelado tridimensional utilizando la herramienta Sketch Up dentro de la docencia en el aula. Esta herramienta se destaca por ser muy intuitiva y versátil, lo que ha permitido que los alumnos puedan crear objetos tridimensionales básicos desde el primer día. De esta manera, se garantiza que el alumno se sienta gratificado con resultados muy visuales e inmediatos desde el comienzo del aprendizaje (ver figura 2).

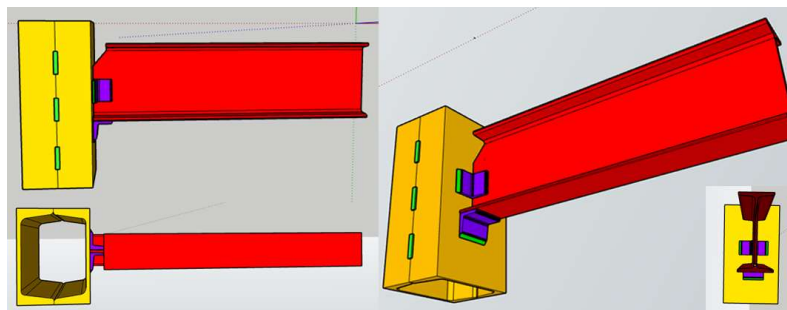


Figura 2. Detalle constructivo de nudo metálico, articulado, formado por 2 UPN en cajón cerrado, 1 IPN, angulares de apoyo y angulares antivuelcos,

Fuente: Imágenes de modelado de la alumna María Pérez Sendín desarrolladas en la asignatura construcción II en el año 2018

Es importante mencionar que existen otras herramientas muy interesantes, como Tinkercad o FreeCAD, que se destacan por su alto grado de implementación en el mercado. Al igual que Sketch Up, estas herramientas son gratuitas y altamente recomendables debido a la fácil curva de aprendizaje que asegura el interés del usuario (Alves-Cardoso and Campanacho 2022).

Tinkercad es una herramienta de modelado 3D en línea que se destaca por ser muy fácil de aprender y utilizar. Es especialmente adecuada para usuarios principiantes debido a su interfaz sencilla y la posibilidad de crear objetos con bloques predefinidos. Tinkercad es una herramienta gratuita que se ejecuta en el navegador web y no requiere la instalación de ningún software adicional. Entre las ventajas de Tinkercad, se encuentran su simplicidad, la facilidad para crear modelos básicos y la posibilidad de compartir modelos en línea. Sin embargo, algunas de sus desventajas incluyen la falta de funciones avanzadas para usuarios más experimentados y la limitación en la capacidad de exportación de archivos.

FreeCAD es una herramienta de modelado 3D de software libre y de código abierto. Se destaca por ser una herramienta muy completa y poderosa, con la capacidad de crear modelos complejos y precisos. FreeCAD

está disponible para Windows, Linux y MacOS y ofrece una interfaz de usuario similar a la de otros programas de CAD, lo que facilita la transición desde otros softwares. Además, FreeCAD tiene una comunidad activa de usuarios que desarrollan complementos y añaden nuevas funciones. Entre las ventajas de FreeCAD, se encuentran su flexibilidad, la posibilidad de trabajar con archivos de otros programas y la capacidad de crear modelos precisos. Algunas de sus desventajas incluyen una curva de aprendizaje un poco más pronunciada y una interfaz de usuario menos intuitiva que otras herramientas.

En cuanto a Sketch Up, ya hemos mencionado algunas de sus ventajas, como su facilidad de uso y versatilidad. Además, Sketch Up ofrece una amplia gama de herramientas para la creación de modelos, incluyendo una amplia biblioteca de componentes y materiales predefinidos, lo que facilita la creación de modelos complejos. También es una herramienta muy popular en la industria de la arquitectura y el diseño, lo que significa que existen numerosos tutoriales y recursos disponibles en línea. Algunas de las desventajas de Sketch Up son que la versión gratuita tiene menos funciones que la versión de pago, y que la precisión del modelo puede verse afectada por la simplicidad de la herramienta.

En conclusión, todas estas herramientas tienen ventajas y desventajas, y la elección dependerá de las necesidades y habilidades del usuario. Tinkercad es excelente para principiantes que buscan una herramienta fácil de aprender, mientras que FreeCAD es ideal para usuarios más avanzados que necesitan funciones avanzadas y precisión. Sketch Up es una herramienta versátil y popular que se adapta a una amplia gama de usuarios, desde principiantes hasta profesionales de la industria.

Tabla 1. Comparativa herramientas de modelado

Herramientas de modelado	Online	Interfaz fácil	Free	Libre acceso
Tinkercad	✓	✓	✓	✗
FreeCAD	✗	✗	✓	✓
Sketch Up	✗	✓	✗	✗

Una vez que se han explicado las estructuras metálicas, es importante que los estudiantes comprendan cómo modelar los detalles específicos de estas estructuras. Por lo tanto, se les entrega documentación básica de un perfil metálico en papel en la sala de ordenadores, lo que les permitirá comprender mejor los detalles específicos de las uniones y cómo se deben modelar.

En esta documentación, se debe incluir información detallada sobre las dimensiones y características del perfil metálico en cuestión, así como los detalles específicos de la unión, como el tipo de unión (soldado, roblonado o atornillado) y la disposición de los elementos de unión. Es importante que esta documentación sea clara y concisa para que los estudiantes puedan entenderla sin dificultad.

Una vez que se han revisado los detalles del perfil metálico, se debe explicar a los estudiantes cómo modelar estos detalles en el aula. Es importante que se brinde una explicación clara y detallada del proceso de modelado, incluyendo la selección de herramientas, la creación de componentes y la organización del modelo. Es fundamental que los estudiantes entiendan cómo se deben utilizar las herramientas de modelado tridimensional y cómo se deben aplicar a la creación de los detalles de la estructura metálica.

Además, se debe explicar la importancia de seleccionar el tipo correcto de unión para cada detalle, así como la disposición adecuada de los elementos de unión. Es importante que los estudiantes entiendan las ventajas y desventajas de cada tipo de unión y cómo afectan la resistencia y estabilidad de la estructura.

En resumen, proporcionar documentación clara y detallada de los detalles específicos de la estructura metálica y explicar cómo modelar estos detalles en el aula es fundamental para que los estudiantes comprendan cómo crear estructuras metálicas precisas y estables. Es esencial que los estudiantes entiendan el proceso de modelado y la selección adecuada de herramientas y tipos de unión para garantizar que las estructuras metálicas sean seguras y eficientes.

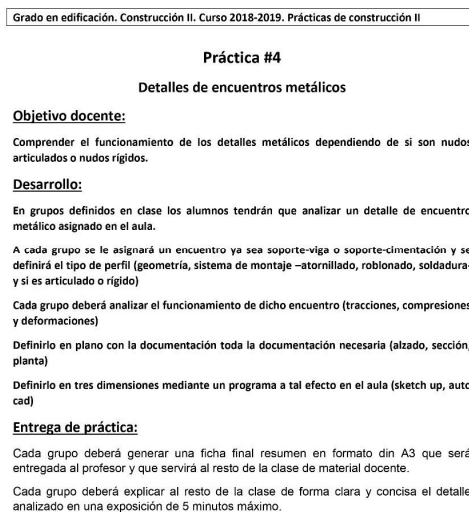


Figura 3. Enunciado de la práctica a desarrollar por los alumnos sobre encuentros metálicos.

Fuente: Elaboración propia (Cruz Franco, Pablo, 2018)

2.2.2. Hito 2: modelado de detalles constructivos complejos

En este segundo ejercicio se busca que los estudiantes puedan continuar su aprendizaje de las estructuras metálicas y comprender cómo se unen los perfiles metálicos y cómo se refuerzan estructuralmente (por ejemplo, el caso de los momentos negativos y positivos, como evitar la patología de abolladura de alma, como garantizar una correcta transmisión de tensiones, compresión y tracción). Cabe destacar que cada grupo tendrá un ejercicio único y diferente, ya que se le asignará de forma aleatoria un tipo de perfil para la viga, un tipo de perfil para el pilar, un tipo de unión y una serie de refuerzos específicos. Nuevamente los alumnos partirán de una documentación bidimensional y deberá generar la documentación bidimensional en primera instancia y en segunda instancia la tridimensional. En la figura 3 se puede ver un ejemplo del enunciado de una práctica entregado en el aula.

Para lograr este objetivo, se trabajará con perfiles combinados e incluso reforzados, lo que supone un mayor reto para los estudiantes. Es importante que los estudiantes sean capaces de entender las necesidades específicas de cada ejercicio y elegir los elementos de conexión y refuerzo adecuados para cada caso particular.

Uno de los aspectos más importantes para unir los perfiles metálicos es el uso de conexiones o conectores. Los conectores son elementos que permiten unir los perfiles metálicos de manera segura y eficiente. Existen diferentes tipos de conectores que se explican en el aula.

Otro elemento importante a considerar en la unión de perfiles metálicos son las placas de anclaje. Es decir la unión del perfil (pilar) con la cimentación. Las placas de anclaje se utilizan para fijar los perfiles metálicos a la estructura de soporte. Estas placas pueden ser de diferentes formas y tamaños, y se utilizan en diferentes situaciones dependiendo de las necesidades de la estructura. Además, estas placas pueden sufrir problemas de abolladura con lo que se estudian las diferentes formas de arreglarlo.

Como hemos indicado el tipo de unión es fundamental: empotramiento o apoyo simple son las vistas en el aula y como se consiguen a través de los sistemas de unión es otro reto: soldadura a 2/3, apoyo sobre angular, soldando todo el perímetro del perfil, etc...

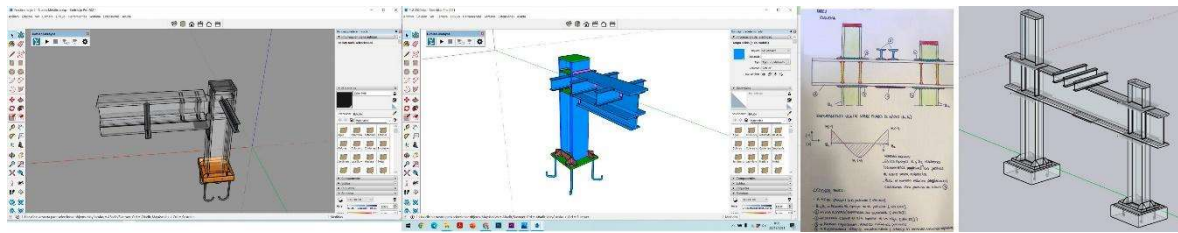


Figura 4. Enunciado de la práctica a desarrollar por los alumnos sobre encuentros metálicos.

Fuente: Imágenes de modelado de los alumnos. De izquierda a derecha trabajos de: Adrián Iglesias Montejo, Juan Pedro Pajero Hipólito y María Rufo Canalejo. Desarrolladas en la asignatura construcción II en el año 2022

En cuanto al refuerzo estructural de los momentos negativos y positivos, se pueden utilizar diferentes técnicas. Una de las más comunes es el uso de perfiles reforzados. Los perfiles reforzados son aquellos que han sido fortalecidos en los puntos críticos para soportar mejor los momentos negativos y positivos. Además, se pueden utilizar otros elementos, como las vigas de refuerzo, las placas de refuerzo y los soportes adicionales, entre otros. En las zonas críticas normalmente incrementaremos el espesor del acero para hacerlo más resistente.

En resumen, cada alumno tendrá un ejercicio único y diferente, lo que supone un mayor desafío en el modelado en 3D. En la figura 4 podemos ver diferentes resultados de los alumnos y un croquis de trabajo estudiando los momentos.

2.3. Objetivo 2: replicar la realidad (impresión 3d): impresión de los gemelos digitales de detalles metálicos desarrollados por los alumnos.

La introducción a la impresión 3D es el siguiente paso lógico para los estudiantes que han aprendido a modelar objetos. En lugar de solo crear diseños en un entorno virtual, ahora se les enseña cómo llevar esos diseños al mundo físico a través de la impresión 3D, esta metodología se está aplicando desde el laboratorio TAD3·Lab también en fines de grado con resultados muy satisfactorios (Pérez Sendín 2022, Pérez Sendín, Cruz Franco et al. 2022). Este proceso implica usar los modelos digitales que han creado y convertirlos en objetos tangibles que pueden sostener en sus manos. Este método de trabajo se ha desarrollado a partir de la experiencia profesional en el entorno de la restauración de los docentes (Cruz Franco, Rueda Márquez de la Plata et al. 2023).

La impresión 3D implica la creación de un objeto tridimensional a partir de un archivo digital. Los estudiantes son introducidos a los diferentes sistemas de impresión 3D. Específicamente en el aula se usa la impresora de resina SLA Form 2 y los programas de software que se utilizan para crear archivos imprimibles son 3D Builder de Microsoft y PreForm. Durante la jornada de iniciación a la impresión 3D, los estudiantes reciben una explicación detallada de cómo usar estos equipos. Se les enseña cómo ajustar las configuraciones de la impresora para lograr la calidad de impresión deseada y cómo preparar el modelo digital para la impresión (ver figura 5).

Al final de la clase, se espera que los estudiantes hayan creado un archivo imprimible que sacar en la impresora 3D. Esto implica que han aprendido a pensar en términos de diseño y fabricación, lo que puede ser una habilidad muy valiosa en el futuro. Además, los estudiantes pueden experimentar con diferentes diseños y materiales para crear objetos únicos que pueden utilizar en sus proyectos y presentaciones.

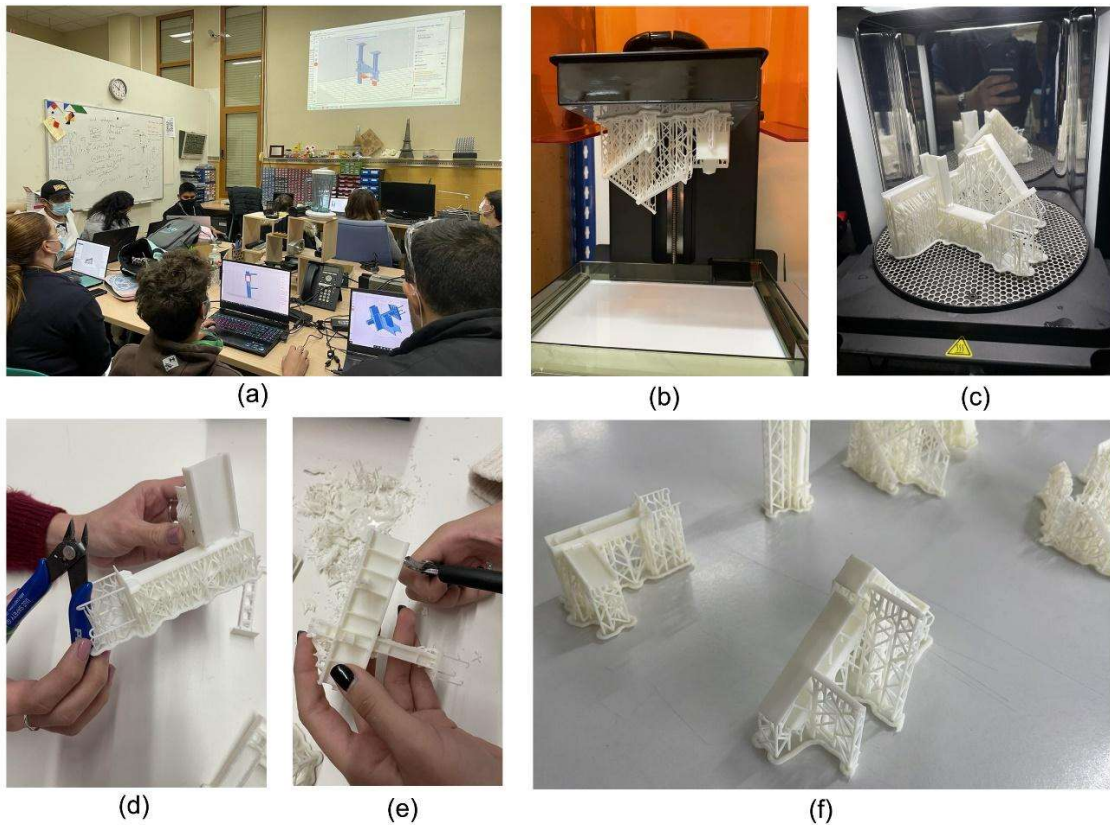


Figura 5. (a) Imagen de alumnos durante una clase de modelado (b) Proceso de impresión en FormLab 2 (c) Proceso de curado en CureForm (d)(e) Proceso de eliminación de soportes (f) Modelos impresos finales.

Fuente: Elaboración propia (Cruz Franco, Pablo, 2023)

2.4. Objetivo 3: Generar una biblioteca de detalles

Lo interesante de este hito es conseguir crear una asignatura que autogenera contenidos para los alumnos de los años próximos. Este objetivo está directamente relacionado con la introducción al modelado 3D y con la impresión 3D. Si los estudiantes pueden crear gemelos digitales de detalles constructivos y convertirlos en objetos físicos, entonces también pueden compartir estos diseños y modelos con otros estudiantes.

Para lograr este objetivo, se necesita una plataforma accesible desde la web que permita a los estudiantes compartir y interactuar con los modelos en 3D. Sketchfab es una plataforma (Fanini, Ferdani et al. 2021) que permite a los usuarios cargar, compartir y explorar modelos en 3D. Los gemelos digitales creados por los estudiantes pueden ser compartidos en Sketchfab y utilizados como recursos de la asignatura. Para ello solo necesitamos una dirección web que podemos facilitar a través del aula virtual o a través de códigos QR en apuntes de la asignatura (ver figura 6).

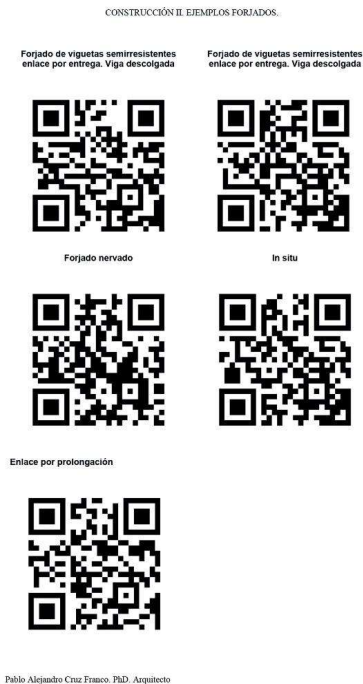


Figura 6. A la derecha hoja de trabajo entregada a los alumnos con QR para poder acceder a la biblioteca digital. A la izquierda pruebas de acceso con distintos dispositivos a los contenidos digitales.

Fuente: Elaboración propia (Cruz Franco, Pablo, 2023)

Los gemelos digitales de los detalles constructivos pueden ser utilizados para enseñar a otros estudiantes cómo crear modelos 3D y cómo imprimirlos en una impresora 3D. Los estudiantes pueden explorar los modelos de sus compañeros y aprender de ellos, lo que fomenta el trabajo en equipo y la colaboración.

Además, la utilización de la plataforma Sketchfab también permite a los estudiantes interactuar con otros modelos en 3D de otros makers. Pueden girarlos, acercarlos, examinarlos desde diferentes ángulos y explorar los detalles. Esto hace que el aprendizaje sea más interactivo y atractivo. Inclusive la vocación de esta biblioteca es que los alumnos se los puedan descargar e imprimir, lo cual genera todavía más interés en el estudiante.

En resumen, la creación de una asignatura que autogenera contenidos permite a los estudiantes compartir sus modelos en 3D con otros y aprender unos de otros.

2.5. Generar biblioteca de recursos educativos

El siguiente paso después de que los alumnos hayan generado sus contenidos en 3D y los hayan subido a Sketchfab es distribuirlos de manera organizada y estructurada. Para ello, es necesario organizar los modelos según las temáticas que se han trabajado en la asignatura.

Por ejemplo, si los alumnos han trabajado en el diseño y la fabricación de elementos metálicos, se pueden organizar los modelos según los diferentes tipos de elementos metálicos que han creado, como vigas, escaleras, barandillas, etc. De esta manera, los demás alumnos pueden acceder a los modelos relacionados con un tema específico y utilizarlos como recursos de la asignatura. En la figura 7 se ve un perfil diseñado por un alumno a partir del enunciado de la práctica. Los números que se aprecian nos sirven de leyenda gráfica del elemento.

Sin embargo, también es importante complementar los recursos generados por los alumnos con elementos más complejos y detallados, como forjados, pilares, entre otros. Esto permitirá a los estudiantes tener una visión más completa y detallada de la temática trabajada en la asignatura.

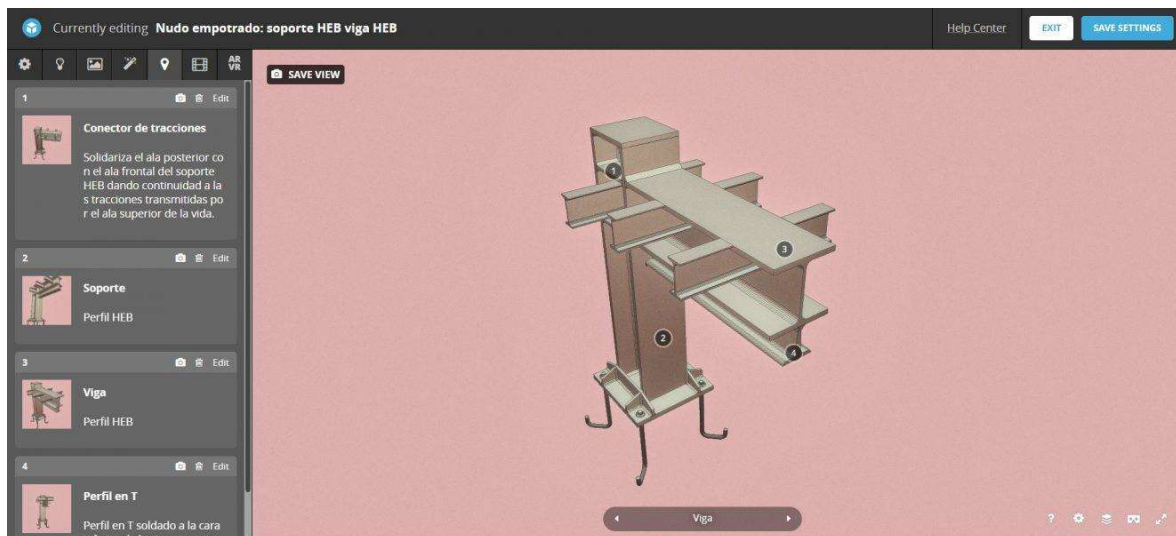


Figura 7. A la derecha hoja de trabajo entregada a los alumnos con QR para poder acceder a la biblioteca digital. A la izquierda pruebas de acceso con distintos dispositivos a los contenidos digitales.

3. Conclusiones

La adquisición de habilidades transversales de modelado e impresión implican que los alumnos han aprendido a pensar en términos de diseño y fabricación, lo que puede ser una habilidad muy valiosa en el futuro.

Que los alumnos incorporen habilidades transversales como es el modelado 3D hace que se impliquen más en la construcción a través de un conocimiento más dinámico. Estas habilidades son más afines a ellos y mejoran el aprendizaje. Además, incorporar estas habilidades transversales en asignaturas tempranas como es construcción es importante porque tienen el resto de la carrera para seguir desarrollándolas.

La utilización de la plataforma Sketchfab facilita este proceso al permitir a los estudiantes compartir y explorar modelos en 3D (Ramos Sánchez, Cruz Franco et al. 2022) (Alpala, Quiroga-Parra et al. 2022, Gómez Bernal 2022).

La distribución de los contenidos generados por los alumnos a través de Sketchfab y su organización por temáticas y temas permitirá a los estudiantes tener acceso a una amplia variedad de recursos de aprendizaje en 3D. Además, la utilización de modelos en 3D en la enseñanza permite una mayor comprensión y retención de los conceptos, ya que los estudiantes pueden interactuar con los modelos y visualizarlos desde diferentes ángulos.

La distribución y organización de los modelos generados por los alumnos a través de plataformas tipo sketchfab permite la creación de una biblioteca de recursos en 3D que los estudiantes pueden utilizar como apoyo en la asignatura. Además, la inclusión de elementos más complejos y detallados complementará los recursos generados por los alumnos y proporcionará a los estudiantes una visión más completa de los temas trabajados en la asignatura.

Referencias

- Alpala, L. O., et al. (2022). "Smart Factory Using Virtual Reality and Online Multi-User: Towards a Metaverse for Experimental Frameworks." *Applied Sciences* 12(12).
- Alves-Cardoso, F. and V. Campanacho (2022). "To Replicate, or Not to Replicate? The Creation, Use, and Dissemination of 3D Models of Human Remains: A Case Study from Portugal." *Heritage* 5(3): 1637-1658.

- Cruz Franco, P. A., et al. (2023). "Investigating a Workflow for Obtaining Physical Models from Digital Twins Obtained through Photogrammetry and TLS: New Ways for a Sustainable Dissemination of Heritage." *Applied Sciences* 13(2).
- Fanini, B., et al. (2021). "ATON: An Open-Source Framework for Creating Immersive, Collaborative and Liquid Web-Apps for Cultural Heritage." *Applied Sciences* 11(22).
- Gómez Bernal, E., Cruz Franco, Pablo Alejandro; Rueda Márquez de la Plata, Adela. (2022). Drones in architecture research: methodological application of the use of drones for the accessible intervention in a roman house in the Alcazaba of Mérida (Spain). D-SITE. Drines-Systems of Information on culTural hEritage. Pavia, Italy. 2.
- Using drones in the architecture field is very useful in terms of the dissemination of cultural heritage and a fundamental tool in order to reach universal accessibility in it.
- Thanks to the use of drones and advanced photogrammetry softwares we can make known our cultural heritage through interactive 3D models, virtual reality VR and augmented reality AR of these models and, even, mockups.
- This way, we can achieve that our cultural heritage, considered like one of our greatest attractions, reaches to all the society without limitations.
- Pérez Sendín, M. (2022). Prototipado físico a partir de gemelos digitales aplicado a la Torre de Bujaco. Construcción. Cáceres, Universidad de Extremadura. Grado en Edificación: 144.
- Pérez Sendín, M., et al. (2022). Physical prototyping of digital twins for the documentation, protection and dissemination of Heritage. X ReUSO, Oporto.
- Ramos Sánchez, J. A., et al. (2022). "Achieving Universal Accessibility through Remote Virtualization and Digitization of Complex Archaeological Features: A Graphic and Constructive Study of the Columbarios of Merida." *Remote Sensing* 14(14).
- Rueda Marquez de la Plata, A. (2016). El modelo constructivo: la influencia de la técnica en la teoría de la arquitectura (1840-1899). *Construcción y Tecnología Arquitectónica*. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Arquitectura: 473.
- Rueda Márquez de la Plata, A. and P. A. Cruz Franco (2022). "Analysis of the First Metallic Works That Represented a Geometric Innovation in Their Architectural Application: The Origin of the Architecture-Engineering Dichotomy." *Metals* 13(1).
- Rueda Márquez de la Plata, A., et al. (2023). "Applications of Virtual and Augmented Reality Technology to Teaching and Research in Construction and Its Graphic Expression." *Sustainability* 15(12).
- Salem, T. and M. Dragomir (2022). "Options for and Challenges of Employing Digital Twins in Construction Management." *Applied Sciences* 12(6).
- Urban Brotons, P. (2009). *CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS METALICAS*. Alicante.
- Yang, B., et al. (2022). "Digital Twins for Intelligent Green Buildings." *Buildings* 12(6).

Application of new technologies augmented reality (AR) and virtual reality (VR) to the teaching of technical subjects in systems.

Cruz Franco, Pablo Alejandro, Rueda Márquez de la Plata, Adela y Gómez Bernal, Elena

^a Universidad de Extremadura, Av. de la Universidad, s/n, Cáceres. pablocruzfranco@unex.es, adelarm@unex.es, egomezbe@alumnos.unex.es

Abstract

It is a reality that the education of technical degrees is evolving. These changes are the result of an application of the technologies available to teachers and of a generational renewal within the teaching staff that incorporates new skills, neither better nor worse, simply different and supplementary.

In this contribution, we show the experiences and the results obtained in the subject "Systems I" of the building degree of the University of Extremadura. Two lines of application of new technologies have been introduced in this field:

First of all, the three-dimensional modeling of hydraulic and sanitation installations has been incorporated into the syllabus through the use of parametric BIM applications that allow the visualization of the layout of this type of networks. In addition, this modeling is taught in a parallel way to the theoretical lessons (calculation of flow rates, pressure drops, measuring, etc...) to improve its understanding.

In second place, the use of augmented reality (AR) and virtual reality (VR) has been incorporated for the explanation of these water networks so that students can see how this type of networks are integrated into the architecture (walls, partitions, etc.).

It should be noted that the practical content of the course has not been reduced, maintaining the same number of problems to be solved by the students. In addition, the number of classes has not been increased and the time available has been optimized to the maximum. Transversal competences have been incorporated, such as the modeling of water systems and architecture, which has improved the spatial vision of the students in general and, in addition, it has improved the spatial understanding of the planning of this type of installations by the students.

Keywords: 3d construction modeling, Digital construction library, Digital twins, Physical twins

1. Introducción

1.1. Contexto de la evolución de las enseñanzas en titulaciones técnicas.

En la actualidad, estamos inmersos en una era de rápidos avances tecnológicos que están transformando la forma en que comprendemos y abordamos las asignaturas. En este contexto, la enseñanza de titulaciones técnicas, como es el grado de edificación en la Universidad de Extremadura, no es una excepción. El relevo generacional en el cuerpo docente ha traído consigo una renovación en las metodologías educativas, incorporando habilidades adaptadas a las nuevas tecnologías. Cada día, nuevos trabajos fin de grado redefinen las competencias y las habilidades de nuestros estudiantes, abriendo un universo de posibilidades del que sentirnos orgullosos como docentes y como institución (Gómez Bernal 2021, Ramos Sánchez 2021, Rodríguez Sánchez 2021, Pérez Sendín 2022).

La evolución de las nuevas tecnologías ha generado una marcada influencia en la forma en que los alumnos perciben, interactúan y aprenden (Araiza-Alba, Keane et al. 2021). Cada vez más, los estudiantes se encuentran inmersos en un entorno digital y son nativos digitales, lo que implica que su forma de comunicarse y procesar la información ha cambiado (ver figura 1). Como educadores, es fundamental adaptarnos a esta realidad y utilizar las nuevas herramientas tecnológicas, como la realidad aumentada (RA), realidad virtual (RV) y realidad mixta (RM), para establecer una comunicación efectiva con los alumnos (Freina and Ott 2015, Kim, Alshair et al. 2019, Garlinska, Osial et al. 2023).



Figura 1. Experiencias con VR y AR en trabajos fin de grado desarrollados en TAD3 Lab. 2º Premio en la quinta edición del concurso nacional de proyectos fin de grado de CGATE (Pérez Sendín 2022)

Fuente: Elaboración propia (2023)

La digitalización nos brinda la oportunidad de aprovechar estas herramientas de vanguardia para enriquecer la enseñanza y el aprendizaje. Al incorporar la RA, RV y RM en la asignatura de Instalaciones I, se potencia el vínculo entre el contenido teórico y su aplicación práctica, permitiendo a los estudiantes visualizar y comprender

de manera más dinámica y significativa los conceptos relacionados con las redes hidráulicas y su integración en la arquitectura.

Esta transformación en la forma de entender las asignaturas implica una reorientación de los métodos tradicionales de enseñanza hacia un enfoque más interactivo y experiencial. Al utilizar herramientas tecnológicas avanzadas, ver figura 2, no solo estamos adaptándonos al entorno digital en el que se desenvuelven los alumnos, sino que también estamos proporcionándoles una experiencia de aprendizaje más inmersiva y participativa (Rueda Márquez de la Plata, Cruz Franco et al. 2023).

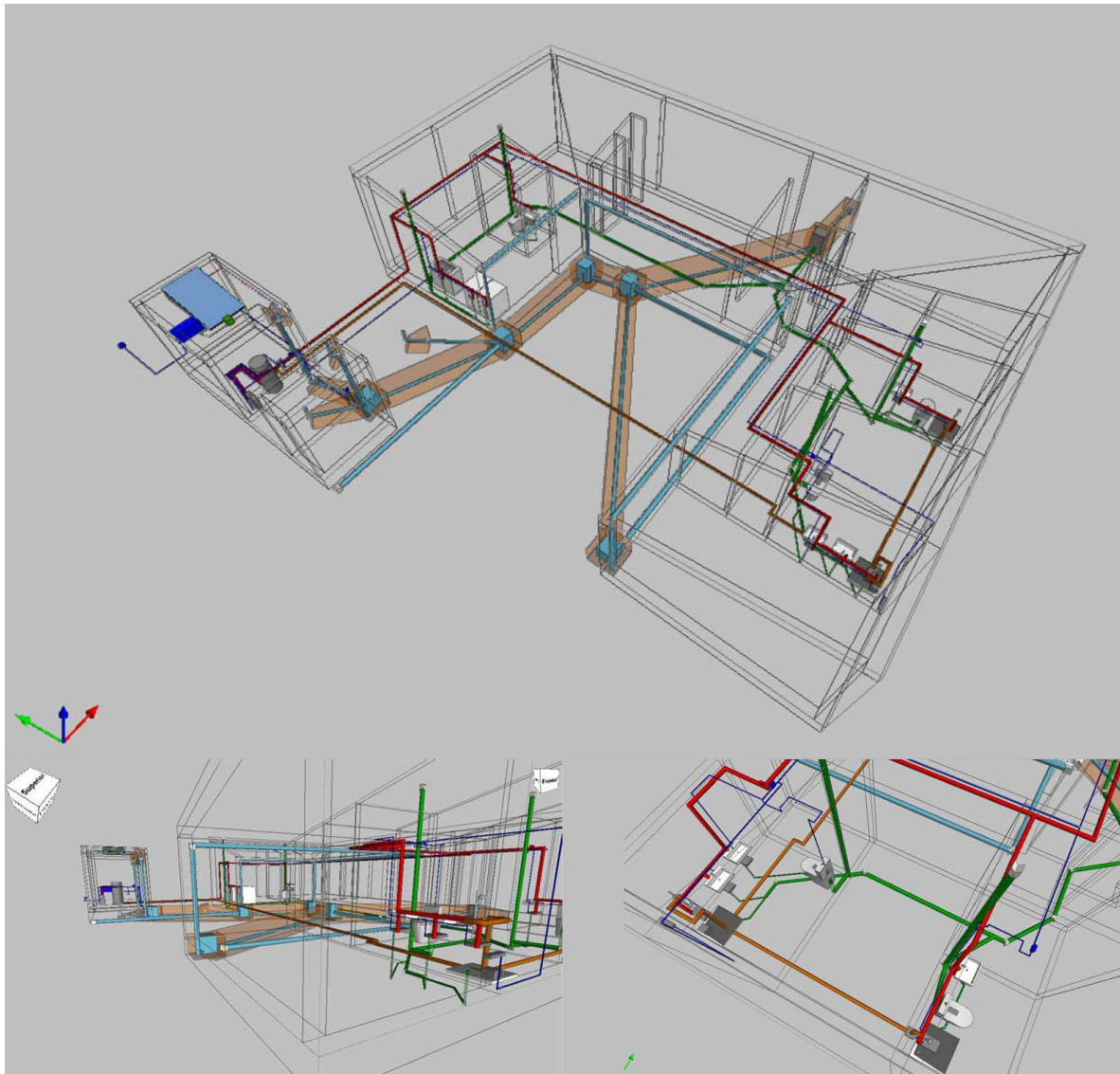


Figura 2. Ejemplo de instalaciones hidráulicas (suministro de agua, ACS, solar y saneamiento) modeladas mediante la metodología BIM (building information modelling) utilizadas y durante el transcurso de la asignatura instalaciones I de la UEx

Fuente: Elaboración propia (2023)

Es importante reconocer que la digitalización de la educación no solo se limita a la incorporación de nuevas tecnologías, sino que también implica una redefinición de la comunicación entre docentes y estudiantes. La utilización de AV, RV y RM nos permite establecer un diálogo más efectivo con los alumnos, ya que nos conectamos con ellos a través de los medios con los que están familiarizados y que les resultan más atractivos (Whisker, Yerrapathruni et al. 2003).

En resumen, el rápido avance de las tecnologías está cambiando la forma de entender las asignaturas en el ámbito educativo. Como docentes, debemos adaptarnos a esta realidad y utilizar las herramientas tecnológicas, como la RA, RV y RM, para proporcionar una experiencia de aprendizaje enriquecedora, acorde con el perfil digital de los alumnos y establecer una comunicación efectiva con ellos (Predescu, Caramihai et al. 2023).

1.2. Importancia de la aplicación de tecnologías y la renovación generacional en el profesorado.

La renovación generacional del profesorado trae consigo la incorporación de docentes que están familiarizados y tienen experiencia en el uso de las nuevas tecnologías. Estos profesionales son capaces de aprovechar al máximo las herramientas tecnológicas disponibles para enriquecer la enseñanza y el aprendizaje. Su conocimiento y dominio de las tecnologías digitales les permite implementar enfoques innovadores y utilizar recursos multimedia que fomentan la comprensión y la participación de los estudiantes.

La llegada de nuevos profesores con una perspectiva fresca y actualizada sobre la educación implica una renovación de las metodologías utilizadas en el aula. Estos profesionales suelen estar al tanto de las últimas tendencias pedagógicas y de las mejores prácticas en la integración de tecnología en la enseñanza. Como resultado, pueden aplicar enfoques más dinámicos, interactivos y orientados al estudiante, lo que contribuye a un aprendizaje más efectivo y significativo.

Esto no implica que debemos dejar de lado la experiencia de los viejos profesionales si no que debemos llegar a un término medio que combine experiencia con renovación generacional para obtener los mejores resultados con nuestros alumnos.

2. Experiencias en la asignatura de Instalaciones I

En la asignatura de Instalaciones I, se han llevado a cabo experiencias significativas que involucran el uso de la metodología BIM (Building Information Modelling) y el entorno de programas diseñados para instalaciones por CYPE integrados dentro del entorno BIM y el programa CYPE MEP (mechanical, electrical and plumbing), ver tabla 1. Estas experiencias se han realizado de manera paralela a los contenidos prácticos tradicionales, con el objetivo de enriquecer la comprensión de los alumnos sobre las instalaciones hidráulicas y su integración en el espacio arquitectónico al generar gemelos digitales de arquitecturas basadas en planimetría real (Baghalzadeh Shishehgarhaneh, Keivani et al. 2022, Cruz Franco, Rueda Márquez de la Plata et al. 2022). Existe una amplia bibliografía en este sentido que nos ha orientado, especialmente encontramos líneas de investigación muy enfocadas en la rehabilitación y conservación del patrimonio (Marra, Gerbino et al. 2021, Niccolucci, Felicetti et al. 2022, Selim, Jamhawi et al. 2022).

El uso de BIM en la asignatura implica el modelado tridimensional de diferentes tipos de instalaciones, como agua fría, agua caliente, energía solar y saneamiento. Mediante la utilización del programa CYPE MEP, los alumnos tienen la oportunidad de modelar ejercicios individuales a lo largo del curso y realizar una práctica final en grupo (ver figura 3). Este enfoque práctico permite a los estudiantes aplicar los conocimientos teóricos y comprender de manera más profunda los aspectos técnicos y espaciales de las instalaciones hidráulicas.

El programa CYPE MEP fue usado en primera instancia en el curso 2020-21 (ver tabla 1) pero fue descartado por no poder usarse de forma colaborativa por los alumnos. Este hecho hizo que los trabajos en grupo no se pudieran desarrollar de una forma correcta y esta competencia transversal no fuese desarrollada por los alumnos.

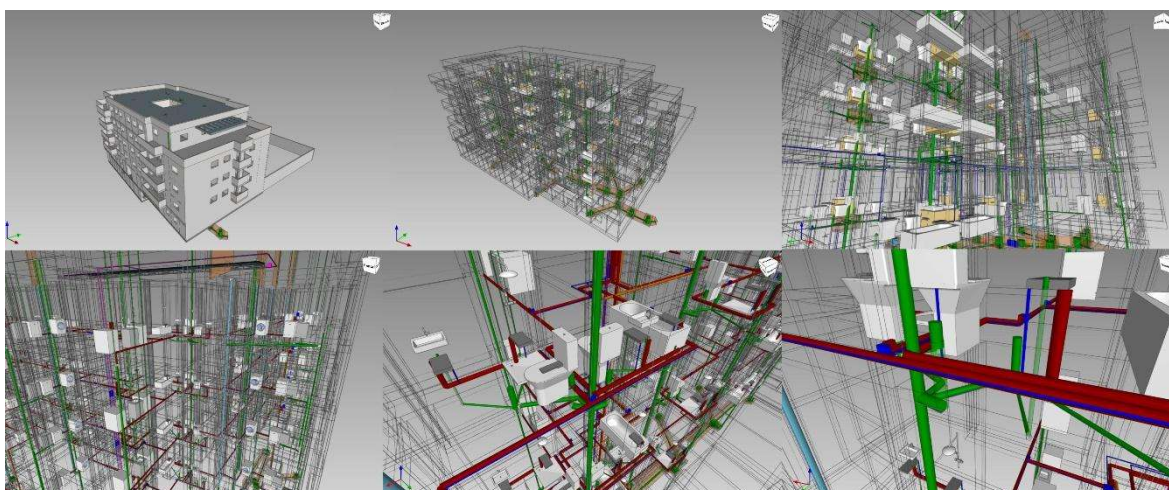


Figura 3. Modelos desarrollados por los alumnos durante el curso 2022-23. Fila superior alumno Sergio Martín Barroso. Fila inferior alumno Cesar Cotallo García.

Fuente: Elaboración propia a partir de los modelos de los alumnos (2023)

Uno de los beneficios clave del modelado tridimensional es que proporciona una representación visual y espacial de las instalaciones. Los estudiantes pueden ver cómo las diferentes redes de instalaciones se distribuyen en el espacio arquitectónico, permitiéndoles comprender mejor su relación con otros elementos de la construcción, como muros, particiones y estructuras. Esto ayuda a visualizar el recorrido de las tuberías y cables, identificar posibles interferencias y analizar la eficiencia y viabilidad de las soluciones propuestas (ver figura 2 y 3).

Tabla 1. Programas utilizados

Programas utilizados en la asignatura	Cursos usados	Capacidad de trabajo colaborativo
CYPE MEP	(1 cursos) 2020-2021	No
CYPEPLUMBING Water system	(2 cursos) 2021-2023	Sí
CYPEPLUMBING Sanitary system	(2 cursos) 2021-2023	Sí
CYPEPLUMBING Solar system	(2 cursos) 2021-2023	Sí
CYPEPLUMBING Water equipments	(1 cursos) 2022-2023	Sí
IFC builder	(2 cursos) 2021-2023	Sí
IFC uploader	(1 cursos) 2022-2023	Sí

Además, el modelado tridimensional también ofrece la posibilidad de interactuar con las instalaciones mediante la realidad virtual (RV) y realidad aumentada (RA). Mediante el uso de aplicaciones como BIM Server Cerver Virtual Reality, los estudiantes pueden sumergirse en un entorno virtual y explorar las instalaciones de manera inmersiva. Pueden caminar alrededor de los espacios modelados, examinar los detalles de las redes de tuberías y realizar simulaciones interactivas para comprender mejor su funcionamiento (Afzal and Shafiq 2021).

En resumen, podemos decir que la asignatura de Instalaciones I ha contado con dos líneas de innovación que desarrollamos a continuación: línea 1 el uso de BIM, CYPE MEP y línea 2 tecnologías de realidad virtual y aumentada. Estas dos líneas mejoran la comprensión de los alumnos sobre las instalaciones hidráulicas, permitiéndoles visualizar su ubicación en el espacio, identificar interferencias e interactuar con ellas de manera inmersiva. Estas experiencias prácticas y tecnológicas preparan a los estudiantes para los desafíos y demandas de la industria de la construcción moderna

3. Línea 1: Modelado tridimensional de instalaciones hidráulicas y de saneamiento

La línea 1 de trabajo se enfoca en el modelado tridimensional de instalaciones hidráulicas y de saneamiento utilizando aplicaciones paramétricas BIM. En este caso, se han utilizado varias herramientas de CYPE, como CYPE Plumbing Water System, CYPE Plumbing Solar System, CYPE Plumbing Sanitary System y FIC Builder.

El modelado tridimensional implica la creación de representaciones digitales detalladas de las instalaciones hidráulicas y de saneamiento, lo que permite visualizar su disposición en el espacio de manera precisa. Estas representaciones se basan en datos paramétricos, lo que significa que se pueden ajustar y modificar fácilmente según los requerimientos del proyecto.

En la asignatura, se proporciona a los estudiantes planimetría real de edificios existentes. A partir de esta planimetría, los alumnos desarrollan tanto el cascarón del edificio, es decir, la arquitectura básica, como la incorporación de las instalaciones hidráulicas. Utilizando las herramientas BIM mencionadas, los estudiantes pueden crear modelos tridimensionales precisos y detallados de las redes de tuberías y sistemas de saneamiento, de acuerdo con las características del edificio en cuestión.

Los beneficios de este enfoque paralelo a las lecciones teóricas son diversos:

Mejora de la comprensión: El uso de aplicaciones paramétricas BIM para el modelado tridimensional permite a los estudiantes visualizar las instalaciones hidráulicas y de saneamiento de manera realista y en contexto. Al trabajar con modelos virtuales, los alumnos pueden comprender mejor la relación entre las diferentes partes de las redes, cómo se interconectan y cómo interactúan con otros elementos del edificio.

Integración de conocimientos teóricos y prácticos: Al desarrollar el modelado tridimensional en paralelo a las lecciones teóricas, se fomenta una conexión directa entre la teoría y la práctica. Los estudiantes pueden aplicar los conceptos y principios aprendidos en clase a la creación de modelos digitales, lo que refuerza su comprensión y les brinda una experiencia práctica en el diseño de instalaciones.

Identificación y solución de problemas: El modelado tridimensional permite a los estudiantes identificar posibles interferencias o problemas de diseño en las instalaciones. Al trabajar con los modelos, pueden detectar colisiones, errores de dimensionamiento o conflictos espaciales, lo que les brinda la oportunidad de corregirlos y mejorar la calidad y eficiencia de las instalaciones.

Exploración de escenarios alternativos: La flexibilidad de las herramientas BIM permite a los estudiantes explorar diferentes escenarios y opciones de diseño. Pueden probar diferentes configuraciones de las redes de tuberías y sistemas de saneamiento, evaluar su viabilidad y comparar los resultados. Esto fomenta la creatividad y el pensamiento crítico, alentando a los estudiantes a encontrar soluciones innovadoras y eficientes.

En conclusión, el enfoque paralelo al aprendizaje teórico mediante el modelado tridimensional de instalaciones hidráulicas y de saneamiento con aplicaciones paramétricas BIM tiene múltiples beneficios. Mejora la comprensión de los estudiantes, integra conocimientos teóricos y prácticos, ayuda a identificar y solucionar problemas, y fomenta la exploración de diferentes escenarios. Este enfoque enriquece la experiencia educativa y prepara a los alumnos para enfrentar los desafíos del diseño y la construcción de instalaciones en el campo de la edificación.

4. Línea 2: Uso de realidad aumentada y realidad virtual para la explicación de redes hidráulicas

La línea 2 de trabajo se centra en el uso de realidad aumentada (RA) y realidad virtual (RV) para la explicación de las redes hidráulicas en la asignatura de Instalaciones I. Para llevar a cabo esta práctica, se han utilizado tecnologías como la realidad aumentada en el aula utilizando tabletas gráficas tipo IPAD (ver figura 4) o teléfonos móviles y la realidad virtual con el dispositivo Oculus Rift S.

La realidad aumentada se emplea para proporcionar explicaciones interactivas y en tiempo real de las redes hidráulicas. Mediante el uso de estos dispositivos, los alumnos pueden superponer elementos virtuales, como tuberías y conexiones, sobre su entorno físico. Esto les permite visualizar cómo se integran las redes hidráulicas

dentro de la arquitectura del edificio, como muros y particiones. Pueden explorar diferentes perspectivas y ángulos, lo que mejora su comprensión de las interconexiones y el trazado de las instalaciones.

Por otro lado, se utiliza la realidad virtual con el dispositivo Oculus Rift S para crear experiencias inmersivas. Los alumnos pueden sumergirse en un entorno virtual en 3D, donde pueden ver. Pueden caminar alrededor de las instalaciones y observar las tuberías desde un entorno controlado. Esta experiencia virtual les brinda una visión más realista y práctica de las redes, lo que facilita su comprensión y retención de conocimientos.

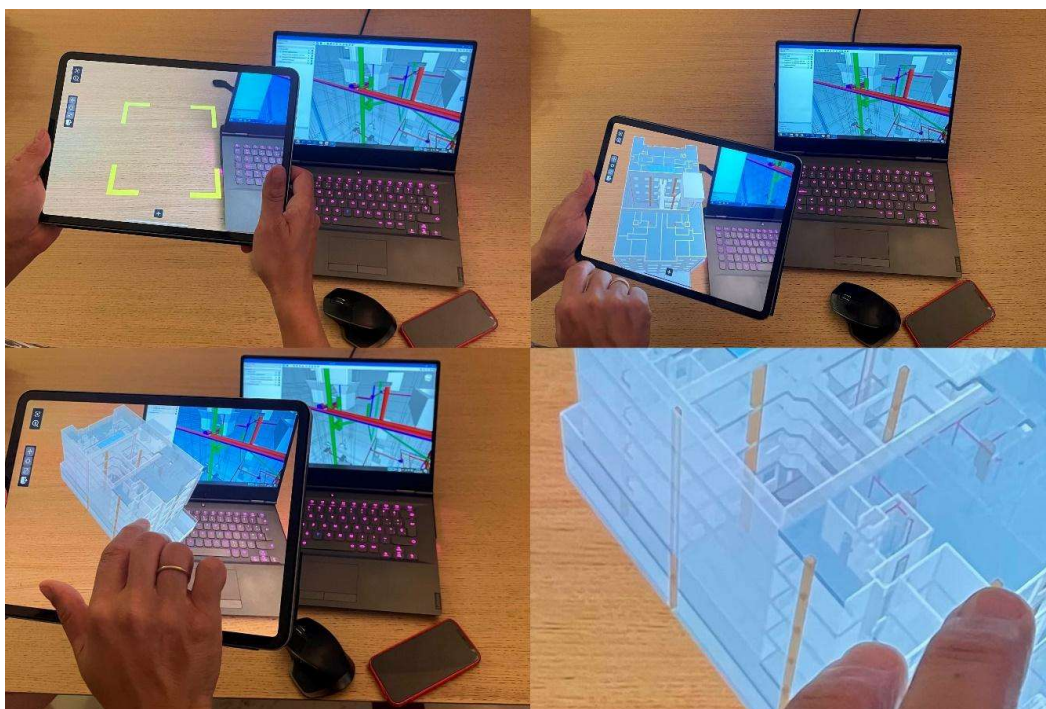


Figura 4. Secuencia de trabajo con un modelo desarrollado en el aula. Interactuando con realidad aumentada dentro del entorno BIMserver de CYPE.

Fuente: Elaboración propia (2023)

La combinación de realidad aumentada y realidad virtual en la explicación de las redes hidráulicas tiene varios beneficios:

Mejora de la visualización: La realidad aumentada y la realidad virtual permiten a los alumnos visualizar las redes hidráulicas de manera más precisa y realista. Pueden ver cómo las tuberías se entrelazan y cómo se conectan a otros componentes del edificio, lo que facilita la comprensión de la distribución y el trazado de las instalaciones.

Interacción y exploración activa: Con ambas tecnologías, los estudiantes pueden interactuar y explorar las redes hidráulicas de manera activa. Pueden examinar los componentes y realizar mediciones virtuales. Esto fomenta el aprendizaje basado en la acción y la experimentación, lo que resulta en una comprensión más profunda y significativa de las instalaciones hidráulicas.

Mayor motivación y participación: El uso de tecnologías de realidad aumentada y realidad virtual brinda una experiencia educativa más inmersiva y atractiva para los estudiantes. Estas tecnologías innovadoras captan su atención y despiertan su interés, lo que promueve una mayor motivación y participación en el proceso de aprendizaje.

Entorno seguro y controlado: La realidad virtual proporciona un entorno virtual seguro y controlado donde los alumnos pueden explorar las redes hidráulicas sin el riesgo de dañar equipos reales o los límites de seguridad y tiempo de acceder a una obra, aunque evidentemente en la actualidad no sustituyen una experiencia real, solo la complementan.

En resumen, el uso de realidad aumentada y realidad virtual en la explicación de las redes hidráulicas brinda a los estudiantes una experiencia de aprendizaje más inmersiva, interactiva y visualmente rica. Les permite comprender mejor la integración de las instalaciones en el contexto arquitectónico, interactuar con ellas y explorar diferentes escenarios. Estas tecnologías promueven una comprensión más profunda y una mayor motivación en el estudio de las instalaciones hidráulicas en la asignatura de Instalaciones I.



Figura 5. Imagen ficticia de una experiencia VR en el entorno BIMserver de CYPE: inspección de redes hidráulicas.

Fuente: Elaboración propia (2023)

5. Conclusiones y resultados

El enfoque de incorporar nuevas tecnologías en la asignatura de Instalaciones I ha permitido mantener el contenido práctico sin comprometer su calidad. Al contrario, ha simplificado la comprensión espacial de este tipo de instalaciones reduciendo tiempo que se usaba anteriormente para explicar diseño de circuitos, conceptos espaciales de pérdida de carga, interferencias de instalaciones con otras instalaciones, con arquitectura... Los estudiantes siguen resolviendo problemas y ejercicios relacionados con las instalaciones hidráulicas, el uso de estas herramientas es un complemento en su formación y como se muestra en la figura 5 puede implicar más a los alumnos al darle nuevas formas de visualizar las asignaturas.

El uso de herramientas como el modelado tridimensional y la realidad virtual ha enriquecido la experiencia práctica de los alumnos, brindándoles la oportunidad de interactuar y explorar las instalaciones de manera más realista y tangible. Además, estas tecnologías suponen acercarse a los alumnos desde una perspectiva diferente y más atractiva para ellos con el objetivo de captar su atención de forma eficaz.

Se han incorporado competencias transversales valiosas en el proceso de aprendizaje, como el modelado de instalaciones hidráulicas y la comprensión de la arquitectura y de cómo los circuitos hidráulicos en este caso se integran en ella.

Mediante el uso de herramientas de modelado tridimensional y experiencias de realidad virtual, los estudiantes han desarrollado una mayor capacidad para visualizar y comprender cómo se disponen las redes hidráulicas en el espacio, mejorando así su competencia en el diseño y la resolución de problemas relacionados con las instalaciones.

Mantener el contenido práctico, optimizar el tiempo, incorporar competencias transversales y mejorar la visión espacial de los alumnos han sido resultados positivos de este enfoque innovador.

La renovación generacional del profesorado también estimula la innovación y la creatividad en la enseñanza. Los nuevos profesores pueden aportar ideas frescas, perspectivas diversas y enfoques pedagógicos novedosos que enriquecen el proceso educativo. Su capacidad para pensar de manera innovadora y utilizar nuevas tecnologías como herramientas educativas fomentan un ambiente de aprendizaje estimulante, despierta el interés de los alumnos y posibilita relaciones más cercanas y afines.

Referencias

- Afzal, M. and M. T. Shafiq (2021). "Evaluating 4D-BIM and VR for Effective Safety Communication and Training: A Case Study of Multilingual Construction Job-Site Crew." *Buildings* 11(8).
- Araiza-Alba, P., et al. (2021). "Immersive virtual reality as a tool to learn problem-solving skills." *Computers & Education* 164: 104121.
- Baghalzadeh Shishehgharkhaneh, M., et al. (2022). "Internet of Things (IoT), Building Information Modeling (BIM), and Digital Twin (DT) in Construction Industry: A Review, Bibliometric, and Network Analysis." *Buildings* 12(10).
- Cruz Franco, P. A., et al. (2022). "Protocols for the Graphic and Constructive Diffusion of Digital Twins of the Architectural Heritage That Guarantee Universal Accessibility through AR and VR." *Applied Sciences* 12(17).
- Freina, L. and M. Ott (2015). A Literature Review on Immersive Virtual Reality in Education: State of the Art and Perspectives. 11th International Conference eLearning and Software for Education: 133-141.
- Garlinska, M., et al. (2023). "The Influence of Emerging Technologies on Distance Education." *Electronics* 12(7).
- Gómez Bernal, E. (2021). Levantamiento planimétrico y propuesta de accesibilidad en la casa romana de la Alcazaba de Mérida. Diseño Gráfico. Cáceres, Universidad de Extremadura. Grado en Edificación: 144.
- Kim, K., et al. (2019). "Using Immersive Augmented Reality to Assess the Effectiveness of Construction Safety Training." *Journal of Construction Engineering and Project Management* 9: 16-33.
- Marra, A., et al. (2021). "Combining Integrated Informative System and Historical Digital Twin for Maintenance and Preservation of Artistic Assets." *Sensors (Basel)* 21(17).
- Niccolucci, F., et al. (2022). "Populating the Data Space for Cultural Heritage with Heritage Digital Twins." *Data* 7(8).
- Pérez Sendín, M. (2022). Prototipado físico a partir de gemelos digitales aplicado a la Torre de Bujaco. Construcción. Cáceres, Universidad de Extremadura. Grado en Edificación: 144.
- Predescu, S.-L., et al. (2023). "Impact of VR Application in an Academic Context." *Applied Sciences* 13(8).
- Ramos Sánchez, J. A. (2021). Utilización de la Metodología BIM en la gestión del patrimonio arqueológico. Caso de estudio el recinto arqueológico de los llamados Columbarios de Merida. Construcción, Universidad de Extremadura: 179.
- Rodríguez Sánchez, C. (2021). Levantamiento y propuesta de accesibilidad en el jardín histórico de la Arguijuela de Arriba (Cáceres). Expresión Gráfica, Universidad de Extremadura. Graduado en edificación.
- Rueda Márquez de la Plata, A., et al. (2023). "Applications of Virtual and Augmented Reality Technology to Teaching and Research in Construction and Its Graphic Expression." *Sustainability* 15(12).
- Selim, G., et al. (2022). "The Virtual Living Museum: Integrating the Multi-Layered Histories and Cultural Practices of Gadara's Archaeology in Umm Qais, Jordan." *Sustainability* 14(11).
- Whisker, V., et al. (2003). Using Virtual Reality To Improve Construction Engineering Education.

Theoretical-practical training in safety at work at height for students of the degree in Building Engineering: the experience of the UCAM

Martínez Montesinos, Francisco José ^a, Rosa Roca, Nuria ^b y Segura Valera, José Enrique ^c

^a Universidad Católica de Murcia, fmmontesinos@ucam.edu, ^b Universidad Católica de Murcia, nrosa@ucam.edu, ^c Universidad Católica de Murcia, jesequera@ucam.edu

Abstract

It is essential for any building engineer to have specific training in safety at work at a height before beginning their professional career. And this is due to two main reasons: on the one hand, so that they contribute to the reduction of occupational accidents derived from falls from a height when involved in construction work, whatever their professional field; and on the other hand, to preserve their own physical integrity, since they will have access to different areas of work with a high risk of things falling, for which, in some cases, they must use specific individual protection which requires previous training.

At the Catholic University of Murcia (UCAM), we have worked on this specific training in safety at work at a height for two years, both within the course "Safety, Health and Prevention of Occupational Risks", and through the organization and delivery of a specific theoretical-practical seminar that is offered to students doing a degree in Building Engineering, among other degrees. For this, an external company specializing in safety at work at a height works in collaboration with us, in order to provide practical training, developing the student's practical training skills.

This report aims to raise awareness of the importance of Building Engineering students receiving this type of theoretical-practical training in safety at work at a height, and to tell the example of the Catholic University of Murcia in the implementation of actions taken to this end.

Keywords: Training, Safety, Work, Height

1. Introducción

Según datos del Ministerio de Trabajo y Economía Social, en el año 2022 se produjeron en España 26.115 accidentes laborales por caída a distinto nivel, teniendo 775 de ellos consecuencias graves, y resultando 73 mortales. Estas alarmantes cifras ponen de manifiesto que estamos ante un problema laboral y social de una importante magnitud, que viene arrastrándose desde hace años y que, de momento, parece lejos de estar en vías de solucionarse.

Muchos de estos accidentes por caídas en altura se producen en el sector de la construcción, y el arquitecto técnico / ingeniero de edificación, como profesional interviniente en obras, ya sea como personal responsable de empresa constructora, director facultativo o coordinador de seguridad y salud, puede contribuir de manera notable a la reducción de esta tipología de accidentes. También son muchos los accidentes por caídas en altura que se producen en otros sectores como el industrial o el fotovoltaico, donde el arquitecto técnico / ingeniero de edificación tiene cada vez más presencia. Por ello, es fundamental que disponga de formación específica en materia de seguridad en trabajos en altura, de forma que esté altamente concienciado respecto a los riesgos y dificultades que presentan este tipo de trabajos, y tenga conocimientos para exigir un alto nivel de rigurosidad en los procedimientos, equipos de trabajo y protecciones a utilizar durante los trabajos en altura. De manera complementaria y no menos importante, estos conocimientos son importantes también para su propia integridad física, al tener que acceder, en muchos casos, durante su día a día profesional, a zonas con riesgo de caída en las que, en algunos casos, deberá, incluso, utilizar protecciones individuales contra caídas que requieren de una formación teórico-práctica previa.

Por todo lo expuesto, en la Universidad Católica de Murcia (UCAM), llevamos desde hace años incidiendo especialmente en la formación específica en seguridad en trabajos en altura en el grado en Ingeniería de Edificación, tanto dentro de las asignaturas “Seguridad, Salud y Prevención de Riesgos Laborales” y “Estudios, Planes y Coordinación de Seguridad en Edificación”, de 4,5 ECTS cada una, como mediante la organización e impartición de un seminario específico teórico-práctico que se oferta a los alumnos. Para ello, se cuenta con la colaboración de una empresa externa especializada en seguridad en trabajos en altura (Proalt Ingeniería), que dispone de instalaciones equipadas para impartir formación práctica, donde los alumnos se desplazan para recibir la parte práctica de la formación.

2. Desarrollo / Metodología

Tal y como se indica en el apartado anterior de introducción, y una vez justificada la importancia de la formación en seguridad en trabajos en altura, se procede a explicar cómo se aborda esta formación en el grado en Ingeniería de Edificación de la UCAM.

2.1. Formación sobre seguridad en trabajos en altura en las asignaturas del grado en Ingeniería de Edificación

La formación en materia de seguridad en trabajos en altura que reciben los alumnos del grado en Ingeniería de Edificación de la UCAM, proviene, en primer lugar, de la asignatura “Seguridad, Salud y Prevención de Riesgos Laborales”, y que se ubica en el primer semestre del tercer curso. En dicha asignatura, los alumnos reciben formación, entre otras cuestiones, sobre:

- Equipos de protección individual contra caídas de altura
- Sistemas provisionales de protección de borde y redes de seguridad
- Andamios y plataformas elevadoras

Como refuerzo a lo explicado en la asignatura, se programa, en una de las últimas sesiones de clase, una conferencia de un profesional externo especialista en seguridad en trabajos en altura, que imparte una clase magistral sobre las caídas de altura y su prevención, y que incluye una parte práctica en la que los alumnos tienen la oportunidad de aprender a colocarse un arnés anticaídas y a palpar y manejar los distintos equipos que forman parte de un sistema anticaídas (dispositivos de anclaje, equipos de amarre, mosquetones, absorbedor de energía, dispositivo anticaídas retráctil, dispositivo anticaídas deslizante, etc.).

Durante las clases, y también en los exámenes, se realizan casos prácticos sobre seguridad en trabajos en altura. Se incluye, a continuación, un ejemplo de caso práctico:

- **Ejemplo de caso práctico de seguridad en trabajos en altura:**

Realiza un análisis crítico de la siguiente fotografía (figura 1), respondiendo a las siguientes cuestiones: ¿El trabajador hace un correcto uso de la protección individual contra caídas? ¿Por qué? ¿Cuál es el factor de caída aproximado? ¿Es adecuado ese factor de caída? ¿Por qué? ¿Cómo mejorarías el sistema anticaídas?



Figura 1. Ejemplo de caso práctico de sistema anticaídas

Fuente: autor

Posteriormente, en el segundo semestre del tercer curso, en la asignatura “Estudios, Planes y Coordinación de Seguridad en Edificación”, se ponen en práctica los conocimientos adquiridos en la asignatura anterior, aplicándolos en la redacción de estudios de seguridad y salud, en la revisión de planes de seguridad y salud, y en la actividad de coordinación de seguridad y salud.

Algunos ejemplos de esta puesta en práctica de los conocimientos previos adquiridos sobre seguridad en trabajos en altura, serían los siguientes:

- El trabajo de la asignatura consiste en la redacción de un Estudio de Seguridad y Salud. En dicho Estudio, los alumnos deben diseñar e incluir en la memoria, pliego de condiciones, mediciones y presupuesto y planos, las protecciones colectivas, así como los dispositivos de anclaje y líneas de vida necesarias, tanto para la ejecución de la obra, como para los trabajos posteriores de mantenimiento.
- Los alumnos deben, en prácticas de revisión de Planes de Seguridad y Salud, comprobar si la definición de protecciones colectivas e individuales para prevenir los riesgos de caída de altura es suficiente y adecuada, proponiendo, en un informe derivado de la revisión, las modificaciones a realizar en el documento para poder proceder a su aprobación.
- Se realizan también casos prácticos de coordinación de seguridad y salud, donde, los alumnos deben meterse en el papel del coordinador de seguridad y salud durante la ejecución de la obra, y plantear cómo procederían ante determinadas situaciones que se pueden detectar en una visita a la obra, por ejemplo, de deficiencias en materia de seguridad, como puede ser la ausencia de protecciones colectivas o individuales en unos trabajos con riesgo de caída de altura.

Se incluye, a continuación, un caso práctico de coordinación de seguridad y salud que tiene relación con la seguridad en trabajos en altura:

- **Ejemplo de caso práctico de coordinación de seguridad y salud sobre seguridad en trabajos en altura:**

Como Coordinador de Seguridad y Salud realizas una visita a tu obra, que está en fase de albañilería, y observas que se están realizando unos trabajos de colocación de solado en unos pasillos, con riesgo de caída a distinto nivel, de unos 3 metros de altura (figura 2). La barandilla metálica definitiva no se prevé colocarla hasta dentro de unas semanas. Se comprueba el Plan de Seguridad y Salud, y en el apartado de solados, no se hace referencia al riesgo de caída, ni, por tanto, se incluyen las medidas preventivas correspondientes. Todavía quedan varios pasillos similares donde hay que colocar el solado.

¿Cómo procederías? Indica todos los pasos a seguir hasta que la incidencia quede completamente subsanada, incluyendo la anotación o anotaciones a realizar en el libro de incidencias, de manera literal.



Figura 2. Ejemplo de caso práctico de coordinación de seguridad y salud
Fuente: autor

A lo largo del curso académico, es habitual también la programación de visitas a obras con un carácter formativo transversal, y en las que suelen coincidir los alumnos de los grados de Ingeniería de Edificación y de Arquitectura. En dichas visitas, la dirección facultativa de la obra explica a los alumnos “in situ” aspectos constructivos, de planificación, de calidad, económicos, etc. y también, por parte del coordinador de seguridad y salud, se comentan los aspectos preventivos, explicando las protecciones colectivas e individuales existentes en la obra el momento de la visita, de forma que los alumnos se puedan ir familiarizando con las mismas (figura 3).



Figura 3. Visita a obra realizada con alumnos
Fuente: autor

Con todo lo indicado, se considera que los alumnos obtienen un importante nivel de competencias en relación a la prevención del riesgo de caída de altura, que después podrán poner en práctica en su labor profesional.

2.2. Seminario teórico-práctico de seguridad en trabajos en altura

En el año 2020 se suscribió un convenio de colaboración entre la empresa Proalt Ingeniería y la UCAM, para la creación de la Cátedra Universitaria “Prevención de Riesgos Laborales para trabajos en altura y trabajos verticales”. Dicha cátedra tiene como finalidad la realización de actividades de investigación, transferencia, divulgación, docencia e innovación sobre la prevención de riesgos laborales en trabajos en altura.

En el ámbito de la Cátedra, se viene organizando e impartiendo anualmente, desde el curso 2020/2021, un seminario teórico-práctico de seguridad en trabajos en altura de 1 ECTS. El seminario está dividido en tres sesiones presenciales de 4 horas cada una. La primera sesión se realiza en un aula de la UCAM, mientras que las dos restantes se realizan en las instalaciones de la empresa Proalt Ingeniería. Los profesores que imparten el seminario son arquitectos, arquitectos técnicos e ingenieros de edificación especialistas en trabajos en altura.

Los contenidos que se imparten en el seminario son los siguientes:

SEMINARIO TEÓRICO-PRÁCTICO DE SEGURIDAD EN TRABAJO EN ALTURA

1ª SESIÓN: TEORÍA – 240 min.

1. PRESENTACIÓN – **30 min.**
2. MARCO NORMATIVO/LEGISLATIVO – **45 min.**
3. CAÍDAS DESDE ALTURA. CONCEPTOS GENERALES – **45 min.**
 - a. Factor de caída
 - b. Fuerza de choque
 - c. Distancia de caída y distancia de seguridad
 - d. Efecto péndulo
 - e. Síndrome del arnés
4. DESCANSO – **30 min.**
5. PROTECCIONES COLECTIVAS – **45 min.**
 - a. SISTEMAS PROVISIONALES DE PROTECCIÓN DE BORDE – SPPB (EN 13374)
 - b. REDES DE SEGURIDAD (EN 1263)
 - c. BARANDILLAS DE SEGURIDAD PERMANENTES (EN 14122-3)
 - d. PASARELAS Y SALTOS DE LOBO (EN 14122-2 y EN 14122-3)
 - e. ESCALERAS DE ACCESO VERTICAL PERMANENTES
6. SISTEMAS ANTICAÍDAS HORIZONTALES Y DISPOSITIVOS DE ANCLAJE, NORMA EN 795 – **45 min.**
 - a. Tipo A – Dispositivos de anclaje permanentes – Anclajes fijos
 - b. Tipo B – Dispositivos de anclaje transportables – Anclajes temporales
 - c. Tipo C – Líneas de anclaje flexibles – Líneas de vida horizontales
 - d. Tipo D – Raíles o carriles horizontales rígidos
 - e. Tipo E – Punto de anclaje por lastres - Pesos muertos

2ª SESIÓN: TEORÍA Y PRÁCTICA – 240 min.

1. **TEORÍA:**
 1. SISTEMAS ANTICAÍDAS VERTICALES, NORMA EN 353 – **15 min.**
 - a. Líneas de anclaje verticales rígidas – EN 353-1
 - i. Líneas de vida con cable de acero
 - ii. Carriles o raíles verticales
 - b. Líneas de anclaje flexibles – EN 353-2
 - i. Líneas de vida con cable de acero

ii. Líneas de vida con cuerda

2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUALES PARA TRABAJOS EN ALTURA – **45 min.**
 - a. Cinturones y arneses
 - b. Elementos de amarre con y sin absorbedor
 - c. Conectores
 - d. Cascos
 - e. Cuerdas
 - f. Dispositivos anticaídas verticales móviles
 - g. Dispositivos anticaídas retráctiles
 - h. Dispositivos de posicionamiento ajustables
 - i. Dispositivos para trabajos verticales: descensores, bloqueadores y anticaídas.
 - j. Material auxiliar
3. REVISIÓN Y MANTENIMIENTO DE EPI Y SISTEMAS ANTICAÍDAS – **15 min.**
 - a. Marco normativo
 - b. Tipos de revisiones:
 - i. Revisiones periódicas anuales
 - ii. Revisiones especiales
 - c. Documentación y fichas de revisión
 - d. Mantenimiento y conservación
4. DISPOSITIVOS DE RESCATE VERTICAL – **30 min**
 - a. Auto-rescate
 - b. Evacuación
 - c. Rescate asistido
 - d. Rescate profesional
5. DESCANSO – **30 min.**

2. **PRÁCTICA 105 min:**

6. COLOCACIÓN Y USO DE LOS EPI ANTICAÍDAS CATEGORÍA III
7. PROGRESIÓN POR ESTRUCTURAS METÁLICAS, TORRES Y ANTENAS
 - a. Progresión con eslingas de amarre
 - b. Progresión con dispositivos anticaídas móviles y retráctiles
 - c. Uso de la pértiga de anclaje
 - d. Progresión con aseguramiento asistido
8. UTILIZACIÓN DE ESCALERAS FIJAS - SISTEMAS ANTICAÍDAS VERTICALES
 - a. Progresión segura con elementos de amarre
 - b. Progresión con líneas de vida verticales
 - c. Progresión con dispositivos anticaídas móviles y retráctiles
9. COLOCACIÓN Y UTILIZACIÓN DE PUNTOS DE ANCLAJE TEMPORALES
10. REALIZACIÓN DE NUDOS

3ª SESIÓN: PRÁCTICA – 240 min

1. COLOCACIÓN Y UTILIZACIÓN DE ESCALERAS DE MANO CON SISTEMAS ANTICAÍDAS
2. LÍNEAS DE VIDA HORIZONTALES EN CUBIERTAS:
 - a. Uso correcto y seguro de las líneas de vida horizontales con y sin carro de traslación
 - b. Utilización de dispositivos anticaídas móviles y retráctiles asociados a líneas de vida horizontales
3. INTRODUCCIÓN A LOS TRABAJOS VERTICALES - SUSPENSIÓN Y ACCESO MEDIANTE CUERDAS:

- a. Ascenso y descenso por cuerda
4. INTRODUCCIÓN AL RESCATE VERTICAL Y EVACUACIÓN EN TRABAJOS EN ALTURA
 - a. Demostración práctica de varios supuestos de rescate y evacuación en diferentes tipos de trabajos en altura y verticales.
5. RUEGOS Y PREGUNTAS
6. VALORACIÓN Y CLAUSURA

Estas tres ediciones se han contado con 19, 18 y 21 alumnos. El perfil de los asistentes es variado. Además de alumnos del grado en Ingeniería de Edificación, se ha contado con alumnos del grado en Ingeniería Civil, Máster en Prevención de Riesgos Laborales, así como personas externas a la Universidad, principalmente arquitectos técnicos e ingenieros de edificación, así como profesionales de la prevención de riesgos laborales. Sin duda, el hecho de coincidir en el seminario tanto alumnos de la Universidad como profesionales externos, ha venido generando interesantes sinergias que han contribuido a un mejor aprovechamiento del mismo, especialmente de cara a los alumnos de la Universidad, que se han enriquecido de las aportaciones y visión práctica de los profesionales externos que ya vienen trabajando en el ámbito de la seguridad en los trabajos en altura. Para la evaluación del seminario se requiere a los alumnos la elaboración de un trabajo que incluya un resumen de los contenidos aprendidos.

A continuación, se incluyen tres fotografías de las diferentes sesiones del seminario (figuras 4, 5 y 6).



Figura 4. Sesión teórica del seminario
Fuente: Proalt Ingeniería

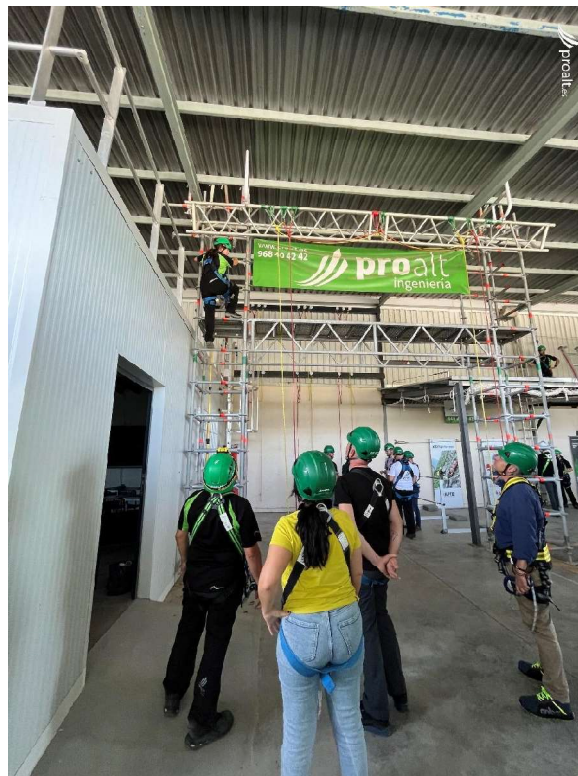


Figura 5. Sesión práctica del seminario. Progresión por estructuras metálicas
Fuente: Proalt Ingeniería



Figura 6. Sesión práctica del seminario. Trabajos verticales
Fuente: Proalt Ingeniería

3. Resultados y discusión

La formación en seguridad en trabajos en altura debería ser uno de los pilares fundamentales dentro de la formación en materia de prevención de riesgos laborales que reciben los alumnos de los grados que habilitan para el ejercicio de la arquitectura técnica (en la UCAM, grado en Ingeniería de Edificación).

Los profesionales que redactan estudios de seguridad y salud, revisan y aprueban planes de seguridad y salud, y ejercen la coordinación de seguridad y salud de obras, tienen una enorme responsabilidad de cara a garantizar que los trabajos en altura se realizan en condiciones adecuadas y con un estricto cumplimiento de la normativa de aplicación. Por ello, es necesario conocer en profundidad los distintos equipos y sistemas de protección individual y colectiva existentes, así como los criterios y limitaciones su utilización, para poder contribuir a garantizar la seguridad y salud de los trabajadores y prevenir los accidentes por caídas en altura.

Por todo ello, en la UCAM le damos un especial protagonismo al ámbito de la seguridad en trabajos en altura, dentro de las asignaturas de prevención de riesgos laborales del grado en Ingeniería de Edificación y, de manera complementaria, en las visitas que se realizan a obras, los alumnos pueden observar sobre el terreno las protecciones colectivas e individuales existentes. Adicionalmente, para los alumnos que quieran profundizar todavía más, se oferta un seminario teórico-práctico de 1 ECTS que recomendamos cursen todos los alumnos del grado, y que, en estos últimos 3 años, ha permitido a 58 personas ampliar sus conocimientos en esta materia y, lo más interesante, aplicar dichos conocimientos en su día a día profesional, contribuyendo a la prevención de los accidentes por caídas de altura.

4. Conclusiones

Las conclusiones que se pueden extraer de la presente comunicación, son:

- Los accidentes por caídas en altura constituyen una auténtica lacra social, y estos se producen principalmente en el sector de la construcción y en otros sectores donde interviene el arquitecto técnico / ingeniero de edificación.
- Es fundamental que los arquitectos técnicos / ingenieros de edificación dispongan de una formación específica adecuada en materia de seguridad en trabajos en altura.
- En el grado en Ingeniería de Edificación de la Universidad Católica de Murcia, se le da un especial protagonismo a esta formación en seguridad en trabajos en altura dentro de las asignaturas existentes en materia de prevención de riesgos laborales, también en las visitas a obra que se realizan, y se organiza e imparte anualmente un seminario teórico-práctico para profundizar todavía más en esta materia.
- Se anima a las distintas escuelas donde se imparten grados que habilitan para el ejercicio de la arquitectura técnica, a poner el foco en este ámbito de la prevención de riesgos laborales, si es que no lo hacen ya. De esa forma se contribuirá a generar un colectivo bien formado en materia de seguridad en trabajos en altura, lo que sin duda se traducirá en unos mayores niveles preventivos en las obras y resto de centros de trabajo en los que intervengan nuestros futuros egresados, reduciendo accidentes por caídas en altura y teniendo un impacto positivo en la sociedad.

Referencias

- Ministerio de Trabajo y Economía Social. Estadística de accidentes de trabajo. Datos avance enero-diciembre 2022. <https://www.mites.gob.es/estadisticas/eat/welcome.htm>, fecha de consulta 08/06/2023.
- Universidad Católica de Murcia. Plan de Estudios del grado en Ingeniería de Edificación. <https://www.ucam.edu/estudios/grados/ingenieria-edificacion-presencial/plan-de-estudios>, fecha de consulta 08/06/2023.

Case study based on experimental work in Building Materials subject

Masdeu, F.^a; Hormigos, S.^a; Carmona, C.^a; Muñoz, J.^a; Horrach, G.^a

^a Departament d'Enginyeria Industrial i Construcció, Universitat de les Illes Balears, Ctra. de Valldemossa, Km 7.5, E07122, Palma de Mallorca, francesc.masdeu@uib.es, susana.hormigos@uib.es, Cristian.carmona@uib.es, joan.munoz@uib.es, gabriel.horrach@uib.es

Abstract

Often, laboratory practice sessions in science and engineering subjects are based on obtaining experimental results from measurements, then making calculations, and finally presenting a written report. This method usually leads to the students ending up having a superficial view of the experiment they carry out. The maximum yield of the time invested in the experiment is not obtained.

Since a few years ago in the Building Materials subjects of the degree in Building at the University of the Balearic Islands they have added a practical case to the experimental work, in order to improve the level of understanding of the experimental results. The current approach consists of the students, in groups of three, carrying out experimental sessions and obtaining results on the mechanical, thermal or acoustic properties of construction materials. Then the teacher asks the students a list of questions. The first questions consist of making calculations about the experimental results. The rest of the questions are based on the application of these experimental results to a practical case on a constructive element that the students themselves choose. In this way, each student can assess more clearly if the properties obtained are adequate or inadequate for the purpose of the constructive element, then improving the critical criterion on the properties of the material. In addition, students must answer questions in which they are asked to compare their results with those of their classmates, thus acquiring a greater global vision of experimental work.

Finally, the students present orally, in front of their peers and the teacher, the contents of the practical case. The fact of having to present orally in front of the public motivates the students to know more deeply the contents of the practical case, compared to the fact of simply handing in a report to the teacher.

Keywords: Concrete, Mechanical properties, Porosity, Concrete dosage, Granulometric analysis

1. Introducción

Un método habitual de enfocar las prácticas de laboratorio consiste en realizar una práctica por parejas y realizar un breve informe. Este método es frecuentemente percibido por los alumnos como un método que no les permite entender en profundidad ni relacionar el contenido de la práctica con los contenidos trabajados en las clases de teoría y problemas (Sanchez, I. 2010) Por ello se intenta desarrollar nuevos enfoques de las prácticas con el fin de mejorar su eficiencia (Jiménez et al. 2019).

Durante el periodo de confinamiento a causa del COVID, los profesores de asignaturas con prácticas presenciales de laboratorio se vieron obligados a buscar alternativas no presenciales a dichas prácticas presenciales. Uno de los métodos fueron los Casos de estudio (Case Study) (Nkhoma et al. 2014; Villalobos-Gonzalez et al. 2022; Smith, PAC. 2007).

La elaboración de casos de estudio o casos prácticos permiten acercar los contenidos teóricos a la realidad constructiva o ingenieril (Du et al. 2013).

En el presente trabajo se pretende presentar una conjugación de conceptos teóricos vistos experimentalmente a través de prácticas de laboratorio con su aplicación práctica al ámbito de la edificación en una asignatura de Materiales de Construcción.

2. Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo es describir la experiencia obtenida mediante este método durante 5 cursos académicos de duración (2018-2023) de implantación de la metodología de los casos prácticos en la parte experimental de la asignatura de Materiales II. Los contenidos teóricos de la asignatura de Materiales II se refuerzan mediante la resolución de unas prácticas de laboratorio

Este método se lleva a cabo en varias asignaturas del Grado en Edificación de la Universitat de les Illes Balears. Las asignaturas son: Materiales I (del segundo semestre de primer curso) y Materiales III (del segundo semestre de segundo curso).

Por otra parte, por modo de presentación del trabajo, se pretende que los alumnos trabajen sus habilidades de comunicación oral, puesto que los resultados serán presentados en forma de exposición oral. (Huh et al. 2007)

Como objetivo secundario, pretenden identificarse líneas de mejora, sobre las que trabajar, para fortalecer un mayor número contenidos dentro del mismo número de horas de laboratorio de que se disponen, y también un beneficio que radique en el pensamiento crítico, el aprendizaje autónomo y el trabajo en equipo.

3. Metodología

La asignatura Materiales II que se cursa en el primer semestre del segundo curso del grado en Edificación de la Universitat de les Illes Balears presenta los contenidos indicados en la Tabla 1. Estos contenidos se trabajan mediante clases de teoría y resolución de problemas. Algunos de los contenidos o conceptos se entenderán mejor mediante la ejecución de prácticas de laboratorio en las que los alumnos puedan manipular los componentes del hormigón, y ver de primera mano sus propiedades.

Tabla 1. Contenidos temáticos de las asignaturas objeto de estudio

Contenidos de la asignatura Materiales I	
Bloque I	Bloque II
<p>1. Propiedades generales de los cerámicos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Propiedades mecánicas - Propiedades físicas - Propiedades químicas <p>2. Piedras naturales.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Clasificación y tipos. - Extracción y preparación - Propiedades físicas <p>3. Materiales conglomerantes I.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definición y clasificación - Yeso. Propiedades y clasificación - Cal. Propiedades y clasificación <p>4. Materiales conglomerantes II.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fabricación del cemento Portland - Formación del clinker Portland - Hidratación del cemento Portland - Otros cementos - Cementos naturales <p>5. Áridos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Clasificación y propiedades - Áridos en morteros. Granulometría - Áridos en hormigón. Granulometría - Designación de los áridos 	<p>6. Morteros.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fraguado y endurecimiento - Durabilidad - Propiedades - Clasificación y usos - Dosificación <p>7. Hormigón.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Introducción y clasificación - Componentes del hormigón - Clases de exposición ambiental <p>8. Propiedades del hormigón</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hormigón fresco - Propiedades físicas - Propiedades mecánicas <p>9. Dosificación del hormigón.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dosificación del hormigón fresco - Método de Fuller para mezclas de áridos - Métodos de dosificación De la Peña <p>10. Hormigones especiales.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hormigón de alta resistencia - Hormigón autocompactante - Hormigón reforzado con fibras - Hormigón con áridos ligeros <p>11. Durabilidad del hormigón</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ataques químicos - Ataques físicos

A partir de los contenidos se han planificado una serie de cuatro prácticas experimentales y una sesión de exposición y defensa del caso práctico. Estas prácticas se realizan en grupos de tres alumnos. Las sesiones experimentales se describen a continuación:

Sesión 1. Preparación de probetas para ensayos de compresión y flexión.

A cada uno de los quince grupos se le asigna una de las dosificaciones de la Tabla 2. Los alumnos prepararán tres probetas normalizadas de dimensiones 16x4x4 cm. Para ello deberán pesar las masas de cemento y árido

que se les indica, y se les indica que deben utilizar la menor cantidad de agua posible para poder dar lugar a una pasta de hormigón trabajable.



Figura 1. Elaboración de probetas de hormigón

Fuente: https://www.freepik.es/fotos-premium/mezcla-cemento-arena-balde-plastico_10940703.htm ,
<https://www.youtube.com/watch?v=bvvstnlTjd4>

Sesión 2. Estudio granulométrico de los áridos.

En esta práctica los alumnos realizan un análisis granulométrico con la serie básica de tamices del árido fino y del árido grueso que han utilizado en la práctica 1 para elaborar las probetas de mortero o hormigón. A partir de los resultados determinarán el tamaño mínimo-máximo d/D así como su módulo granulométrico.



Figura 2. Análisis granulométrico de áridos: tamices y fracciones obtenidas de cada tamaño de árido.

Fuente: Elaboración propia (2022)

Sesión 3. Ensayos mecánicos a compresión y flexión.

Mediante el uso de una máquina de ensayos Zwick-Z100 de los servicios científico-técnicos de la UIB se llevan a cabo los ensayos de resistencia a flexión y a compresión de las probetas preparadas en la sesión 1 de prácticas 28 días después de su elaboración. Mediante la máquina de ensayos obtienen la curva de esfuerzo (Newton) – alargamiento (mm). Los alumnos deberán convertir estos datos a Tensión (MPa) – deformación (adimensional). A partir de esta curva normalizada se obtiene el valor de resistencia mecánica y de módulo elástico en los modos de compresión y flexión.

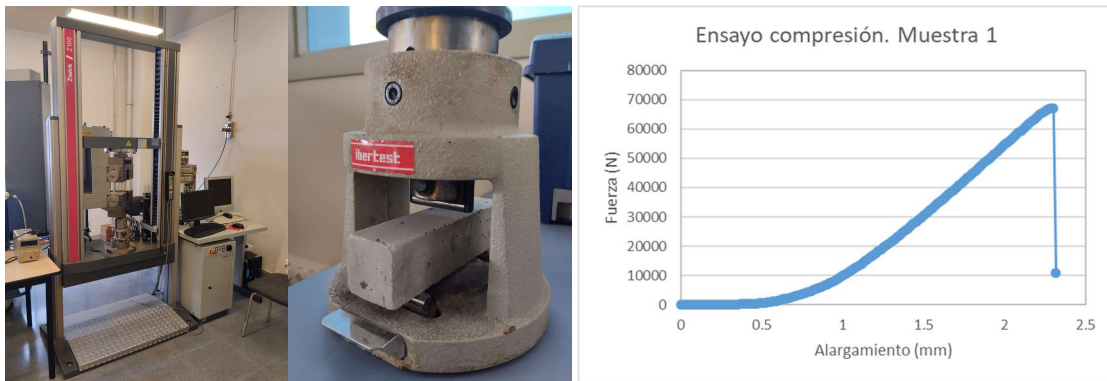


Figura 3. Ensayos mecánicos de compresión y flexión de las probetas de hormigón: equipo de medida y curva experimental fuerza-alargamiento en modo compresión.

Fuente: fuente propia (2022).

Sesión 4. Medidas de propiedades físicas: porosidad y ascenso por capilaridad.

Mediante el método de Arquímedes los alumnos determinarán el porcentaje de porosidad de las probetas que elaboraron en la sesión 1. Esta propiedad dependerá de la dosificación de cada muestra, así como de la relación de agua utilizada para preparar la pasta de hormigón. La porosidad es un parámetro que tiene una relación directa con la durabilidad del hormigón endurecido frente a los agentes físico-químicos a los que esté sometido el elemento de hormigón. Por otra parte, el ascenso por capilaridad es un parámetro también relacionado con la porosidad, así como de la permeabilidad, de un mortero u hormigón. El ascenso por capilaridad se determina colocando una probeta del material en un recipiente que contenga alrededor de un centímetro de agua, y pasada una hora (una vez estabilizado) se mide el punto más alto alcanzado por el agua. Como refleja la imagen de la figura 4, para la probeta de menor contenido de cemento (izquierda de la imagen) la ascensión por capilaridad alcanza una mayor altura que la probeta de mayor contenido de cemento (derecha de la imagen), puesto que al aumentar el contenido de cemento el hormigón resultará más compacto, es decir, menos poroso.



Figura 4. Ensayo de ascensión por capilaridad en muestras de diferente dosificación.

Fuente: fuente propia (2022).

Sesión 5. Exposición y defensa del caso práctico.

Para resolución del caso práctico, el profesor plantea 12 cuestiones que los alumnos deberán resolver. De estas 12 cuestiones, las 5 primeras consisten en resolver los datos experimentales de las cuatro primeras sesiones de laboratorio. En las últimas siete cuestiones, cada grupo de prácticas deben elegir un elemento estructural expuesto a una determinada clase de exposición ambiental. A partir de ahí los alumnos deberán discernir si el hormigón con la dosificación que han preparado alcanza o no para ser utilizado en ese elemento sometido a una determinada clase de exposición ambiental, de acuerdo con el Código Estructural. En el siguiente recuadro se muestra el listado de cuestiones que los alumnos deben responder.

Ejemplo enunciado Caso práctico

Determinar la granulometría del árido utilizado, así como el tamaño d/D.

Pedir a vuestros compañeros la granulometría del árido diferente al que analizasteis, y determinad que porcentaje de cada uno de los dos áridos se debería combinar para obtener una mezcla óptima según el método de Fuller. Representadlo gráficamente.

Calcular la densidad relativa y porosidad relativa del mortero u hormigón que elaborasteis.

A partir de los ensayos a compresión, determinad la resistencia mecánica y el módulo

4. Resultados

La tabla 2 muestra las dosificaciones para las diferentes muestras de hormigón, así como los resultados experimentales de las diferentes propiedades estudiadas durante el curso 2022-23. Indicar que las muestras 1-5 y 11-15 contienen arena como árido, mientras que las muestras 6-10 contienen una mezcla de arena y grava. Es importante destacar que los resultados experimentales de las propiedades mecánicas a compresión y a flexión són de elevada precisión. Por el contrario, los resultados experimentales de las propiedades físicas (porosidad y capilaridad) son de baja precisión, de modo que simplemente se puede ver la tendencia de cómo varía la propiedad al modificar la dosificación.

Tabla 2. Resultados experimentales de las prácticas

Muestra	Dosificación Cemento : agua	Floculación	Porosidad relativa (%)	Relación agua /cem ento	Ascensor capilaridad (cm)	Resistencia mecánica (MPa)		Módulo elástico (GPa)	
						Compresión	Flexión	Compresión	Flexión
1	1 : 2	No	4,76	0,44	3,4	47,5	6,89	1,16	0,57
2	1 : 4	No	2,33	0,68	4,4	32,3	6,36	0,956	0,49
3	1 : 8	No	12,5	1,34	3,6	14,2	4,05	0,78	0,10
4	1 : 2	Sí	2,34	0,40	2,5	58,3	7,46	1,27	0,97
5	1 : 8	Sí	7,8	1,04	2,5	19,7	5,59	0,80	0,70
6	1 : 2	No	1,8	0,56	4,5	56,2	10,2	1,26	0,95
7	1 : 4	No	5,94	0,65	2,7	40,4	8,03	1,13	0,24
8	1 : 8	No	8,2	0,96	4,0	19,1	4,77	0,90	0,42
9	1 : 2	Sí	2,0	0,96	5,0	60,0	7,27	1,24	1,02
10	1 : 8	Sí	5,85	0,80	2,8	22,7	5,41	0,92	0,48
11	1 : 2	No	1,15	0,41	3,6	51,3	7,80	1,18	1,16
12	1 : 4	No	4,3	0,74	4,3	27,6	8,64	1,04	1,70
13	1 : 8	No	11,0	1,19	4,5	13,6	4,7	0,34	0,27

14	1 : 2	Sí	2,14	0,42	6,0	53,1	9,33	1,19	0,95
15	1 : 4	Sí	3,42	0,48	4,0	18,8	4,37	0,88	0,27

Los alumnos, una semana antes de la presentación del caso práctico, deben entregar al profesor los resultados experimentales de su muestra que constan en la tabla 2. Disponiendo de la tabla completa, cada grupo de alumnos podrán comparar las propiedades (mecánicas, especialmente) del hormigón en su conjunto según:

- Diferentes dosificaciones (ejemplo: comparando las muestras 1-2-3)
- Efecto del uso de fluidificante (ejemplo: comparando las muestras 1-4 o 3-5)
- Efecto de los áridos (ejemplo: comparando las muestras 1-6, 2-7, 4-9)
- Efecto de la habilidad del operario (ejemplo: comparando las muestras 1-11, 2-12, 3-13)

Comparando las muestras 1, 2 y 3 que están formadas por los mismos componentes, pero con diferentes dosificaciones. Analizando los resultados de resistencia a compresión para estas tres probetas, se aprecia como para probeta 1 con alta dosificación de cemento (1:2) la resistencia a compresión es de 45,7 MPa, para una dosificación intermedia (1:4) la resistencia es de 32,3 MPa, y para una probeta da bajo contenido de cemento (1:8) es de 14,2 MPa. De este modo los alumnos podrán valorar el efecto de la relación cemento/árido en la resistencia mecánica de un hormigón.

Las probetas 1 y 4 poseen la misma dosificación y el mismo tipo de áridos. La diferencia reside en que la probeta 1 no contiene fluidificante y la probeta 4 sí lo contiene. La probeta 4, al contener fluidificante, requerirá una menor proporción de agua para poder obtener una pasta de hormigón trabajable. En consecuencia, el hormigón endurecido resultante será más compacto (menos poroso) lo que se traduce en una mayor resistencia mecánica a compresión y flexión, tal como reflejan los resultados experimentales. Para la probeta 1, sin fluidificante, la resistencia a compresión es de 45,7 MPa, mientras que para la probeta 4, con fluidificante, es de 58,3 MPa. De este modo los alumnos podrán valorar el efecto del uso o no uso de fluidificantes en la resistencia mecánica de un hormigón.

Las probetas 6-10 son las mismas que las de las probetas 1-5, la diferencia reside en el tipo de árido utilizado. En las probetas 1-5 se utiliza arena, mientras que en las probetas 6-10 se utiliza arena y grava. Comparando, las probetas 1 y 6, la resistencia mecánica de la probeta 1 es de 45,7 MPa, mientras que, al añadir grava, en la probeta 6, la resistencia a compresión asciende hasta 56,2 MPa. De este modo los alumnos podrán valorar el efecto del tipo de árido en la resistencia mecánica de un hormigón.

Finalmente, las probetas 11-15 son una réplica exacta de las probetas 1-5, simplemente cambia la "habilidad del operario" a la hora de preparar la pasta de hormigón fresco y de encofrar. Comparando las probetas 1 y 11, se ve como en la probeta 1 la resistencia es de 45,7 MPa, mientras que para la probeta 11 es de 51,3 MPa. Esto significa que la habilidad del operario, o lo que es lo mismo, el procesado a la hora de preparar la probeta de hormigón también afectará a la resistencia mecánica del hormigón endurecido.

6. Establiu una comparació de totes les propietats mesurades (resistència mecànica, mòdul elàstic, porositat, etc) de la vostra mostra amb la família de mostres que siguin comparables a les vostres mostres, així com un comparació general de tots els resultats. Extrageu conclusions.

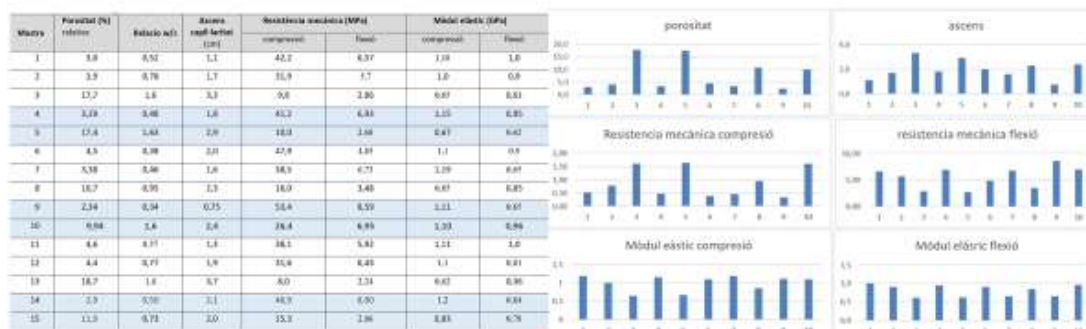


Figura 5. Diapositiva de la presentació oral de uno de los grupos de alumnos, en la que responden a la pregunta 6 del gui3n, comparando las propiedades de las probetas de diferente dosificaci3n. Fuente: fuente propia (2022).

De este modo los alumnos podr3n experimentar y valorar el efecto de cuatro variables diferentes en las propiedades mec3nicas del hormig3n endurecido. En los p3rrafos anteriores se ha comparado solamente la resistencia a compresi3n, pero la resistencia a flexi3n y los m3dulos el3sticos a compresi3n y flexi3n siguen exactamente la misma tendencia. Una vez analizados los resultados, los alumnos presentan oralmente sus conclusiones. En la figura 5 se muestra, a modo de ejemplo, una diapositiva de la presentaci3n de un grupo de alumnos en la comparan los resultados experimentales de las diferentes probetas estudiadas.

Se ha mostrado relevante disponer de instrumentos/m3todos experimentales de precisi3n, as3 como planificar (por parte del profesor) dosificaciones de hormig3n muy diferentes, con el objetivo de que exista una clara correlaci3n microestructura/dosificaci3n con las propiedades experimentales obtenidas. Si los alumnos no pueden extraer unas conclusiones claras, el poder educativo del m3todo pierde fuerza. En el primer a3o de pr3cticas, algunos instrumentos no eran de precisi3n suficiente, con lo que los alumnos tuvieron dificultades para extraer conclusiones claras.

La nota del Caso Pr3ctico representa un 20% de la calificaci3n final de la asignatura, pero el aprendizaje de los contenidos mediante el caso pr3ctico se extiende tambi3n en la resoluci3n de los ex3menes de los dos bloques de la asignatura. Mediante este formato de pr3cticas se logra trabajar contenidos de 8 de los 11 temas de la asignatura. Este hecho pone de relieve lo destacadas que son las pr3cticas dentro del aprendizaje de la asignatura. Existe siempre una buena correlaci3n seg3n la cual los alumnos que mejores calificaci3nes obtienen en el caso pr3ctico, obtienen tambi3n las mejores calificaci3nes en los ex3menes.

La exposici3n de las preguntas se reparte en cuatro preguntas para cada uno de los tres alumnos (1-4, 5-8 y 9-12). Justo antes del inicio de la exposici3n el profesor les indica a los alumnos cual ser3 el orden de exposici3n. De este modo se logra que cada uno de los alumnos deba conocer todo el trabajo realizado para as3 poder exponer con rigor. Se evita que los alumnos se repartan el trabajo y desconozcan las partes que no han elaborado.

Los comentarios en las encuestas de valoraci3n de la asignatura valoran muy positivamente el formato de las pr3cticas de laboratorio, donde las valoran como "lo mejor de la asignatura", "muy 3tiles para la compresi3n de algunos conceptos", etc.

Desde que la asignatura es impartida por el primer autor del presente artículo, entre 2018 y 2023, en cada curso la asignatura ha incorporado el formato de prácticas de laboratorio en forma de caso práctico descrito en el presente trabajo. De este modo, las evaluaciones de la asignatura por parte de los alumnos no permite valorar de modo cuantitativo la incidencia en la asignatura a criterio de los alumnos. En cualquier caso las evaluación durante estos cinco cursos han variado entre 9,1 y 9,6 sobre 10, en parte gracias al formato utilizado en las prácticas de laboratorio.

5. Conclusiones

Mediante el formato de práctica en modo caso práctico se logran diferentes objetivos docentes. En primer lugar, permite trabajar conceptos de la mayor parte de los temas tratados (8 de 11). Permite conocer, manipular y sentir los componentes del hormigón. Al preparar diferentes combinaciones de dosificaciones, los alumnos pueden comparar hasta cuatro parámetros diferentes que afectan a las propiedades físicas y mecánicas del hormigón. Se ha mostrado como muy relevante para un buen aprendizaje que es importante que probetas de dosificación diferente den lugar a propiedades manifiestamente diferentes. El modo de presentación del trabajo, en forma de exposición oral ante sus compañeros y profesor, les permite trabajar sus habilidades de comunicación oral. A parte, este formato de prácticas permite a los alumnos trabajar competencias transversales como aptitud para el trabajo en equipo, aprendizaje autónomo, resolución de problemas o aptitud para la toma de decisiones.

Referencias

- Du, GF; Li, CZ; Zhou, G. 2013. Practising case-based learning in oral medicine for dental students in China. *European Journal of dental Education* 17: 225-228.
- Huh, J; Lee, M; Chung, W. 2007. Evaluation of Checklist and Inter-Rater Agreement in Oral Case Presentation of Undergraduate Medical Students. *EWHA Medical Journal* 30: 47-52.
- Jiménez, D. Moranta, J. Torrens, L. Ferrer, J.A. Jurado-Rivera, C. Palomino, A. Borràs, R. Santamarta, S. Tejada, A. Sureda, F. Masdeu, M.M. Bibiloni. "A critical review of the organization, methodology and assessment in the first-year laboratory lectures of science and engineering degrees at the university of the balearic islands (spain)". *EDULEARN : 11th International Conference on Education and New Learning Technologies (2019)*. 1670-1677.
- Nkhoma, M; Sriratanaviriyakul, N; (...); Lam, TK. 2014. Examining the mediating role of learning engagement, learning process and learning experience on the learning outcomes through localized real case studies. *Educating ans Training* 56: 287-302.
- Sanchez, I. 2010. New methodologies for the teaching of materials science for geological engineers. *EDULEARN : 2nd International Conference on Education and New Learning Technologies (2010)*. 1670-1677.
- Smith, PAC. 2007. Case study: planning as learning. *Action Learning*. 4: 77-86.
- Villalobos-Gonzalez, W.; Mora-Barrantes, JC.; Hernandez-Chaverri, R.; Villalobos-Forbes, M. 2022. Evaluating the implementation of remote emergency teaching during the COVID-19 context: a case study in chemistry laboratory subjects in a higher education institution. *TECNOLOGIA EN MARCHA* 35: 272-285.

Entre investigación y docencia: registro de valores patrimoniales y medioambientales en la arquitectura de Jujol

Esquinas-Dessy, Jesús; Zaragoza, Isabel; Buill, Felipe y Mercade-Brullés, Juan

Universitat Politècnica de Catalunya, Av. Dr Marañón, 44, Barcelona, jesus.esquinas@upc.edu,
isabel.zaragoza@upc.edu, felipe.buill@upc.edu, juan.mercade@upc.edu.

Abstract

The objective of this communication is to analyse the development of a specific type of final projects of studies focused on concrete research lines, in order to assess to what extent the nature of these projects contributes to academic research that goes beyond mere familiarization with future professional needs.

It is evident that Final Studies Projects, whether at the undergraduate or master's level, are primarily developed to provide students with theoretical or practical experiences that prepare them for their future professional practice. However, there are many aspects of these projects that, as directed activities, can be focused and included within specific research lines under certain conditions. This includes defining objectives, developing strategies to achieve them, and mobilizing relevant human resources.

Our work focuses on recent experiences of directed activities over the past two years, with the academic support of the Catedra Jujol, as Final Studies Projects in Technical Architecture and Building at the Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona de la UPC. The communication offers a critical overview of the educational and research nature of the development and outcomes of several final projects concerning the challenges in the digital modeling or representation processes using "points of clouds" of some works, of great richness of forms, made by the architect Josep Maria Jujol (1879-1949).

Keywords: Cátedra Jujol_UPC, Representación arquitectónica, Patrimonio arquitectónico, Museo digital de arquitectura.

1. Introducción: Investigación, docencia y archivo del patrimonio en contextos académicos

El proyecto de digitalización de la obra del arquitecto Josep Maria Jujol es una investigación desarrollada en la UPC en una colaboración entre el profesorado, el estudiantado y, especialmente, la Catedra Jujol de la propia Universidad. Se enmarca en una iniciativa, iniciada por el profesor B. Meca en la EPSEB/UPC, de documentar gráficamente –de forma progresiva– el patrimonio arquitectónico histórico de Catalunya. Como resultado, se ha enriquecido un fondo gráfico que agrupado con el nombre de *Arxiu de Patrimoni Arquitectònic de Catalunya* se custodia en la biblioteca de la EPSEB. Parte de las investigaciones han recibido apoyo puntual del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya y del Grupo de Investigación en Edificación y Patrimonio (GREIP) de la UPC.

La interpretación tecnológica del patrimonio edificado y su integración en el territorio urbano es uno de los objetivos principales de investigación declarados por el grupo **GREIP/UPC**. Plantea una primera línea orientada al levantamiento gráfico del patrimonio arquitectónico construido mediante técnicas de representación diversas y con aplicación de las últimas tecnologías; una segunda línea, de Catalogación del patrimonio arquitectónico construido en base a la memoria histórica y a las técnicas de representación utilizadas; y una tercera línea, centrada en la difusión del patrimonio arquitectónico construido mediante herramientas TIC.

Complementariamente, la Cátedra Jujol nace en el 2021 de la mano del doctor arquitecto Juan Mercadé, en el departamento de Representación Arquitectónica de la UPC, con la intención de fomentar la investigación y difusión de la polifacética figura de Josep Maria Jujol (1879-1949). Jujol fue un artista, diseñador y maestro de maestros, considerado como uno de los arquitectos más creativos del siglo pasado y precursor de corrientes artísticas que, además, desarrolló una singular práctica arquitectónica.

Al igual que otros autores del Modernismo, su figura ha sido eclipsada por la omnipresente obra de Gaudí. La Catedra Jujol considera que su práctica arquitectónica y artística basada en valores estrechamente vinculados al territorio con medios económicos mínimos, de reciclaje de recursos, en de una actitud muy actual, que necesita mayor difusión. Por ello, la Cátedra además de pretender convertirse en un **museo-archivo digital** de la obra jujoliana, participa asiduamente en actividades docentes de la propia universidad o de otras.

Como referente internacional de archivos especializados, citar la experiencia del proyecto de documentación para la representación digital de la Villa Adriana en Tivoli. Se trata de una iniciativa promovida por el Laboratorio Conjunto Universidad y Empresa (Bertocci, Parrinello, 2017).

En este contexto colaborativo de tratar de continuar con el registro gráfico del patrimonio edificado, la Catedra Jujol ha sido clave en activar la focalización de los levantamientos alrededor de la obra de Josep Maria Jujol. Y así, aportar una oportunidad para evaluar las capacidades de las nuevas tecnologías para registrar mediante expresión gráfica arquitectónica unas arquitecturas históricas especialmente singulares por sus fragmentadas volumetrías y con paramentos enriquecidos con infinidad de tratamientos artísticos en sus superficies (fig.1).



Figura1. Techo de la escalera de Can Negre (Sant Joan Despí)
Fuente: Elaboración propia (2023)

Asimismo, se pretende que toda esta actividad investigadora sea susceptible de “favorecer la colaboración y el intercambio de experiencias exitosas [...] entre el profesorado de las distintas escuelas” tal como propugnaban Bosch y Rosell (2021) en un ámbito tan próximo como es la diagnosis y rehabilitación en edificación, y que ha de servir de base a futuras investigaciones compartidas de mayor escala, ya sea a nivel de Máster, tesinas de grado o de Tesis doctorales.

2. Valores de riqueza formal y medioambiental en la obra de Josep Maria Jujol

Para comprender el alcance de la singular obra de Jujol, como referente de creatividad arquitectónica, desde un planteamiento artístico, nos ayudaremos de la cita textual “el método de Jujol, su aparentemente personalísima forma de actuar en la que la arquitectura se mezcla con disciplinas como el dibujo, la pintura, la escultura, la artesanía y todas las modalidades del diseño, presentando en realidad importantes coincidencias con la de otros autores contemporáneos” (Mercadé, 2019).

Durante la primera mitad del siglo XX, la formación de los arquitectos en Barcelona a diferencia de lo que se enseñaba en el resto del estado se caracterizaba por la confianza que se otorgaba al dibujo como esencia de ideación arquitectónica (Bambó, 2020, 386). En esta singularidad, la figura de Jujol como profesor de dibujo tiene un papel esencial. Despertaba gran admiración entre sus estudiantes su extraordinaria habilidad con el trazo (Mercade, 2019), que pedagógicamente compensaba sobradamente una cierta parquedad en sus explicaciones verbales (Periel, 1988, 33). Estas habilidades de Jujol como dibujante se reflejaban en una obra con ejemplos de gran exuberancia formal y evocativa.

En las últimas décadas el reconocimiento de la obra de Jujol ha despertado un interés creciente, hasta llegar en los últimos años a ser casi un referente imprescindible en cualquier artículo de reflexión arquitectónica contemporánea de la arquitectura española como se constata en el reciente número de la revista *Quaderns* (num. 273, 2022).

Como ha sucedido en muchos casos en el mundo del arte, el reconocimiento de una obra artística llega una vez ya desaparecido su autor, especialmente cuando la obra es avanzada a su tiempo o se ha desarrollado al margen de las corrientes culturales dominantes del momento. En 1974, Carlos Flores (1974, 19), al prologar un catálogo de una primera exposición sobre Jujol, enumeraba una serie de circunstancias que pese a ellas, le hacía escribir que “[...] no han logrado impedir que empiece a valorarse ya toda su capacidad y talento, aunque si retrasaron este conocimiento y reconocimiento de su innegable grandeza”

Quince años después, Oriol Bohigas (1988, 29) recordaba su insistencia de años en explicitar su admiración por la capacidad creativa de Jujol, y le lleva a calificarlo como “uno de los arquitectos más interesantes del siglo XX”. Más recientemente, en una entrevista, Bohigas manifiesta la relevancia que otorgaba a la arquitectura de Jujol: “Yo diría que todos o la mayoría que fuimos alumnos suyos, tenemos a Jujol en la máxima consideración como dibujante, profesor de dibujo, artista y arquitecto” (Mercadé, 2019, 108)

Así pues, a partir de los años 70, el valor de la obra de Jujol empieza a adquirir un interés creciente por su relación con las inquietudes arquitectónicas de ese momento. Los ásperos debates críticos en los CIAM reflejaban un agotamiento de los planteamientos meramente funcionalistas dominantes en la arquitectura moderna hasta ese momento. Yendo más allá, sobre la arquitectura de los años setenta Helio Piñón (1998,70) la interpretaba “[...] de modo que, tras una década de sequía y austeridad con las que en Europa Occidental se celebró el “reencuentro” con la técnica, fue adquiriendo una relevancia decisiva la imaginación como atributo de la arquitectura.”. En esa búsqueda de referentes próximos de arquitecturas con el atributo de imaginación algunas miradas se fijaron en la obra singular y sorprendente de Jujol.

Sobre la obra de Jujol Ignasi de Sola-Morales (1988, 12) identifica: “Lo que confiere un interés casi único a este limitado conjunto de dibujos, objetos y edificios que aún se conservan, más mal que bien, es su significado de trabajo en los límites”. Esta condición de trabajo en los límites es lo que aporta a la obra de Jujol un valor significativo de estudio, casi único, dentro de la obra modernista y en consecuencia en el patrimonio arquitectónico y por ello, la hace idónea como muestra de investigación para observar más claramente las circunstancias que afectan a representar ese tipo de arquitectura histórica, caracterizada por su exuberancia formal.

Actualmente el interés por la obra de Jujol no ha decaído. Recientemente, se leyó una tesis doctoral sobre la obra de Josep Maria Jujol (Mercade, 2019). Y aún más recientemente, en ese interés renovado por la imaginación como atributo de la arquitectura, Llopis (2022, 286) apreciaba en Jujol una arquitectura imaginativa y sorprendente que surgía de idearla con un dibujo libre, escribía: “Jujol dibujaba como construía”.

Así pues, el trabajar con una arquitectura que trabaja en los límites y que despierta un interés actual le aporta una relevancia especial a la obra de Jujol como muestra de análisis por esa singularidad como valor extremo que seguro ha de manifestar más claramente cualquier particularidad de esa arquitectura modernista. En definitiva, si se puede representar digitalmente la obra extrema de Jujol, se puede representar digitalmente cualquier obra del modernismo.

3. Planteamientos investigadores en trabajos finales de estudio

Los TFG, en general se entienden como una actividad dirigida que ha de aportar una experiencia al estudiante de carácter teórico o práctico que lo aproxime a su inminente actividad laboral. Ahora bien, se puede ir más allá de ese mero enfoque pedagógico, ya que existen muchos aspectos de los TFG que bajo condiciones concretas pueden ser enfocadas e incluidas en líneas de investigación determinadas, en términos de definición de objetivos, elaboración de estrategias para conseguirlo o de movilización de los recursos humanos pertinentes.

En este sentido de trabajar con objetivos claros en la nueva línea de investigación, se seleccionaron intencionadamente un par de edificios catalogados de la obra de Jujol.

3.1. Caso de estudio A: Capilla de Mas Carreras en Roda de Berà.

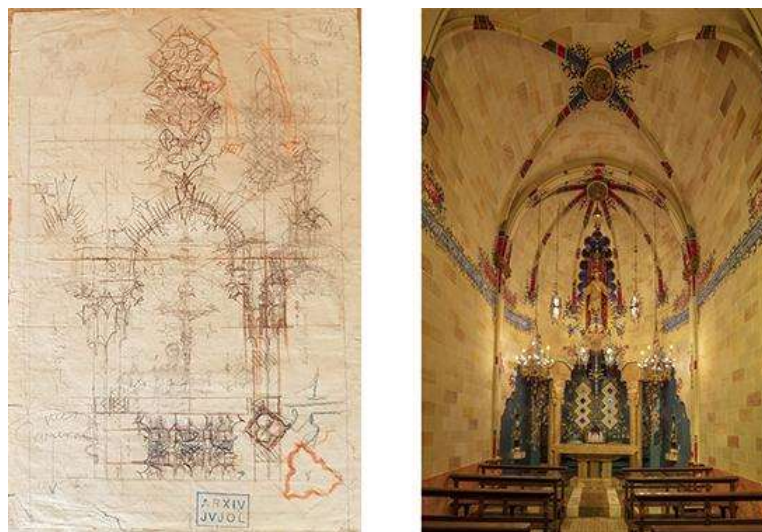


Figura 2. Dibujo de ideación de Jujol (© Arxiu Jujol) y fotografía del altar de la Capilla de Mas Carreras (Roda de Berà) (© López Monné, cortesía de J. Buqueras)

Fuente: Elaboración propia (2022)

En este caso, tras conversaciones previas entre un tutor de TFGs y el director de la Catedra Jujol, se ofreció al estudiantado la Capilla de Mas Carreras como una línea de actividades de investigación vinculada a la Catedra Jujol, planteada para enriquecer sus fondos gráficos y, a la vez, enriquecer los fondos gráficos de APAC con representaciones de alta precisión proyectadas por el arquitecto Jujol. Se proponía la Capilla de Mas Carreras de Roda de Berà por una monumentalidad asequible de sus volumetrías, la inexistencia de documentación digital, por las facilidades de acceso que tenía y porque, además, aun se podía contactar con un testigo de las obras.

El caso de las obras en capillas de Jujol, de gran riqueza formal, y de volúmenes de cierta escala monumental es un buen ejemplo a estudiar en la línea de la representación arquitectónica. En este sentido, parecía de interés explorar y comentar algunas vicisitudes en los procesos de moldeado o representación digital del caso concreto de la capilla de Mas Carreras.

La intervención de Jujol consistió en eliminar la sacristía, un refuerzo estructural y trabajos de tratamiento plástico de los paramentos como los de escritura en latín realizados personalmente por el arquitecto, así como el diseño de bancos o candelabros

3.2. Caso de estudio B: la Torre Jujol en Sant Joan Despí.

En el segundo caso, se ofreció desarrollar una representación digital del levantamiento arquitectónico de un edificio del patrimonio histórico, con el objetivo claro de añadir al Arxiu de Patrimoni Arquitectonic de Catalunya representaciones de alta precisión aprovechando las ventajas de las nuevas tecnologías. Hubo varios estudiantes interesados. Se contactó con la recién creada Catedra Jujol para conocer sus sugerencias para centrarse esta vez en un ejemplo de escala más doméstica. El Doctor J. Mercadé recomendó la Torre Jujol (1925) de Sant Joan Despí por la falta de documentación digital y por las facilidades de acceso que tenía.



Figura 3. Información previa: Plano de Jujol y fotografía antigua de la Torre Jujol en Sant Joan Despí
Fuente: Archivo M. Ruf (2022)

Se trata de una casa proyectada para formar dos viviendas, promovida por el propio arquitecto para su uso.

Se proponía trabajar con tecnología de levantamientos laser de alta precisión para generar nubes de puntos en 3D con la idea de procesarlos y editarlos en formatos de planos digitales (dentro de metodologías BIM).

En ambas ofertas se sugería, a modo de estudio del arte, consultar los documentos del fondo grafico de APAC como ejemplos gráficos. Un factor básico era la obtención de los datos de levantamientos láser (nubes de punto), de entrada, se contaba con desarrollar nubes de puntos de las administraciones públicas, pero no tenían, lo que supuso la movilización de un técnico en el funcionamiento de estaciones totales laser.

En definitiva, el objetivo principal de estas exploraciones graficas es participar en un banco de datos digital que proporcione información, lo más exacta posible, de las características físicas de edificios históricos de nuestro patrimonio arquitectónico.

4. De la toma de datos a la elaboración de planos

Sobre la complejidad de representar la exuberante arquitectura de Jujol, Solà-Morales (1989) ya señalaba la “enorme limitación que planos, dibujos y fotografías tienen para reproducir esta arquitectura”.

La diversidad de acciones que requiere conseguir el documento gráfico sobre un edificio existente, en cierta manera se trataría de un prototipo, aconseja establecer previamente una estrategia y, después, movilizar unos recursos humanos y técnicos concretos.

En este sentido, La estrategia para desarrollar la investigación se plantea diferenciada en tres fases:

- fase 1: toma de datos necesarios para organizar y plantear el proyecto
- fase 2: trabajo de campo
- fase 3: realización de proyecto de representación arquitectónica (puesta a escala del levantamiento)

En cada fase se ha definido con acciones muy determinadas y particulares, en cierta manera exclusiva de cada una. Asimismo, en cada fase, se ha observado la utilidad de disponer de unos recursos técnicos y humanos muy concretos.

4.1. Caso de estudio A: Capilla de Mas Carreras en Roda de Berà (Tarragona)

4.1.1. Búsqueda de documentación.

Después de cerciorarse de que no existía documentación sobre la obra en el ayuntamiento, el estudiante elaboró el plano de emplazamiento a partir del visor cartográfico del catastro y de imágenes capturadas de aplicaciones de mapas geográficos en la web.

Por otra parte, la Cátedra facilitó el contacto de un maestro de obras, el señor Baltasar Virgili, quien facilitó información verbal valiosa ya que había sido colaborador directo de Jujol en los trabajos de rehabilitación de la capilla. Joan Mercadé, en una entrevista a Virgili le preguntó si Jujol había hecho algún proyecto de intervención, planos o croquis, y le contestó “no, todo lo tenía en la cabeza. Él personalmente dirigía y te decía lo que tenías que hacer, a mí me alucinaba” (Mercadé 2020, 54)

4.1.2. Trabajo de campo



Figura 4. Fotografía y nube de puntos de la fachada principal de la capilla de Mas Carreras (Roda de Berà) (2022). Nube de puntos realizada por el profesor F. Buill con la colaboración de J. Ramis Constanzo (2022).

Fuente: elaboración propia (2023)

Para el trabajo de campo se ha elaborado un escaneado 3D de alta velocidad con un sensor láser terrestre, modelo TX5 de Trimble. Un instrumento que ha permitido obtener nubes densas tridimensionales con asignación del valor de reflectancia y el color fotográfico, compuestas por millones de medidas. El escaneado ha sido dirigido y ejecutado por el profesor Felipe Buill, con la colaboración puntual del estudiante Jordi Ramis Constanzo. Por un cierto carácter monumental de la edificación, se ha buscado una metodología que permitiese obtener rasgos relevantes a partir de diferentes aproximaciones mediante técnicas de captura masiva (Buill, 2020).

Por la parte exterior se realizaron un total de cinco escaneados para obtener el máximo de información de la fachada principal y lateral. En el interior realizaron un total de siete escaneados. La duración aproximada de cada escaneado es de 8 minutos. Una vez escaneado se realizó un reportaje fotográfico para tener documentación de soporte.

Los datos procesados del escaneo se realizaron con el software Scene y posteriormente se transfieren a sistema BIM Revit para la realización de planos y renderizados con Enscape. Por la representación de la capilla, el nivel de detalle es muy elevado y se ha tenido que simplificar el modelado para que sea un trabajo viable a realizar y conseguir una representación de conjunto (fig.5).

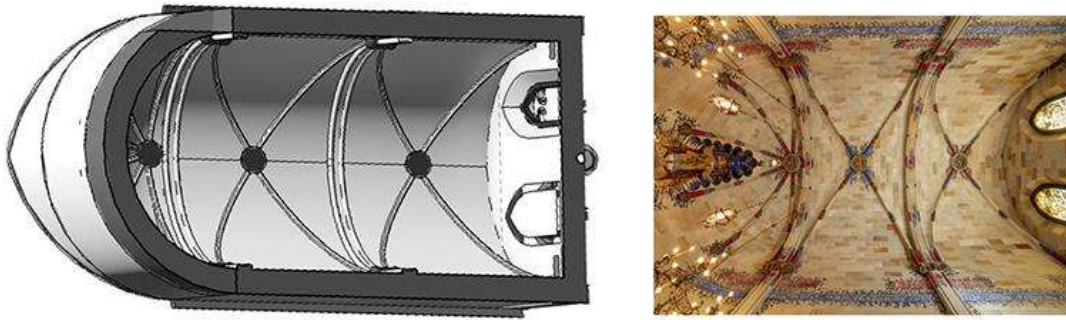


Figura 5. Izq. Imagen en perspectiva de la capilla a partir del modelado digital realizado por J. Ramis Constanzo (2022). Der. Foto del techo de la capilla (© López Monné, cortesía de J. Buqueras)
Fuente: Elaboración propia (2022)

Para organizar el trabajo se fragmentó el edificio en muros, techos, cubiertas, fachadas y pilares. Una vez desglosado se inició el proceso de detallar los moldeados, colocando las carpinterías, acabados y otros detalles constructivos. Dado que la capilla está formada por elementos únicos, se han tenido que generar familias específicas de Revit para cada uno de los elementos (fig 6).

Por ejemplo: la puerta principal con detalles de arquería, ventanas, la hornacina de la fachada con la estatua, techo interior, crucerías de la bóveda con el nudo de encuentro, los arcos, los pilares interiores, la pila de agua bendita, el altar, etc.

Dada la complejidad de colores y formas, en este primer trabajo se decidió simplificar los revestimientos interiores anexando un registro fotográfico del estado actual, ya que por cuestiones técnicas y de tiempo, dificultaba llegar a incluir ese nivel de detalle en la representación del plano, y por lo tanto se anexó. En un próximo trabajo, se contempla completar el modelado añadiendo a los paramentos (verticales y horizontales) las imágenes obtenidas por fotogrametría. Aun así, quedará pendiente el modelado tridimensional de los bancos, las lámparas y los candelabros.

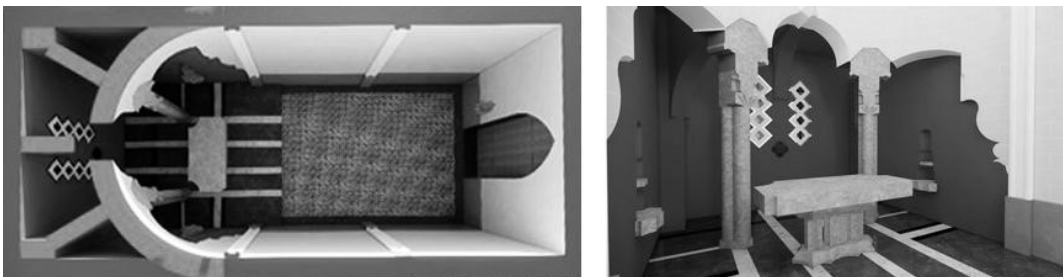


Figura 6. Espacios interiores representados partir del modelo digital por Jordi Ramis Constanzo
Fuente: elaboración propia (2023).

4.2. Caso de estudio B: la Torre Jujol en Sant Joan Despí

4.2.1. Búsqueda de documentación.

El edificio disponía de unos planos de planta y alzado presumiblemente del propio arquitecto (archivo de la propiedad) en soporte de papel. También existen planos realizados años atrás por otro estudiante de EPSEB. A partir de esta documentación, el estudiante elaboró una base planimétrica para la toma de datos del levantamiento. La propiedad, que lleva años viviendo en el edificio, aportó documentos y datos sobre su historia y sus características constructivas.

4.2.2. Trabajo de campo

La tipología de vivienda pareada, con unos volúmenes de escala doméstica y la presencia de árboles frondosos en la finca aconsejaba trabajar mejor con metro laser, estación total, cámara de fotos y escalera.

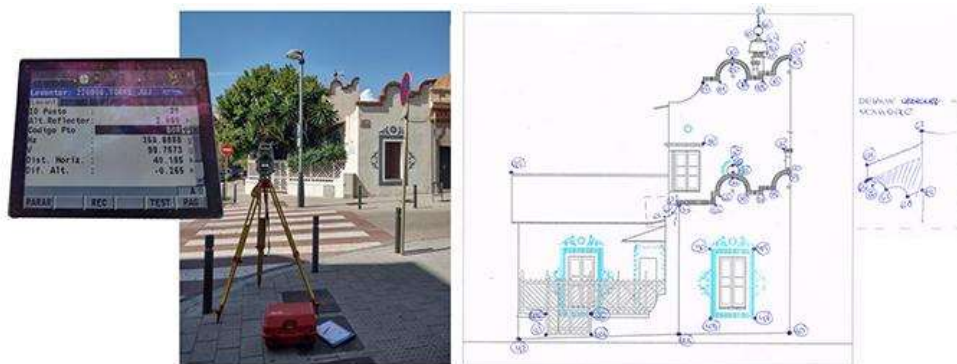


Figura 7. Pantalla de la estación total, posición de la estación total, y puesta escala de la fachada lateral de la Torre Jujol (Sant Joan Despí). Representación de Juan Hernández Pérez (2022)
Fuente: elaboración propia (2023)

Debido a la titularidad privada del edificio fue fundamental organizar un régimen de visitas satisfactorio para todos. La mayor parte de las mediciones se realizaron con medios manuales ya que la vegetación dificultaba el trabajo de la estación total (equipo láser). La estación total (fig. 7) se utilizó sólo para definir alineaciones de fachadas, alturas de cubiertas, medidas de vierteaguas y, en general, los detalles ornamentales. La geometría del edificio, permitió realizar el levantamiento con la estación total desde solo 2 puntos. La estación total empleada fue un aparato Leica 1203, TCRP1203+R1000 (módulo de láser), para su funcionamiento se contó con un técnico habituado a su uso.

4.2.3. Realización de la puesta a escala

A partir de los croquis iniciales, de las mediciones digitales de la estación total, y de las medidas manuales de los interiores se procedió a la puesta a escala de la información con un programa informático de CAD. La estación total consiguió la secuencia de puntos que definían la volumetría exterior del edificio de una manera precisa. Con los puntos situados en el archivo de CAD, se unieron ordenadamente, apoyándose en la descripción gráfica del croquis inicial, y así definir primero contornos exteriores y a continuación los interiores, y todo en plantas, secciones y alzados.

Una cuestión particular del levantamiento fue la puesta a escala de las filigranas de fachada (fig. 8), se tomaron fotos de detalle de cada hueco de fachada y posteriormente se corrigieron las fugas mediante el programa informático Photoshop. A continuación, se procedió a escalar las imágenes en los dos ejes, de acuerdo a medidas reales tomadas manualmente con medidor láser. Con la imagen en formato PDF, se inició el proceso de calca en AUTOCAD. La gran variedad de formas geométricas de las filigranas que rodean los huecos de fachada requirió una dosis generosa de atención y paciencia.

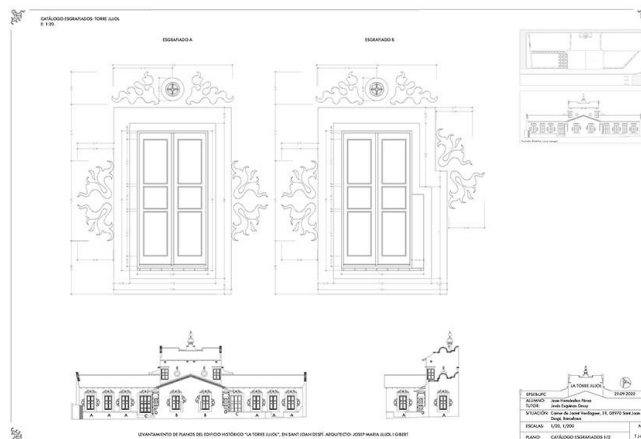


Figura 8. Puesta a escala del detalle de las ventanas con sus filigranas. Representado por Juan Hernández Pérez (2022)
Fuente: propia (2003)

5. El proyecto de la base digital “Cátedra Jujol” academia-empresa-instituciones

Uno de los objetivos de la Catedra Jujol ha sido la organización de un archivo digital propio, indexado en el catálogo de la biblioteca UPC y de otras universidades, con ayudas a la investigación online que incluyan el acceso en abierto al contenido digitalizado sobre la obra de Jujol como dibujos, textos, fotografías, moldeados digitales, conferencias, trabajos académicos, publicaciones, etc.

En este sentido, prevé la hiperconexión con el catálogo de los fondos históricos de otros archivos de entidades que contengan material primario de Josep M^a Jujol (Archivo Jujol, ETSAB, COAC, MNAC,...), constituyendo un gran catálogo único sobre su obra.

Para crear esta plataforma interactiva, basada en bases de datos digitalizados se cuenta con la colaboración activa del estudiantado, apoyada en el soporte humano, técnico y tecnológico del Departamento de Representación Arquitectónica y de otros de la UPC.

En paralelo, la realización del proyecto también incluye actividades didácticas a llevar a cabo en el marco de seminarios que se incluirán en la oferta académica no solo a nivel estatal, sino a nivel internacional. Estarán dirigidas por académicos y profesorado expertos en diversas disciplinas (patrimonio digital, sostenibilidad ambiental,...), para adquirir nuevos conocimientos relacionados con la obra de Jujol.



Figura 9. Vistas dibujadas por J. M^a Jujol de la Torre de la Creu (Sant Joan Despí) y consultadas en la sede del Arxiu Jujol (Els Pallaresos)

Fuente: Elaboración propia (2023)

6. Consideración final

Los trabajos finales de estudios sobre levantamientos de obras arquitectónicas de Jujol muestran un planteamiento similar a un proyecto de investigación ya que han estado dirigidos por alguien con experiencia investigadora acreditada, han establecido unos objetivos previos, se ha establecido una estrategia para cumplirlos y, finalmente han movilizado unos recursos para conseguir esos objetivos.

Asimismo, los objetivos y metodologías de estos trabajos finales de estudio explicados muestran su encaje absoluto con las líneas de investigación asumidas por el grupo de investigación GREIP de la UPC.

Introducir la formación en investigación en los jóvenes universitarios, aunque sea a un nivel muy propedéutico, en un momento que la innovación, derivada de una investigación y creatividad previa, se valora como un factor esencial para el desarrollo de cualquier sector productivo de la sociedad es una cuestión esencial, casi incuestionable a nivel universitario y, más especialmente, en estudios, de profesiones reguladas, relacionados con la tecnología o las ciencias experimentales.

Este tipo de trabajos vinculados a territorios concretos son susceptibles de potenciar intercambios de investigadores entre escuelas de lugares diferentes que sirvan de base a investigaciones futuras de mayor escala, ya sea a nivel de Master, tesinas o de Tesis doctorales o, incluso, de programas docentes.

Referencias

- Bambó, R. 2020. El dictado de los tiempos, Razón y oficio en la arquitectura de Lorenzo Monclús Ramirez. Zaragoza: Institución Fernando el Católico.
- Bertocci, S.; Parrinello, S. 2017. The drawing of Hadrian's Villa in Tivoli.
Extensive survey for heritage documentation = Il disegno di Villa Adriana a Tivoli. Rilievo estensivo per la documentazione del patrimonio, DISEGNARECON, vol10/ n19, diciembre 2017: 1.1-1-14. ISBN 1828-5961
- Bohigas O. 1988. Fragment d'un diari de memòries. Quaderns d'Arquitectura i Urbanisme: 179-180::28-31
- Bosch, M.; Rosell, J. Formación e investigación en rehabilitación: un campo para la colaboración interuniversitaria. A: Congreso de escuelas de edificación y arquitectura técnica de España. "EDIFICATE: I Congreso de escuelas de edificación y arquitectura técnica de España: actas del congreso". València: Universitat Politècnica de València, 2021, p. 581-590. ISBN 978-84-9048-409-8. DOI 10.4995/EDIFICATE2021.2021.13570.
- Buill, F. [et al.]. Terrestrial laser scanner for the formal assessment of a roman-medieval structure—The Cloister of the Cathedral of Tarragona (Spain). "Geosciences (Switzerland)", 28 Octubre 2020, vol. 10, núm. 11: 427/1-427/16.
- Flores, C. 1974. Algunas precisiones sobre a figura y la obra de J. M. Jujol, prologo del libro de Santiago Tarragó Cid, 1974. La arquitectura de J. M. Jujol. Barcelona: Editorial La Gaya Ciencia, S.A.: 10-19
- Jujol, J.M. 2021. Jujol en Sant Joan Despi. Els Pallaresos : Arxiv Jujol
- Llinàs, J. 1989. Jujol, arquitecto de Sant Joan Despi, Quaderns d'Arquitectura i Urbanisme, 179-180: 60-63.
- Llopis, J. 2022. Estratos de pensamiento. Los dibujos de Josep María Jujol, EGA Expresión Gráfica Arquitectónica, 27(46): 284–309. doi: 10.4995/ega.2022.18729. Disponible en: <https://polipapers.upv.es/index.php/EGA/article/view/18729>
- Mercadé-Brullés, J. 2020. Capilla de Mas Carreras (Roda de Berà). En: Buqueras, J. , ed:Jujol i la seva petjada al Camp de Tarragona. Silva editorial, Tarragona, 51-71. .
- Periel, M. 1988. Jujol como professor: entrevista a Federico Correa. Quaderns d'Arquitectura i Urbanisme, 179-180: 32-37
- Piñón H. 1998 Curso basico de proyectos: materiales de arquitectura moderna / ideas. Barcelona: Ediciones UPC
- Solà-Morales, I. 1989. La Arquitectura de Josep María Jujol, Quaderns d'Arquitectura i Urbanisme, 179-180:11-19.
- Hernández, J. 2022. Levantamiento de planos del edificio histórico "La Torre Jujol", en Sant Joan Despi. Tutor: J.Esquinas-Dessy. EPSEB Universitat Politècnica de Catalunya.
- Mercadé-Brullés, J. 2019 The elements of drawing & the lamp of life : J. M^a. Jujol desde una mirada contemporánea. Tesis doctoral, UPC, Departament de Representació Arquitectònica. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/168569>
- Ramis, J. 2022. Representació arquitectònica d'alta precisió de la reforma de l'edifici històric de la capella de Mas Carreras a Roda de Barà de l'arquitecte Josep Maria Jujol. Tutor: J.Esquinas-Dessy. EPSEB Universitat Politècnica de Catalunya.

Obstáculos de la enseñanza en el área de conocimiento de Construcciones Arquitectónicas

Campra García de Viguera, Carmen^a, Menargues Marcilla, Asunción^b y Jiménez Delgado, Antonio^c

^a Universidad de Alicante, Carretera San Vicente del Raspeig s/n, Alicante. ccgd1@alu.ua.es,

^b Universidad de Alicante, Carretera San Vicente del Raspeig s/n, Alicante. a.menargues@ua.es.

^c Universidad de Alicante, Carretera San Vicente del Raspeig s/n, Alicante. antonio.jimenez@ua.es.

Abstract

The adaptation of the Spanish university model to the European Higher Education Area allows the implementation of new teaching methodologies aimed at skills training. Teaching practice must be based on teaching and more specifically on student learning, so teachers must reorient their position in the teaching process, since they must give their role to the student and think more about learning than teaching, and in this sense, become a facilitator for the acquisition of knowledge.

In the experience that is exposed in this work, the theme is designed that addresses the waterproofing of the building in contact with the field of the subject "Basic Constructive Systems" through Problem-Based Learning (PBL). This subject is taught in the third year of the Bachelor of Architecture degree at the University of Alicante. For the study, a quasi-experimental design has been carried out in which a questionnaire has been designed to evaluate the learning results achieved in both groups before and after the didactic intervention; in the experimental group using the PBL teaching model and in the traditional teaching control group; serving as a reference to establish hypotheses of the results with respect to the academic performance of the students and concluding that the PBL method, has a positive impact on it although they continue to present obstacles in learning, so that the didactic program is designed following the model of "problematized teaching", employed in the Faculty of Education of this same University for further study.

Keywords: Teaching based on fundamental problems, Problemic teaching, Higher education in architecture

1. Introducción

La adaptación del modelo universitario español al Espacio Europeo de Educación Superior permite la implantación de nuevas metodologías docentes orientadas a la formación en competencias.

Esto implica que el proceso de planificación educativa en la Educación Superior sea más complejo, y necesita que los docentes tengan formación especializada para aprender herramientas y procedimientos técnicos que le den mayor grado de validez y confiabilidad a los planes de estudio, para de esta manera no solo satisfacer las necesidades formativas de los futuros profesionales, sino también las de los empleadores y la sociedad en general (Maldonado, 2012). Por lo tanto, la sociedad del siglo XXI, más que saberes, necesita competencias, es decir, habilidades que continuamente se van transformando y que el ser humano tiene a su disposición para resolver problemas concretos en los diferentes ámbitos de la vida cotidiana; las competencias no solo se originan de la aprobación de los contenidos del currículo, sino de la aplicación de los conocimientos adquiridos en situaciones determinadas. En este sentido, los conocimientos para resolver problemas no se transmiten mecánicamente, sino que se adquieren por la experiencia en la práctica, por lo que, en la actualidad, ser competente es saber hacer las cosas (Aguerrondo, 2009).

Para esto, el alumno debe adquirir los conocimientos, habilidades y aptitudes que necesitará para su formación a lo largo de toda su vida. Esta formación continua, implica la concepción de nuevas estrategias docentes con las que se creen situaciones de aprendizaje, que en el caso específico de la enseñanza de la Arquitectura implicaría la estimulación, e implicación de los estudiantes en la construcción de su propio aprendizaje, ayudándoles a desarrollar su capacidad de aprender a aprender. Tales situaciones de aprendizaje deben posibilitar el desarrollo intelectual crítico para generar conocimiento. En la Arquitectura, más importante que la información es la formación, porque no todo se puede enseñar, así que es necesario aprenderlo.

En consecuencia, la innovación en la enseñanza es necesaria para preparar a los estudiantes para que aprendan por sí mismos y para motivarlos para que deseen aprender, lo que sugiere un cambio en la manera como se enseñan los contenidos, que en principio debe partir de la idea de que el protagonista del proceso educativo es el estudiante. La innovación en el aula va más allá del cambio del libro de texto por las herramientas tecnológicas como recurso de enseñanza. Innovar implica pensar de manera crítica, promover la participación del estudiante, favorecer la interacción a partir del trabajo en grupo, además del individual, crear entornos de aprendizaje dentro o fuera del aula en los que el estudiante se sienta motivado y mejorar las relaciones existentes entre docentes y alumnos.

Es por esto que la práctica docente debe estar basada en la enseñanza y más en concreto en el aprendizaje del alumno, por lo que los docentes deberán reorientar su posición en el proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que deberán ceder su protagonismo al estudiante y pensar más en el aprendizaje que en la enseñanza, y en este sentido, convertirse en un facilitador para la adquisición de los conocimientos. Así mismo, se debe crear un ambiente innovador, el docente deberá seleccionar las estrategias y recursos que permitan al grupo formar relaciones cooperativas que conlleven a que todos aprendan de todos, cambiando el método por el que se transmite un gran cúmulo de contenidos que luego el estudiante olvida fácilmente. La innovación permite reflexionar sobre lo que los estudiantes están aprendiendo, si ese conocimiento les sirve y si pueden aplicarlo en sus vidas.

En la experiencia que se expone en este trabajo, se diseña el tema de "Encuentro con el terreno" de la asignatura "Sistemas Constructivos Básicos", integrada en el Programa de Estudios de la Titulación de Grado de Arquitectura en la Universidad de Alicante, que se imparte en el tercer curso de la titulación, mediante "*Aprendizaje Basado en Problemas*" (ABP); cuya propuesta debe tener en cuenta que la educación es un proceso de desarrollo de potencial, en el que el estudiante ya no es objeto de enseñanza, sino sujeto de aprendizaje, por lo que hay que prepararlo para la vida, no para que aprueben exámenes. Por lo tanto, el autoaprendizaje será alcanzado cuando el estudiante realiza las actividades porque se siente motivado a hacerlas, porque quiere aprender, saber más, crear, superarse a sí mismo y producir nuevas soluciones (García Retamero, 2010).

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo, es evaluar el impacto que deja esta nueva metodología de enseñanza de “Aprendizaje Basado en Problemas” en el rendimiento académico de los estudiantes; y comparar los resultados obtenidos con la metodología actual de “Enseñanza tradicional” que se emplea en la mayoría de las Escuelas de Arquitectura en España.

Con la intervención didáctica propuesta de tipo constructivista basada en el “Aprendizaje Basado en Problemas”, se busca alcanzar los indicadores de comprensión de los temas a tratar en la asignatura de “Sistemas Constructivos Básicos”, ya que este modelo produce mejores resultados en la adquisición de conocimientos de los alumnos que la enseñanza habitual tradicional (Harland et al., 2003). El ABP fue desarrollado con el objetivo de mejorar la calidad de la enseñanza y así cambiar la metodología basada en la colección de temas y exposiciones del profesor, por una integrada y organizada en problemas reales, con la confluencia de diferentes áreas del conocimiento para resolverlos, cosa que no es posible con la enseñanza tradicional (Fernández y Fonseca, 2016); en la que los docentes emplean una gran cantidad de tiempo en su exposición, y permite hacer preguntas en caso de dudas. En muchas ocasiones, estas dudas son una oportunidad para que el profesor demuestre sus conocimientos, con el riesgo de que los estudiantes pierdan el interés por su exposición. Los alumnos deben entonces poseer una enorme cantidad de información para memorizar y prepararse lo mejor posible para el examen. Sin embargo, raras veces, bajo esta modalidad, los docentes desafían a los estudiantes a lograr niveles cognitivos más altos, ya que solo siguen el ciclo de enseñanza ajustada a un horario, espacio y recursos predeterminados. De esta manera, la enseñanza tradicional muy poco contribuye a desarrollar las competencias y capacidades que el mundo actual exige a los estudiantes (Del Valle y Villa, 2018).

Dicho esto, el objetivo de este trabajo de investigación pretende comprobar la hipótesis que propone la intervención educativa en el aula, por lo que uno de los propósitos es aportar datos que permitan evaluar si a través de la instrucción siguiendo una metodología ABP (Aprendizaje Basado en Problemas), *los estudiantes adquieren un aprendizaje conceptual mejor mediante el razonamiento empleado para deducir conclusiones lógicas a partir de una serie de premisas o principios. Siendo un proceso de pensamiento que va de lo general (leyes o principios) a lo particular (fenómenos o hechos concretos).*

En consecuencia, se ha realizado un diseño experimental basado en diferentes pruebas para contrastar la hipótesis, a fin de obtener resultados consistentes que permitan validar este estudio.

3. Metodología

3.1. Participantes

En este trabajo han participado 2 grupos de la asignatura Sistemas Constructivos Básicos de tercer curso del Grado de Arquitectura de la Universidad de Alicante, siendo uno de ellos el experimental y el otro el grupo control. El estudiantado de ambos grupos cuenta con conocimientos generales sobre construcciones arquitectónicas, ya que durante el primer curso del grado cursó la asignatura Introducción a la Construcción, aunque los contenidos que aborda se hacen desde una perspectiva global sin profundizar con el tema del agua en la edificación en contacto con el terreno.

La composición de los grupos de alumnos no ha sido realizada por muestreo aleatorio entre todos los alumnos posibles, sino que se trata de los grupos “naturales” que estaban asignados y que estaba impartiendo el profesor de la asignatura en la Universidad de Alicante, sin previa equiparación de ningún tipo, ni al azar, lo que hace que nos acerquemos a la elección aleatoria de grupos.

No se seleccionaron estudiantes Erasmus que provienen de diversos países y que tienen otros conocimientos diferentes. Estos estudiantes no dominan el español, por lo que sus clases se dan en inglés y el nivel de exigencia no es el mismo; así que este grupo queda fuera de la muestra por no considerarse representativo.

A continuación, se detalla su descripción y composición.

3.1.1. Grupo experimental

El grupo experimental está compuesto por 18 alumnos con una edad media de 22 años. En cuanto al profesor del grupo experimental, Profesor 2, es profesor asociado de la Universidad de Alicante y profesional de la Arquitectura que desempeña su profesión en su propio estudio de Arquitectura fuera de las aulas, y que viene durante años desarrollando en clase la metodología de enseñanza-aprendizaje ABP; un método diferente a la metodología tradicional a la hora de impartir sus clases apelando a la reflexión y la auto respuesta de las cuestiones, y que es objeto de estudio de esta tesis para demostrar su eficacia en las aulas.

Para el desarrollo de las clases, el profesor plantea el problema en forma de pregunta a los alumnos, para que éstos comprendan de inmediato el objetivo del aprendizaje para la resolución de un problema muy común que cualquiera sin necesidad de conocimientos previos sobre el tema es capaz de comprender que existe y que debe solucionarse. A partir de ese momento, continúa la sesión mediante una secuencia de preguntas alusivas que ponen en alerta al alumno en búsqueda de la reflexión y auto repuesta; manteniendo así la atención en todo momento. En cada uno de los subproblemas que se exponen, el profesor introduce una actividad en modo exposición de ideas de los alumnos, que, de un modo colectivo, van participando y exponiendo sus ideas espontáneas, las cuales, son los mismos compañeros los que procesan y seleccionan las ideas válidas y desechan las no válidas para llegar así a una conclusión común y continuar avanzando en la materia. Sin darse cuenta, se avanza sobre un índice perfectamente estructurado y enlazado mediante preguntas cuyas respuestas son los puntos conceptuales de la unidad didáctica.

3.1.2. Grupo control

En lo que respecta al grupo control, está formado también por 18 alumnos y la misma edad promedio que el grupo experimental, teniendo ambas iguales características de partida al no haber modificado los grupos naturales de inicio. En este caso, los alumnos continúan hasta el final de la asignatura con el mismo profesor, el Profesor 1 y titular de la asignatura.

En este caso, las clases siguen una metodología tradicional en la que el Profesor 1 imparte los conceptos de manera expositiva. Son clases magistrales en las que el profesor transmite los conocimientos teóricos que el alumno debe aprender para resolver la práctica final mediante la cual el estudiante será evaluado.

Tras una parte de exposición teórica en clase, el profesor respeta minuciosamente las horas dedicadas a la realización de la práctica en clase, un trabajo individual que los alumnos deben saber resolver al final del tema. De esta forma, el profesor da la oportunidad a los estudiantes de formularles cuántas preguntas se les planteen. De forma individual y con carácter introspectivo, los alumnos pueden levantarse a preguntar sus dudas al profesor, de manera que la reflexión del alumno pasa a ser un trabajo individual, en la que los estudiantes disponen de un debate más limitado de conceptos, ya que sólo cuentan con las dudas que a ellos mismos se les plantean sin tener la oportunidad de conocer y reflexionar también sobre las conclusiones y respuestas de los compañeros.

3.2. Diseños experimentales e instrumentos para contrastar la hipótesis

Para contrastar la hipótesis, es necesario evaluar el nivel de logro alcanzado por el alumnado, así como la apropiación de los indicadores de aprendizaje/comprensión del tema. Para ello, se ha llevado a cabo un diseño cuasi experimental en el que se ha diseñado un cuestionario que se ha utilizado para evaluar los resultados de aprendizaje alcanzados en ambos grupos antes y después de la intervención didáctica y así evaluar si hay una mejora en el aprendizaje a través del método de *Aprendizaje Basado en Problemas*. (Figura 1. Cuestionario pre y post test).

Este cuestionario (escala de medida) consta de 13 preguntas, de las cuales 8 son cuestiones de respuesta abierta que fue redactado en un lenguaje sencillo y que incluía los indicadores de aprendizaje/comprensión del tema " Encuentro con el terreno" con la intención de que fuese respondido de manera escrita por el alumnado de ambos grupos antes de comenzar el tema y a la finalización del mismo.

Estamos realizando una investigación en la Universidad de Alicante. Para ello, ES MUY IMPORTANTE TU COLABORACIÓN. Necesitamos que respondas a este cuestionario utilizando tus conocimientos de la mejor manera posible.

Este cuestionario es completamente anónimo; en "Alumno" indica sólo las 4 últimas cifras de tu DNI.

No olvides dejar ninguna pregunta en blanco; si no la sabes responde "no lo sé".

¡MUCHAS GRACIAS!

Grupo:

Fecha: Alumno:

1. ¿Qué es el Nivel freático?
2. ¿Cómo actúa una capa impermeable frente al agua?
3. ¿Por qué no se puede poner una capa drenante cuando tenemos el Nivel freático contra el muro?
Entonces, ¿qué pondrías?
4. Ante la llegada de agua perimetral, ¿te parece correcto poner una capa drenante como solución?
5. Si existe Agua Permanente en el terreno por debajo de la cota del Nivel freático; ¿cuál de éstas es la solución correcta?
 - a) Sólo impermeabilización
 - b) Sólo drenaje
 - c) Impermeabilización y drenaje
6. De la siguiente lista, di cuáles son Agua Permanente y Agua Temporal:

Permanente	Temporal
------------	----------

Agua de lluvia

Agua de riego

Agua freática

Agua de corrientes subterráneas
7. Ante un terreno donde no hay presencia de agua, el clima es muy seco y las posibilidades de lluvia son mínimas; ¿es correcto no usar protección?
8. ¿Cuál es el objetivo de un forjado sanitario?
 - a) Permitir el paso de instalaciones para la evacuación de aguas de baños y cocinas
 - b) Levantar el suelo de sótano para evitar el contacto de éste con el terreno
9. ¿Qué función tiene una capa de grava junto a un muro de sótano?
10. ¿Cómo se produce la acción de drenar?
11. ¿Para qué sirve la capa drenante delante de una capa impermeable?
12. ¿De dónde puede venir el agua que puede entrar en mi sótano? Diferencia los siguientes casos:
 - a) En una vivienda aislada con jardín:
 - b) En un sótano del centro urbano:

13. Observa estas soluciones y explica cuál es la más acertada y la más absurda en un muro construido a doble cara:

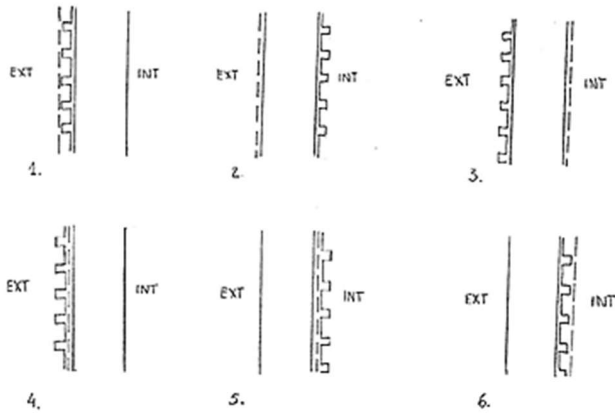


Figura 1. Cuestionario pre y post test

Fuente: elaboración propia (2018)

2023, Universidad de Granada

4. Resultados

Para comprobar el nivel de conocimientos logrado por los alumnos, se evaluaron y compararon los resultados obtenidos luego de la aplicación de los dos instrumentos de medida empleados; el cuestionario pre test y el cuestionario post test, tanto para el grupo experimental como para el grupo control.

Los datos analizados corresponden a las valoraciones realizadas a una muestra de 36 estudiantes divididos en dos grupos (Control y Experimental), siendo el grupo Control (1) en el que se desarrolla un sistema de enseñanza tradicional y el grupo Experimental (2) en el que se aplica el sistema de enseñanza ABP, este último, de interés para confirmar la hipótesis de la investigación. Previo al desarrollo del programa correspondiente, se aplica una escala de medición de destrezas, y tras su finalización, se realiza nuevamente esta medición.

Estos resultados son presentados atendiendo al propósito de la investigación, partiendo del análisis de la distribución de los datos, las valoraciones iniciales de los conocimientos del grupo (Pre test), aprendizaje por conceptos en ambos grupos, valoraciones finales del grupo (Post test) y comparaciones de la evolución del aprendizaje. En este sentido, se analizan datos de tipo cuantitativo que contribuirán a obtener evidencias de cómo la metodología ABP influye en el aprendizaje de conocimientos del estudiantado del grado de arquitectura.

4.1. Resultados del rendimiento inicial de los estudiantes, obtenidos a partir del Cuestionario pre test

A fin de valorar el rendimiento académico de los estudiantes antes del programa, se considera la aplicación de un cuestionario de 13 preguntas en ambos grupos, donde los estudiantes ponen de manifiesto los conocimientos adquiridos en cursos anteriores sobre la materia que se va a cursar. Estos resultados, indican que en los 36 estudiantes la media de las respuestas correctas fue de $4,86 \pm 2,167$, es decir, del cuestionario de 13 preguntas, en general los estudiantes obtuvieron en promedio 5 respuestas correctas, con un valor máximo de 9 y un mínimo de 1 respuesta correcta.

Del análisis de la figura 2. Diagrama de cajas en el pre test, se puede establecer que, antes del desarrollo del programa no se presentaron datos atípicos o extremos en ambos grupos; no obstante, el extremo superior del grupo control es mayor al grupo experimental, así como en el extremo inferior, de allí que exista una mayor variabilidad en los datos; mientras que en el grupo experimental se observa una mayor concentración en los datos que se refieren al rendimiento. Asimismo, es posible establecer que el 50% de los estudiantes del grupo control obtuvieron aproximadamente entre 3 a 7 respuestas correctas; mientras que, en el grupo experimental el 50% obtuvo aproximadamente entre 4 a 7 respuestas correctas.

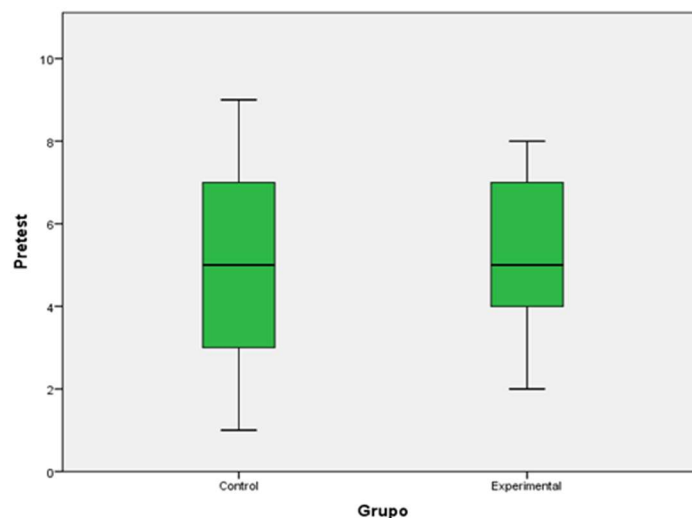


Figura 2. Diagrama de cajas en el pre test

Fuente: elaboración propia (2018)

4.2 Resultados del rendimiento final de los estudiantes, obtenidos a partir del Cuestionario post test

Luego del desarrollo del programa, al finalizar el tema, fue aplicado nuevamente el mismo cuestionario en los estudiantes a fin de valorar los conocimientos que habían adquirido de la asignatura. Estos resultados indican que, en los 36 estudiantes, la media de respuestas correctas ahora se ubica en $7,92 \pm 2,16$, lo que indica que, en el cuestionario de 13 preguntas, en general los estudiantes obtuvieron en promedio 8 respuestas correctas, con un valor máximo de 12 y un mínimo de 3 respuestas correctas.

La observación de la figura 3. Diagrama de cajas en el post test, permite establecer que, después del desarrollo del programa en el grupo experimental, se obtiene una mayor cantidad de respuestas correctas que en el grupo de control, y en ninguno de los grupos se observan datos extremos. La mediana del grupo de control se encuentra en 7 respuestas correctas, mientras que en el grupo experimental en 9 respuestas correctas.

De igual forma, es posible establecer que el 50% de los estudiantes del grupo control obtuvieron aproximadamente entre 5 a 8 respuestas correctas, y por su parte, en el grupo experimental el 50% obtuvo aproximadamente entre 8 a 11 respuestas correctas. Destaca también que en el grupo control el límite superior se encuentra en 9, mientras que el inferior en 3 respuestas correctas; por su parte, en el grupo experimental el límite superior se encuentra en 12 respuestas correctas y el superior en 6 respuestas correctas.

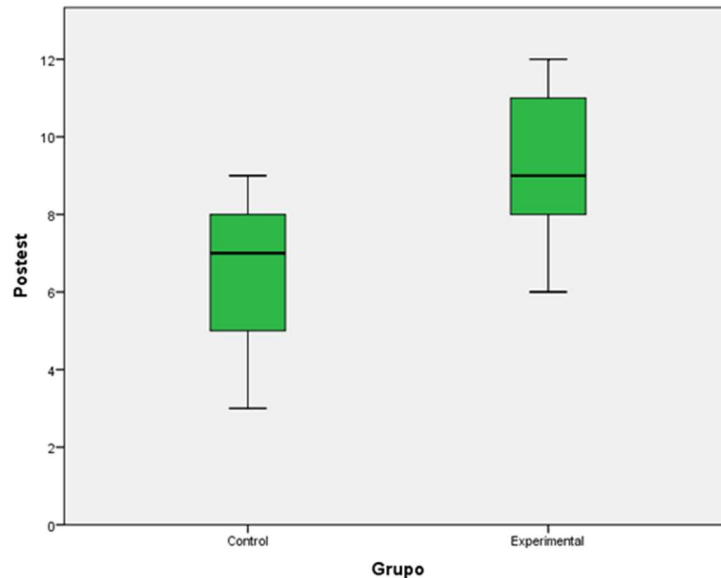


Figura 3. Diagrama de cajas en el post test
Fuente: elaboración propia (2018)

Se puede apreciar la evidente diferencia en el rendimiento académico promedio de cada grupo antes y después de cada programa. Obteniéndose la mayor cantidad de respuestas correctas en el grupo experimental luego de la aplicación del programa (post test), mientras que la menor cantidad de respuestas se presentó en el grupo control antes del programa (pre test).

5. Conclusiones

Se pretende demostrar la efectividad del ABP frente a la enseñanza tradicional en el aumento del rendimiento académico de los estudiantes de Arquitectura. Lo que queda demostrado al comprobarse la hipótesis de la presente investigación, que dice que el Aprendizaje Basado en Problemas tiene un efecto positivo en el rendimiento académico de los alumnos y adquieren una mejor comprensión de los conceptos de Construcciones Arquitectónicas. Esto puede ser validado después del análisis de los resultados de las evaluaciones antes y después de la aplicación del método de enseñanza ABP contrastados con la aplicación de la enseñanza tradicional a los estudiantes universitarios de arquitectura.

Los resultados de esta investigación, ofrecen una perspectiva positiva de este método de enseñanza por cuanto permite incrementar el nivel de conocimientos de los estudiantes en conceptos que aún presentan deficiencias en ellos. Esto debido a que, este método de enseñanza permite un tratamiento de los conceptos con un lenguaje sencillo y realizando ejemplificaciones que contribuyen a mejorar el aprendizaje de los estudiantes. Así mismo, se presenta como una alternativa adaptada a las necesidades del contexto de la arquitectura donde los estudiantes requieren de la interacción con el profesor y el empleo de casos reales para comprender los conceptos tratados.

Sin embargo, si bien el Aprendizaje Basado en Problemas ha demostrado ser adecuado para mejorar el nivel de conocimiento de los estudiantes siendo especialmente provechoso en un contexto como la arquitectura, los resultados del experimento han evidenciado que aún existen obstáculos en el aprendizaje de algunos conceptos por parte de los estudiantes.

Por tanto, este trabajo continúa con el replanteamiento del tema mediante el sistema de “Enseñanza problematizada”, mediante el cual, se pretende mejorar el método probado de “Aprendizaje Basado en Problemas” y la eliminación definitiva de los obstáculos frente a la enseñanza que los alumnos continúan presentando.

Referencias

- Aguerrondo, I. 2015. El aprendizaje bajo la lupa: Nuevas perspectivas para América Latina y el Caribe, UNICEF. Disponible en: <http://www.oei.es/index.php>.
- Del Valle, A. y Villa, N. 2018. Visión crítica sobre el ABP. Ventajas y dificultades. En: Escribano, A. y Del Valle, A. (coord.) Aprendizaje Basado en Problemas. Una propuesta metodológica en educación superior. Narcea, S.A. de Ediciones, Madrid, 121-136.
- Fernández, L. y Fonseca, S. 2016. Aprendizaje basado en problemas: consideraciones para los graduados en medicina familiar y comunitaria en Ecuador. MEDISAN 20(9): 2150-2163.
- García Retamero, J. 2010. De profesor tradicional a profesor innovador. Temas para la Educación, revista digital para profesionales de la enseñanza 11: 1-7.
- Harland, C., Brenchley, R. y Walker, H. 2003. Risk in supply networks. Journal of Purchasing and Supply Management 9(1): 51-62.
- Maldonado, E. M. 2012. 18 mitos de la Educación Superior: Retos de la Excelencia para las Universidades del siglo XXI. Managua, Nicaragua, Maxiño A. Estupiñán.

Acquisition of professional competences applying problem-based learning methodology in the subject: “Seminario de Laboratorio de Materiales”

Puentes, Javier^a, Palomar, Irene^b y Barluenga, Gonzalo^c

^a Universidad de Alcalá, C/ Cifuentes, 28. 19003, Guadalajara. javier.puentes@uah.es, ^b Universidad de Alcalá, C/ Cifuentes, 28. 19003, Guadalajara. irene.palomar@uah.es, ^c Universidad de Alcalá, C/ Cifuentes, 28. 19003, Guadalajara. gonzalo.barluenga@uah.es

Abstract

In the academic background of the Technical Architect, is considered now the acquisition of general and specific competences related to the ability to provide technical advice in the manufacturing processes of construction materials. This professional profile is not only limited to the quality control laboratory of a construction materials manufacturing company, but also applies to RD+i laboratories and the laboratories of authorized notified bodies.

The challenge of this objective is the extensive theoretical content, the multiplicity of application environments and the variety of activities that can be developed, as well as the need for a relevant practical activity. For this reason, the application of pedagogical methodologies: Problem-based Learning (PBL) has been proposed for the Materials Laboratory subject. The simulation of three real scenarios is carried out taking advantage of the fact that the Architectural School has an equipped materials laboratory, as well as 2 laboratory technicians to support lectures. On this site, the student plays the role of technical advisor in a building materials laboratory emulating controlled and planned environments.

The acquisition of skills was achieved by incorporating the theoretical-practical content common to all three scenarios through supervised practical activities. Subsequently, exclusive and specific content was given to each of the three scenarios, emulating activities specific to each one. It has been possible to establish that the methodology has strengthened the knowledge of previous subjects, as well as enhancing the specific knowledge of the training of the TA student with this type of specific work profile.

Keywords: Project-based learning, Materials laboratory, Quality control, Learning methodologies.

1. Introducción

El cambio continuo de la titulación en el Grado de Arquitectura Técnica y Edificación es una respuesta a las demandas y requerimientos de la profesión derivados de cambios sociales, económicos, tecnológicos del entorno. Sin embargo, los cambios cada vez son más rápidos y deben proporcionar de manera ágil todas las herramientas necesarias que permitan al estudiante su rápida incorporación y su éxito en el mercado laboral.

A partir de la entrada de España en el mercado común europeo y la obligatoriedad de cumplir los requisitos comunes al Marcado CE (Comisión Europea 2011), se debe asegurar la calidad de los materiales de construcción. El proceso para obtener este marcado ha convertido al graduado de Arquitectura Técnica y Edificación (ATyE) en un actor relevante dentro del cumplimiento de los sistemas de evaluación y verificación de la constancia de prestaciones. Este aspecto ha condicionado que dentro de las competencias adquiridas de la titulación se haya confirmado su necesidad: Tener la capacidad de asesorar técnicamente en los procesos de fabricación de materiales y elementos utilizados en la construcción de edificios: Competencia general N°13-UAH. (Universidad de Alcalá, 2022a). Este aspecto ha permitido que el graduado pueda participar de manera activa en el propio laboratorio y desempeñe nuevos nichos de trabajo de acuerdo con la función específica del Laboratorio.

En el Laboratorio de materiales se evalúan por normativa, las prestaciones derivadas de la comercialización de producto dentro del mercado común europeo, tanto a nivel de control de calidad de producción del fabricante como de un organismo observador. Este procedimiento se suma al control de calidad que también se desarrolla en tres momentos relacionados con el objeto construido, antes, durante y después.

- Antes: Al diseñar el material y una vez incorporado en el mercado para comprobar las prestaciones.
- Durante: En el proceso de evaluación de las prestaciones de los materiales elaborados in situ. También para la verificación de las prestaciones cumpliendo requisitos de los procedimientos de construcción y finalmente para verificar las prestaciones en casos de discrepancias formuladas por la dirección técnica de la obra.
- Después: En el caso de presentar deficiencias del producto/sistema, se puede establecer criterios de evaluación a nivel de materiales para determinar causas y posibles soluciones.

Existen otro tipo de actividades que se desarrollan en el laboratorio de materiales. Uno de ellos es el de Investigación y desarrollo e innovación (I+D+i) en el campo de materiales de construcción, este uso también se suma a los ya enumerados anteriormente y que a partir de este momento los consideraremos como escenarios dentro de Laboratorio de Materiales.

Ante esta creciente necesidad, y la importancia adquirida por el laboratorio, como apoyo al proceso constructivo implica una participación más activa dentro del mismo laboratorio. El perfil del estudiante requiere incorporar dentro de su formación y experiencia, las actividades comunes en el laboratorio de materiales. Pero las competencias no son posibles de alcanzar a partir del contenido de las asignaturas actuales. El limitado número de créditos asignados y objetivos diferentes que responden a otras necesidades, no lo permiten.

Esta situación ha desencadenado la necesidad de proponer una nueva asignatura: Seminario de Laboratorio de Materiales, (MatLab), con un gran contenido práctico, generando un gran reto pedagógico para llevarla a cabo.

Siendo la experiencia real, una potente herramienta pedagógica, las prácticas de empresa serían la opción más adecuada para dar respuesta a este problema. Sin embargo, nos encontramos con alguna limitación.

- No hay suficiente cantidad de plazas que puedan ofertar las empresas para los estudiantes. (Universidad de Alcalá, 2022b)
- Existe aún una desconfianza a la participación de estudiantes dentro de los laboratorios por cuestiones de confidencialidad, procedimientos de producción, patentes y secretos industriales.
- Aspectos relacionados con la seguridad y salud en el trabajo limitan la participación del alumno.

Por esta razón se ha propuesto la asignatura como una optativa transversal, esta va a complementar la formación específica en materiales de construcción y permite el desempeño como técnico de laboratorio especializado en materiales de construcción del graduado en ATyE. Basado en el aprendizaje similar a un

entorno real, donde el estudiante puede participar de las actividades propias del laboratorio. Sin embargo, la dificultad de una experiencia de este tipo en asignaturas técnicas presenta un reto entre el equilibrio de alcanzar el realismo y mantener la simplicidad de contenido, que es fundamental para la viabilidad de la asignatura (Collingbourne et al, 2015). Dentro de los contenidos básicos de la asignatura se contemplaron contenidos como: gestión de muestras, realización de ensayos, presentación de informes, resultados e incertidumbre de los valores. Todas estas acciones complementan las actividades de funcionamiento común como son: Condiciones de laboratorio, compras de equipos y muestras, inventario de equipos, calibraciones de equipo, protocolos de ensayo, mantenimiento de equipos en función de uso/actividad normativa de apoyo y desviaciones a los procedimientos de ensayo.

Dentro de la temática específica se complementará la asignatura con una estructura de control y mantenimiento de la calidad de redes de laboratorio, laboratorios de calibración, entidades de certificación de producto, procesos y servicios, entidades de certificación de persona, sistemas de gestión entidades de inspección, verificadores ambientales, organismos de validación y verificación, proveedores de programas de intercomparaciones, productores de materiales de referencias (Sagrado Vives, 2017).

Para limitar el contenido y la complejidad de la asignatura, se plantea el desarrollo de la asignatura basada en las actividades comunes a estos tres escenarios: Laboratorio de control de calidad como organismo de control acreditado, Laboratorio de control de calidad de empresa de fabricación de materiales de construcción y por último, Laboratorio de I+D+i.

2. Objetivos

El presente estudio muestra la aplicación de un programa piloto de aprendizaje basado en problemas. La asignatura ha utilizado un programa de contenidos, donde el estudiante realiza los procesos de adquisición de competencias en condiciones similares a las que puede encontrar en un trabajo real. La creación de los escenarios de rol, tienen como ventaja, enfrentar al estudiante en entornos controlados y que ofrecen bastantes beneficios pedagógicos, ver Figura 1.

De manera secundaria el estudiante consolida los conocimientos de otras asignaturas de la carrera, específicamente las competencias adquiridas de las asignaturas de materiales de construcción I y II. También se establecen en el laboratorio de materiales, objetivos específicos de la asignatura como la identificación de sistemas de fabricación, evaluación y procedimientos de control de calidad de materiales y productos para construcción.

3. Metodología

A través de metodologías activas de aprendizaje basado en proyectos (ABP), el estudiante desarrolla un plan autónomo guiado por el profesor y en colaboración de los técnicos de laboratorio en cualquiera de los tres escenarios descritos con anterioridad.



Figura 1. Fortalezas del ABP LabMat

Fuente: Elaboración propia (2023)

El contenido de la asignatura está compuesto de una parte teórica y una parte práctica. Adquiere mayor fortaleza la parte práctica a través de la implementación de los contenidos conceptuales teóricos en nuestro propio laboratorio, incluidos los equipos y el capital humano. Este sistema retroalimenta el proceso de incorporación de contenidos teóricos necesarios para el desarrollo de la asignatura.

A continuación, se presenta uno de los contenidos desarrollados a partir de un ejemplo práctico de contenidos básicos, para cualquiera de los tres escenarios. La compra de un nuevo equipo: Se estableció de manera simulada la compra de un equipo para la determinación de aire ocluido en mezclas de morteros. Para el desarrollo de esta unidad se habían establecido previamente los conceptos teóricos específicos para nuestro laboratorio físico de materiales, incluidos el equipo, alcance de uso, normativas de ensayo. A medida que se introducían los conceptos teóricos de la signatura se aplicaban en modelos prácticos:

- Equipo: ficha de equipo, manuales de uso, inventario, accesorios, fichas de mantenimiento, control de mantenimiento, calibración de equipo (interna y externa), resolución. Cada uno de estos temas se aplicó en el equipo de la compra simulada.
- Ensayo: Normativa, condiciones ambientales del laboratorio para el desarrollo del ensayo, protocolos de ensayos para nuestro laboratorio a partir del equipo adquirido, sistemas de toma de datos, almacenamiento de datos, informe de datos y resultados, incertidumbre de resultados,
- Muestras: Trazabilidad, procedimientos de recepción de muestras, condiciones de almacenamiento de muestras antes y después de ensayo, conservación de muestras.

Con este ejemplo se aplicó cada uno de los conceptos teóricos a lo largo del curso para la evaluación de las propiedades y características de una muestra a utilizar en el equipo de aire ocluido.

De esta manera la mayoría de los contenidos teóricos impartidos complementa el proceso de aprendizaje a través de la aplicación de un procedimiento básico dentro del laboratorio. Para que este procedimiento se pudiera llevar a cabo de la manera menos compleja posible, se estableció una guía de contenidos por sesión y complementado con el desarrollo paralelo de actividades prácticas conectadas a las sesiones. En la Tabla 1 se establecen los contenidos teóricos impartidos a lo largo del curso.

Tabla 1. Contenido de las asignaturas para Seminario de Laboratorio de Materiales.

Sesión	Contenido
1	El trabajo en el laboratorio de materiales, normas de seguridad y salud en el laboratorio, metodología de trabajo aplicada en las técnicas experimentales de ensayo. Espacio físico del laboratorio y condiciones ambientales para ensayos. Independencia, Imparcialidad y confidencialidad en el Laboratorio.
2	Equipos de ensayo de laboratorio, resolución y calibración de equipos. Fiabilidad de datos obtenidos en el laboratorio. Concepto de incertidumbre
3	Ensayos de laboratorio. Técnicas de ensayo destructivos (ED) y Técnicas de ensayo no destructivos (END)
4	Manejo de documentación técnica y normativa. Confidencialidad de resultados. Seguridad
5	Normativa aplicada a los ámbitos de empresa y al trabajo de laboratorio. Normativas de Gestión de la calidad ISO 9001 y específicamente ISO/IEC 17025 para el laboratorio de materiales, Gestión ambiental ISO 14001. Gestión de la Seguridad y Salud en el trabajo, Gestión de la seguridad de la información
6	Normas técnicas de materiales/productos de construcción. UNE-EN, análisis del contenido de las normas, realización de ensayos normalizados, resultados de ensayo (laboratorio).
7	Informes de resultados: Control de resultados de ensayos (repetibilidad – reproducibilidad), Análisis de resultados de ensayo
8	Informes técnicos. Contenidos y presentación de resultados

4. Resultados

Durante el desarrollo de la asignatura, el estudiante recopila la información teórica y práctica específica resultado de la aplicación de conceptos teóricos de cada unidad al trabajo de laboratorio. Para dar una visión general de la asignatura Matlab a continuación se presentan algunos ejemplos prácticos, indicando el escenario de aplicación y el rol adquirido por el estudiante en el escenario.

4.1. Ejemplos prácticos de los escenarios y rol técnico aplicado.

4.1.1. Control de condiciones ambientales del laboratorio

Ejemplo 1: Escenario común a los tres tipos de escenarios y rol de técnico de laboratorio con competencias en control de condiciones ambientales de Laboratorio.

A partir de la sesión de trabajo 1, se establecen las condiciones ambientales que debe cumplir el laboratorio de ensayos de los tres escenarios y la gestión de control de las condiciones durante los ensayos (Sagrado Vives, 2017).

A partir de la acción del ejemplo 1 se desarrolló la siguiente documentación (ejemplo de algunos se pueden ver en la Figura 2). Identificación de equipo de control de las condiciones (ficha de equipo)

- Protocolo de uso de equipo
- Ficha de mantenimiento de equipo
- Protocolo de toma de datos de control ambiental
- Plantilla de toma de datos
- Toma de datos continua y real del procedimiento de control.

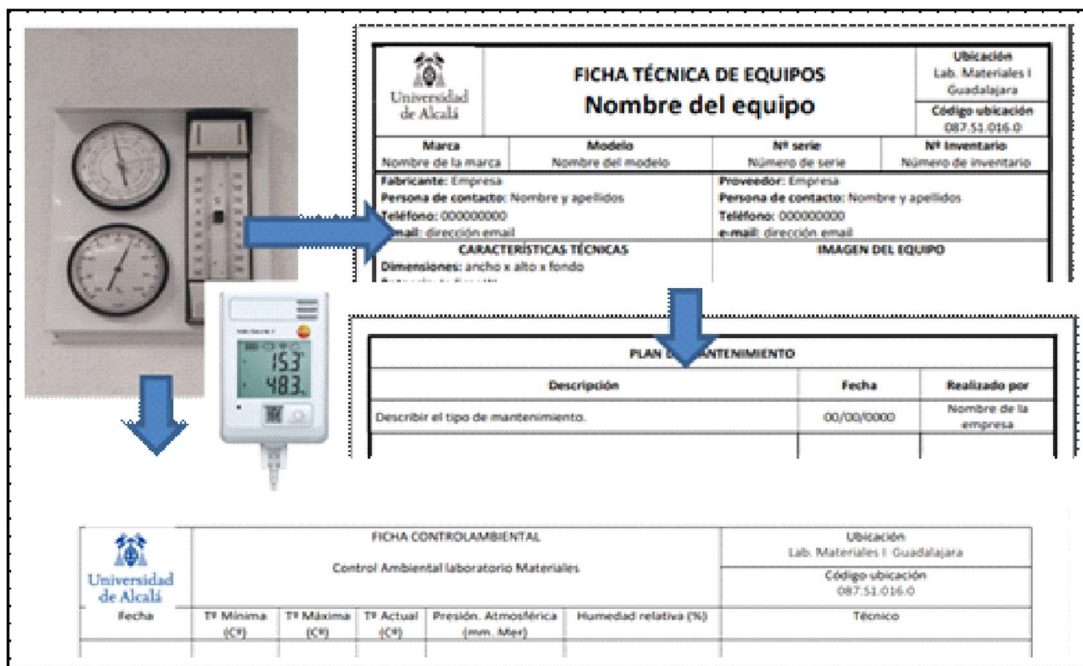


Figura 2. Control de condiciones ambientales del LabMat, equipo (sup. izq.), ficha equipo (sup. der.), ficha control condiciones (centro inf.)
Fuente: Elaboración propia (2023)

4.1.2. Ejemplo de rol de técnico de laboratorio

En el ejemplo 2 el estudiante ha adquirido el rol de Técnico de Laboratorio con capacidad de realización de ensayos de fuerza para un laboratorio de control de propiedades y caracterización de materiales. Este caso se aplican los contenidos relativos a equipos, ensayos y muestras en una sola unidad. Se desarrolla un protocolo

de ensayo para UNE-EN 196-1/2018, Métodos de ensayo de cementos, Parte 1: Determinación de resistencias. En este ejercicio incluye la fabricación de probetas. Lo cual implica la aplicación de conceptos de manejo de muestras con la respectiva documentación.

Para este ejemplo, en grupos de 2 estudiantes, se desarrollan los protocolos de ensayos para la normativa utilizada, el protocolo de ensayo para el equipo del laboratorio. También se utilizan las plantillas creadas para toma de datos y presentación de resultados. En la Figura 3 se muestra la ficha técnica de equipo y la ficha de protocolo de ensayo.

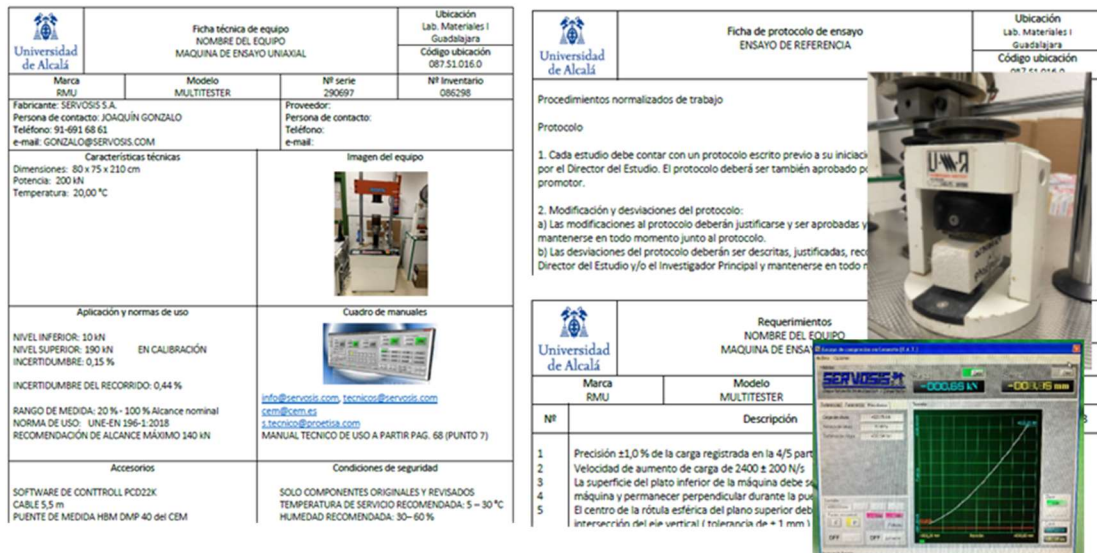


Figura 3. Plantillas generadas para los procedimientos de resultados de ensayo, protocolo de ensayo, equipo de ensayo

Fuente: Elaboración propia (2023)

4.1.3. Ejemplo de rol de técnico en organismo evaluador

En este ejemplo los estudiantes en grupos de 2 alumnos desarrollan una actividad en el rol de técnico de Laboratorio de un escenario de Laboratorio de organismos evaluador. A través de esta actividad, los estudiantes estableces e identifican el proceso para la obtención del marcado CE (Comisión Europea, 2015) para un material previamente escogido del banco de muestras con que cuenta el Laboratorio de materiales. Los alumnos deben familiarizarse con los procedimientos, documentación y ensayos que se incluyen en la Declaración de prestaciones.

Para la realización de esta actividad, los estudiantes seleccionaron dos ensayos de las prestaciones declaradas por el fabricante de material escogido, y contrastaron los resultados con los resultados obtenidos en el laboratorio de materiales. De esta manera se incorporaron conceptos de comparación, evaluación y verificación de procedimientos de ensayo intra-laboratorios e inter-laboratorios, Figura 4.

Para finalizar, la evaluación de todos estos ejemplos de aplicación, se realizaron a través de la implementación de sistemas de evaluación de competencias como las que debe realizar el Técnico de Laboratorio en un escenario real. En este sistema se evalúan de sus competencias, ya sea dentro de procesos de formación y evaluación internas, como en procesos de acreditación externas son similares a los realizados en los procesos de evaluación de personas en sistemas jerárquicos de producción o por organismos de acreditación.

La mayoría de las plantillas y documentos producidos a lo largo del curso, se validaron también a través de sistemas de evaluación por pares, entre los propios estudiantes de la asignatura. Se evaluaron los protocolos y las plantillas de los documentos para funcionamiento del laboratorio. Los mismos estudiantes evaluadores realizaron mejoras sobre el documento inicial. De esta manera se trabajó bajo conceptos de procesos colaborativos para el desarrollo de objetivos de funcionamiento eficiente y se incorporaron conceptos de calidad en la gestión documental.

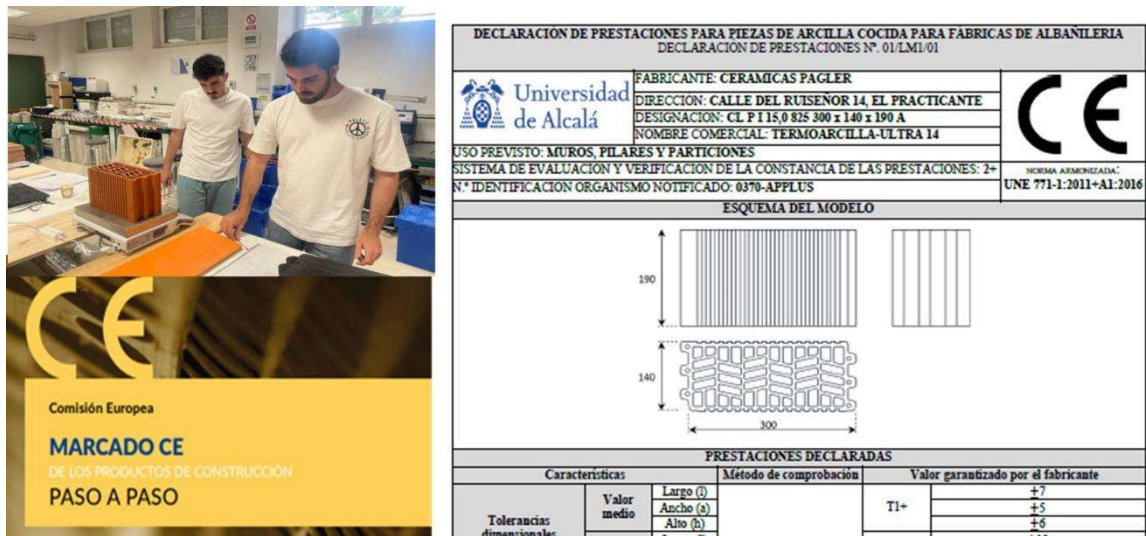


Figura 4. Declaración de prestaciones de un bloque de arcilla cocida, procedimiento de evaluación de prestaciones, elaborado por los estudiantes.

Fuente: Elaboración propia (2023)

5. Conclusiones

De manera inicial se ha podido comprobar que la asignatura ha respondido a los objetivos planteados al inicio del curso.

A través de encuestas informales con los estudiantes, se ha podido comprobar que ha ayudado a afianzar los conocimientos en asignaturas de: Materiales de Construcción I y II. Y que, a pesar de la complejidad del contenido del curso y la ambiciosa propuesta de generar escenarios reales, se han podido emular actividades propias del laboratorio de materiales con la misma rigurosidad. La experiencia práctica ha permitido al estudiante la adquisición de competencias que complementan el perfil que requiere un técnico de laboratorio de materiales de construcción, laboratorio de control de producción de una fábrica de materiales de construcción, técnico de laboratorio de un organismo observador, técnico de evaluación de un organismo acreditador o de un laboratorio de I+D+i.

Se ha logrado objetivos de adquisición de competencias para perfiles específicos de trabajo, dotando al estudiante de las herramientas para enfrentarse al mundo laboral y consolidando el nuevo nicho de trabajo.

Por parte de los docentes se observaron como hallazgos positivos, la actualización de conocimientos por parte del personal técnico y la actualización docente en metodologías activas.

Dentro de los aspectos para tener en cuenta en un futuro, se propone la realización de entrevistas estructurada a empresas consolidadas en el sector, dentro del ámbito geográfico del estudio, es decir, Comunidad de Madrid/Corredor del Henares. Esto serviría para generar un objetivo común entre academia e industria a través del trinomio: formación-prácticas-incorporación laboral, aprovechando el proyecto desarrollado y las futuras expectativas de la asignatura.

Agradecimientos

Los autores agradecen el trabajo y el apoyo técnico de la Técnico de Laboratorio de materiales de construcción del Edificio Multidepartamental de la Universidad de Alcalá, Dña. María del Carmen Hernández Huete.

Referencias

- Collingbourne, Lawrence; Seah, Winston K. G. 2015. Teaching project management using a real-world group project. Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE, art. no. 7344301 DOI: 10.1109/FIE.2015.7344301
- Comisión Europea, 2011. Construction Products Regulation (CPR) Reglamento (UE) No 305/2011 del Parlamento europeo y del Consejo Y DEL CONSEJO de 9 de marzo de 2011. <https://bit.ly/3FSdWax>. last acceso 2023/06/05
- Comisión Europea, Mercado CE de los productos de construcción paso a paso, 2015. Rec. de https://comercio.gob.es/Barreras_Comerciales/Mercancias_Mercado_Interior/Documents/MercadoCE.pdf, last accessed 2023/06/05
- Sagrado Vives, Salvador. 2017. Manual Práctico De Calidad En Los Laboratorios. Madrid: AENOR - Asociación Española De Normalización Y Certificación.
- Universidad de Alcalá. 2022a Escuela de Arquitectura, Grado en Arquitectura Técnica y edificación, Presentación de estudios, Competencias Generales y específicas. <https://bit.ly/3uOpwgH>, last accessed 2023/06/05
- Universidad de Alcalá, 2022b. Grado en Arquitectura Técnica y edificación. Prácticas externas Recuperado de <https://arquitectura.uah.es/estudiantes/documentos/LISTADO-EMPRESAS-COLABORADORAS.pdf>. last accessed 2023/06/05

Based-project learning of mathematical models for energy efficiency

Berenguer Maldonado, María Isabel^a y Ruiz Galán, Manuel^b

^a Departamento de Matemática Aplicada, ETSI de Edificación, C/Severo Ochoa s/n, Campus de Fuentenueva, Universidad de Granada, Granada, 18071, maribel@ugr.es,

^b Departamento de Matemática Aplicada, ETSI de Edificación, C/Severo Ochoa s/n, Campus de Fuentenueva, Universidad de Granada, Granada, 18071, mruizg@ugr.es

Abstract

The design of mathematical models to analyse several aspects of the energy efficiency of a building is a well-known fact that is expressed in terms of certain equations or systems of differential equations. Knowledge of the model makes it possible to avoid a series of calculations related to the energy efficiency of a building, since obtaining specific data related to the temperature distribution indirectly makes it possible to obtain it.

In this work we show a project-based learning proposal to develop part of the contents of the subject Numerical Analysis Applied to Engineering, a three-credit subject in the Structural Analysis in Rehabilitation module of the Master Degree in Architectural Rehabilitation at the University of Granada.

This proposal specifically addresses the following objectives. On the one hand, the precise description of the classical model of cooling and heating of buildings and its programming using free software. On the other hand, the application of the model and its numerical resolution to different problems with specific data. In addition, the resolution of the inverse problem associated with the previous model, identifying some of its parameters, which entails the empirical obtaining of the interior temperature of the rooms in order to subsequently carry out an energy analysis of the building with the help of the mathematical model.

Keywords: Energy efficiency, Numerical Analysis, Project-based learning.

1. Introduction

University education has undergone a significant transformation in recent years to adapt to the needs of an ever-changing and increasingly complex society. In this sense, university teachers are progressively assuming a more focused approach to improve teaching strategies in order to meet the demands of students and ensure their success in a competitive world.

This paper presents an educational experience carried out within the framework of the Numerical Analysis Applied to Engineering course of Master's Degree in Architectural Rehabilitation at the University of Granada. The contents of the course are structured in the following three blocks:

- B1) Ordinary differential equations.
- B2) Resolution of one-dimensional problems by means of the Finite Element Method.
- B3) Introduction to the Finite Element Method for problems with partial differential equations.

The number of students enrolled in the subject, around 20 in recent years, has allowed the transformation of the teaching model from a teaching methodology based mainly on the traditional transmission of knowledge through lectures, to a methodology that promotes full active participation of students in the pursuit of their own learning.

Specifically, the experience we present here has been developed specifically in the block of contents dedicated to the study of differential equations. It is a teaching experience carried out with a project-based methodology on energy efficiency models that has allowed us to apply mathematical concepts to real situations and solve practical problems.

2. Objectives

In this section we set out the objectives we have set ourselves with the implementation of this teaching experience.

- a) To improve research skills, mainly the ability to gather, analyse and synthesise information effectively.
- b) To encourage critical thinking, so that students analyse the information they have gathered and enable them to make informed decisions and solve problems related to the project.
- c) To foster collaboration and teamwork, which will lead to the development of collaboration and teamwork skills.
- d) To develop communication and presentation skills.
- e) To apply the knowledge and skills acquired in real situations, which allows the students to develop practical skills.
- f) To improve the motivation and the commitment.
- g) To foster responsibility and autonomy, as learners have an active role in their learning and are responsible for the realisation of the project. This allows them to develop skills of responsibility and autonomy.

3. Methodology

The experience was divided into three phases: in the first one, the planning of the activity was carried out; in the second one, the activity itself was implemented; and in the third one, the results obtained were analysed.

First phase: Planning.

This first phase was fundamental in the development of the project, as it allows structuring all the work of the project, including the choice of the project, the programming of the activities or the evaluation. More specifically:

- 1) Analysis of the pros and cons of approaching each of the topics of the syllabus with a project-based teaching-learning strategy.

- 2) Choice of the project on energy efficiency. The topic seemed broad enough to allow for a wide variety of cases and solutions.
- 3) Establishment of the time frame, identification of the objectives and competences to be developed.
- 4) Preparation of the material, design of the activities, formulation of questions, etc. The material has been provided to students through the University of Granada PRADO teaching platform. It is a series of presentations prepared by the teaching staff that include a detailed contextualisation of the energy efficiency models in buildings, the mathematical tools that allow their analysis and an introduction to the free software (Maxima) that will be used as a key element for the effective resolution of the models. In addition, the use of various electronic resources of specialised content accessible to students through the library of the University of Granada is recommended.
- 5) Definition of the evaluation criteria: delivery of teaching assignments, interviews and analysis of specific models.

Second phase: Implementation

We continue with the implementation, in which a real problem in the context of Energy Efficiency introduces students to a process of research, development and programming:

- 1) Introduction of a real problem related to the energy efficiency of a building.
- 2) Investigation of the problem in pairs. Gathering information from different cases.
- 3) Review of the key concepts of differential equations.
- 4) Analysis of the mathematical model.
- 5) Designing a resolution strategy.
- 6) Computational implementation of the solutions of the different cases. Use of free software (Maxima).
- 7) Presentation of the projects by the students.

Third phase: Analysis of the results.

From a practical point of view, this phase is essential. It also includes the application of the evaluation criteria established in the first phase.

- 1) Evaluation of the students work to determine whether they have achieved the objectives set. Evaluation may also include a review of the quality of the work, the final presentation and participation in the project.
- 2) Comparison of academic results.
- 3) Reflection with learners on their experience of the project and how they have learned can be applied in future situations.

4. Results

The experience has been very enriching for both students and teachers. We would like to highlight that we have noticed a transformation in the students mentality towards the subject, increasing their interest and commitment. To the learning process compared to previous years, we have achieved:

- a) Increased academic performance: Students have shown improved grades, indicating a better understanding of the subject matter. This improvement is significant and long-lasting.
- b) Enhanced understanding of content: The experience has helped students develop a deeper comprehension of the course material. This understanding extends beyond mere memorization to the application of knowledge in practical scenarios.
- c) Improvement in practical skills: Students have shown enhanced abilities to solve problems using mathematical software and techniques. This improvement translates to real-world application of mathematical concepts.

Based-project learning of mathematical models for energy efficiency

- d) Promotion of cooperative learning: The experience has encouraged collaborative learning, fostering teamwork and communication skills. This approach can be particularly effective in a subject like mathematics, where problem-solving often requires group effort.
- e) Enhanced communication skills: The experience has helped students improve their communication skills, both written and verbal. This was crucial for effective collaboration and problem-solving in mathematics and beyond.

Based on these outcomes, here are some actionable steps for further improvement:

- Continue to emphasize the importance of interest in learning. Students should be encouraged to discover academic interests, which have been shown to promote commitment and engagement.
- Utilize active learning strategies, such as problem-based learning, to engage students and promote the application of knowledge in real situations.
- Incorporate group projects into the curriculum to foster teamwork and communication skills.
- Regularly assess and adjust teaching strategies based on student performance data, ensuring that instruction is tailored to meet students' needs.

5. Conclusions

In conclusion, the experience described has proven to be highly enriching for both students and professors, leading to improved academic performance, enhanced understanding of content, improvement in practical skills, promotion of cooperative learning, and enhancement of communication skills. By continuing to focus on these areas, we can further improve the educational experience for our students.

References

- Burden R, Faires JD. 2012. Análisis numérico, 9ª ed. México, Thomson-Learning, México.
- Fernández-Cabezas M. 2017. Aprendizaje basado en proyectos en el ámbito universitario: una experiencia de innovación metodológica en educación, *International Journal of Developmental and Educational Psychology*, 2 (1): 269-278.
- Hernández-Sampieri R, Fernández-Collado C, Baptista-Lucio P. 2014. Metodología de la investigación, McGraw Hill, México.
- Kotnour T, Vergopia C. 2005. Learning-based project reviews: Observations and lessons learned from the Kennedy Space Center, *EMJ-Engineering Management Journal* 17: 30-38.
- Maldonado Pérez M. 2008. Aprendizaje basado en proyectos colaborativos. Una experiencia en Educación Superior, *Laurus* 14 (28): 158-180.
- Mengel T. 2008. Outcome-based project management education for emerging leaders – A case study of teaching and learning project management, *International Journal of Project Management*, 26: 275-285.
- Pérez De Albéniz Iturriaga A, Fonseca Pedrero E, Lucas Molina B. 2021. Iniciación al Aprendizaje Basado en Proyectos Claves para su implementación, Ed. Universidad de La Rioja, La Rioja.
- Thomas JW. 2000. A Review of Research on Project-Based Learning, Autodesk Foundation, California.
- Toledo Morales P, Sánchez García JM. 2018, Aprendizaje basado en proyectos: una experiencia universitaria, *Profesorado: Revista de curriculum y formación del profesorado*, 22 (2): 429-449.
- Zill DC. 2015, Ecuaciones diferenciales con aplicaciones de modelado, 10ª edición, Cengage Learning, México.

Teaching outside the classroom. The case of the School of Architecture and Cultural Heritage in Syracuse

Barbera, Paola^a, Carocci, Caterina F.^a, De Medici, Stefania^a y Vitale, Maria Rosaria^a

^a Struttura Didattica Speciale di Architettura e Patrimonio Culturale, Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura, Università degli Studi di Catania, piazza Federico di Svevia s.n., 96100, Siracusa (IT).
stefania.demedici@unict.it

Abstract

Education in architecture according to the model proposed by the Italian Ministry of University is based on a broad-based educational programme, which combines lectures, workshop activities and field experiences. The outcomes of the latter are strongly influenced by the territorial context of the course and by the opportunity to systemise the knowledge acquired in the course into real action. The paper discusses the integrative teaching experiences held at the School of Architecture and Cultural Heritage in Syracuse, University of Catania (Italy) within the Master's Degree Course in Architecture. A project experience, applied to a concrete case, is set up to train students in the restoration, reuse and conservation of cultural heritage. This experience leads the students to an immersive experience in the built environment. This includes the active involvement of people potentially interested in the project, local authorities and stakeholders.

A similar approach is taken within the disciplines of architectural history for in-house internships at the School of Architecture and Cultural Heritage. In these activities, students are guided to experience the critical reading of original document preserved in the School's project archive. As a result, the teaching experience offers a simplified contact between education and research.

The paper shows how student evaluations highlight a greater interest in such experiences than in learning in face-to-face courses. Teaching outside the classroom seems to lead students to a deeper awareness of the knowledge and design issues of the built environment and to a more integrative approach to the development of the final degree dissertation.

Keywords: Field experiences, Critical reading, Approaching to research.

1. Introduction

According to the model promoted by the Italian Ministry of Universities (law no. 240 of 30 December 2010, as amended), education in architecture is based on a wide-ranging teaching programme that combines lectures, laboratory activities and field experiences. The aim is to train young architects to be professionals with a wide cultural background, skilled in dealing with the problems of architectural practice with a multidisciplinary approach. The students' skills are cross-cutting, ranging from the theoretical to the practical-operational, and allow them to manage the design and construction of projects at different scales and intervention types (new architecture, renovation, restoration, city and landscape design). Such competences are intended to lead and coordinate processes of growing complexity, which involve specialists from different sectors.

The context in which study, research and experimentation take place is of primary importance, in line with the educational objectives in the field of architecture. The aim of the paper is to verify the hypothesis that the more varied and complex is the territory studied, the better are the opportunities to systemise the knowledge acquired throughout the studies, through actions taking place in a real scenario. Moreover, the links established with the territory in learning processes foster affection and boost urban and landscape regeneration processes.

In Italy, degree courses in Architecture are mainly located in stratified urban contexts, serving as a field of observation and experimentation for future architects. This condition of contextual complexity is an opportunity, as it provides the chance to address multiple issues and benefit from an immersive experience in the disciplines of the degree course. Consistent with this focus, the paper analyses the case of the School of Architecture and Cultural Heritage in the historic centre of Syracuse (Figure 1). Twenty-five years after the institution of the degree course in a satellite campus of the University of Catania, it highlights two key points: 1) Syracuse's barycentric position in Eastern Sicily has enabled more extensive and fruitful relations with local stakeholders, offering students a rich and varied field of experimentation; 2) the location in a degraded and thoroughly abandoned historic centre has triggered virtuous processes of mutual enrichment between the city and the university, leading to a process of urban regeneration that has changed the city's fortunes.



Figure 1. Ortigia island, Syracuse. Maniace Castle (1232-1239) and the School of Architecture and Cultural Heritage in the foreground

Source: Andrea Savi - AndreaCT78 (2021), licensed under the cc-by-sa-2.0

2. University and territory: knowledge processes and driving forces for urban regeneration

Universities are the engine of growth (Glaeser, 2011), although they have long been seen as repositories (Jacobs, 1969) and generators of knowledge (De Ridder-Symoens, 1992). Since the late 1960s, their impact on communities has been widely recognised, as they are able to generate stable relationships and synergies between territorial actors (O'Mara, 2012) and improve local economies by increasing employment, purchasing power and property stability (Woffard, 1970; Nash, 1973). The main public service mission of universities concerns local and regional socio-economic growth. Indeed, their presence fosters knowledge networks and economic competitiveness (Alperovitz, 2003; Alperovitz et al., 2007; Alperovitz et al., 2008; Lamore et al., 2006).

The cultural mission, locational advantage and capital investment of universities significantly influence urban development dynamics through the creation and management of dedicated facilities - hospitals, sports facilities, libraries and telecommunications (Bercovitz and Feldman, 2006).

From this perspective, the paper analyses a change that has already taken place in the city of Syracuse and the territory of Eastern Sicily, clearly linked to the role played by higher education. The case study analysed confirms the results of previous studies that have focused on the role of universities in improving the living conditions of their territories. The analysis highlights not only the cultural growth brought about by the opportunities offered by the territory, but also the development trajectories promoted in the settlements and the empowerment effects on the communities. Scholarly debate shows that cultural production and high-tech spillovers determine local or regional impacts (Comunian, 2014), depending on the social and physical contexts in which knowledge transfer takes place (Florida and Mellander, 2016). Knowledge-intensive activities trigger symbiotic cooperation within local communities because they involve new actors in flexible and proactive cross-sectoral processes of innovation and cultural hybridisation (Rantisi and Leslie, 2015).

Knowledge-based innovation (Esquinas and Pinto, 2014) in historical contexts primarily generates consensus around an expanded vision of heritage. Furthermore, culture is a driver of economic development, as knowledge generated by universities leads to economic benefits through transfer processes and spin-off companies (Audretsch et al., 2005). Finally, higher education contributes to improving skills, both in terms of citizenship and social inclusion. The knock-on effects generated between university staff, students and local authorities appear as a connotative aspect of processes that can be defined as circular regeneration (Kantor and Whalley, 2014). Knowledge-providing institutions raise the overall skills of communities, counteracting the effects of deindustrialisation and globalisation through research (Hodges and Dubb, 2012). Universities support urban development by creating jobs and attracting creative entrepreneurship, fostering a bottom-up synergy between expert knowledge and the local experience of citizens.

3. The School of Architecture in Syracuse and its local relevance

Syracuse is a medium-sized city on the east coast of Sicily, strategically located. Since Greek times, Syracuse has been a hub of cultural and commercial exchange for the Mediterranean peoples. The city was one of the most important centres of Magna Graecia, both for its artistic development and its commercial role. In the Middle Ages it was one of the first centres for the spread of Christianity and, after periods of lower prosperity, it experienced a new development after the earthquake of 1693. The city and its territory preserve tangible memories of its cultural growth. The historic centre is located on the small island of Ortigia, connected by two bridges to the eastern end of the city.

The strategic decision to locate the School of Architecture and Cultural Heritage on the island of Ortigia since 1998 has triggered the process of urban regeneration in the city of Syracuse. The foundation of the School turned into the new catalyst of urban regeneration, sparking virtuous processes of cultural heritage rehabilitation. Local authorities, higher education and cultural heritage entrepreneurship have become the main pillars of a circular process of reuse and enhancement of the built environment. In addition to teaching and research, the School has actively pursued its third mission by promoting the involvement of the local community. Over twenty-five years, the university has increasingly played the role of a reference institution, promoting a domino effect triggered by the circularity of the economy on the territory, which has stimulated not only heritage conservation,

but also the promotion of innovation and civic engagement (Taylor and Luter, 2013). As a result, in 2005 the entire city of Syracuse, together with the island of Ortigia, was awarded UNESCO World Heritage status.

The layering of cultural and natural values and attributes goes beyond the concept of an urban centre to include the landscape and the entire territory of eastern Sicily. The approach to the training of young architects is in line with that of the Historic Urban Landscape (HUL) promoted by UNESCO (UNESCO, 2011), which emphasises the systemic interrelationship between economic, human, natural and cultural capitals (Throsby, 1999) and the intrinsic complexity of any intervention aimed at transforming the urban environment. In this scenario, the competitiveness of the results can be largely attributed to the maintenance of the city's organisational structure - which represents its particular identity - in line with the co-evolution of community, material culture and the built environment (De Medici et al. 2018).

4. Criteria of training organisation

The teaching methods applied are designed for the gradual learning of the principles and processes involved in design activities. Five teaching coordinators are responsible for each year of the Degree Course in Architecture. They have to ensure that the workload required by each module is suitably balanced. In addition to the horizontal co-ordinators, an effective vertical co-ordination enables the lecturers of each academic field to set up gradual learning paths, planning the contents and aims of each course as part of an overall teaching project, guiding the students throughout their curriculum. The learning outcomes are strongly influenced by the local context of the course and the opportunity to systematise the knowledge gained in the class into real action.

In the framework of the learning experience, the proposed curriculum is annually enriched with experimental and project research activities at different scales, in which students can be involved. These include attendance at visits and study trips, as well as design workshops with foreign and Italian guest lecturers, and laboratory activities in project learning. In addition, meetings and conferences with external guests enhance the individual course programme. Students are also given the opportunity to actively participate in research and third mission tasks supervised by lecturers.

An educational pilot project has been running for several years at the School of Architecture in Syracuse to explore the possibility of a fruitful linkage between research and teaching. A design experience, applied to a real project case, is used to train students in the restoration, reuse and conservation of the architectural heritage. The overall benefits of this approach are twofold. Training students through direct experience provides an immersive activity in the built environment. In addition, the focus on real case studies allows academic knowledge and skills to be put at the service of the local community, including the involvement of people potentially interested in the project, local authorities and stakeholders.

Indeed, if the transfer of research results into teaching is an essential aspect of university education, the use of teaching activities as a check and development tool for research has led to significant results both in terms of testing new approaches to teaching and in terms of increasing research potential.

Already in 2007, a workshop experience of study and field survey was launched for the students of the Restoration Lab, applied to the village of Motta Camastra in the Alcantara Valley. In the following years, the trial was repeated with growing awareness and, following the earthquakes of 2009 and 2012, with a specific methodological approach (Fig. 3). In the same pilot project, the Italian methodology of intervention in historic centres was applied to the French town of Marignane, near Marseille, and to a section of the historic centre of Randazzo. More recently, the same approach has been applied to the historic centre of Leonforte.



Figure 2. Students during a workshop

Source: Own elaboration (2016)

In all these cases, the small size of the town or part of the historic centre chosen for the learning task enabled the whole class to be involved in a collective activity. The students worked in teams as part of a coordinated effort supervised by the teacher. Furthermore, the state of total or partial abandonment, the presence of collapses and the state of conservation of the building provided an opportunity to make systematic observations of the architectural elements, the construction methods and the overall configurations, as well as the transformations that have occurred or the processes of damage or deterioration in progress. This unusual situation, which required special attention to student safety, provided a simulation comparable to that of an open building site and allowed students to practice directly the methods of observation and analysis they had learnt in the classroom.

Another common feature of the above experiences was the response to a local need, resulting from a specific interest in the regeneration of the historic centre expressed by the local authorities. The dialogue with local stakeholders allowed for a field study experience and offered students the opportunity to engage with the choices, strategies, planning tools or interventions that were being developed. The learning activity consisted of lectures and workshops. It was organised in three main stages: the preparation of basic materials, a field seminar and a third stage in the classroom to review, revise and propose intervention solutions.

Preparation for the field seminar consisted of redrawing the land registry plans, graphically reconstructing the ground plan of the historic centres on the basis of existing surveys, and making a preliminary presentation of the façade views on the basis of existing or web-based photographic documentation.

The field seminars usually lasted one week. They were used to verify the drawings prepared in the classroom, the structural survey and the state of conservation and damage. During this phase, a more detailed identification of the building units was also carried out, essential for the later definition of interventions at the architectural scale. Detailed photographic documentation was also carried out on all the blocks. Particular attention was paid to reconstructing the growth and transformation phases of the fabric.

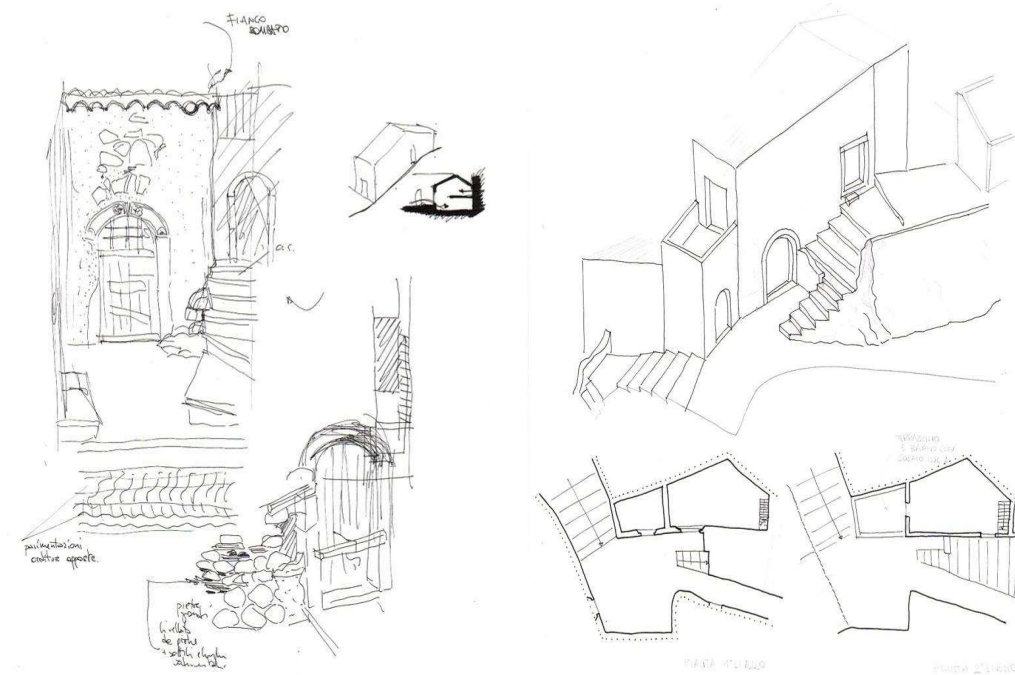


Figure 3. Motta Camastra. Students drawings during the workshop

Source: Own elaboration (2016)

The seminar activity not only allowed teaching to be based on a real context, but also a positive interaction with the local life and the inhabitants, who were involved in the rediscovery of abandoned places, excluded from the circuits of the city's vitality, as in the case of Motta Camastra and Marignane. In other cases, such as the municipalities damaged by the earthquake, the local community was involved in defining guidelines for the future redevelopment of historic centres that had already been affected by phenomena of increasing depopulation before the earthquake. The fieldwork was accompanied by meetings with administrators, office managers and residents, both during the work and at the end of the seminar, in order to present the initial results of the observations. This was a fruitful way to gather ideas for the project, almost as if simulating a real commission, and to receive useful feedback on the initial reflections and proposals that began to emerge during the seminar.

Another common thread running through the experiences was the involvement of all the restoration lecturers in the seminar activities, achieving coordination between the courses and giving concrete examples to the students of a shared working method within a research group that also included undergraduates working on the same themes (Figure 4).

The following classroom work phase focused on an overall interpretation of the data and observations collected during the survey campaign. The projects were jointly discussed and coordinated according to a general programme coordinated by the lecturer. At the end of each workshop, the course deliverables were presented as part of thematic exhibitions open to the public, in order to complete a communication strategy of the work carried out that would once again submit the results to the scrutiny of the local stakeholders.



Figure 4. Eurialo Castle (Syracuse). Study visit

Source: Own elaboration (2023)

2023, Universidad de Granada

A similar approach is adopted within the disciplines of architectural history for internal placements in the School of Architecture and Cultural Heritage.

Over the last decades, the issue of the conservation and restoration of the XX century architecture, as well as the preservation, dissemination and use of its archival sources, emerged as a new challenge for the academic community and the institutions in charge of the safeguard and enhancement of this fragile heritage.

Many Universities, particularly the departments of architecture, promote the creation of architectural archives, in order to accept donations from individual or family records, collect documents and materials and increase the study of contemporary architecture. In 2008 the School of Architecture and Cultural Heritage of Siracusa established the Architectural Archive, which fulfils the main goals of ensuring the long-term preservation of the architectural collections; promoting the use of the collections to support the institutional aims of research, teaching and learning; providing access to the collections for scholars and other archive users; engaging with institutions, networks, specialized organizations and the wider community.

The Architectural Archive offers training programmes to the students, with the support and guidance from qualified staff in the following areas:

- arrangement and description of documents and materials at a variety of levels (repository, record group or collection, series, file unit, and item).
- implementation of explanatory notes, inventories and catalogues;
- digitisation of selected drawings and photographs and creation of finding-aids on the website;
- organization of exhibits and outreach events.

The traineeship is a chance to gain valuable experience in working with architectural records while getting some hands-on experience as an effective member of a team, and learning how to analyse, critically evaluate and preserve architectural documents. Training activity is also an opportunity to get an insight into the history of contemporary architecture and its broader role in society. At the same time, candidates will benefit from the possibility of developing a wealth of practical skills, which include scanning, cataloguing, listing, and digitising archive material. Consequently, the teaching experience facilitates contact between education and research.

As evidence of the effectiveness of the teaching methods described, student evaluations show a greater interest in these experiences than in learning in face-to-face courses. Teaching outside the classroom seems to lead students to a greater awareness of knowledge and design issues in the built environment and a more integrative approach to the development of the thesis.

5. Conclusions

Almost sixteen years after the first workshop focused on a field experience, and in view of the long period of experimentation, a balance can be drawn. In the experiments implemented, the idea of conveying the didactics of restoration and adaptive reuse through a real experience has achieved a twofold result. On the one hand, it allowed the school classes to measure themselves concretely against the problems posed by the historical artefacts and contexts examined, the existing or forthcoming urban planning programmes and instruments, and the expectations of the inhabitants. On the other hand, the inhabitants were actively involved in a heated dialogue in a process of rediscovering and reappropriating abandoned parts of their city or, in the case of the earthquake-affected cities, participating in the choices for future reconstruction.

Moreover, the proposal of collaborative work - teachers sharing the research method with students - imposed the need to rethink the way of doing research. At the same time, it allowed for a different way of teaching, in which students and teachers take responsibility for studying the real object in a scientific way. The workshop - conceived as a class combining restoration, history and design - allowed the proposed topics to be approached in a multidisciplinary and multi-scale manner, combining complementary knowledge and methodologies in a synergistic way.

The identification of the subject of the study, the definition of a methodological protocol, the development of the state of the art and the basic documentation, preliminary activities of any research, found their first precise application in the teaching moment. The pedagogical choice of teaching restoration, adaptive reuse and history of architecture through direct experience was an opportunity to put the scientific skills available in the school at

the service of civil society and to bring the student architects closer to the problems that the reality of the time proposed and that lent themselves to fruitful experimentation. In this process, the continuous feedback between research and teaching, also thanks to the contribution of a significant critical mass of proposals and points of view, became a productive tool, both for the purpose of introducing the students to the methodology of research and work in structured groups, and for the purpose of promoting research in line with the demands emerging from the territory and responding to the process of progressive institutionalisation of third mission activities.

References

- Alperovitz G. 2003. An asset based community development paradigm for the twenty-first century. Annie E. Casey Foundation, Baltimore, USA. https://community-wealth.org/sites/clone.community-wealth.org/files/downloads/paper-alperovitz_0.pdf, last accessed 2022/08/20.
- Alperovitz G, Dubb S, Howard T. 2007. New approaches are needed to curb poverty. *The Chronicle of Philanthropy*. <http://philanthropy.com/premium/articles/v20/i03/03004101.htm>, last accessed 2023/04/20.
- Alperovitz G, Dubb S, Howard T. 2008. The Next Wave: Building University Engagement for the 21 st Century. *The Good Society* 17(2): 69-75. <https://www.jstor.org/stable/i20711290>, last accessed 2018/09/20.
- Audretsch DB, Lehmann EE, Warning S. 2005. University spillovers and new firm location. *Research Policy* 34(7): 1113-1122.
- Bercovitz J, Feldman M. 2006. Entrepreneurial Universities and Technology Transfer: A Conceptual Framework for Understanding Knowledge-Based Economic Development. *The Journal of Technology Transfer*, 31(1): 175-188. http://maryannfeldman.web.unc.edu/files/2011/11/Entrepreneurial-Universities-and-Tech-Transfer_2006.pdf, last accessed 2023/05/10.
- Carocci CF. 2008. *Conoscere per abitare, un seminario di studio a Motta Camastra*. Lombardi, Siracusa.
- Carocci CF, Vitale MR. 2017. Restauro, ricerca, didattica. Una sperimentazione metodologica per l'intervento sui tessuti storici. In Fiorani D. *RICerca/REStauo*, Quasar, Roma: 950-957.
- Comunian R, Taylor C, Smith David N. 2014. The Role of Universities in the Regional Creative Economies of the UK: Hidden Protagonists and the Challenge of Knowledge Transfer. *Journal European Planning Studies* 22(12): 2456–2476.
- De Medici S, Riganti P, Viola S. 2018. Circular Economy and the Role of Universities in Urban Regeneration: The Case of Ortigia, Syracuse. *Sustainability* 10, 4305.
- De Ridder-Symoens H. 1992. *A History of the University in Europe*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Esquinas MF, Pinto H. 2014. The Role of Universities in Urban Regeneration: Reframing the Analytical Approach. *Journal European Planning Studies* 22(7): 1462–1483.
- Florida R, Mellander C. 2016. The geography of inequality: Difference and Determinants of Wage and Income Inequality across US Metros. *Regional Studies* 50(1): 79-92.
- Glaeser E. 2011. *Triumph of the city: How Our Greatest Invention Makes Us Richer, Smarter, Greener, Healthier, and Happier*. The Penguin Press, New York, USA.
- Hodges RA, Dubb S. 2012. *Road half traveled: University engagement at a crossroads*. Michigan State University Press, East Lansing, USA.
- Jacobs J. 1969. *The economy of cities*. Jonathan Cape, London, UK.
- Kantor S, Whalley A. 2014. Knowledge Spillovers from Research Universities: Evidence from Endowment Value Shocks. *Review of Economics and Statistics* 96(1): 171-188.

- Lamore RL, Link T, Blackmond T. 2006. Renewing people and places: Institutional investment policies that enhance social capital and improve the built Environment of distressed communities. *Journal of Urban Affairs* 28(5): 429-442.
- Nash G. 1973. *The university and the city: Eight cases of involvement*. McGraw-Hill Book Company, Hightstown, USA.
- O'Mara M. 2012. Beyond the town and gown: University economic engagement and the legacy of the urban crisis. *Journal of Technology Transfer* 37(2): 234-250.
- Rantisi NM, Leslie D. 2015. Significance of Higher Educational Institutions as Cultural Intermediaries: The Case of the École nationale de cirque in Montreal, Canada. *Journal Regional Studies* 49(3): 404-417.
- Taylor HL, Luter G. 2013. Anchor institutions: An interpretive review essay. Anchor Institutions Task Force, University at Buffalo, Buffalo, USA. <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://community-wealth.org/sites/clone.community-wealth.org/files/downloads/paper-taylor-luter.pdf>, last accessed 2023/06/10.
- Throsby D. 1999. Cultural Capital. *Journal of Cultural Economics* 23: 3-12.
- Unesco. 2011. Recommendation on the Historic Urban Landscape, including a glossary of definitions. http://portal.unesco.org/en/ev.phpURL_ID=48857&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html, last accessed 2023/05/20.
- Woffard JW. 1970. *Urban Universities: Rhetoric, Reality, and Conflict*. US Department of Health, Education & Welfare, Washington, USA. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED039861.pdf>, last accessed 2018/09/20.

STEAM como metodología pedagógica innovadora en la educación superior del grado de Arquitectura Técnica de la Universidad de Burgos: Procesos de enseñanza - aprendizaje, realidad, formación y experiencia.

Muñoz Ruiperez, Carmelo, Muñoz-Arranz, Marina^b; Garabito López, Javier^c; Fiol Olivan, Francisco^d y Rodrigo Bravo, Alba^e

Universidad de Burgos

^a cmruip@ubu.es, ^b munozarranz@gmail.com, ^c jgarabito@ubu.es, ^d ffiol@ubu.es, ^e arbravo@ubu.es)

Abstract

Spanish universities face the crucial challenge of evolving in coordination with companies, entrepreneurs and investors, to supply the professional market. Bridging the gap between the university and the business world has now become a vitally important issue; business-university collaboration is no longer a social utility but a matter of survival. On the other hand, it is key to transfer the knowledge generated in universities to society and the market in order to build an industry of value.

STEAM is a pedagogical, creative and innovative strategy, whose basic idea is to group five disciplinary areas (science, technology, engineering, art and mathematics) to solve by students different problematic and real situations related to their environment and technology. Therefore, educating or complementing teaching under this methodology allows the development of professional skills from higher education to respond to current demand.

In this work is developed as the Degree in Technical Architecture of the University of Burgos, is trying to shorten the distance between the content and the sometimes excessively theoretical way of teaching subjects and requirements, much more practical, from the professional world. In the subjects different practices are developed, some with STEAM methodology, which allow the student to approach a real problem of building, In construction and materials workshops, students can build actual units of work themselves and perform different tests and research new materials and techniques.

Keywords: STEAM, Pedagogical strategy, Teaching processes - Learning, reality, Training and experience

1. Introducción

Las universidades españolas tienen por delante el crucial reto de evolucionar en coordinación con las empresas, emprendedores e inversores, para abastecer al mercado de profesionales. Acortar las distancias que separan el mundo universitario del empresarial se ha convertido en la actualidad en un tema de vital importancia, la colaboración empresa-universidad ya no es una utilidad social sino una cuestión de supervivencia. Por otro lado, es clave trasladar el conocimiento que se genera en las universidades a la sociedad y al mercado para así construir una industria de valor.

España mantiene un evidente desfase entre la formación universitaria y el perfil profesional que demandan las empresas. Así lo corrobora una Encuesta realizada por Adecco a 4.700 jóvenes españoles en 2021, donde seis de cada diez consultados aseguran que las escuelas y facultades no preparan a los titulados para enfrentarse con éxito al mundo laboral. Un estudio realizado por McKinsey & Company reveló que el 72% de los docentes piensan que preparan a sus graduados para el mercado laboral, por el contrario, sólo el 42% de los empleadores y el 44% de los estudiantes piensan lo mismo (Mourshed *et al.*, 2013). Una encuesta realizada por Strada Gallup 2018 en 2018, refleja que solo el 11% de todos los empleadores cree que los graduados universitarios cuentan con las habilidades necesarias para realizar un trabajo.

Un estudio llevado a cabo por la NACE con 260 empleadores en los Estados Unidos (Gray *et al.*, 2017) encontró que las cualidades más deseadas por los empleadores van más allá de un buen perfil académico. Los empleadores buscan una combinación de habilidades interpersonales que incluyen la capacidad de resolver problemas y trabajar colaborativamente con otros, mientras que las habilidades técnicas ocupan el puesto 11 por orden de importancia. Por otro lado, otro estudio sobre el futuro de las habilidades (Bakhshi *et al.*, 2017) descubrió que el pensamiento complejo, las capacidades interpersonales y todo lo que nos hace humanos es lo que permitirá emplearse en el futuro.

La mayoría de las empresas cada vez priorizan más las competencias y habilidades profesionales (*soft skills*), pero sin subestimar las capacidades técnicas. Las empresas buscan contratar personas con ciertas destrezas que les permitan ser competitivas en un mundo laboral mutante, en el que la adaptabilidad o el liderazgo son condiciones *sine qua non* para triunfar. Porque uno puede ser muy bueno con habilidades técnicas muy específicas para un trabajo, pero si no es capaz de adaptarse o incluso prever los continuos cambios, de proponer acciones y analizar con espíritu crítico, de motivar e inspirar a quienes tienen a su alrededor o de trabajar en equipo, probablemente nunca llegará a encajar en el nuevo ecosistema laboral (Salgado, 2022).

En este marco, algunas de las capacidades más imprescindibles para el futuro serán: el pensamiento crítico, la creatividad, la gestión de personas, el arte de la negociación, la inteligencia emocional, la empatía, la innovación, la comunicación efectiva, la capacidad de influencia, la flexibilidad, la proactividad, la tolerancia a la frustración, la resiliencia, el trabajo en equipo o la visión estratégica (Salgado, 2022). El rol de las universidades es fundamental en este sentido, siendo su prioridad preparar a los estudiantes para que desarrollen las habilidades demandadas en el campo laboral (Gartner, 2020).

Universidad y empresa deben esforzarse por ampliar modelos de colaboración innovadores donde la formación teórica y práctica se unan y preparen mejor el talento joven para el mundo laboral real.

2. STEAM

STEM proviene del acrónimo en inglés Science, Technology, Engineering and Mathematics (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas).

El STEAM es una estrategia pedagógica, creativa e innovadora, cuya idea de base es agrupar cinco áreas disciplinares (ciencias, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas) (Yackman, 2008) para resolver por los estudiantes diferentes situaciones problemáticas y reales relacionadas con su entorno y la tecnología, aportando soluciones creativas e innovadoras con la utilización de tecnologías (Sevilla *et al.*, 2020).

La primera vez que se introdujo el término STEM (ciencias, tecnología, ingeniería, y matemáticas) fue en la década de los 90s por la Fundación Nacional para la Ciencia en USA (Asinc *et al.*, 2019) como respuesta a la creciente demanda formativa derivada de la transformación digital, llegando a Europa en 2005 con la publicación del informe "Europe Needs More Scientists: Report by the High Level Group on Increasing Human

Resources for Science and Technology” publicado por la Comisión Europea. En el año 2008 la educación artística se sumó a las cuatro anteriores para crear lo que hoy conocemos como STEAM.

La metodología STEAM, se ha convertido en prioritaria en la mayoría de los países del mundo, demostrándose que es la metodología mejor para preparar a nuestros jóvenes para el mundo que viene. También es la tendencia educativa que marca Europa.

Con la educación STEAM basada en proyectos se quiere que los alumnos cumplan eficazmente con los siguientes objetivos (González, 2018): enseñar a pensar, que aprendan a aprender, enseñar a decidirse, es decir, a la toma de decisiones que hagan que se decanten entre varias posibilidades y asuman los riesgos de su elección, valorando en todo momento los posibles resultados, enseñar a comportarse responsablemente, es decir, asumir que su comportamiento va a influir en la consecución tanto de los objetivos personales como los del grupo; enseñar a convivir, es decir, a relacionarse asertivamente, aceptar la diversidad, valorar las aportaciones que puede realizar cada miembro del equipo.

Por lo que educar o complementar la docencia bajo esta metodología permite el desarrollo de competencias profesionales desde la formación superior para dar respuesta a la demanda actual.

3. Objetivos

El objetivo principal es tratar de acortar la distancia entre el contenido y la forma en ocasiones excesivamente teórica de impartir las asignaturas y las exigencias, mucho más prácticas, del mundo profesional en algunas asignaturas del Grado de Arquitectura Técnica y del Doble Grado de Ingeniería Civil y Arquitectura Técnica de la Universidad de Burgos.

La idea es desarrollar proyectos y prácticas para trabajar en equipo y que los mismos estudiantes exploren y logren la solución de un problema mediante el pensamiento crítico, la comunicación efectiva y el manejo eficiente del tiempo.

4. Metodología pedagógica en el grado de Arquitectura Técnica de la Universidad de Burgos

4.1. Innovación educativa en el Grado de Arquitectura Técnica

El concepto de innovación surge en el ámbito industrial, y poco a poco, se ha ido adaptando a la sociedad de la información (Margalef et al., 2006), llegando a convertirse en un elemento propio dentro de las universidades a nivel mundial (Gairín, 2001; Quizhpe, et al., 2016).

Actualmente se habla de innovación más que nunca, pero, estas innovaciones deben consolidarse, evaluarse y adaptarse a las nuevas necesidades, siendo necesario un cambio de mentalidad por parte de todos los agentes principales en la educación, profesorado y alumnado (López-Martín, et al., 2017).

El cambio de actitudes debe ir acompañado de un cambio en la forma de pensar y actuar, y que se fundamenta en nuevos objetivos, competencias, metodologías y estrategias de evaluación.

La mayoría de los profesores solemos tener un ADN “profesoril” en la que la metodología docente se basa en transmitir conocimientos mediante la sesión expositiva, dada la edad de muchos de los docentes es lo único que han visto y vivido (Francesc I., 2019), se espera que el estudiante asimile unos contenidos que el docente formula y siendo examinando sobre lo que se ha dicho, no sobre lo que se ha aprendido. Ya sabemos que es una falacia pensar que el ser humano aprende por transmisión verbal, al contrario, no aprende por transmisión verbal del conocimiento sino por construcción del conocimiento mediante la actividad. Este tipo de enseñanza suele provocar un aprendizaje memorístico, de corta duración, reiterativo y acrítico.

Sin embargo, otros profesores son conscientes de que hoy ya no es suficiente exponer un caudal de conocimientos, e implementan metodologías para transmitir a sus estudiantes nuevas capacidades individuales y en grupo.

4.2. Rol estudiante y el docente

El alumnado debe convertirse en el principal agente en los procesos de enseñanza-aprendizaje, donde el docente actúa de guía de los conocimientos y anima a los estudiantes a involucrarse en la educación, alentándoles a transformar el aprendizaje, cambiándolo, acomodándolo, mejorándolo, modificándose uno en el mismo proceso, convirtiéndose en líderes del cambio (García-Retamero, 2010; Salinas, 2004).

Es de capital importancia del tema o prácticas que resulten atractivas para los alumnos, el docente debe proporcionar un feedback constructivo a sus alumnos evaluando el proceso.

Ya sabemos que es una falacia pensar que el ser humano aprende por transmisión verbal, al contrario, no aprende por transmisión verbal del conocimiento sino por construcción del conocimiento mediante la actividad

4.3. Experiencias

En algunas de las asignaturas que se imparten en el Grado de Arquitectura Técnica y en el Doble Grado de Ingeniería Civil y Arquitectura Técnica de la Universidad de Burgos se desarrollan diferentes prácticas, algunas con metodología STEAM, que permiten acercar al alumno a un problema real de edificación, en los talleres de construcción y materiales los alumnos pueden construir por sí mismos unidades reales de obra y realizar diferentes ensayos e investigar en nuevos materiales y técnicas, facilitando el aprendizaje especializado y el aprendizaje interconectado desde distintas materias.

Ello contribuye a que el alumnado desarrolle la capacidad de relacionar conceptos, ver la realidad desde distintos puntos de vista y con distintos enfoques.

4.3.1. Experiencias basadas en proyectos

Para desarrollar esta metodología el docente debe comprender que básicamente sigue las siguientes fases: elección del tema, detección de ideas previas, búsqueda y tratamiento de la información, desarrollo diversas actividades de enseñanza-aprendizaje y la presentación del producto final (Figura 1). En este caso el docente tiene la responsabilidad de orientar el desarrollo de los proyectos, planificarlos y evaluarlos de acuerdo a las necesidades curriculares y situaciones de su contexto.



Figura 1. Trabajos de desarrollo de proyectos por los alumnos

4.3.2. Experiencias basadas en problemas

Los estudiantes contribuyan en su aprendizaje a través del descubrimiento de posibles soluciones que contrarresten el problema (Figura 2 y Figura 3). La implementación de esta metodología permite la identificación y análisis de problema, planteamiento de hipótesis de solución, acopio de información, valoración de soluciones y extrapolación a la vida diaria.



Figura 2. Montaje de maquetas por los alumnos

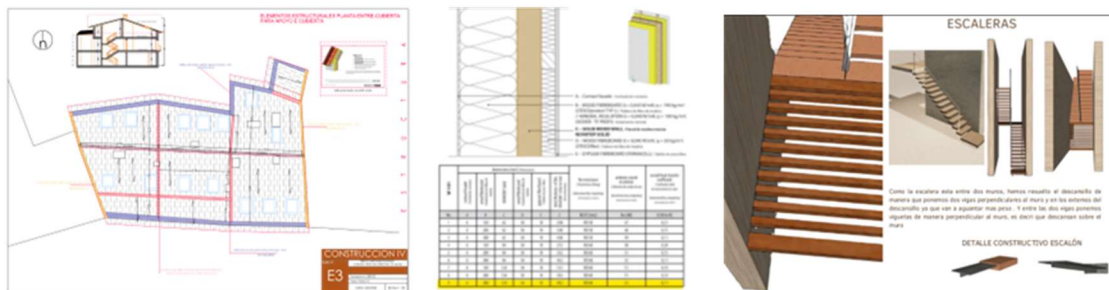


Figura 3. Resolución de estructuras con diferentes materiales y técnicas constructiva

4.3.3. Experiencias basadas en indagación

Permite que los estudiantes desarrollen sus propias ideas gracias a un aprendizaje basado en la experimentación (Figura 4 y Figura 5). En este proceso, el docente tendrá un rol orientador en destrezas propias del campo científico, como hacerse preguntas, obtener datos, razonar, revisar evidencias a la luz de lo desconocido, discutir y concluir el conocimiento construido en el proceso.

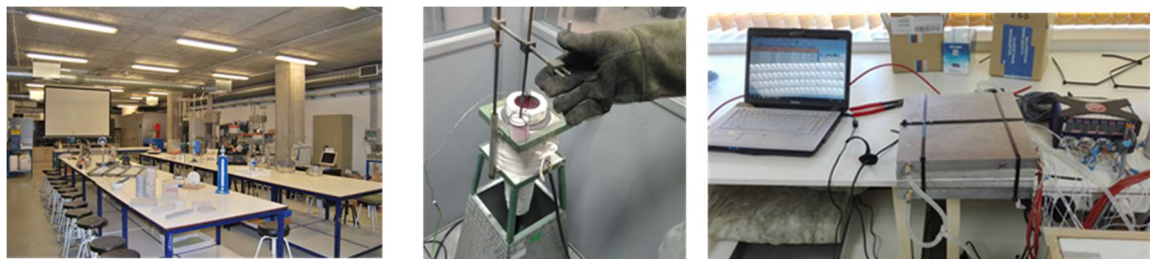


Figura 4. Laboratorio de materiales (izquierda). Ensayo fuego (centro). Ensayo conductividad térmica (derecha)



Figura 5. Taller de construcción

4.3.4. Experiencias basadas en diseño

Implica reconocer que el problema que se aborde es abierto, por tanto, los docentes deben persuadir a sus estudiantes para encontrar más de una solución correcta; en este sentido, se elimina el estigma de fallo, puesto que se considera como parte del proceso para aprender (Figura 6 y Figura 7).



Figura 6. Investigación sobre desprendimientos de piezas de aplacado en la fachada del HUBU (Burgos)



Figura 7. Diseño de pavimento urbano de hormigón y canto rodado

5. Conclusiones

Las experiencias realizadas en varias asignaturas del Grado de Arquitectura Técnica y del Doble Grado de Ingeniería Civil y Arquitectura Técnica de la Universidad de Burgos mediante la propuesta educativa STEAM, ha permitido afianzar los objetivos del proceso de enseñanza y aprendizaje y establecer un marco colaborativo que contribuye a afianzar los conceptos generales, específicos y transversales establecidos en la Memoria del Título.

El desarrollo de la experiencia académica STEAM despertó notoriamente el interés de los estudiantes, ya que mostraron su disposición por aprender y por realizar con aprovechamiento todas las actividades propuestas, lo que pone de manifiesto su compromiso activo por el trabajo en equipo, el liderazgo, la perseverancia, el diálogo, el respeto por la opinión del otro y la solidaridad.

La actitud de los estudiantes fue proactiva, esforzándose en conseguir alcanzar los objetivos del aprendizaje mediante la búsqueda de información, el desarrollo de soluciones técnicas viables y compatibles con los medios disponibles. Por otra parte, las consultas a los Tutores para buscar consejo y apoyo fueron constantes, así como con los compañeros, compartiendo con ellos sus dudas, opiniones o estrategias, lo que ha permitido favorecer el aprendizaje colaborativo grupal.

Con respecto a la búsqueda de información y bibliografía, se ha evidenciado la destreza de algunos estudiantes para buscar y encontrar información de internet no siempre de fácil acceso. De igual forma, se ha podido constatar su reacción adversa a consultar bibliografía en inglés u otros idiomas.

Los alumnos se han tomado muy en serio la tarea de calificar, siendo en la mayoría de los casos más severos que los propios docentes, otorgando menores calificaciones y siendo muy exigentes en el análisis de los resultados obtenidos.

Se ha podido observar que algunos estudiantes no han sabido admitir las críticas de sus compañeros. Para evitar posibles influencias negativas en los procesos de calificación, se optó por no hacer públicas las

valoraciones y comentarios de las exposiciones hasta el final de la sesión, una vez finalizadas todas las presentaciones. De esta forma, conseguimos objetivizar su participación en el proceso de calificación final.

Si atendemos a lo que los estudiantes piensan acerca de su propio trabajo, se comprueba su satisfacción por el trabajo realizado y mostrado en el documento escrito. No así respecto del proceso de exposición, donde son más críticos con su participación, mostrando inseguridad o falta de competencia en la comunicación.

La autoeficacia del alumnado como el aprendizaje experiencial, ya sea a través de medios informáticos o tradicionales, son elementos clave para poder desarrollar correctamente la labor docente (Amor *et al.*, 2020).

La creencia en la propia capacidad o autoeficacia resulta fundamental a la hora de realizar con éxito una actividad. Utilizar técnicas de comunicación que hagan más atractiva la exposición e inspiren al alumnado, resulta fundamental para que los alumnos, independientemente de la dificultad, consideren que sean capaces realizar las distintas actividades y así poder alcanzar los resultados de aprendizaje deseados (Bogner *et al.*, 2020).

Otro de los resultados relevantes de estas experiencias es la mejora de la relación de los estudiantes con los docentes, lo que permite detectar con más facilidad e inmediatez las dudas o dificultades que surgen en el proceso de aprendizaje. Esto permite a los tutores actuar de inmediato para orientar y corregir las posibles disfunciones, lo que contribuye a afianzar el interés y la confianza de los estudiantes.

Tras analizar los resultados obtenidos, se puede concluir que la Metodología STEAM se puede aplicar con éxito para el aprendizaje de las competencias profesionales de los estudiantes del Grado de Arquitectura Técnica y del Doble Grado de Arquitectura Técnica e Ingeniería Civil. No obstante, es necesario indicar que para su diseño, programación y puesta en práctica, los docentes responsables deben dedicar más tiempo que con las metodologías tradicionales.

Referencias

- Amor, R., Cabrera-Guerrero, C., Feng, Z., Gonzalez, V. and Mutch, C. and (2020). Instructional mechanisms in immersive virtual reality serious games: Earthquake emergency training for children. *Journal of computer assisted Learning Wiley*, 37: 542 – 556. <https://doi.org/10.1111/jcal.12507>
- Asinc E, Alvarado B, (2019). Steam como enfoque interdisciplinario e inclusivo para desarrollar las potencialidades y competencias actuales. <https://bit.ly/3iTwKsdp>
- Bogner, F., Conradt, C. and Sotiri, S. (2020). How creativity in STEAM Modules Intervenes with Self- Efficacy and Motivation. *Education Sciences*, 3(70): 1-15. <https://doi.org/10.3390/educsci10030070>
- Francesc I. (2019). La innovación docente en la universidad. ¿Es posible ?. *Diario de la educación*.
- García-Retamero J. (2010). “De profesor tradicional a profesor innovador” en *Revista digital para profesionales de la enseñanza*, issue 11.
- Gairín J, (2001). “La innovación en la Universidad” en *Revista de Investigación Educativa*, 19 (2): 635-640.
- Gartner (2020). Do more with data to close critical skill gaps. <https://emtemp.gcom.cloud/ngw/globalassets/en/human-resources/documents/trends/leveraging-skills-adjacencies.pdf>
- Hasan Bakhshi, Jonathan M. Downing, Michael A. Osborne y Philippe Schneider (2017) *The Future of Skills Employment in 2030* – NESTA. https://media.nesta.org.uk/documents/the_future_of_skills_employment_in_2030_0.pdf
- Kevin Gray y Andrea Konncz (2017). Encuesta NACE Los atributos clave que buscan los empleadores en los currículos de los estudiantes. www.naceweb.org
- López-Martín R., Dias P. & Tiana A. (2017). (Eds.), “E-Innovación en la educación superior” en *Comunicar*, 51 (2).
- Margalef L., Arenas A , (2006). “¿Qué entendemos por innovación educativa?. A propósito del desarrollo curricular” en *Perspectiva Educativa, Formación de profesores*, 47: 13-31.

- Mourshed, M., Farrell, D., y Barton, D. (2013). Education to employment: Designing a system that works. Nueva York, NY: McKinsey & Company. Recuperado el 17 de enero de 2014, de: http://mckinseysociety.com/downloads/reports/Education/Education-to-Employment_FINAL.pdf
- Quizhpe L.A., Gómez O.A. & Aguilar R.P. (2016). "La innovación educativa en la Educación Superior Ecuatoriana y el portafolio docente: instrumentos de desarrollo" en Revista Cubana de Reumatología, 18(3):297-303.
- Raúl Salgado (2022) Claves para cerrar la brecha de competencias entre el mundo académico y el laboral.
- Strada-Gallup Alumni Survey (2018). Mentoring college students to success. <https://www.luminafoundation.org/wp-content/uploads/2019/03/strada-gallup-alumni-survey.pdf>
- Salinas J. (2004). "Innovación docente y uso de las Tic en la enseñanza universitaria" Revista Universidad y Sociedad del Conocimiento, 1 (1). <https://rusc.uoc.edu/rusc/es/index.php/rusc/article/download/v1n1-salinas/228-1150-2-PB.pdf>
- Sevilla S, Solano N, (2020) supervisión 21. Revista de educación e inspección 55: 1-24. <https://bit.ly/3j3xB1>
- Yackman G (2008). STEAM educación : An overview of creating a model of integrative education.

Trabajo Final de Grado en el Grado en Ingeniería de Edificación de la Universidad Católica de Murcia: metodología y resultados

González Ponce, E.^a, Aledo Guerao, S.^b y Segura Valera, J.E.^c

^aUCAM Universidad Católica de Murcia egonzalez@ucam.edu, ^bUCAM Universidad Católica de Murcia saledo@ucam.edu,

^cUCAM Universidad Católica de Murcia jesequera@ucam.edu

Abstract

This communication examines the subject of Final Degree Project in the Degree in Building Engineering at the Catholic University of Murcia, during 11 academic years, since its implementation in the academic year 2011/2012 until last year 2021/2022.

This subject is taken during the 4th year of the degree and it is the subject in which the student has more protagonism and responsibility in the whole process, since the theme and the objectives to be worked on are chosen by him/her and, it also differs from other subjects in that, this is the last one to overcome to culminate their studies. This subject has been assigned an academic load of 12 ECTS distributed in:

- A first subject called Introduction to the Final Degree Project (4.5 ECTS), taught in the first term, with theoretical and practical classes and evaluated by the professors of the subject.
- The second one, called Elaboration of the Final Degree Project (7.5 ECTS), is developed in the second term, mainly based on group or individual tutorials and the Project is exposed and defended by the student before a Court and evaluated by it.

The study is carried out from 2 points of view:

- Describing the teaching methodology followed in this subject
- Analyzing the results obtained at a statistical level from different perspectives such as: the topics chosen by the student for their development, the percentage of enrollment with respect to the degree of abandonment and passing, the academic results obtained by the students and all this from the perspective of the gender vision.

Keywords: Final Degree Project, Teaching methodology, Academic outcomes

1. Introducción

La Universidad Católica de Murcia UCAM tiene implantado el Grado en Ingeniería de Edificación, desde el curso académico 2008/2009 que se puso en marcha el primer curso y desaparecía el primero de Arquitectura Técnica y así sucesivamente. La materia de Trabajo Final de Grado (TFG) se imparte en el cuarto y último curso, por lo que no comienza a impartirse hasta el año 2011/2012, aunque sí se puso en marcha en el Curso de Adaptación desde el curso 2008/2009 aunque no de forma tan reglada.

En la Memoria del Plan de Estudios la materia de TFG, con 12 ECTS, se divide en dos asignaturas:

- Una en el primer semestre de cuarto curso denominada “Introducción al TFG” (ITFG) de 4.5 ECTS
- La otra en el segundo semestre, “Elaboración del TFG” (ETFG) de 7.5 ECTS, aunque esta última tiene actividad durante todo el curso académico para atender al estudiante que quiere y puede presentar en alguna convocatoria especial o extraordinaria fuera del segundo semestre.

Para matricularse de ambas asignaturas es necesario tener un número mínimo de ECTS de la titulación ya superados y para ser evaluado de ITFG se le exigen 180 ECTS superados y para evaluarle en ETFG necesita todos superados o reconocidos excepto esta asignatura, es decir, 232.5 ECTS.

La asignatura de ITFG está enfocada a preparar y orientar al estudiante en la elaboración del TFG, se desarrolla en clases de hora y media, dos días a la semana, clases teóricas y prácticas, impartidas y evaluadas por los profesores de la asignatura, designados “Comisión del TFG”.

El enfoque de la asignatura de ETFG es orientar al alumnado en el desarrollo y elaboración completa de su TFG, ya elegido y estructurado en el semestre anterior. Se imparte en sesiones a base de tutorías grupales o individuales y el estudiante culmina la asignatura y la titulación con la defensa y exposición de su TFG ante un Tribunal de Evaluación que es quien evalúa su Trabajo.

Ambas asignaturas publican cada año su Guía Docente en la web de la titulación de la UCAM reflejando las competencias, los objetivos, los resultados del aprendizaje, la metodología, el temario y el sistema de evaluación, entre otros condicionantes y en el Campus Virtual se publica el Procedimiento, como normativa específica, al amparo del “Reglamento por el que se regulan los Trabajos de Fin de Grado y de Fin de Máster en la Universidad Católica San Antonio de Murcia” como normativa general de la Universidad. Así como en cumplimiento del Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales, el Real Decreto 822/2021, de 28 de septiembre, por el que se establece la organización de las enseñanzas universitarias y del procedimiento de aseguramiento, y la Orden ECI/3855/2007, de 27 de diciembre, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Arquitecto Técnico.

2. Objetivos

Describir la metodología docente seguida en la materia de TFG en la UCAM y **analizar** los resultados obtenidos, durante 11 cursos académicos, sobre cuáles son las temáticas elegidas por el estudiante para el desarrollo de su TFG, los porcentajes de matrícula con respecto al grado de abandono y de superación, los resultados académicos obtenidos por el alumnado y todo ello desde la óptica de la visión de género.

3. Metodología

En este capítulo se describe la metodología docente practicada en las asignaturas que dividen la materia de TFG en la UCAM.

Normalmente, el primer semestre tiene entre 14 y 15 semanas lectivas, por lo que ITFG suele tener entre 28 y 30 sesiones formativas de una hora y media cada una, de las cuales aproximadamente el 43% son teóricas y el otro 57% se dedican a sesiones prácticas y tutorías grupales. La tabla 1 refleja, a modo de cronograma, las tareas del estudiante a lo largo de la asignatura.

Tabla 1. Cronograma sesiones formativas y tareas en ITFG del Grado en Ingeniería de Edificación UCAM

Tarea del estudiante	Semanas (2 sesiones por semana)																											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14														
Elección de la temática																												
Búsqueda de información y bibliografía																												
Búsqueda de Director																												
Clarificar los objetivos que se pretenden																												
Estructurar el índice																												
Revisar SdT																												
Entregar SdT (1 parcial)																												
Preparar borrador																												
Revisar borrador																												
Entregar borrador (2 parcial)																												
Sesiones teóricas																							Realización tarea estudiante					
Sesiones prácticas																												

Las primeras sesiones teóricas están destinadas a exponer al alumnado el procedimiento de realización del TFG:

- Qué se espera de un Trabajo de este tipo
- Las tareas y obligaciones de los agentes intervinientes
- Las fechas importantes que deben tener en cuenta
- Las diferentes temáticas que pueden desarrollar y los distintos puntos de vista a abordar
- Cómo buscar información sobre las temáticas
- Cómo saber referenciar y citar la bibliografía encontrada

El estudiante en esta etapa debe reflexionar sobre lo que le gusta o en lo que más le interesa trabajar, dependiendo de si ve posibilidades teóricas o prácticas disponibles, para intentar dar el enfoque que puede o quiere tener su TFG.

Un TFG es un trabajo original que realiza el estudiante de forma individual profundizando sobre cualquier materia que tengan conexión con algún área de conocimiento o con las competencias de la Ingeniería de Edificación o con las atribuciones de la profesión de la Arquitectura Técnica.

Partiendo de esa base, el estudiante tiene que ir plasmando en un formato denominado "Solicitud de Título" (SdT) tanto los datos personales identificativos y de contacto, como una breve memoria justificativa de la propuesta con desarrollo de las siguientes partes: antecedentes y estado actual del tema; bibliografía más relevante; objetivos; metodología y plan de trabajo y un índice previo. Esta SdT no solo tiene que cumplir un formato correcto, sino que tiene que ser completa en los antecedentes y estado actual del tema y en la bibliografía y mantener una coherencia técnica entre los objetivos, metodología e índice. A partir de esa información, se ayuda al estudiante para que acote y concrete el título del TFG que pretende realizar. Además, el estudiante debe conseguir la aceptación de un profesor o un profesional que sea Director del TFG,

plasmando su firma en la SdT, y que debe ser el que le oriente en el proceso de desarrollo desde el punto de vista técnico.

La SdT es valorada por la Comisión del TFG que acepta o no el título propuesto y evalúa el formato y el contenido para calificar con una nota que será la del primer parcial de la asignatura de ITFG.

Las siguientes sesiones teóricas van enfocadas a que el alumnado conozca como organizar y presentar formalmente el documento, en cuanto al estilo, formato, estructura, etc. y conozca cuando son las diferentes convocatorias, como se solicitan y se realizan las entregas, cuáles son los criterios de valoración del Tribunal y se dan algunas recomendaciones para la exposición y defensa.

Las últimas sesiones prácticas son para revisar el trabajo del estudiante en cuanto al inicio del desarrollo de su TFG, pues la entrega de un borrador completo pero incompleto será evaluado por la Comisión como segundo parcial de la asignatura y debe estar correcto en formato y estructura, aportar suficiente contenido técnico, tener referencias y citas e incluir contenido gráfico para evaluar el ítem trabajo como tercer ítem evaluable de la asignatura de ITFG.

Para llevar un control de revisiones de la Sdt y del borrador, por parte del Director y por parte de la Comisión, el estudiante debe mantener al día una "ficha de control de revisiones" que debe entregar como justificante en la realización de los parciales, ya que se les exige un mínimo de ellas. Durante el transcurso de la asignatura el alumnado tiene a su disposición diferentes tareas abiertas en el Campus Virtual para que las entregas parciales permitan a la Comisión realizar su labor de orientación y corrección permanente, complementaria a la realizada en el aula. También dispone de la herramienta videoconferencia para mantener revisiones individuales o grupales que, a veces, son grabadas para disponer de ellas como un recurso más de la asignatura.

El estudiante, en el segundo semestre en la asignatura de ETFG, continúa desarrollando y completando su TFG con el asesoramiento activo del Director y el apoyo de la Comisión. Se programan sesiones de tutorías más abundantes en las épocas cercanas a las entregas a las diferentes convocatorias, por lo que realmente están programadas durante todo el año, ya que hay cuatro convocatorias:

- Extraordinaria de noviembre por recuperación
- Ordinaria adelantada de junio a febrero
- Ordinaria oficial de junio
- Recuperación de julio

Es el estudiante quién decide asistir o no a las tutorías, aunque, igual que en ITFG, se le exige un mínimo de asistencia y revisiones a realizar que pueden completarse a través de las tareas del Campus Virtual.

El estudiante, cuando considera que su TFG está concluido, solicita mediante la presentación del formato "Solicitud de Exposición y Defensa" (SdE), junto con un ejemplar de su TFG y en las fechas programadas, presentar su TFG en la convocatoria correspondiente y ser evaluado por el Tribunal.

A la visa de lo presentado, el Director del TFG realiza un informe de evaluación reflejando los siguientes indicadores evaluados entre deficiente y excelente: originalidad/innovación; metodología; estructura y contenido; resultados y/o conclusiones; bibliografía y implicación y esfuerzo del tutelado y una conclusión final de favorable o desfavorable.

Después, la Comisión a su vez, realiza otro informe considerando o no el TFG adecuado o no al título aceptado y completo o incompleto al contenido mínimo exigido, así como informando del % de asistencia y seguimiento del estudiante a las actividades formativas programadas.

El estudiante, una vez conocidos dichos informes y si alguno es desfavorable, puede ratificar su deseo de exponer y defender ante el Tribunal.

El acto de defensa es público con presencia del Director y de la Comisión, en dicho acto el estudiante dispone de unos treinta minutos para exponer su Trabajo y a continuación los miembros del Tribunal puede requerirle alguna aclaración, siendo los factores de evaluación del TFG:

- Adecuación del trabajo al título aceptado
- Adecuación formal y del contenido técnico

- Interrelacionalidad de conocimientos
- Investigación propia realizada
- Correcta exposición y defensa

4. Resultados

Durante estos 11 cursos académicos impartiendo esta metodología en la materia de TFG en el Grado en Ingeniería de Edificación, se han obtenido los siguientes resultados:

- Temáticas elegidas por el alumnado para el desarrollo de su TFG mostradas en la tabla 2 de mayor a menor porcentaje y distinguiendo por cuestión de género.

Tabla 2. Temáticas elegidas por el estudiante

Temática	Total %	Sexo	%
Construcción y prefabricación	29	H	78
		M	22
Materiales	14	H	73
		M	27
Instalaciones y ahorro energético	12	H	73
		M	27
Rehabilitación y patología	8	H	79
		M	21
Seguridad	8	H	67
		M	33
Accesibilidad e Inspecciones técnicas	5	H	62
		M	38
Ingeniero de Edificación. Funciones	4	H	50
		M	50
Otras	20	H	66
		M	34

- Porcentaje de matrícula con respecto al grado de abandono y de superación.

Tabla 3. Grado de abandono y de superación

Curso académico	Sexo	% abandono		% superación	
		(1)	(2)	(1)	(2)
2011/2012	H	31.3	50.0	68.4	50.0
	M	30.8		69.2	
2012/2013	H	35.2	48.9	64.8	51.1
	M	17.7		82.3	
2013/2014	H	27.4	45.9	72.6	54.1
	M	11.5		88.5	
2014/2015	H	43.0	47.8	57.0	52.2
	M	83.9		16.1	
2015/2016	H	69.5	71.9	30.5	28.1
	M	55.9		11.1	
2016/2017	H	27.7	55.6	72.3	44.4
	M	47.6		52.4	
2017/2018	H	34.9	53.3	65.1	46.7
	M	29.2		70.8	
2018/2019	H	30.3	56.0	69.7	44.0
	M	60.7		39.3	
2019/2020	H	66.7	55.0	33.3	45.0
	M	20.0		80.0	
2020/2021	H	52.6	56.5	47.4	43.5
	M	75.0		25.0	
2021/2022	H	61.5	65.0	38.5	35.0
	M	42.9		57.1	
Media	H	42.3	55.0	57.7	44.0
	M	44.2		55.8	

(1) Calculado sobre matriculados de su género

(2) Calculado sobre el total de matriculados

Se considera grado de abandono cuando el estudiante, matriculado de la asignatura de ETFG en un curso académico no defiende en ninguna de las convocatorias a las que tiene derecho en ese curso académico y tiene que volver a matricularse al siguiente curso. Esta circunstancia puede ser por no reunir las condiciones de tener todos los ECTS superados a excepción de esta asignatura o porque voluntariamente no solicita exposición y defensa de su TFG ante Tribunal, bien por decisión propia al no tener suficientemente avanzado el Trabajo o por recomendación de su Director o de la Comisión que consideran que el trabajo se puede o debe mejorar. La tabla 3 muestra los resultados en estos 11 años sobre el total de matriculados.

Cabe destacar también que del total de egresados en estos 11 cursos académicos, el 71% son del sexo masculino y el 29% del femenino.

- Resultados académicos del alumnado con respecto al total de aprobados en un año académico y además, distinguiendo con perspectiva de visión de género.

Tabla 4. Resultados académicos

Curso académico	Sexo	% Aprobado	% Notable	% Sobresaliente	% Matrícula Honor
2011/2012	H	31.3	31.9	0.0	0.0
	M	10.5	26.3	0.0	0.0
2012/2013	H	22.2	51.8	0.0	0.0
	M	7.5	18.5	0.0	0.0
2013/2014	H	33.3	27.3	3.0	0.0
	M	18.2	18.2	0.0	0.0
2014/2015	H	25.0	53.6	3.5	0.0
	M	0.0	17.9	0.0	0.0
2015/2016	H	55.6	33.3	0.0	0.0
	M	0.0	11.1	0.0	0.0
2016/2017	H	38.9	27.8	11.1	0.0
	M	11.1	11.1	0.0	0.0
2017/2018	H	44.5	33.3	0.0	0.0
	M	0.0	22.2	0.0	0.0
2018/2019	H	30.8	46.1	0.0	0.0
	M	23.1	0.0	0.0	0.0
2019/2020	H	33.3	22.2	0.0	0.0
	M	11.1	33.4	0.0	0.0
2020/2021	H	10.0	70.0	10.0	0.0
	M	0.0	10.0	0.0	0.0
2021/2022	H	57.1	14.3	0.0	14.3
	M	0.0	14.3	0.0	0.0
Media	H	31.0	37.5	2.7	0.5
	M	9.2	19.0	0.0	0.0

Cabe aclarar, que en los actos de defensa de los TFG no hay suspensos, aunque no quiere decir que no pueda haberlos, ya que el estudiante normalmente solo se presenta a la defensa, aconsejado por la Comisión y el Director, cuando consideran que el Trabajo tiene un mínimo de calidad para ser aprobado.

5. Conclusiones

La metodología docente puesta en marcha en la materia de TFG en el Grado de Ingeniería de Edificación de la UCAM exige un alto grado de dedicación y compromiso, no solo del alumnado, sino también de los profesores de la Comisión y de los Directores.

La Comisión de TFG considera que las sesiones de tutoría grupales son más satisfactorias o rentables que las individuales, ya que los errores que comete un estudiante, normalmente son cometidos por el resto y cuando se está comentando el trabajo de uno, los demás se dan cuenta también de sus propios fallos.

Los estudiantes que exponen y defienden satisfactoriamente su TFG consiguen la adquisición de las competencias previstas en la materia, además de completar su formación, un buen nivel de conocimiento y dominio en la temática desarrollada debido a su autoaprendizaje supervisado.

La temática que más elige el alumnado para trabajar su TFG son temas relacionados con la construcción, bien a nivel teórico/práctico o como un análisis crítico de algún seguimiento de la ejecución de una obra.

El porcentaje del grado de abandono es de un 55%, aparentemente alto por las condiciones que tiene que cumplir el estudiante al tener que superar el resto de ECTS de la titulación durante ese curso académico y además, conseguir un TFG integrador y con la calidad y exigencia mínima requerida.

En cuanto al abandono o la superación desde el punto de vista de la perspectiva de género no se encuentran diferencias sustanciales, al igual que en la elección de la temática a trabajar.

Sin embargo, en los resultados académicos obtenidos por el alumnado sí se observan diferencias en cuanto a las calificaciones conseguidas por ambos sexos: son los hombres los que consiguen las calificaciones más altas (sobresaliente y matrícula de honor), por contra las mujeres obtienen una nota media en el entorno del notable y predomina en los hombres el aprobado.

Referencias

Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales.

Real Decreto 822/2021, de 28 de septiembre, por el que se establece la organización de las enseñanzas universitarias y del procedimiento de aseguramiento de su calidad.

Orden ECI/3855/2007, de 27 de diciembre, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Arquitecto Técnico.

Universidad Católica de Murcia UCAM. Normativa. <https://www.ucam.edu/universidad/normativa>

Universidad Católica de Murcia UCAM. Grado en Ingeniería de Edificación. <https://www.ucam.edu/estudios/Grados/ingenieria-edificacion-presencial>

Applied Physics for Acoustic and Hygrothermal comfort

Jódar-Reyes, Ana Belén^a, Gallego Molina, Antolino^b and Fuentes García, Yaiza^c

^a Universidad de Granada, Departamento de Física Aplicada, Fuentenueva s/n 18071, Granada. ajodar@ugr.es, ^b Universidad de Granada, Departamento de Física Aplicada, Fuentenueva s/n 18071, Granada. antolino@ugr.es, ^c Universidad de Granada, Departamento de Física Aplicada, Fuentenueva s/n 18071, Granada. yaizafg@ugr.es

Abstract

This work describes the content and methodology followed in the subject “Physics III: Energy, Pollution and Building Comfort” belonging to the Degree in Building of the University of Granada. This is an elective course that is taught in the eighth semester, so students are very interested in it and have acquired the necessary knowledge to approach it. The objective in this subject is to show the students the Physics behind the different measures taken in Building to ensure acoustic and hygrothermal comfort (most of them included in the Spanish “Código Técnico de la Edificación”). The program is divided into two blocks, the first on acoustic comfort and the second on bioclimatic architecture. In the first, the fundamental concepts of acoustic insulation and acoustics in rooms, and the regulations that govern them are taught. In the second, before reviewing the regulations related to hygrothermal comfort, the physical fundamentals related to heat transmission (radiation, conduction and convection) and the propagation of vapor through materials are reviewed. We also look at examples of bioclimatic architecture and review the main types of renewable energy used in this architecture. The concepts covered in the theoretical part are complemented with problem solving, laboratory practices and site visits in collaboration with companies. It should be emphasized that students acquire in this course sufficient practical and theoretical knowledge in the use and interpretation of data from devices such as the sound level meter and the thermographic camera. They also experiment with models of photovoltaic panels and solar collectors and learn the main physical factors that affect their efficiency.

Keywords: Acoustic comfort, Hygrothermal comfort, Applied Physics

1. Introduction

Ensuring the correct acoustic and hygrothermal comfort of the users of a building must be contemplated in any building project. In Spain, the Technical Building Code (“Código Técnico de la Edificación”) includes different protocols that must be complied with to ensure minimum comfort conditions. These protocols are based on different physical fundamentals. Knowledge of these fundamentals, of the main physical properties of the building elements, as well as of the external agents involved is essential to understand these measures. In addition, this knowledge allows the realization of projects that are not restricted to minimum requirements and that serve to achieve the objectives of a bioclimatic architecture.

In this work we describe the main characteristics of the subject “Physics III: Energy, Pollution and Building Comfort” belonging to the Degree in Building of the University of Granada. This is an elective course that is taught in the eighth semester, whose objective is to show the students the Physics behind the different measures taken in Building to ensure acoustic and hygrothermal comfort (most of them included in the Spanish “Código Técnico de la Edificación”). Thus, the specific competences are Know and know how to apply the physical principles of acoustic comfort and thermal comfort to try to achieve the main objectives of the bioclimatic architecture.

In order to acquire these competencies, the objectives of this course are as follows: a) To know the main physical parameters involved in acoustic insulation and conditioning and to know how to determine them. To know how to apply this knowledge to acoustic studies in the building field; b) To know the main fundamentals of physics related to energy in building and apply them to the design of buildings with optimal comfort and thermal insulation; c) To know the characteristics of bioclimatic architecture.

2. Methodology

All the material used in the subject is available in advance on the web of the course, hosted within the institutional platform of the UGR “Prado”.

The methodology we apply can be classified into three categories:

2.1. Theoretical classes:

These classes are given for the whole group of students. The professor explains the theoretical contents of each chapter and its relevance in the context of the subject. At the beginning of the semester the main characteristics of the subject are presented and before the beginning of each thematic block the most important concepts, laws, and tools of the same are highlighted, as well as their connection with the building context in which they will be used. In addition, doubts arising from the reading and study of the work materials and the realization of the proposed activities, more related to the theoretical contents of the subject, will be clarified.

The theoretical program is divided into two blocks, the first on acoustic environment and comfort and the second on bioclimatic architecture and hygrothermal comfort.

The first unit consists of three topics: Topic 1: Basic fundamentals of sound; Topic 2: Airborne sound insulation; and Topic 3: Room Acoustics. The second unit consists of two topics: Topic 4: Energy in buildings: physical fundamentals; and Topic 5: Applications: Bioclimatic Architecture. In Topic 1 we introduce the connection between the concepts of energy and building, when and why this connection started and where it is ruled. We review the main physical phenomena of the atmosphere which are related with the energy in building: solar radiation, humidity, wind. We also deal with the humidity transfer through materials, which is the base of the condensation of water vapor. Finally,

we study the mechanisms of heat transfer in building. Physical fundamentals of radiation are highlighted in order to form students in the knowledge of the science behind the use of the thermographic camera. In Topic 2 we analyze the main characteristics of the Bioclimatic Architecture, and apply the concepts studied in Topic 1 to understand the main protocols described in the “Código Técnico de la Edificación” related with the energetic saving and the control of superficial and interstitial condensation.

2.2. Practical classes of problems:

These are classes given to the whole group of students. In them, questions, exercises and problems are raised in which the theoretical contents are used in the resolution of certain situations of the building context. Of these problems the teacher will propose some of them that either will be carried out together in these classes, or will be delivered voluntarily or by indication of the teacher for correction.

2.3. Practical laboratory sessions.

They are related to units 1 and 2, in which the students form small working groups and apply the physics concepts exposed in the theory sessions and problems to understand what happens in a real physical situation that is modeled by means of an experimental set-up. They have a script. Students are familiarized with the use of scientific instruments and measurement techniques such as the sound level meter and the thermographic camera. They also experiment with models of photovoltaic panels (Figure 1) and solar collectors (Figure 2) and learn the main physical factors that affect their efficiency. Concretely, the laboratory practices are:

1. Recording of acoustic levels. Use of sound level meters
2. In situ assessment of airborne sound insulation of building elements.
3. Measurement of the reverberation time of a room.
4. Measurement of the impact sound insulation of a floor slab.
5. Photovoltaic solar energy in a house
6. Renewable energies
7. Detection of energy losses in buildings by means of thermography.

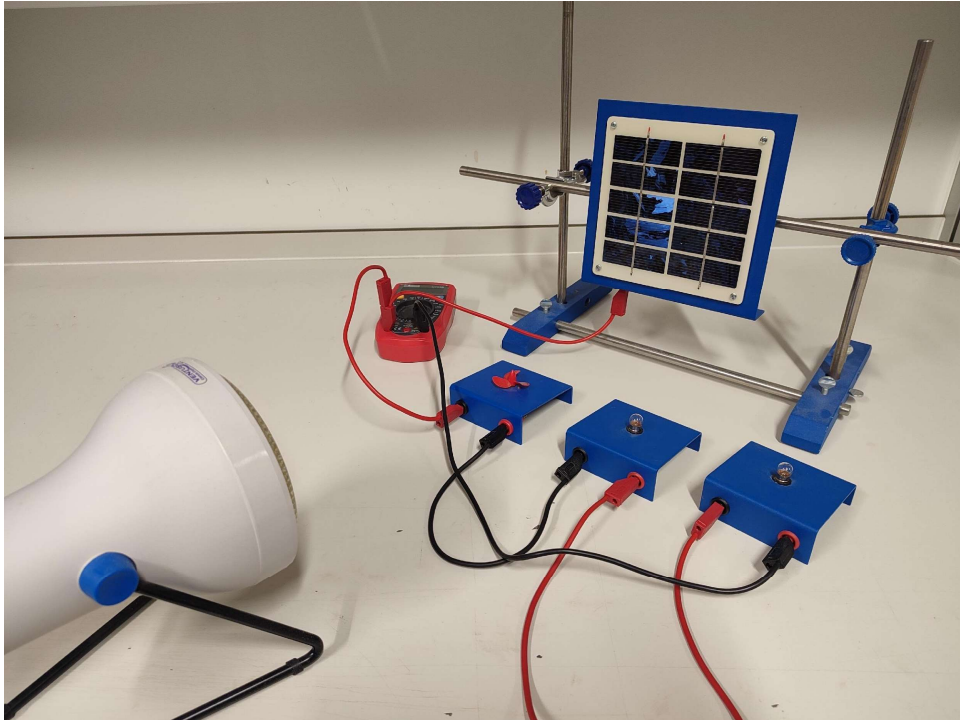


Figure 1. Photovoltaic panel model used in laboratory practice 6.
Source: Own elaboration (2023)

The subject also includes complementary activities as visits to insulation and air conditioning works on site, and informative talks during theory classes related to building acoustics and energy efficiency.

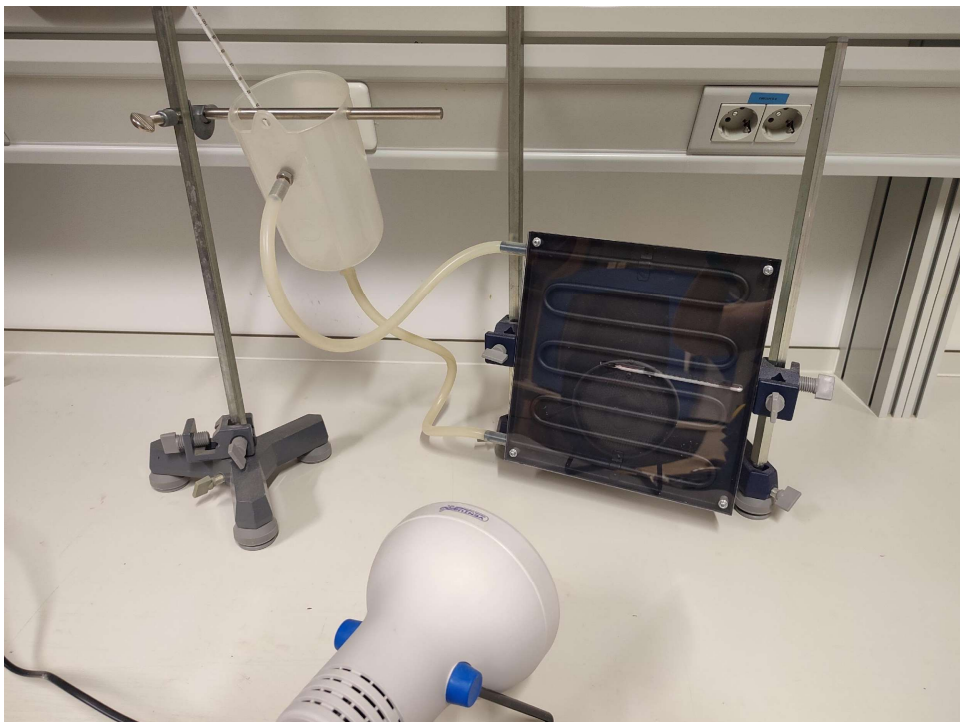


Figure 2. Flat solar collector model used in laboratory practice 6.
Source: Own elaboration (2023)

3. Evaluation

This subject is an elective course designed as a continuous process of knowledge. Classical exam is only the 30% of the total qualification and is a test-type exercise related to each thematic unit. Daily work in class, in laboratory practice sessions (40%), and the delivery of practical exercises proposed at the end of each topic (30%) comprise the rest of the evaluation criteria.

4. Conclusions

The subject “Physics III: Energy, Pollution and Building Comfort”, belonging to the Degree in Building of the University of Granada has been designed to show the students the Physics behind the different measures taken in Building to ensure acoustic and hygrothermal comfort (most of them included in the Spanish “Código Técnico de la Edificación”). Theoretical concepts are applied throughout the course to solve problems and interpret data obtained in the laboratory. Being an elective course in the fourth year, students participate with interest in all the proposed activities. This leads all students who follow the continuous evaluation system to pass the course.

Students acquire the competencies of using scientific instruments and measurement techniques such as the sound level meter and the thermographic camera, which nowadays are highly valued in the field of Building. They also experiment with different types of renewable energy (photovoltaic panels and solar collectors) and learn the main physical factors that affect their efficiency. Finally, site visits allow students to observe real applications in companies.

References

- Arau H, ABC de la acústica arquitectónica, Ediciones CEAC, 1999
- Carrión Isbert A, Diseño acústico de espacios arquitectónicos, Ediciones UPC. Barcelona, 1998
- Casadevall i Planas D, Documento básico HR. Protección contra el ruido. Comentado y con ejemplos, bubok.com, 2009
- Cavanaugh WJ, Wilkes JA, Architectural Acoustics. Principles and Practice, Ed. Wiley, 1999
- Coscollano J, Ahorro Energético en la Construcción y Rehabilitación de Edificios. Paraninfo, 2002.
- CTE (Código Técnico de la Edificación) Documento Básico HE (Ahorro de energía). <https://www.codigotecnico.org>
- Goulding JR, Owen J, Steemers TC. Energy in Architecture. The European Passive Solar Handbook. London, 1994.
- Llinares J, Llopis A, Sancho J, Acústica arquitectónica y urbanística, Universidad Politécnica de Valencia 1996
- Long CA, Essential Heat Transfer. Longman, England, 1999.
- Mehta M, Johnson J, Rocafort J, Architectural Acoustics. Principles and Design, Ed. Prentice Hall, 1999.
- MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO. CEOTMA. Energías renovables y medio ambiente. MOPU. Serie Monografías, 16. Madrid, 1982.
- Olgay V, Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Ed. Gustavo Gili, SA, 2004.
- Recuero López M, Acústica arquitectónica aplicada, Editorial Paraninfo. Madrid, 1999
- Recuero López M, Acondicionamiento Acústico, Editorial Paraninfo, 2001
- Rodríguez FJ, de la Puente J, Díaz C, Guía acústica de la construcción, Cie, 2008
- Valero Granados S, Acústica aplicada al interiorismo, Arquifon, 2011

Adaptation of the teaching of the subject Construction III of the Degree in Technical Architecture of the UPV due to COVID-19 to e-learning and b-learning.

Iborra Lucas, Milagro^a, Martínez Ibernón, Ana^b y Gandía-Romero, José Manuel^c

^a Universitat Politècnica de València, Depto. de Construcciones Arquitectónicas, miborra1@csa.upv.es

^b Interuniversity Research Institute for Molecular Recognition and Technological Development (IDM), Universitat Politècnica de València, Universitat de València, 46022 Valencia, Spain; anmarib@arqt.upv.es

^c Universitat Politècnica de València, Depto. de Construcciones Arquitectónicas, joganro@csa.upv.es

Abstract

Due to the global health crisis caused by COVID-19, it was necessary to resort to the e-learning of subjects in university centres, which was a great challenge for teachers, as in a short time they had to adapt the subjects taught face-to-face to remote teaching through the use of ICTs. Subsequently, with the improvement in the control of the pandemic, "adapted face-to-face teaching" was introduced as a containment measure with the abrupt increase in contagion, and this circumstance posed a second challenge for teachers, as they had to modify their work methodology once again to be able to combine face-to-face and remote classes in a synchronous manner (b-learning).

This paper presents the work carried out to adapt the subject of Construction III, taught in the second year of the Technical Architecture degree at the *Universitat Politècnica de València* (UPV), to the conditions of confinement due to the COVID-19 pandemic during the second four-month period of the 2019-2020 academic year, and subsequently during the 2020-2021 academic year to "adapted attendance". The subject consists of 4.5 credits, distributed in 2.6 credits of theory, 1.3 credits of classroom practice, and 0.6 credits of laboratory practice.

From the student opinion surveys and the academic results, it can be seen that the adapted methodology was able to preserve the quality of the teaching and the certainty of the students' achieving the learning objectives.

Keywords: E-learning, Adapted attendance, B-learning, COVID-19

1. Introduction

1.1. State of emergency context

The Covid-19 pandemic had a major impact on society, as it has strongly affected three of its main driving forces: the economy, health and education (Garcia-Rey, 2020; Hernández de Cos, 2020; Siches et al., 2020).

On March 14th, a state of alert was declared throughout the national territory, and a lockdown was established that was initially intended to last 15 days but ended up being extended for three months. In this context, the Regional Ministry of Universal Health and Public Health published the Resolution of March 12th on the temporary suspension of educational and training activities in all centers, stages, cycles, grades, courses, and levels of education in the Valencian Community, as a result of the situation and evolution of the coronavirus (DOGV número 8761 de 13 de marzo de 2020).

During the academic year 2021-2022, with a better health perspective and a better knowledge of the routes of contagion, an action protocol was published on September 8 for the start of the university year, signed by the five Valencian public universities and the Regional Ministry of Universal Health and Public Health, and the Regional Ministry of Innovation, Universities, Science and Digital Society, which established the guidelines for "**adapted attendance**" and the measures for action in cases in which suspected or positive cases of COVID were detected.

"**Adapted presence**" is not a term defined by the scientific community in the field of Technology and Education, but has been proposed by political and administrative bodies as a matter of urgency in the face of the pandemic. This concept responds to the blended, hybrid, or blended learning modality (Area-Moreira et al., 2021).

1.2. UPV moving towards emergency remote teaching and learning during the COVID-19 pandemic.

On March 13th 2020, the Universitat Politècnica de València published an *Instruction on extraordinary measures* drawn up by the Vice-Rectorate for Studies, Quality and Accreditation in coordination with the Vice-Rectorate for Students, Culture and Sport and the Vice-Rectorate for Digital Resources and Documentation, to organise remote teaching and learning in the face of the suspension of classroom teaching due to the epidemic of the COVID-19 virus (*Instrucción de La UPV Para Organizar La Docencia y El Aprendizaje a Distancia Frente a La Suspensión de La Docencia Presencial Por Causa de La Epidemia Del COVID-19*, n.d.).

In this instruction, it was established that the teaching and subject organization should determine the essential contents of the subject in order for the students to achieve the learning outcomes established by the subject (*Instrucción de La UPV Para Organizar La Docencia y El Aprendizaje a Distancia Frente a La Suspensión de La Docencia Presencial Por Causa de La Epidemia Del COVID-19*, n.d.). In summary, students should be provided with the essential material resources to follow the course through the PoliformaT platform in the corresponding section and/or through the official repositories of the UPV (RIUNET, MOOC). In order to teach the classes remotely, it was recommended to follow the instructions of "<https://www.upv.es/id/335>". It was also recommended to record them and make them available in PoliformaT for the students of the subject. The planning of the subject should be established in such a way that the student could carry out the remote learning process; for example, the training activities that the student had to carry out and the time available for their completion should be defined, and the tutorials should also be planned, indicating the medium. The tutorials could be individual and/or group, and the teaching staff had at their disposal several tools that allowed communication with the students (e-mail, PoliformaT chat, Microsoft Teams from the PoliformaT site of the subject, PoliformaT forums, and so on).

In the case of assessment, alternative methods to face-to-face examination were defined and it was recommended to adapt the assessment to special circumstances such as assignments, projects, presentations of reports and reports. It was indicated that, in case the measures were deactivated, face-to-face tests could be scheduled. In any case, the lecturer should inform the Academic Committee of the degree program of the exceptional assessment model proposed.

On the other hand, in the same instruction mentioned above, some general recommendations were established, which focused on avoiding academic abandonment. These recommendations, in summary, were to increase

communication with students, to give them detailed information on the planning of the subject, to offer feedback on the work done to improve remote monitoring, not overload them with unnecessary information and documentation, and plan group learning activities to facilitate the evaluation of the training activities.

As the situation and the lockdown were prolonged, face-to-face academic activity was suspended during the second semester of 2020, and different instructions, guides, and recommendations were issued to complement those aspects necessary for the correct development of the "non-face-to-face". For example, the guidelines for remote assessment in a virtual teaching environment were published, identifying the different means of assessment, the recommendations for virtual assessment, and the tools available (*Directrices Para La Evaluación a Distancia En Un Entorno Docente Virtual*, n.d.).

Recommendations were also developed for remote work and assessment of the Transversal Competences assigned to the subjects. (*Virtual Blogs. Competencias Transversales*, n.d.). These guidelines and recommendations were framed within the general procedure for adapting the teaching and assessment model of the subjects to a virtual environment, i.e.:

- *The subjects had to propose an alternative remote assessment system and communicate it to the Academic Committee for supervision of the degree.*
- *The Academic Committees validated the models and included them as annexes to the current Teaching Guides, publicising them and complying with the commitment to public documentation of the degrees required by the quality agencies.*
- *The remote assessment model had to be communicated conveniently to the students enrolled in the subject by the teaching staff, making use of the messaging channels enabled in PoliformaT.*

All this information was made available to the university community on the Virtual UPV portal. (*Virtual Blogs*, n.d.).

The 2021-2022 academic year saw the start of "adapted attendance" classes in which the permanent use of FFP2 masks by teaching staff and students was necessary, a minimum distance of 1.5m was maintained, CO2 detectors were installed, classes were permanently ventilated, exhaustive cleaning and disinfection protocols were established in the spaces, as well as protocols for the prevention and detection of cases in coordination with the UPV Health Centre.

Although it is true that there were moments of peak contagion when exceptional measures were required from February 2021, from the academic point of view, there were no exceptional measures and the protocols were followed normally. Academic normality was consolidated from the start of the academic year 2021-2022, as the rigidity in terms of distance between students in the classroom was eliminated, taking it to the maximum possible within the possibilities of each space, allowing the use of all the chairs available in the classroom, eliminating COVID restricted seating and requiring the use of FFP2 masks in classrooms, laboratories and in places where the safety distance is not maintained. CO2 detectors continued to be active, suspending teaching and evacuating the classroom when levels exceeded 900 ppm to ventilate and returning when levels dropped.

1.3. Online and Remote learning context

The history of teaching and learning in higher education has been predominantly face-to-face (Area-Moreira et al., 2021; Erlam et al., 2021). However, other forms of remote learning have developed in parallel, such as postal correspondence education and radio and television courses. More recently, in the age of information and communication technologies, life and education have changed so that, for many, turning to Google or YouTube to search for information or learn a skill is common practice, and online training or e-learning is becoming increasingly important (Rodenas et al., 2013), since these enable access to education for all those who, due to personal, professional, social, geographical, etc. circumstances, are unable to follow face-to-face studies. (Bataller et al., 2015; Erlam et al., 2021).

In Spain, both the Ministry of Universities and the governing bodies of public universities have traditionally maintained a strategic vision of defending face-to-face teaching (Area-Moreira et al., 2021). The COVID-19 and lockdown accelerated the need for online and remote learning at the university level. However, due to the abrupt nature of the pandemic, many academic staff were unprepared for this forced transition and it was a real

challenge to adapt teaching methodologies as the emergency situation evolved, without compromising the quality of teaching and the acquisition of knowledge by students. First, during the lockdown, teaching had to be completely transformed into e-learning, and then in the period of "adapted face-to-face" it had to be adapted to blended learning (or b-learning, a type of learning that combines remote and face-to-face teaching).

2. Objectives

The main objective of this communication is to show the changes made to the teaching-learning methodology used in the subject CONSTRUCTION III, of the Degree in Technical Architecture at the UPV, during the periods of lock down and adapted presence. On the other hand, to analyse if they were effective and if it was possible to maintain the quality of teaching and the performance of the students.

3. Methodology

As previously indicated in Section 1, the period that coincided with the first state of alarm and its successive extensions, at the academic level entailed a substantial change from the methodological point of view, as teaching shifted from 100% face-to-face to synchronous online. That is, respecting the timetables established at the *Escuela Técnica superior de Ingeniería de la Edificación* (ETSIE) but giving the option of recording the classes.

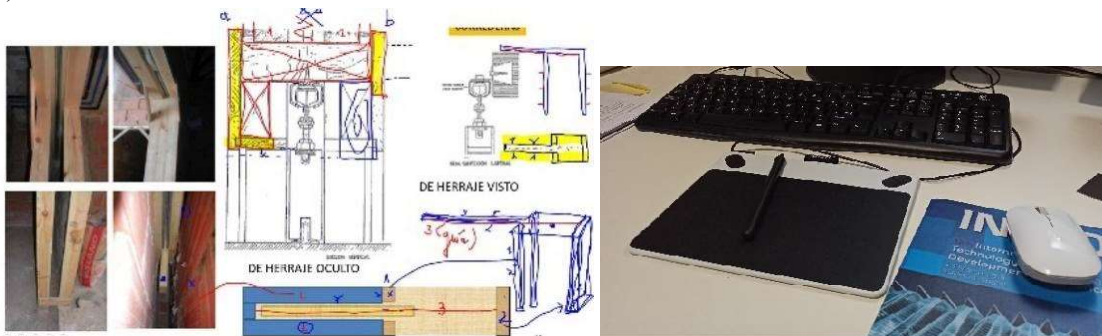
In the case of the Construction III subject, it was decided not to upload the recorded sessions to the PoliformaT platform in order to prevent students from losing interest in attending classes in real-time, as this would also be detrimental to the active participation of the students that is sought in the subject, where student intervention through questions or practical approaches is essential.

The lectures were given through Teams (Figure 1), where the UPV had already enabled a group of the subject, so that a class could be taught as a "Meeting" where the teacher was the moderator with control to moderate the session. The platform allows screen sharing, chatting, file sharing and meeting management so the course could run smoothly. The same PPT presentations were used as in the face-to-face classes and, in order to be able to include diagrams or comments in the same way as on the physical blackboard, a tablet and virtual whiteboards were used (Figure 1-B). The mentoring was also carried out on demand as if it were a "meeting" between student and teacher in Teams, but they were grouped into sessions in order to attend to several students at the same time for operational reasons.

A)



B)



C)

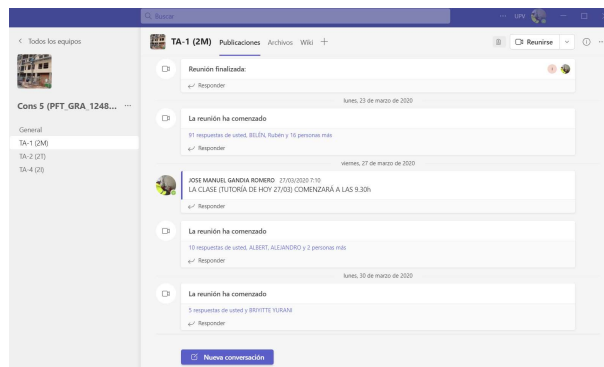


Figure 1. A) Teams platform used for online teaching. B) Example of annotations made on construction details using a tablet to support the presentation. C) Example of subject management through the platform.

Source: Own elaboration (2020)

The practices were delivered through the tool "Tasks" in PoliformaT; these practices were the same as in the case of classroom classes, in which students had to apply the concepts acquired in class to represent a series of constructive details depending on the topic on which they were working. The exams were also done through the same platform with the tool "Exams"; these exams consisted of multi-answer questions of a theoretical-practical nature, to ensure that the difficulty was the same as in the case of face-to-face classes. The exercises appeared in different order depending on the student, as well as the position of the correct answer was also varied to avoid plagiarism among students. In addition, the exam had to be done with the camera on.

Once the classes started in the 2020-2021 academic year, and the "face-to-face" classes were resumed but in an "adapted" way, taking into account the health aspects explained in section 1.2 (ensuring the safety distance between people of no less than 1.5 m, the use of FFP2 masks, etc.), the new conditions made it possible to return to the usual pre-COVID methodology, since the ETSIE classrooms used for the subject allowed all the students to attend while maintaining the relevant safety distance. The only exception had to do with the periods of confinement in the event of contagion or contact with a COVID-positive person; to prevent the possible

"affected" student from being affected in the course, the classes were retransmitted online in real time by Teams and virtual classes (Figure 2). With the purpose to ensure that students who attended the class remotely could follow the lectures, a question and answer session was set up at the end of each appendix.

In the case of the practices sessions of the subject, which consist of the graphic resolution of different construction aspects, a task was programmed in PoliformaT for the confined student, at the same time and with the same duration as for those attending in face-to-face, in such a way that the confined student, before the end of the time limit in which the task was open (same duration as face-to-face practice session), had to upload the practice task resolved by means of a photography. The mentoring sessions were held for confined students in the same way as during the lockdown.

Regarding the exam, students who at the time of the official exam date had to be confined would be examined for the corresponding part on the date assigned for the make-up exam. In the event that the student did not pass the exam, the make-up exam would be held in an extraordinary session.

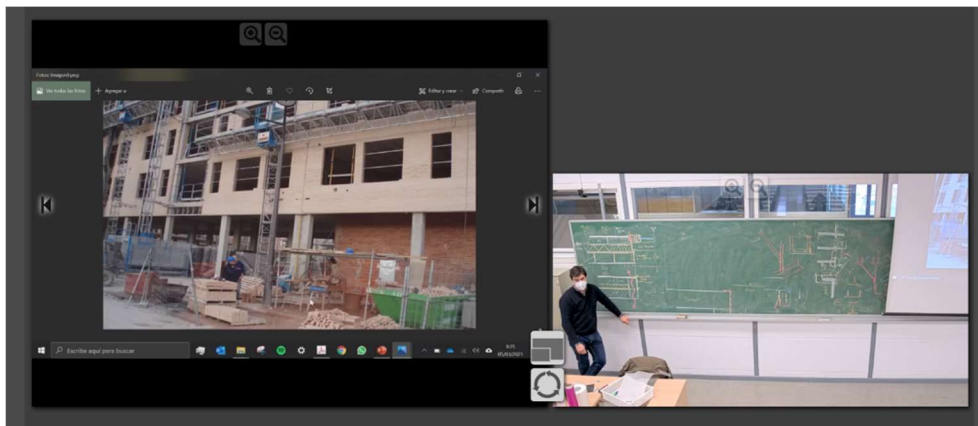


Figure 2. Example of a recording of a class during "Adapted Attendance".
Source: Own elaboration (2020)

4. Results

In the Figure 3 the results obtained in the surveys carried out by the Institute of Education Sciences (ICE by its Spanish initials) of the UPV for the evaluation of teaching quality, in the aspects of: organisation and planning, teaching development/methodology and motivation/interaction/help, and for two courses prior to COVID 19 (2017-2018), two courses affected by the pandemic (2019-2020 and 2020-2021) and one post-pandemic course (2020-2021) are shown. In these surveys, the different aspects are evaluated with a score out of 10.

In the surveys, an average mark of 8.98 out of 10 was obtained for the period of restrictions, which is only 2.69% less than the average obtained in normal course years. It can therefore be affirmed that the modifications made during the period of restrictions due to the health crisis did not affect the students' perception of the subject, as shown by the results of the surveys.

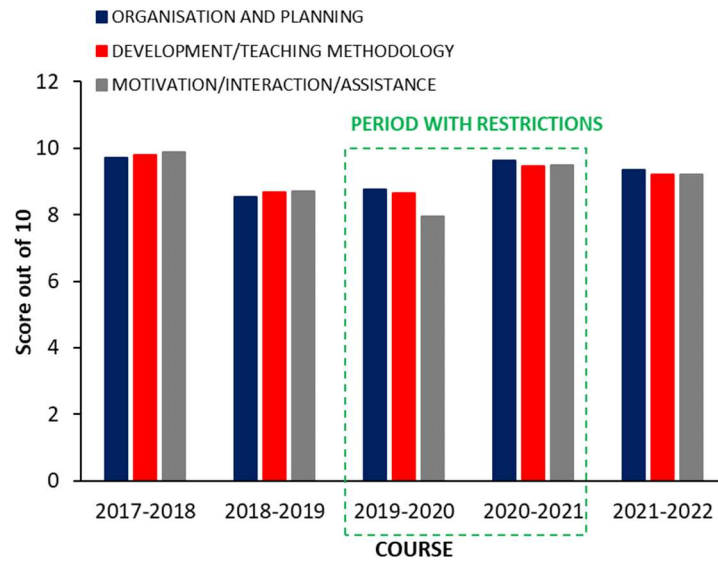


Figure 3 Results of the ICE survey for the evaluation of teaching quality
Source: Own elaboration

In the Figure 4 is showed the statistics on the percentage of failures, passes, B-plus, A and non-attendance for the courses in which the results of the surveys for the evaluation of teaching quality have been analysed. In Figures 4A, 4B, 4C, 4D y 4E, you can see the pie charts of grade percentage weight for each year whereas in Figure 4F, is showed the time evolution of the percentage weigh by grade.

From the analysis of the graphs, it can be seen firstly that in all cases the percentage of failures is lower than the percentage of passes, the percentage of passes being practically stable throughout the years (Figure 4F).

It is important to emphasize that in the period of restrictions it would have been logical that due to the adverse conditions generated by the pandemic the percentage of non-attendance in the subject under analysis would have increased, but this was not the case, in fact the percentage remained at 0.

Therefore, considering the results, it can be affirmed that the changes made in the methodology followed in the Construction III served as a palliative to the academic abandonment caused by the handicaps generated by the health crisis.

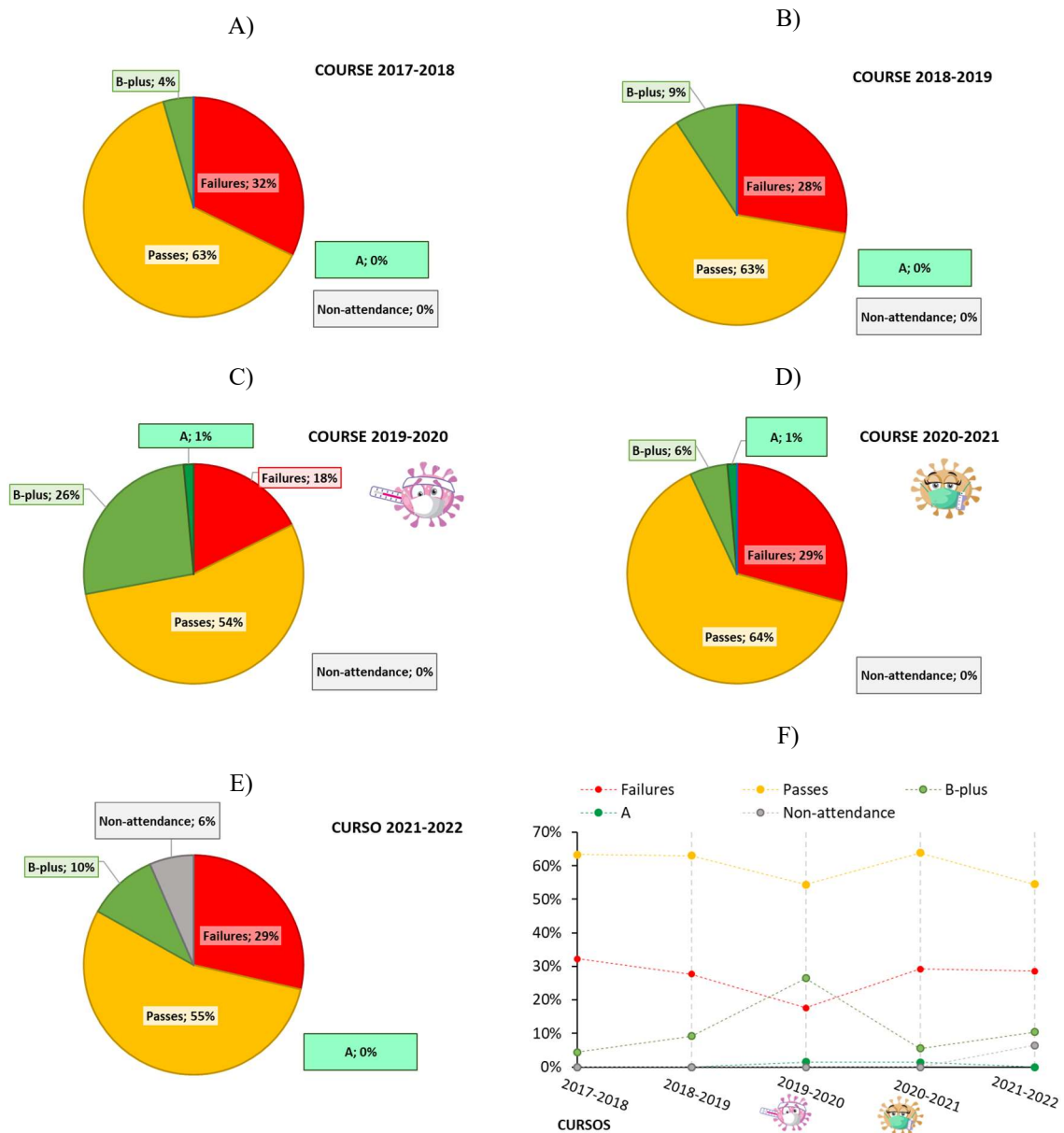


Figure 4. A, B, C, D y E. Percentages of failures, passes, B-plus, A and non-attendance by year. F) Temporal representation of the percentages of failures, passes, B-plus, A and non-attendance.

Source: Own elaboration

5. Conclusions

The following conclusions can be drawn from the analysis of the results:

- As evidenced by the results of the surveys for the evaluation of teaching quality carried out by the ICE, the modifications carried out during the period of restrictions due to the health crisis ensured that good teaching practices were not lost.
- The changes made to the teaching methodology served to avoid academic drop-out caused by the obstacles created by the health crisis.
- The changes in methodology ensured that students were able to achieve the learning objectives of the subject, as shown by the constant trend over time in the percentage of passes.

References

- Area-Moreira, M., Bethencourt-Aguilar, A., Martín-Gómez, S., & San Nicolás-Santos, M. B. (2021). Análisis de las políticas de enseñanza universitaria en España en tiempos de Covid-19. La presencialidad adaptada. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 21(65), 1–19. <https://doi.org/10.6018/red.450461>
- Bataller, R., Gandía, J. M., García-Breijo, E., Alcañiz, M., & Soto, J. (2015). A study of the importance of the cell geometry in non-Faradaic systems. A new definition of the cell constant for conductivity measurement. *Electrochimica Acta*, 153, 263–272. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.12.014>
- Directrices para la evaluación a distancia en un entorno docente virtual.* (n.d.). <https://virtual.blogs.upv.es/files/2020/04/Directrices-evaluacion-a-distancia.pdf>
- Erlam, G. D., Garrett, N., Gasteiger, N., Lau, K., Hoare, K., Agarwal, S., & Haxell, A. (2021). What Really Matters: Experiences of Emergency Remote Teaching in University Teaching and Learning During the COVID-19 Pandemic. *Frontiers in Education*, 6(October), 1–14. <https://doi.org/10.3389/educ.2021.639842>
- García-Rey, T. (2020). Impacto del COVID-19 en la educación/ Impact of COVID-19 in the education. *Acta Colombiana de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza y Cuello*, 48(2), 131–132. <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2020/07/1103912/editorial-abr-jun-48-2-2020.pdf>
- Hernández de Cos, P. (2020). El impacto del Covid-19 en la economía española. Julio 2020. *Presentación En El Consejo General de Economistas*, 1–46. <https://www.bde.es/f/webbde/GAP/Secciones/SalaPrensa/IntervencionesPublicas/Gobernador/hdc010720.pdf>
- Instrucción de la UPV para organizar la docencia y el aprendizaje a distancia frente a la suspensión de la docencia presencial por causa de la epidemia del COVID-19.* (n.d.). <http://www.upv.es/noticias-upv/documentos/11933-recomendacionesdocenciaadistanciaUPV.pdf>
- Rodenas, M., Ramón, A. *, Vallés, S., & Moncaleano Rodríguez, G. I. (2013). *E-learning: características y evaluación.* 46022(43), 143–160.
- Siches, I., Vega, J., Chomali, M., Yarza, B., Estay, R., Goyenechea, M., Jiménez, P., Aliaga, A., Águila, F., Troncoso, J., & Pacheco, J. (2020). El Impacto De Covid19 En El Sistema De Salud Y Propuestas Para La Reactivación. *Colegio Medico de Chile*, 1, 48. <https://www.colegiomedico.cl/wp-content/uploads/2020/08/reactivacion-sanitaria.pdf>
- Virtual Blogs. Competencias transversales.* (n.d.). <https://virtual.blogs.upv.es/competencias-transversales/>
- Virtual Blogs.* (n.d.). <https://virtual.blogs.upv.es/>

EDIFICATE 2023

II NATIONAL CONGRESS AND

I INTERNATIONAL CONGRESS OF ADVANCED SCHOOLS BUILDING ENGINEERING AND TECHNICAL ARCHITECTURE

GRANADA, November, 9-10, 2023

Advanced Technical School for Building Engineering

University of Granada

Educational innovation on the reinforcement of confined concrete elements

Leal Matilla, Alberto, Prieto Barrio, María Isabel y Cobo Escamilla, Alfonso

Dpto. Tecnología de la Edificación. Universidad Politécnica de Madrid. alberto.leal.matilla@upm.es;

mariaisabel.prieto@upm.es; alfonso.cobo@upm.es

Abstract

One of the main challenges facing master's degree teaching staff is to put into practice the knowledge learnt by students throughout their university career, together with the improvement and implementation of these concepts in professional life. This type of teaching can be carried out through an infinite number of systems, cooperative learning, project-oriented learning and problem-based learning. With different methods the student a capacity for personal and professional improvement and that help him/her to establish a series of guidelines that can lead him/her to better perform his/her tasks in his/her professional life.

The main objective of the present work is to help the student to be able to apply the theoretical knowledge acquired about reinforced concrete structures by implementing it in the reinforcement of reinforced concrete structures confined with carbon fibres (CFRP). Firstly, through a theoretical study that will give them sufficient entity and knowledge to know why this method is used, what studies there are of it, which companies are dedicated to the subject. Subsequently, by solving practical problems with real sections and, finally, by using software tools that help the student to be faster and more efficient in the calculations but with the ability to interpret them. The analysis of the results shows that:

- i) The students expand and reinforce their previous knowledge.
- ii) They learn to look for more information to investigate.
- iii) They plan, commit themselves and acquire responsibility, developing dialogue skills.
- iv) They take their theoretical knowledge to the use of computer tools that give them greater capacity for analysis and discussion in less time.

Keywords: Learning systems, ABR, Reinforced concrete, Confinement, CFRP

1 Introducción

Innovación se puede definir como un proceso combinado entre aprendizaje y formación, permitiendo producir mejoras en los resultados de aprendizaje. Para llegar a esta conclusión se tiene que cumplir que esa innovación sea eficiente, eficaz y que esos resultados se puedan llevar a cabo más allá del contexto teórico [1].

El aprendizaje basado en retos o (ABR) por sus siglas, es un aprendizaje activo que infunde una serie de competencias específicas en un ambiente colaborativo que genera conocimiento aplicado y multidisciplinar en un ambiente de igualdad [2-3]. El ABR tiene características similares a otras metodologías como son el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABPr) y el Aprendizaje Basado en Problemas (ABPrb) [4] donde el alumno se enfrenta a un problema de alta dificultad el cuál no tiene una única solución. A pesar de ello, los estudios anteriormente citados, refutan el hecho de que el alumno tenga que dar una solución precisa y real.

Es por ello que, en los momentos en los que se encuentra la educación superior actual, el ABR se ha hecho un hueco muy importante en las aulas tanto a niveles de Grados como de Másteres. Las publicaciones de, Molina et al. (2018) y Soriano-Peláez et al. (2018) [5-6] utilizan estas metodologías de manera similar. El primero integra metodologías a alumnos de diferentes titulaciones y escuelas, y el segundo aplica la metodología ABR en una asignatura concreta a partir de retos propuestos por expertos y empresas del sector.

A lo largo de los años y fruto de muchas investigaciones se ha demostrado que el confinamiento de hormigón con FRP genera un incremento de la capacidad de carga y de ductilidad en pilares de hormigón armado. La exigencia de la mejora de la resistencia se debe normalmente al incremento de carga debido al cambio de uso de la estructura o a la modificación presente en los cálculos. También es posible reforzar pilares existentes sometidos a una combinación de carga axial y momento flector con fibras mejorará estas confinándolas y admitirán deformaciones por encima de las que no tengan este tipo de refuerzos [7-10].

En este trabajo se presenta la experiencia llevada a término durante el curso 2022-2023. El dimensionado de los refuerzos estructurales es una tarea compleja que habitualmente no se trata en los planes de estudio de grado, desarrollándose en los cursos de postgrado [11]. Para solucionarlo se ha optado por el estudio de casos prácticos como metodología docente. Para ello, se ha contado con la colaboración de la empresa MAPEI que enseña a los alumnos cómo realizar encamisados sobre vigas. Posteriormente a los alumnos se les propuso un caso práctico de cálculo con diferentes secciones. La primera fue una sección circular para calcular con diferentes fuerzas y diferentes capas de FRP a través de las guías de Diseño ACI 440-17, FIB, CNR y a continuación en otra clase se les propuso otro ejercicio con pilares de diferentes secciones sometidas a compresión axial pura.

2 Objetivos

El desarrollo de estos casos prácticos permite al docente y al alumno:

- Mejorar su capacidad de explicación y tiempos de desarrollo.
- Analizar los resultados según se van obteniendo a lo largo del desarrollo del mismo.
- Optimizar los resultados para comprobar la probidad de las expresiones que se utilizan en la práctica.
- Desarrollar el espíritu crítico, la investigación mediante la planificación, el intercambio de información y la ayuda entre semejantes.

3 Metodología

Como parte inicial para la formación del alumno, la empresa MAPEI colaboradora con la Escuela Técnica Superior de Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid impartió un curso de formación analizando el uso, aplicabilidad y normativa del material FRP que utiliza la empresa en sus obras. El alumnado de los Másteres Universitarios de Innovación Tecnológica en Edificación (MITE), Ejecución de Obras de Rehabilitación y Restauración (MEJORR), y doble máster en Innovación Tecnológica en Edificación más Ejecución de Obras de Rehabilitación y Restauración (MITE+MEJORR), deben comprender que el refuerzo tradicional mediante el suplemento de armaduras permite:

- Alargar la vida útil del edificio
- Reducir su impacto ambiental mediante la reutilización de edificaciones existentes
- Evitar la construcción de nuevas estructuras.
- Rehabilitar y conservar el patrimonio.

Con una serie de inconvenientes:

- Aumento del peso propio de la estructura.
- Elevado tiempo de ejecución y puesta en servicio.
- Disminución de superficie y altura libre
- Corrosión.

Por ello el uso de materiales compuesto por fibras aportan una mayor resistencia a la estructura, ocupando menos espacio, y con una mayor rapidez de ejecución disminuyendo así los costes [12]. Las normativas existentes permiten el uso de estos sistemas en el refuerzo a flexión de viguetas y losas macizas, flexión y cortante de vigas, confinamiento de pilares, flexocompresión de pilares y nudos viga-pilar [13-16]. Comprendido el estudio teórico los alumnos pudieron poner en práctica estos conocimientos y reforzar sus propias probetas como se muestra en la siguiente imagen (Figura 1).



Figura 1. Práctica de refuerzo vigas.

Fuente: Elaboración propia (2023)

En siguientes sesiones como elemento de estudio y mejora de lo aprendido en la jornada anteriormente mencionada, se les expone una jornada magistral para el cálculo de refuerzo de estructuras mediante fibras, analizando desde la bibliografía existente y repasando así conceptos teóricos [17-18]. Llegado a este punto se le propone a los alumnos la realización de dos ejercicios.

3.1 Evaluación de una probeta de hormigón sometida a carga

Constituye la primera parte del problema. A partir de las tres guías [13,14,16], se le entrega al alumno el siguiente caso para cálculo y estudio (Tabla 1, 2, 3).

Se ha trabajado sobre tres calidades de hormigón. Los dos primeros son de un hormigón cuya resistencia es menor a la habitual, debido a algún defecto, y el tercero se trata de un hormigón habitual para ejecutado in situ (Tabla 1).

Tabla 1. Resistencia de diseño a compresión

Resistencia (MPa)	
f_{c1}	8,5
f_{c2}	12,2
f_{c3}	25,5

Siendo:

f_c : Tensión de rotura a compresión del hormigón sin confinar en (MPa).

Las probetas de estos hormigones son cilíndricas de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, las fibras utilizadas son tres (Tabla 2):

- Fibra de carbono de alta resistencia (CHR).
- Fibra de carbono de alto módulo (CHM)
- Fibra de Basalto (B).

Tabla 2. Características de las fibras

	σ_u (MPa)	E (GPa)	ε_u (%)	e (mm)
CHR	4830	230	21	0,163
CHM	2400	390	6	0,163
B	4840	89	54	0,116

Siendo:

σ_u : Tensión última.

E : Módulo de elasticidad.

ε_u : Deformación última a tracción

e : espesor de la fibra

Se le pide al alumno que determine la resistencia de la probeta confinada con estos tres tipos de fibras y con diferentes capas $n=1$, $n=2$, y $n=3$ utilizando los documentos anteriormente mencionados (Tabla 3) y así poder comparar y ver el aumento de resistencia de la probeta. Estas probetas han sido ensayadas previamente en el laboratorio, pero al alumno no se le comunica, de tal modo que realice el ejercicio y una vez hecho pueda revisar los resultados.

Cabe destacar que a pesar de que la FIB en el último documento y anteriores no aporta coeficiente minoración ε_{fu} , está bien utilizarlo debido a que hay infinidad de refuerzos ejecutados en Europa con esta formulación.

Tabla 3. Normativa y formulación a emplear

ACI440-17	FIB	CNR
$f_{cc} = f_c + 0,95 \times 3,3 \times f_l$ (1)	$f_{cc} = f_c \times (2,254 \times \sqrt{1 + 7,94 \frac{f_l}{f_c}} - 2 \frac{f_l}{f_c} - 1,254)$ (4)	$f_{cc} = f_c \times \left[1 + 2,6 \times \left(\frac{f_l}{f_c} \right)^{2/3} \right]$ (6)
$f_l = \frac{2 \times E_f \times n \times t_f \times \varepsilon_{fe}}{D}$ (2)	$f_l = \frac{2 \times E_f \times n \times t_f \times \varepsilon_{fu}}{D}$ (5)	$f_l = \frac{2 \times E_f \times n \times t_f \times \varepsilon_{f,red}}{D}$ (7)
$\varepsilon_{fe} = K_e \times \varepsilon_{fu} = 0,55 \times \varepsilon_{fu}$ (3)		$\varepsilon_{f,red} \leq 0,6 \times \varepsilon_{fu}$
$\varphi_f = 0,95$		
$0,55 \times \varepsilon_{fu}$	ε_{fu}	$0,60 \times \varepsilon_{fu}$

Siendo:

f_{cc} : Tensión de rotura a compresión del hormigón confinado, (MPa).

f_c : Tensión de rotura a compresión del hormigón sin confinar, (MPa).

f_l : Presión de confinamiento máxima debido al refuerzo de FRP, (MPa).

E_f : Módulo de elasticidad a tracción del FRP (MPa).

n : Número de capas.

t_f : Espesor del material de FRP (mm).

ε_{fe} : Deformación efectiva en la armadura de FRP alcanzada en el momento del fallo (mm/mm).

ε_{fu} : Tensión de rotura de diseño de la armadura FRP (mm/mm).

K_e, φ_f : Coeficientes.

3.2 Cálculo de refuerzo de elementos sometidos a fuerzas axiales o a fuerzas axiales y de flexión combinadas

En la siguiente jornada de clase se ilustra a los alumnos a calcular confinamiento de pilares de hormigón armado mediante camisas de FRP para mejorar su resistencia y ductilidad. El aumento de la capacidad es un resultado que se expresa en términos de mejora de la resistencia a la carga máxima, por otro lado la ductilidad ya es más complejo, debido a que requiere una serie de cálculos para determinar la capacidad para sustentar la rotación y la pérdida de resistencia. Para ello al alumno se le muestra una serie de estudios en los que se ilustra y el modelo de tensión-deformación y cuyo cálculo se utiliza hoy en día [19-20].

A partir de los tres hormigones del ejercicio anterior y con las mismas características del mismo, se ha propuesto una serie de pilares cuadrados para calcular la resistencia del pilar por variación de resistencia a la compresión. Los alumnos de estos másteres son de origen hispanoamericano en su mayoría y están acostumbrados a pilares de secciones mayores debido a que en sus respectivos países el cálculo a sismo obliga a que el tamaño de las armaduras sea mayor y por ende mayor sección de los pilares.

Los pilares de dimensiones comunes en España suelen variar dependiendo del tipo de construcción y las normas específicas que se apliquen en cada caso. Por ello se procede a explicar que esta tipología de pilares se suele utilizar en el caso de 25x25 cm² en construcciones más pequeñas, como viviendas unifamiliares o estructuras ligeras. 30x30 cm² viviendas hasta edificios más grandes y complejos y 40x40 cm² en edificios comerciales, industriales o de múltiples pisos. Las características de los pilares se muestran a continuación (Tabla 4):

Tabla 4. Secciones

Sección 1		Sección 2		Sección 3	
b	25	b	30	b	40
h	25	h	30	h	40
A _s	4φ12	A _s	4φ16	A _s	8φ16

Donde:

- b: Anchura de la cara de compresión del elemento en cm.
- h: Altura del elemento en cm.
- A_s: Área de la armadura pasiva en mm².

El acero de construcción con una resistencia a la tracción de 400 MPa; es ampliamente utilizado en diversas aplicaciones de la construcción, como la fabricación de vigas, columnas, pilares, estructuras de acero y otras partes de edificios, puentes, infraestructuras y proyectos de ingeniería civil. La elección del grado de acero adecuado depende de los requisitos de diseño específicos y las cargas previstas en la estructura. Es importante

tener en cuenta que las normas y especificaciones pueden variar según el país o la región, por lo que es recomendable consultar las normas locales aplicables antes de seleccionar un grado de acero para un proyecto específico. Como el ejercicio propuesto es para refuerzo de pilares de viviendas o edificios que han sufrido algún daño o cambio de uso se ha optado por ese acero, cuyas características se muestran a continuación (Tabla 5).

Tabla 5. Datos generales

Datos		
f_y	400	MPa
r_c	20	mm
ϕ	0,65	
Ψ_f	0,95	

Donde:

f_y : Límite elástico especificado de la armadura de acero no comprimida expresado en (MPa).

r_c : Radio de los bordes de una sección transversal prismática confinada con FRP expresado en (mm).

Φ : Factor de reducción de la resistencia.

Ψ_f : Factor de reducción de la resistencia para cortante sección totalmente envuelta.

A partir de esta explicación y los datos aportados se le entrega al alumno el capítulo 12 del documento ACI440-17 [13] para que lo estudie, analice y con las siguientes fórmulas mostradas a continuación (Tabla 6) determine la capacidad de resistente del pilar para así poder resolver el ejercicio y realizar un análisis crítico del mismo.

Tabla 6. Ecuaciones de referencia

ACI440-17	
$\phi P_n = 0,85 * \phi * [0,85 * f'_{cc} * (A_g - A_s) + f_y * A_s]$	(8)
$f'_{cc} = f'_c + \psi_f * 3,3 * K_a * f_l$	(9)
$f_l = \frac{2 * E_f * n * t_f * \epsilon_{fe}}{D}$	(10)
$D = \sqrt{h^2 + b^2}$	(11)
$\epsilon_{fe} = K_\epsilon * \epsilon_{fu}$	(12)
$\frac{f_l}{f_c} > 0,08$	(13)
$K_a = \frac{A_e}{A_c} * \left(\frac{b}{h}\right)^2$	(14)
$K_b = \frac{A_e}{A_c} * \left(\frac{h}{b}\right)^{0,5}$	(15)
$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \left[\frac{\left(\frac{b}{h}\right) * (h - 2 * r_c)^2 + \left(\frac{h}{b}\right) * (b - 2 * r_c)^2}{3 * A_g} \right] - \rho_g}{1 - \rho_g}$	(16)

$$\rho_g = \frac{A_s}{A_g} \quad (17)$$

$$A_g = b * h \quad (18)$$

Donde:

ϕP_n : Capacidad de resistencia del pilar.

Φ : Factor de reducción de la Resistencia.

f'_{cc} : Resistencia a la compresión del hormigón confinado (MPa).

A_g : superficie bruta de la sección de hormigón, en (mm²).

A_s : Área de la armadura de acero no pretensada, en (mm²).

f_y : Límite elástico especificado de la armadura de acero no comprimida expresado en (MPa).

ψ_f : Factor de reducción de la resistencia para cortante sección totalmente envuelta.

K_a y K_b : Factores de forma.

E_f : Módulo de elasticidad a tracción del FRP (MPa).

n : Número de capas.

t_f : Espesor del material de FRP (mm).

ϵ_{fe} : Deformación efectiva en la armadura de FRP alcanzada en el momento del fallo (mm/mm).

ϵ_{fu} : Tensión de rotura de diseño de la armadura FRP (mm/mm).

D : Diámetro del elemento de compresión para secciones circulares o distancia diagonal a $\sqrt{h^2 + b^2}$ para secciones prismáticas, (mm).

f_c : Tensión de rotura a compresión del hormigón sin confinar, (MPa).

f_l : Presión de confinamiento máxima debido a la cubierta de FRP, (MPa).

ρ_g : Relación entre el área de la armadura longitudinal de acero y el área de la sección transversal de un elemento de compresión.

4 Resultados de la experiencia

El presente estudio se ha realizado con 20 alumnos de los másteres anteriormente citados. A todos ellos se les ha propuesto la resolución de los ejercicios anteriormente expuestos. Esta tarea se puede equiparar perfectamente a un caso real, proporcionándole, al alumno, la suficiente información y documentación de cara a poder tener una idea clara y definida acerca de los pilares sobre los que va a trabajar.

Para la explicación teórica se han impartido 2 sesiones de 3 horas cada una para dotar al alumno de los conocimientos que no ha podido adquirir a lo largo de la carrera y que son necesarios para la consecución y realización del caso.

Las probetas del primer ejercicio se han ensayado en laboratorio y el alumno puede comparar el ajuste de las tres guías a los resultados reales estableciendo una comparación y analizando de manera crítica los resultados, una vez que lo haya hecho él.

Resulta muy llamativo el extraordinario incremento que se produce cuando el refuerzo es a nivel de probeta.

En el segundo ejercicio es interesante ver como a nivel de pieza el incremento de la resistencia es mucho menor.

Por último, el alumno ha contado con 4 semanas para su realización. Se les ha entregado un solucionario con los resultados de los ejercicios. Al finalizar el caso, los alumnos respondieron a una encuesta que se les hizo con la finalidad de obtener su satisfacción ante esta metodología y mejorar para próximos cursos; los resultados fueron los siguientes:

- El 75% de los afirman haber conseguido capacidades investigadoras y un 25% la capacidad de autoaprendizaje.
- El 50% de los alumnos ha expresado que el tiempo dedicado a las explicaciones teóricas ha sido notable y el otro 50% opina que ha sido sobresaliente.
- El 100% se muestra muy satisfecho y reconoce que los casos propuestos le han servido para mejorar sus conocimientos acerca del tema.
- El grado de similitud con la realidad ha sido valorado por un 75% como positiva y 25% como extremadamente positiva.
- Por último y como mejora para futuros cursos los alumnos han destacado que les gustaría tener más ejemplos de casos de intervención y puntos más importantes a tener en cuenta en la ejecución y el desarrollo del coste de este sistema en obra real.

5 Conclusiones

La metodología de desarrollo de casos, es un claro ejemplo de aprendizaje basado en retos para el refuerzo de estructuras en estudios de postgrado. La constatación entre los resultados analíticos y los experimentales supone un interés académico muy superior al que si solo fuera teórico o analítico.

El confinamiento de hormigón con FRP es una práctica muy utilizada en la actualidad, dando muchísimas soluciones de colocación en obra ante diferentes situaciones como puedan ser fallos de ejecución, cambios de uso, etc.

El tratamiento transversal de los contenidos es esencial para una asimilación completa, ya que permite la conexión entre los distintos aspectos técnicos, arquitectónicos y de gestión que intervienen en la edificación. De esta manera, se forma a los estudiantes con una visión integral y capacitación para abordar proyectos de construcción de manera eficiente y holística.

La satisfactoria experiencia llevada a cabo con los alumnos de postgrado refuerza la idoneidad del ABR como enfoque pedagógico en el aprendizaje de la Ingeniería de Edificación. La implicación activa de los estudiantes en el desarrollo de un caso práctico les permite enfrentarse a desafíos y tomar decisiones fundamentadas, lo que fortalece su comprensión de los conceptos y procesos relacionados con la materia.

Una mejor organización y añadir el coste del servicio para próximos cursos puede ayudar a los alumnos a implementar el hormigón confinado con fibras de carbono en una obra. Es fundamental evaluar estos costos y compararlos con los beneficios potenciales que ofrece esta tecnología, como la reducción de la sección de elementos estructurales, mayor resistencia y durabilidad, entre otros. Además, es importante tener en cuenta las normativas y regulaciones locales que puedan influir en los costos y requerimientos específicos de este tipo de construcción dándole al estudiante una visión más global y realista, asegurándose así que el alumno puede solventar al 100% una situación real.

Referencias

Vista de Buenas prácticas de Innovación Educativa: Artículos seleccionados del II Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad, CINAIC 2013. (s. f.). <https://revistas.um.es/red/article/view/254011/191541>

Julio. (s/f). Servicio de Innovación Educativa. Upm.es. <https://innovacioneducativa.upm.es/sites/default/files/guias/GUIA-ABR.pdf>, last accessed 2023/05/06

Bustos Jiménez, A., Castellano Hinojosa, V., Calvo Ramos, J., Mesa Sánchez, R., Quevedo Blasco, V. J., & Aguilar Mendoza, C. (2019). El aprendizaje basado en retos como propuesta para el desarrollo de las

- competencias clave. *Padres y Maestros / Journal of Parents and Teachers*, 380, 50–55. <https://doi.org/10.14422/pym.i380.y2019.008>
- Lynch, M. (2017, agosto 11). What is the difference between problem, project, and challenge based learning? *The Edvocate*. <https://www.theedadvocate.org/difference-problem-project-challenge-based-learning/>
- Molina, A., Rodríguez, M. E., García, C., Rodríguez-Chueca, J. J., & Pérez, J. (2018). Retoinnova-ambiental: nuevas metodologías de aprendizaje para promover la aplicación de competencias en medio ambiente y sostenibilidad. In IE18UPM. Conferencia llevada a cabo en el Ciclo de Jornadas.
- González Galindo, J., Senent Domínguez, S., Soriano Martínez, A., Reig Ramos, M. I., Arias Casado, M., & Jiménez Rodríguez, R. (2019). Aprendizaje basado en retos en el campo de la geotecnia: reparación de un deslizamiento de ladera= Challenge Based Learning in Geotechnics: Repair Works after a Slope Failure.
- Demers, M., & Neale, K. W. (1999). Confinement of reinforced concrete columns with fibre-reinforced composite sheets-an experimental study. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 26(2), 226-241.
- Rocca, S., Galati, N., & Nanni, A. (s/f). Experimental evaluation of noncircular reinforced concrete columns strengthened with CFRP. Quakewrap.com. <https://quakewrap.com/frp%20papers/Experimental%20Evaluation%20of%20Noncircular%20Reinforced%20Concrete%20Columns%20Strengthened%20with%20CFRP.pdf>, last accessed 2023/05/06
- Chaallal, O., & Shahawy, M. (2000). Performance of fiber-reinforced polymer-wrapped reinforced concrete column under combined axial-flexural loading. *Structural Journal*, 97(4), 659-668.
- Wang, Y. C., & Restrepo, J. I. (2001). Investigation of concentrically loaded reinforced concrete columns confined with glass fiber-reinforced polymer jackets. *Structural Journal*, 98(3), 377-385.
- Cobo Escamilla, A., Prieto Barrio, M. I., Moreno Fernandez, M. E., & Gonzalez Yunta, F. (2013). Análisis de experiencias de laboratorio como herramienta docente: aplicación al estudio de pilares de hormigón reforzados mediante encamisados. 1–4.
- Ma, C.-K., Apandi, N. M., Sofrie, C. S. Y., Ng, J. H., Lo, W. H., Awang, A. Z., & Omar, W. (2017). Repair and rehabilitation of concrete structures using confinement: A review. *Construction and building materials*, 133, 502–515. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.100>
- ACI PRC-440.2-17: Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures. (s/f). Concrete.org. https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=440217&Language=English&Units=US_A ND_METRIC, last accessed 2023/05/06
- FIB., Externally bonded FRP reinforcement for RC structures. International federation for Structural Concrete, Lausanne, 2001.
- JSCE Japan Society of Civil Engineers., Recommendations for upgrading of concrete structures with use of continuous fiber sheets, In: Maruyama K. editor. *Concrete Engineering Series 41*, 2001.
- DT 200 R1/2013., Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures, Rome (Italy), Italian Council of Research (CNR), 2013
- Courbon, J. (1968). *Tratado de resistencia de materiales* (No. 620.11 C6y 1964).
- Leonhardt, F. (1984). *Estructuras de Hormigón Armado. Verificación de la capacidad de uso*.
- Teng, J. G., Chen, J. F., Smith, S. T., & Lam, L. (2002). FRP: Strengthened RC structures. En *FRP: Strengthened RC Structures* (p. 266).
- De Lorenzis, L., & Tepfers, R. (2003). Comparative study of models on confinement of concrete cylinders with fiber-reinforced polymer composites. *Journal of Composites for Construction*, 7(3), 219–237. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0268\(2003\)7:3\(219\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0268(2003)7:3(219))

EDIFICATE 2023

**II NATIONAL CONGRESS AND
I INTERNATIONAL CONGRESS OF ADVANCED SCHOOLS BUILDING ENGINEERING
AND TECHNICAL ARCHITECTURE**

GRANADA, November, 9-10, 2023
Advanced Technical School for Building Engineering
University of Granada

TOPIC 3.

Building Research

Investigación Internacional: Tesis doctoral Universidades Sevilla y Montpellier (Francia) sobre la Prevención de Riesgos Laborales en las obras de Restauración en Edificios Patrimoniales

Dominguez Caballero, Rosa M^a y Bernardo, Graziella^b

^a Universidad de Sevilla, ETSIE Avda. Reina Mercedes 4A, Sevilla rosam@us.es, ^b Università degli Studi della Basilicata. Facoltà di Architettura, Via Rocco Lazazzera. Matera.graziella.bernardo@unibas.it

Abstract

From the doctoral program offered by the University of Seville of the School of Architecture (ETSA), the University Institute of Architecture and Building Sciences (IUACC) along with the ERASMUS International Mobility and teaching at the School of Building Engineering (ETSIE) served as a framework for a transversal training taking advantage of synergies resulting in a Thesis with International mention after a short stay at the University of Montpellier II at the IUT Genié Civile de Nîmes (France).

The thesis studied the Occupational Risk Prevention in the restoration of heritage buildings from the point of view of its integration in all the processes of definition, execution and control of the activities to be carried out.

The final destination and objective is to ensure the physical integrity of the workers who are in contact in the Restoration of the Andalusian Historical Heritage through the interventions promoted by the Ministry of Culture of the Andalusian Regional Government (2004-2009) and 3 buildings in the south of France. Dr. Graziela Bernardo from the University of Basilicata (Italy) took part in the defence of the thesis and received an International Mention.

The particularities of the Restoration works were investigated for their risk control in the work centers. Always from the point of view of the Integral Prevention of Occupational Risks, as indicated by Law 31/95 on Occupational Risk Prevention and RD 1627/97 of minimum provisions for Health and Safety on construction sites with their counterparts in France. To this end, a questionnaire was drawn up and used as a model for interviewing the Health and Safety Coordinators during the construction phase, and it was possible to verify the differences that arose from the design phase to the actual execution phase. By means of an analytical, deductive and inductive methodology. Finally, they were extrapolated in those "new" activities that are incorporated in the processes of Restoration in heritage buildings.

Keywords: Prevention, Occupational hazards, Heritage restoration, Preventive measures, Control, protection, Accidents, Physical integrity

1. Introducción

La Comunidad Europea se marca un objetivo primordial: **Reducción del daño profesional y promover la Seguridad y la Salud de los trabajadores.**

El 17 de septiembre de 1986 en Luxemburgo y posteriormente el 28 febrero del mismo año en la Haya, se aprueba el **Acta Única Europea** y concretamente en su artículo 118 A, el principio “...los Estados miembros procurarán promover la mejora del medio de trabajo, para proteger la Seguridad y Salud de los trabajadores...”. Tres años más tarde se publica la **Directiva 89/391/CEE** de 12 de junio, es la conocida Directiva Marco, que establece los conocidos **Principios Generales de Prevención.**

A continuación, se elabora una tabla donde se refleja las Directivas Europeas con su correspondencia Legislación Española¹.

Tabla 1. Relación de Directivas Europeas con Legislación Española.

Fuente: Elaboración propia (2015)

DIRECTIVA MARCO EUROPEA	LEGISLACIÓN ESPAÑOLA
(89/391/CEE) Promoción y mejora de la Seguridad y Salud. PRL	Ley 31/1995 de 8 noviembre
(89/654/CEE) Lugares de Trabajo	R.D. 487/1997, de 14 de abril
(89/655/CEE) Equipos de Trabajo	R.D. 1215/1997, de 18 de julio
(90/656/CEE) Equipos de Protección Individual	R.D. 773/1997, de 30 de mayo
(90/269/CEE) Manipulación manual de cargas	R.D. 487/1997, de 14 de abril
(90/270/CEE) Pantallas de visualización de datos	R.D. 488/1997, de 14 de abril
(90/394/CEE) Agentes carcinógenos	R.D. 665/1997, de 12 de mayo
(90/679/CEE) Agentes biológicos	R.D. 664/1997, de 12 de mayo
(92/57/CEE) Obras de construcción temporales o móviles	R.D. 1627/1997, de 24 de octubre
(92/58/CEE) Señalización de Seguridad	R.D. 485/1997, de 14 de abril
(92/104/CEE) Industrias extractivas a cielo abierto o subterráneas	R.D. 1389/1997, de 5 de septiembre
(90/64/EURATOM) Exposición de radiaciones ionizantes	R.D. 413/1997, de 21 de marzo
(93/103/CEE) Seguridad y Salud en buques de pesca	R.D. 1216/1997, de 18 de julio
(98/24/CEE) Seguridad por riesgo de agentes químicos	R.D. 374/1997, de 6 de abril

En el año 1992, se proclamó el Año Europeo de la Seguridad, Higiene, Salud en el Lugar de Trabajo, cuyo lema fue: “Hagamos de Europa un lugar mejor para trabajar”. En España, se aprueba una Orden Ministerial el 30 de marzo de 1999 donde se celebre cada año el día 28 de abril será el “Día de la Seguridad y Salud en el Trabajo”. La Ley 38/ 1999, de 5 noviembre. Ordenación de la Edificación (LOE) en su exposición de motivos que el sector de la edificación es uno de los principales sectores económicos con repercusiones en la Sociedad y los valores culturales que entrañan el Patrimonio Arquitectónico.

En el artículo 2, define **Obras de Edificación**², aquellas que requiriendo un Proyecto según lo establecido en el artículo 4.

Obras de ampliación, modificación, reforma o rehabilitación que alteren la configuración arquitectónica de los edificios, entendiéndose a tales las que tengan carácter de intervención total o parciales que produzcan una variación esencial de la composición general exterior, la volumetría o el conjunto de sistema estructural, o tengan el objeto de cambiar los usos característicos. Obras que tengan carácter de intervención total en edificios catalogados o que dispongan de algún tipo de protección de carácter ambiental o histórico artístico.

¹ Molina Benito. Obra citada.

²Art.2. Ley 38/1999 (LOE).

En este último apartado es donde podemos englobar las intervenciones de esta tesis doctoral, ya que todas son BIC, como hemos comentado anteriormente.

Como sabemos, las obligaciones y responsabilidades en PRL en obras de edificación que se regirán por su legislación específica. Según el Artículo 2, de la LOE, el ámbito de aplicación es el proceso de edificación. Describe las tipologías de las cuales entran en nuestra investigación las del apartado 1a). Si nos acogemos al apartado 2c, del mismo artículo y Ley, se tratan de obras que tengan carácter de intervención total en edificios catalogados o que tengan algún tipo de protección de carácter ambiental o histórico. Afirmamos tajantemente, que es **100% de los edificios son BIC** (Bien de Interés Cultural).

Cabe destacar que en cualquiera de estas intervenciones la convivencia de oficios y trabajos de diferentes especialidades. Trabajo arduo que tendrá que realizar el Coordinador de Seguridad y Salud en Fase de ejecución, para intentar paliar todos los posibles riesgos que se puedan provocar por la falta de información de los procesos de trabajos, la formación que será especializada en bastantes casos por parte de los restauradores y no tanto en el resto de los oficios que normalmente forman parte de las obras de Nueva Planta: albañiles, carpinteros, pintores, etc. Y sobre todo, el destajo de las labores de los operarios que no se denotan tanto en obras de Restauración y rehabilitación. Respecto a las figuras o agentes integrantes en el proceso de edificación, sabemos que estarán el Promotor, Proyectista, Constructor, el Director de la Obra, el Director de la Ejecución y en los casos que sea preceptivo el Coordinador de Seguridad y Salud tanto en la Fase de Proyecto como el de Ejecución³. En nuestra investigación sabemos a ciencia cierta que las 58 obras escogidas el Promotor ha sido la Junta de Andalucía, son de carácter público donde los técnicos de la Delegación de Bienes Culturales han tenido que cumplir con las obligaciones dictadas en el artículo 9 de esta Ley, como gestionar las licencias y suscribir el Acta de Recepción, facilitar documentación e información previa a los Proyectistas, etc. La figura del *Coordinador de Seguridad y Salud en Fase de ejecución. Según la disposición adicional 4^ª*, las titulaciones académicas serán arquitecto, arquitecto técnico, ingeniero e ingeniero técnico. El 95% de los casos han sido arquitectos técnicos quien han desarrollado esta función en nuestro trabajo.

A continuación, se refleja la correspondencia entre los agentes implicados, normativas y documentos referidos a la obra tanto en España como en Francia.

La obra de construcción en España	Le chantier en France
<p>Fase de proyecto: se definen procedimientos: Memoria, pliego, planos, mediciones y presupuestos</p>	<p>Phase conception: Les processus sont définis: Cahier des Clauses Techniques Particuliers (CCTP), Cahier des Clauses Administratives Particulieres (CCAP), Dossier des ouvrages exécutés (DOE)</p>
<p>Ley 31/1995 y R. D. 1627/97</p>	<p>LOI 91-1414 du 31 décembre 1991 et Décret 94-1159 du 26 décembre 1994</p>
<p>Licencias de obras, permisos...</p>	<p>La declaration préalable au chantier</p>
<p>Estudio de Seguridad y Salud</p>	<p>Plan Général de Coordination en matière de Sécurité et de Protection de la Santé (PGCSPS)</p>
<p>Plan de Seguridad y Salud</p>	<p>Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (PPSPS)</p>
<p>Fase de obra</p> <p>Recurso preventivo: seguimiento Plan S y S</p> <p>Libro de Incidencias</p> <p>Modificaciones del Plan de S y S</p>	<p>Phase realisation</p> <p>OPPBTP</p> <p>Registre journal de la coordination</p> <p>Dossier d'interventions Ultérieures sur l'ouvrage (DIUO)</p>

Figura 1. Correspondencia de los elementos principales en obra entre España y Francia.

Fuente: Elaboración propia (2015)

³ Véase el glosario de términos.

⁴ Ley 38/95, Ley de Ordenación en la Edificación.

Debemos destacar que en Francia existe una institución exterior a las empresas que se denomina OPPBTP, muy parecido a un Servicio de Prevención ajeno, que vigila los centros de trabajo independientemente a la Inspección de Trabajo.

2. Metodología

Como hemos comentado, partimos del análisis de obras de Restauración pertenecientes al Patrimonio Histórico que ha financiado la Delegación de Cultura de la Consejería de la Junta de Andalucía durante el quinquenio 2004-2009. Posteriormente, se amplía la investigación a 3 obras emblemáticas en el sur de Francia. En todas ellas se estudiaron las intervenciones de distinta tipología: castillos, iglesias, torres, murallas, yacimientos arqueológicos, etc. además de los documentos realizados por los técnicos implicados en el proceso de construcción en Fase de Proyecto (Proyectos de Ejecución con sus Modificaciones posteriores, Estudios de Seguridad y Salud, Planes de Seguridad y Salud) donde destacan los procesos de trabajo, equipos técnicos utilizados y sobre todo las medidas de prevención y protección proyectadas para paliar los posibles riesgos laborales que puedan llegar a materializarse en accidentes.

Se utilizará un método analítico tanto **inductivo** (partiendo del análisis de los proyectos de ejecución y sus modificaciones, Estudios de Seguridad y Salud, Planes de Seguridad y Salud, además del conocimiento profundo de la normativa vigente sobre la Prevención) como **deductivo** (concretando cómo debe llevarse a cabo este cumplimiento normativo desde el punto de vista del principio básico del control de los riesgos que asumen los trabajadores del sector de la construcción). Desde otro punto de vista, los métodos empleados son de dos tipos:

- **Cualitativo:** sobre el análisis de los documentos de la Fase de Proyecto: Proyectos de ejecución, Estudios de Seguridad y Salud, Planes de Seguridad y Salud con sus correspondientes Modificaciones. Examinando la normativa tanto de PRL como la Patrimonial, distintos aspectos de la Prevención de Riesgos Laborales en la Restauración en edificios patrimoniales de Andalucía y del sur de Francia.
- **Cuantitativo:** un estudio estadístico, donde se analizan las 58 obras que forman la Población y transformándose en una Muestra de 21 de ellas, donde se encuestarán a los principales protagonistas de la Coordinación de Seguridad y Salud, donde nos comentarán tras su experiencia profesional, las diferencias encontradas desde la Fase de Proyecto a la Fase de Ejecución. Obteniendo por tanto interesantes conclusiones, así como propuestas de mejoras para el futuro en los documentos iniciales de la Fase de Proyecto y así evitar lo más posible la siniestralidad en esta tipología de obras patrimoniales.

El procedimiento elegido del trabajo de investigación será el siguiente:

1.1. Fase 1.- Elección de las obras en Andalucía

1.1.1. Permisos previos para realizar la investigación.

1.1.2. Elección de las obras

1.2. Fase 2.- Toma de datos en documentos de la Fase de Proyecto de las 58 obras seleccionadas de Andalucía.

1.2.1. Análisis de los documentos en Fase de Proyecto

Búsqueda de información de las intervenciones seleccionadas. Visita a diferentes bibliotecas de Andalucía, en especial la de Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico de Andalucía analizando distintos libros, artículos de revistas y publicaciones electrónicas, ha sido una pieza fundamental en la investigación.

1.2.2. Compilación y ordenación de los datos obtenidos.

Mediante el diseño de fichas (Anexo nº 1, Tomo II), sintetizando toda la información útil, para aclarar y facilitar la investigación donde se reflejan los datos de la obra:

Capítulos: 01.- Demoliciones y trabajos previos.02.- Acondicionamiento de terrenos.03.- Cimentaciones.04.- Saneamientos.05.- Estructuras.06.- Albañilería.07.- Cubiertas.08.- Instalaciones.09.- Aislamientos.10.- Revestimientos. 11.-Carpinterías y elementos de seguridad y protección.12.-Vidrierías y elementos sintéticos.13.- Pinturas. 14.- Equipamientos15.- Urbanizaciones.19.- Seguridad.

1.3. Fase 3. Visitas a las intervenciones seleccionadas

1.3.1. Preparación de rutas en mapas de las 8 provincias de Andalucía.

1.3.2. Visita a cada una de las 58 intervenciones.

Realización de un amplio reportaje fotográfico y toma de datos para cotejarlos, a veces "in situ", de lo recogido en las fichas elaboradas previamente de cada una de las obras.

1.1.1. Búsqueda de información "in situ" sobre las intervenciones en Ayuntamientos, Oficinas de Turismos e incluso a los vecinos de la zona.

1.4. Fase 4. Gestión de la normativa estatal, autonómica y provincial tanto de Prevención de Riesgos Laborales como de Patrimonio Histórico y la relación entre ellas.

1.5. Fase 5. Elección de la Muestra

Cálculo de las 21 obras seleccionadas con metodología estadística que forman la Muestra, de manera que represente el mayor número de actividades comunes para su análisis posterior.

1.6. Fase 6.-Entrevista a los Coordinadores de Seguridad y Salud en Fase de Ejecución en Andalucía

1.6.1. Preparación y diseño del formulario de encuesta

Se realiza una búsqueda de manuales de psicología y estadísticas para el estudio, análisis y diseño de la encuesta. Diseño de formulario de encuestas que se le realizará a los Coordinadores de Seguridad y Salud en Fase de Ejecución. Preparación de dicha entrevista mediante el esquema siguiente:

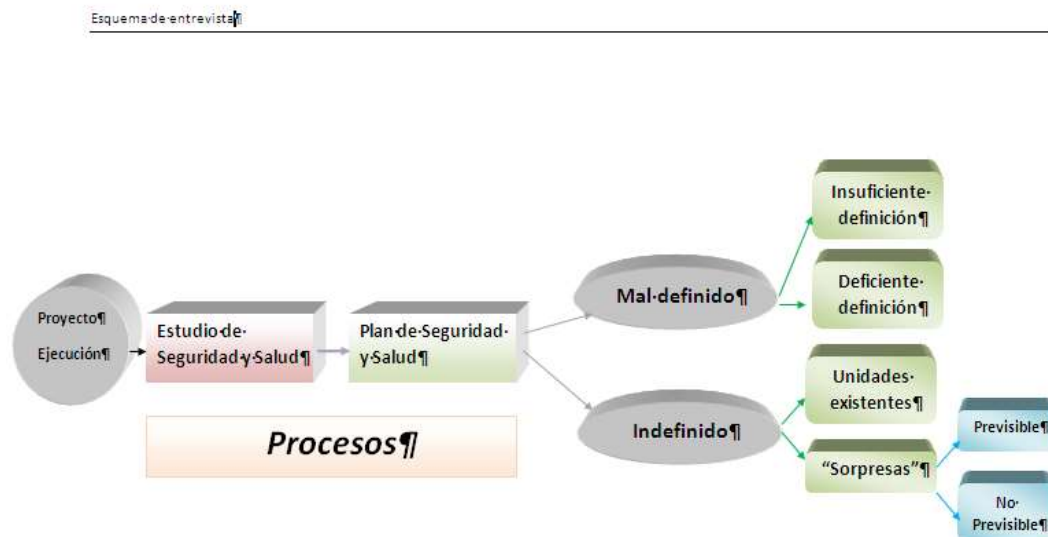


Figura 2. Correspondencia de los elementos principales en obra entre España y Francia.

Fuente: Elaboración propia (2015)

Realización del Cuestionario que comprende 25 preguntas a realizar a los Coordinadores de Seguridad y Salud de las 21 obras de la Muestra.

Comprobación y verificación de comprensión de la encuesta a Coordinadores de Seguridad y Salud, técnicos expertos en el sector, de manera de ensayo y corrección de los pequeños errores cometidos al elaborar el documento.

1.6.2. Realización de la encuesta a los Coordinadores de Seguridad y Salud

Estudio de las posibles incidencias que se hayan podido producir a partir de los datos obtenidos entre las Fases de Proyecto y de Obra.

Identificar aquellos procesos de trabajo que se han realizado en las obras de Restauración que estaban deficientemente definidos o indefinidos en los documentos previamente citados de la Fase de Proyecto.

Valorar si dichas indefiniciones han sido debido a unidades existentes o "sorpresas" y si han podido ser previsibles o imprevisibles para su inclusión en los documentos examinados.

Finalización del trabajo de campo con la ordenación y adecuación de todos los datos obtenidos previamente.

1.6.3. Comparación de los resultados de las entrevistas a los Coordinadores de Seguridad y Salud en Fase de Ejecución frente a la Fase de Proyecto

Cotejo de la información conseguida.

Elaboración de tablas para clarificar toda la información adquirida comparando todos los cuestionarios en búsqueda de resultados definitivos y conclusiones

1.7. Fase 7.- Periodo de Investigación en el IUT de Nîmes, de la Universidad de Montpellier II (Francia)

1.7.1. Etapa de Investigación en Nîmes

Periodo de investigación durante 3 meses en el Institut Universitaire Technologique de Nîmes para realizar la tesis con mención internacional, mediante una invitación del Dr. D. Jean François Dubois, Director de la titulación de Genié Civil.

1.7.2. Elección de las intervenciones de Restauración de edificios patrimoniales

Selección de intervenciones de Restauración de las ciudades de Nîmes y Montpellier con representatividad que se estén ejecutando o que hayan finalizado siendo coetáneas a la investigación que estamos realizando en Andalucía: Anfiteatro romano *Les Arènes* y *Maison Carrée* en Nîmes además de la *Catedral Saint-Pierre* en Montpellier.

1.7.3. Búsqueda de información de las intervenciones seleccionadas

Visita a diferentes bibliotecas universitarias públicas de Nîmes y Montpellier, lectura y análisis de libros, artículos de revistas y publicaciones electrónicas en francés, traduciéndolos al castellano.

Análisis detallado de los documentos de la Fase de Proyecto: Plan General de Coordinación y Protección de la Salud (PGCPS), Plan Particular de Coordinación y Protección de la Salud (PPCPS) y Proyectos de Ejecución con sus correspondientes modificaciones. Se traducen dichos documentos para su fácil comprensión e interpretación.

1.7.4. Compilación y ordenación de los datos obtenidos.

Adaptación de fichas las andaluzas (Anexo nº 2, Tomo II) al francés, sintetizando toda la información útil, donde se reflejan los datos de la obra: localización en mapas, fotografías del estado actual, de los intervinientes del proceso productivo, recursos técnicos (materiales y humanos), intervenciones por capítulos descritos en partidas y observaciones.

1.7.5. Visitas a las intervenciones elegidas

Numerosas visitas a los edificios mencionados acompañados por los arquitectos, técnicos en prevención de riesgos laborales, ingenieros y responsables de las empresas contratistas.

Realización de un amplio reportaje fotográfico y toma de datos para cotejarlos, a veces "in situ", de lo recogido en las fichas elaboradas previamente de cada una de las 3 intervenciones.

1.7.6.- Gestión de la normativa

Estudio de la normativa francesa estatal, autonómica y provincial de Prevención de Riesgos Laborales y de Patrimonio Histórico.

1.7.7. Tratamiento de los datos de la Muestra

1.7.8. Encuestas a los Coordinadores de Seguridad y Salud en Fase de Ejecución franceses

Adaptación de la encuesta elaborada al sistema francés. Traducción y adaptación de términos de las encuestas que se diseñó para los Coordinadores de Seguridad y Salud de España a los técnicos franceses. Búsqueda de los datos para la localización de los técnicos para realizarles la encuesta elaborada y adaptada. Preparación de las visitas con la documentación previa obtenida ordenada. Encuentro con los Coordinadores de Seguridad y Salud previa cita sobre la obra que han participado como técnico. Complimentación de los cuestionarios y obtención de información. Traducción de documentos franceses al Castellano.

1.7.9.- Informe de los resultados de las entrevistas a los Coordinadores de Seguridad y Salud

1.8. Fase 8.- Exploración de los resultados

1.8.1. Análisis de la totalidad de las actividades de las intervenciones andaluzas.

Se comprueban según el esquema diseñado ¿Cuántas actividades se han realizado según lo proyectado? De ellas, ¿cuáles son “sorpresas previsibles” y cuántas “sorpresas imprevisibles”? ¿Cuáles y cuántas actividades nuevas se incorporan en los diferentes procesos de Restauración?

1.8.2 ¿Cómo se hubieran detectado las “sorpresas” para actuar conforme al Proyecto de Ejecución en Andalucía?

Se analizaron las posibles soluciones, en las que se conjugan la modificación de la Normativa, definir exhaustivamente en el Proyecto de Ejecución y en el Estudios de Seguridad y Salud previas catas y ensayos. Por último, a partir de los datos obtenidos, se deben redactar los Procesos de trabajo incorporándolos a los documentos citados previamente.

1.8.3. Análisis de la totalidad de las actividades de las intervenciones francesas.

El procedimiento será idéntico al descrito con las obras andaluzas, pero en esta ocasión con las 3 obras estudiadas en el sur de Francia.

1.8.4. ¿Cómo se hubieran detectado las “sorpresas” para actuar conforme el Proyecto de Ejecución en el sur de Francia?

1.9. Fase 9. Comparación de los resultados obtenidos entre las intervenciones andaluzas y francesas.

Se desarrolla una discusión de los resultados obtenidos que darán lugar a unas conclusiones parciales.

1.9.1. Análisis de las actividades desde la Fase de Proyecto a la Fase de Obra en Andalucía.

1.9.2.- Análisis de las actividades desde la Fase de Proyecto a la Fase de Obra en Francia.

1.9.3. Comparación de los Resultados entre las intervenciones andaluzas y francesas.

1.10. Fase 10. Niveles de riesgos desde la Fase de Proyecto a la Fase de Obra tanto en Andalucía como en el sur de Francia:

1.10.1. Cómputo de niveles de riesgos de las obras de Andalucía.

Estudio de niveles de riesgos de las actividades diferenciando cuáles de ellos se podrían controlar desde la Fase de Proyecto, otros que se incorporan pertenecientes a actividades previsibles e imprevisibles.

1.10.2. Investigación de los niveles de riesgos de las intervenciones del sur de Francia.

Se distinguen cuáles de ellos se conocerían desde la Fase de Proyecto, los que se refieren a unidades previsibles y posteriormente las imprevisibles. Comparación y avance de conclusiones de los niveles de riesgos andaluces y franceses.

1.11. Fase 11.- Conclusiones

Dedución de cómo habrá que proceder especialmente en materia de Prevención de los Riesgos Laborales en obras de Restauración de edificios Patrimoniales para mejorar la siniestralidad, actuando desde el Proyecto de Ejecución, en el Estudio de Seguridad y Salud y con el consecuente Plan de S y S elaborado por el Contratista, es decir, documentos implantados durante la Fases de Proyecto y Planificación.

1.12. Fase 12.- Traducción de los apartados para la Mención Internacional de la Tesis

Según la normativa de la Universidad de Sevilla, es preceptivo que estén en los dos idiomas elegidos en la tesis de los apartados denominados: Resumen y Conclusiones. Por lo que se traducirá al francés. Se decidió incorporar otros capítulos como Objetivos, Metodología, Cuestionario a realizar a los técnicos franceses y fichas de los 3 edificios.

3. Resultados

Se observa en la Tabla 2 los datos de los Coordinadores de Seguridad y Salud andaluces escogidos por haber participado como tal en las obras de la *Muestra*.

Prueba del Cuestionario

Antes de aplicar el cuestionario a los técnicos elegidos, una vez redactado, es conveniente probarlo en un grupo de individuos de características similares a los que se le administrará el cuestionario definitivo (3 a 50 personas), de manera que representen a los sectores de la Población a los que va dirigida la encuesta.

4. Conclusiones

- **Dos tercios de las actividades están descritas** en los diferentes documentos en la **Fase de Proyecto** y el restante **tercio** son unidades que **se incorporan** a los procesos de restauración **durante la ejecución de la Obra**.
- El **99%** en España y el **100%** en el sur de Francia de las actividades *nuevas* se puede determinar previas al Proyecto de Ejecución debido a que las *sorpresas previsibles* se hubieran evitado con estudio de patologías exhaustivo mediante catas, ensayos organolépticos, pruebas, etc.
- El número medio de riesgos que le corresponde a cada unidad es de **3,53 en Andalucía y 3,13 en Francia**, prácticamente igual. Aun integrándose el 38% de unidades nuevas, **solo el 1% de los riesgos pueden estar incontrolados en la Fase de Obra**, es decir, el 99% se pueden controlar en la Fase de Proyecto.
- La **valoración del riesgo es mayor en aquellas actividades que se incrementan**. Ello implicará que la tipología del riesgo es idéntica, pero existe una mayor probabilidad de que ocurra. Para evitarlo se deben **acrecentar las medidas preventivas**.
- A la inversa, la **valoración del riesgo es menor en las actividades que disminuyen**. Aun siendo la misma tipología de riesgo existe una menor probabilidad de que sobrevenga un accidente. De igual forma debemos evitarlo mediante las medidas preventivas. **No por ello, debemos disminuir la atención**.
- Las **actividades nuevas** en el proceso de Restauración, no contempladas en la Fase de Proyecto hacen que el técnico, **Coordinador de Seguridad y Salud, diseñe las medidas preventivas** mediante protecciones colectivas, equipos de protección individual, señalización, etc. ante novedosos riesgos que aparecen unidos a dichas actividades. Por tanto, como hemos explicado anteriormente, **crece el número de riesgos** no la valoración de ellos.
- En las **obras de Restauración**, una vez comenzadas, el **Coordinador de Seguridad y Salud deberá estar muy pendiente al aprobar las Modificaciones de Planes de S y S** cumpliendo lo marcado por el RD 171/2004 en lo relativo a que en obras de construcción todo debe estar **definido por escrito y anticipado a su ejecución**, incluso este tipo de intervenciones donde aparecerán "*sorpresas*" (previsibles e imprevisibles).

Conclusión final

- Según la definición en la Real Academia de la Lengua “*Prevención: es preparar con antelación*”. Nos atrevemos a decir, que es rigurosamente cierto, **DEBEMOS HACER PREVENCIÓN EN OBRAS DE RESTAURACIÓN EN EDIFICIOS PATRIMONIALES.**

Referencias

- Alcázar, Agustín 2005. (coordinación), Latorre, Mario. Coordinador de seguridad y salud. Editorial Atrium, Madrid.
- Anduiza Arriola, Rafael, Beguería Latorre, Pedro Antonio, Rosa Serrano, Antonio. 2003. La Reforma del Marco Normativo de la Prevención de Riesgos Laborales. Editorial Fundación de la Escuela de la Edificación. Madrid.
- Aparicio Jabalquinto, Felipe; Corperez, Alfonso Esteban Gabriel, Jesús, García López, Jesús; Heredia Cuenca, Óscar; Mahamud Angulo, Ebrulfo Acorán; Sáchez Clemente, Antonio; Sanz López, Mario; Palacios Hernández, Gabriel. 2007. Manual Práctico de Seguridad y Salud en Construcción. Editorial Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid- Instituto Regional de Seguridad y Salud en el Trabajo. Edición 1^a. Madrid.
- Beguería Latorre, Pedro Antonio. 2002. Método para la coordinación de Seguridad y Salud en construcción: edificación y obra civil. Editorial Fundación Escuela de la Edificación. Madrid
- Cabeza Méndez, J M^a, Casanovas i Boxereu, X, Cercós Ibáñez, R, Gómez del Castillo, M, Úbeda de Mingo, P, Ugalde González, I. 1992. Concreciones sobre rehabilitación de edificios. Editorial Consejo de Colegios de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Andalucía. Sevilla.
- Calama Rodríguez, José M^a (Coord.). 2000. La Prevención y Seguridad de Riesgos Laborales en la Construcción. I parte, general. Editorial Universidad de Sevilla, secretariado de publicaciones. Sevilla.
- Cathedrale Saint- Pierre Beau Lieu. 1995. Editorial Cathedrale Saint- Pierre Beau Lieu Montpellier (Francia).
- Consejo Andaluz de Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos, 2004. Gestión de la coordinación de seguridad y salud durante la ejecución de la obra. Comisión de Seguridad. Editorial Consejo Andaluz de Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos, Sevilla.
- Consejo Andaluz de Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos, 2004, Manual de contenidos de estudios de seguridad y salud, obras de edificación. Comisión de Seguridad. Editorial Consejo Andaluz de Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos, Sevilla.
- Cortés Díaz, José M^a, 2007, Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales. Editorial Tébar. 9^a Edición. Madrid.
- Domínguez Caballero, Rosa M^a y Lucas Ruíz, Valeriano. 2010. Normativa en materia de Seguridad Laboral en la construcción (Tomo 1 y 2). Editorial Fundación Cultural del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla.
- Fundación, Codificación y Banco de Precios de la Construcción, Precios. 2009. Editorial Fundación, Codificación y Banco de Precios de la Construcción. Sevilla.
- Fundación, Codificación y Banco de Precios de la Construcción. 1987. Recomendaciones para la elaboración de estudios de seguridad e higiene. Editorial Fundación, Codificación y Banco de Precios de la Construcción. Sevilla.
- Lucas Ruíz, Valeriano y Cervera Díaz, Manuel. 2005. Listado de Chequeo para la corrección del contenido del Plan de Seguridad y Salud. Editorial Fundación Cultural del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla. Sevilla.
- Martínez Cuevas, Alfredo. 2009. Estudio sobre los contenidos de los Planes de Seguridad y Salud. Obras de edificación. Editorial Comisión de Seguridad del Consejo de Colegios de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Andalucía. Sevilla.

- MUSSAT: 2009. Investigación sobre factores relacionados con los accidentes laborales en el sector de la edificación. Editorial Fundación MUSSAT. Madrid.
- Pardo Moreno, José Antonio. 2002. Manual Práctico de actuaciones de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra. Editorial Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla. Sevilla.
- Ramírez de Arellano Agudo, A. 2004. Presupuestación de obras. Editorial Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla.
- Real Academia Española. 2014. Diccionario de la Lengua Española. Editorial RAE. Vigésima tercera edición. Madrid.
- Ruiz Frutos, Carlos; García Anda; Declós Jordi y G. Benavides, Fernando. 2007. Salud Laboral. Conceptos y técnicas para la prevención de riesgos laborales. Editorial Massón. (3ª edición). Barcelona
- SEOPAN, 2005. Informe sobre la accidentabilidad laboral en el sector de la construcción. Sistema Delt@ 2003-2005. Editorial SEOPAN. Madrid.
- Voisin, J. C. 1995. Prevention des accidents du travail et des maladies professionnelles dans Batiment et les travaux publics. Aide Memoire BTP. Editorial INRS, París.
- Zurfluh, J: 1957. Accidents du travail et formation-securité, Editorial Dunod. Pág. 199. París

Webs

- LNCS Homepage, <http://es.osha.europa.eu>, last accessed 2011/02/02.
- LNCS Homepage, <http://www.aiss.org> Asociación Internacional de Seguridad Social. last accessed 2011/02/04.
- LNCS Homepage, <http://www.anact.fr> Agence National pour l'amélioration des conditions de travail (ANACT), last accessed 2012/12/08.
- LNCS Homepage <http://www.bib.us.es> Portal de recursos de la Universidad de Sevilla, last accessed 2011/17/03.
- LNCS Homepage <http://www.boe.es>, last accessed 2014/13/02.
- LNCS Homepage <http://www.cfnavarra.es> Fundación Laboral de la construcción en Navarra, last accessed 2013/23/08.
- LNCS Homepage <http://www.eur-lex.europa.eu/es/index.htm>, last accessed 2011/02/04.
- LNCS Homepage Fundación Laboral de la Construcción (fundacionlaboral.org), last accessed 2013/02/10.
- LNCS Homepage <http://www.ine.es> Instituto Nacional de Estadísticas, last accessed 2011/10/11.
- LNCS Homepage <http://www.inhst.es/portal/site/insht> Instituto Nacional de Seguridad en Higiene en el Trabajo, last accessed 22/01/2013.
- LNCS Homepage <http://www.itss.es> Inspección de Trabajo y Seguridad Social, last accessed 2011/02/04.
- LNCS Homepage <http://www.noticiasjuridicas.com> Base de datos de jurisprudencia española, last accessed 2011/30/06.
- LNCS Homepage <http://www.rae.es>, last accessed 2012/15/12.
- LNCS Homepage <http://www.radon.com>, last accessed 2013/21/02.
- LNCS Homepage <http://www.travail-solidarite.gouv.fr>. last accessed 2014/17/07.
- LNCS Homepage <http://www.travailler-mieux.gouv.fr>. last accessed 2014/19/07.

Multidisciplinary and multi-scalar approach for regeneration of social housing and its habitat

Cellucci, Cristiana

Iuav, University of Venice, Department of Architecture and Arts, Terese, Dorsoduro 2206
30123 Venezia, ccellucci@iuav.it

Abstract

The global crisis scenarios, the conditions of uncertainty and reality complexity, the limited resources and the variability of the framework of the needs show the failure of a "rigid" conception-organization of the built environment often forced to reorganize itself as a result of stressful events for reach acceptable levels of efficiency. This model shows its fragility (seismic, hydro-geological, climatic, social) by undermining the concepts of stability (environmental, economic and social security) we are used to. Precisely in urban areas, a context in which *human health - planetary health* relationships express their effects more than elsewhere, it is necessary to intercept new solutions and rules to deal with the direct (deterioration of surface materials, structures, reduction of energy performance) and indirect (loss of identity, interruption of socio-economic activities, loss of livability and conditions of well-being) consequences of climate change on urban centers. This uncertainty and complexity of reality requires a non-linear approach that takes into consideration the material and immaterial aspects and the different time scales, leading to the evolution of research towards increasingly transversal methods and tools disciplines, sectors and scales of investigation and thought.

The paper is part of multidisciplinary research on the topic of sustainable regeneration and redevelopment of existing buildings and urban areas. It explores the implications between the need for adaptive regeneration to ensure both the adequate levels of performance and functionality of the space (indoor, outdoor space) with its components/materials and the equally urgent need to conceive such adaptive actions in a circular way. The collection, review and systematization of the literature and case studies led to the identification of a framework of adaptive/circular strategies at the *micro* (the single component), *meso* (the building) and *macro* (the public space) scales. The strategies were then validated in three social housing districts in three Italian cities.

Keywords: Vulnerability, Adaptability, Sustainability, Circular transition.

1. Introduction: towards a circular transition

Sustainability, starting from its founding documents, has recognized in collective well-being and protection of the environment the key to the development of society (WCED, 1987) and in the relationships between human activities and the limited capacity of ecosystems to support them the main challenge. For a long time it was believed that natural and anthropic systems gradually responded to perturbations through a slow adaptive process. Today, we know that vulnerability (economic, social, environmental and regarding health) projects us into a condition of sudden discontinuity, unpredictable and uncontrollable immersive events, in which every single fragility is related to the "whole" and every single action produces an echo or a cascading effect on the well-being of users and the health of the planet. Global crisis scenarios, conditions of uncertainty and reality complexity, limited resources and the variability of the needs framework show the failure of a "rigid" conception-organization of the built environment often forced to reorganize itself as a result of stressful events in order to reach acceptable levels of efficiency or to show its fragility (seismic, hydro-geological, climatic, social) by undermining the concepts of stability (environmental, economic and social) we are used to (Vittoria, 1987; Taleb, 2008). Precisely in urban areas, a context in which human health-planetary health relationships express their effects more than elsewhere, it is necessary to find new solutions and rules to deal with the direct consequences of climate change on urban centers (deterioration of surface materials, structures, reduction of energy performance) as well as indirect ones (loss of identity, interruption of socioeconomic activities, loss of livability and conditions of well-being).

In the 2030 Agenda, the concept of adaptation takes on a central role in various SDGs, highlighting the need to combine impact forecasting tools (environmental, social, pandemic) with strategies aimed at increasing the adaptability of urban settlements and the building stock to increase their useful life. Although the literature recognizes the need for impact forecasting tools, it appears increasingly important to support strategies aimed at increasing adaptability seen as a characteristic of the designed system that allows its transformation/modification, increasing its performance qualities and its effective lifespan. In this sense, adaptability is one of the fundamental requisites for a holistic-circular regeneration and redevelopment of neighborhoods and architectures, conceived as products that are not "disposable" but "error-friendly" or "predisposed towards error" (Manzini, 2012) and structured to "regenerate" following damage or decompensation through actions of transformation, repair, maintenance, reuse, reconditioning, etc.

From the climate crisis, to the socio-economic crisis and up to the latest pandemic crisis, the impact of linear processes requires a radical revision of this development model, particularly in urban areas, in which the settled population increased from 700 millions to almost 4 billion. A paradigm shift is needed in the interpretation of the adaptive intervention as a "regenerative process", seen not only as a solution for the restoration/maintenance of acceptable performance conditions – in a linear vision of the life cycle of the designed system – but a moment of "reset/restart" in which the action (of transformability, maintainability, replaceability, reversibility, mitigation/compensation, etc.) underlies a set of strategies structured in a circular process (Refuse, Rethink, Reduce, Reuse, Repair, Refurbish, Remanufacture, Repurpose, Recycle, Recover) (Kirchherr, et al., 2017). In this sense, interventions on the built environment constitute an opportunity to lead cities towards an ecological transition, if considered both as adaptive actions of external vulnerabilities (environmental, social and economic) and internal ones (variability linked to user needs) but also as interferences (of circular micro-processes) to the linear process with which cities have been conceived and evolved, to constitute a step towards the creation of a potentially regenerative and resilient built environment.

Within this scenario, the transition can therefore only be "*circular*" and requires the development of circular metabolism and process gradually replacing conventional end linear ones, the proposal of low-carbon technical policies and actions, support for social innovation, as well as urban organization in eco-districts where efficient and low-waste products and process in field of energy and materials are integrated (Losasso, 2021). This essay is part of this framework and returns a multifaceted research activity aimed at further exploring the implications that exist between the need for adaptive regeneration to guarantee adequate levels of performance and functionality for the urban space, the building and its every component/material and the equally urgent need for environmental sustainability. Starting from a collection and systematization of literature and case studies on the theme of adaptability of urban contexts and artefacts to conditions of vulnerability, the paper proposes a redevelopment/regeneration model of neighborhoods/residential buildings based on a framework of adaptive/circular strategies on the different scales (components, buildings and open spaces). This model was

verified in a design experiment on a sample neighborhood/building in Rome with technological, structural, spatial and contextual characteristics that are widespread in the city, making this model replicable.

2. References for the transition of the cities towards circular economy

EU and national policies have long paid attention to the multiplicity of problems connected to achievement of the general objective of directing urban settlements towards a condition of balance with the environment and the health and well-being of its inhabitants. These are solutions for adapting cities above all to climate change through the use of the following:

- nature-based solutions in urban transformations, as demonstrated by the experiences deriving from tactical urbanism or the re-naturalization projects of the Danish studio SLA or Atelier Bruel Delmar. These solutions are supported by EU and national policies including the recent PNRR (National Plan for Resilience and Recovery), which in Mission 5, Inclusion and Cohesion, sets the objective of regenerating degraded areas by focusing mainly on green innovation and sustainability.
- building stock-based solutions for protection/enhancement of the built heritage through regenerative actions, as in the projects by Lacaton & Vassal for the Cité du Gran Parc. These solutions are supported by participation tools (PNR 2021/2027, in Thematic Area 2) and assistance in choosing materials and components (Life Cycle Costs, Life Cycle Assessment, and Life Cycle Impact Assessment).

In recent years, scientific literature itself has paid attention to "designed systems" (open spaces, closed spaces, objects) as open, easily updatable systems, with the aim of adapting their performance to renewed demand frameworks (Antonini et al., 2012). The review of the literature on adaptive regeneration in a circular key led to identification of different strategies, which proceed by successive approximations between an external horizon (the relationships of the designed system with its constituent parts and with its contextual environment) and an internal horizon (all its determinations in relation to man), classifiable with respect to the following levels: micro (single component), meso (building), and macro (public space).

2.1. *Micro- level*

This level is characterized by actions aimed at choosing materials and assembly systems capable of giving products adaptive behavior through the reactivity of the technical elements of which they are made with respect to the variability of external stresses (environmental vulnerability) and/or internal ones (variability of the existential picture). This level poses two challenges for the project. The first concerns the relationship between the material dimension and the project which evaluates the component no longer only from the point of view of the technical and environmental performance linked to the contingent situation but also to the ability to react to stress. Research conducted in recent years regarding materials is emblematic: from bio-based materials inspired by biological systems (biodegradable, compostable, recyclable) with "resilient capacities" in terms of optimization of the production process with respect to consumption of resources and the impacts produced (Brownell, 2010), to react-based ones integrated with nanotechnologies functional to activation of self-regulation processes (Phase Change Material) which reduce the dependence on external maintenance/energy sources (Tucci, 2014). Depending on the objectives to be achieved, the interventions can refer to single parts or the entire building and structured according to a Circular Supply Chain Management approach (Lacy, 2015). The second challenge concerns the relationship between the constructive system and the project and transfer to the building industry of the logic of design for disassembling, by now widely tested in many industrial sectors and long since theorized and tested in industrial design (Manzini and Vezzoli, 2008), which affect adaptability to external/internal stresses in terms of ease of maintenance, disassembly, and repairability. In support of these actions, activation of innovative business models that consider new types of relationship/exchange of materials/components between different operators is crucial, through collaboration networks (loop economy, industrial ecology, industrial symbiosis processes), sharing platforms (sharing economy, product-service systems, re-manufacturing platforms) and methodologies such as Design for Manufacture and Assembly, Design for Deconstruction or Disassembly, which facilitate the recoverability, reusability, re-conditionability and recyclability of materials that have reached the end of their lifespan and of production waste (Tingley, 2011).

2.2. *Meso level*

This level concerns the building and its functional/architectural dimension and is characterized by actions aimed at increasing the life of the building product through recycling solutions of residential housing stock in terms of adaptive customization, i.e. personalization of spaces, equipment, furnishings and plant elements through a continuous upgrade/downgrade cycle. It follows that the value of the built space loses its centrality as an unchangeable artifact capable of responding to standardized needs necessarily limited to the short/medium term, to take on value from the ability to guarantee progressive adaptations and spatial and technological performance evolutions in the long term. Implementation of adaptability can be expressed on the scale of the building through spatial and technological options that consider the relationships of the requirements relating to the morphological-distributive characteristics (versatility, convertibility of space, evolution, expandability, extensibility), to plant and construction integrability (reversibility of partition/furniture systems in a logic of maintainability, disassembly, modularity/composability) with the sub-requisites of circularity relating to products/components (Refuse, Rethink, Reduce), to regenerative processes (Reuse, Repair, Refurbish, Remanufacture, Repurpose) and smart applications (Recycle, Recover). In support of these actions, the activation of prefiguration tools capable of interacting with scenarios (Generative Architectural Design, Design Optioneering, etc.) is decisive, making variability and uncertainty no longer limits but characteristics, new opportunities for transformation of the built environment.

2.3. *Macro level*

This level concerns the public space and its social and environmental dimension and is characterized by actions that reactivate the traditional alliance between human and natural components as co-acting forces in order to obtain a rebalancing of densification and ecologization. The main challenges concern, first of all, activation of nature-based solutions aimed at improving ecosystem health and resilience to change using mitigation, adaptation and recovery actions in a "mutually reinforcing" way (Pedersen Zari, 2012). The following are adaptive/mitigating actions:

- environmental vulnerability, such as integration of greenery (green infrastructure, field operations, synthetic surfaces) and management of the water cycle (holistic Water Sensitive Urban Design systems) in the built environment;
- reduction of social vulnerability through regeneration of collective open spaces and pedestrian/cycling mobility to make neighborhoods attractive/welcoming and reorient pedestrian mobility in an active/inclusive sense (Beatley, 2011).

In addition to restoring natural hydrology, these actions create new natural ecological cycles, and favor biodiversity, the formation of corridors and ecological production chains. These solutions find support in welfare policies aimed at guaranteeing work/services for communities rooted in the territory and greater tourist competitiveness, playing on parameters of quality, livability and housing well-being (Pileri, 2015). Secondly, activation of community-based solutions of co-planning and co-management of collective spaces is aimed at determining in the habitat the ability to react to changes in a shared and inclusive way by fueling collective learning mechanisms (Empowerment by Design solutions). An evaluation of these experiences has confirmed that the traditional approach of carrying out interventions aimed at responding to single problems – relating to the building, the context or the single component – is not entirely effective in terms of reformulating the building, architectural and urban characteristics, showing the need for an integrated approach that takes into account the building object and the context as a whole and uses all elements available to enhance its potential. A first result of this study is the development of a reference framework of design requirements and strategies that support environmental values and respond to current demands for adaptability to environmental changes, users' lives and/or the use they will make of them over time.

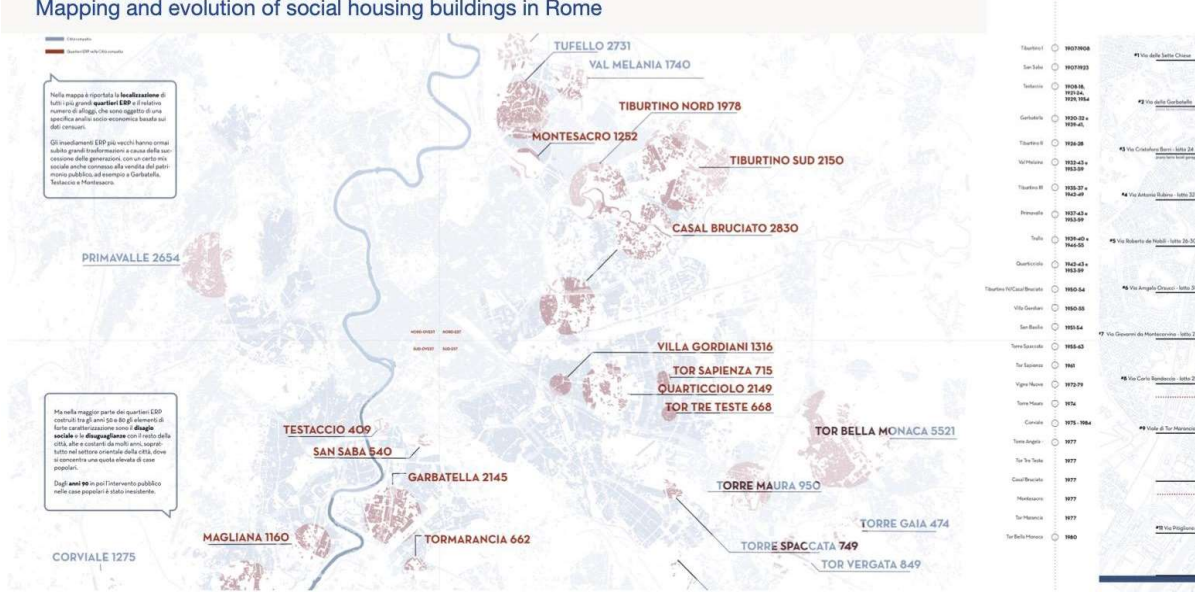
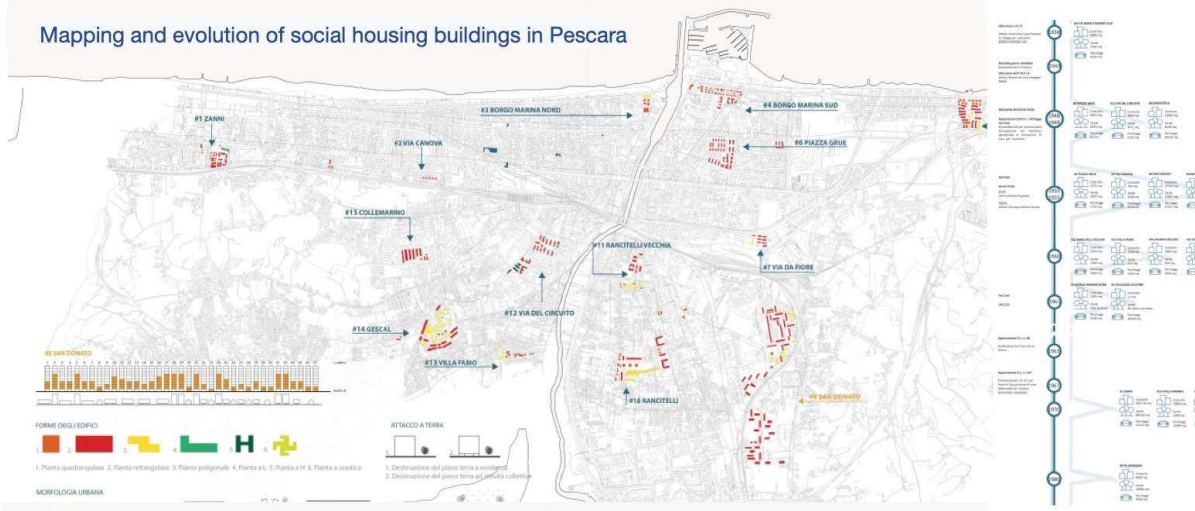
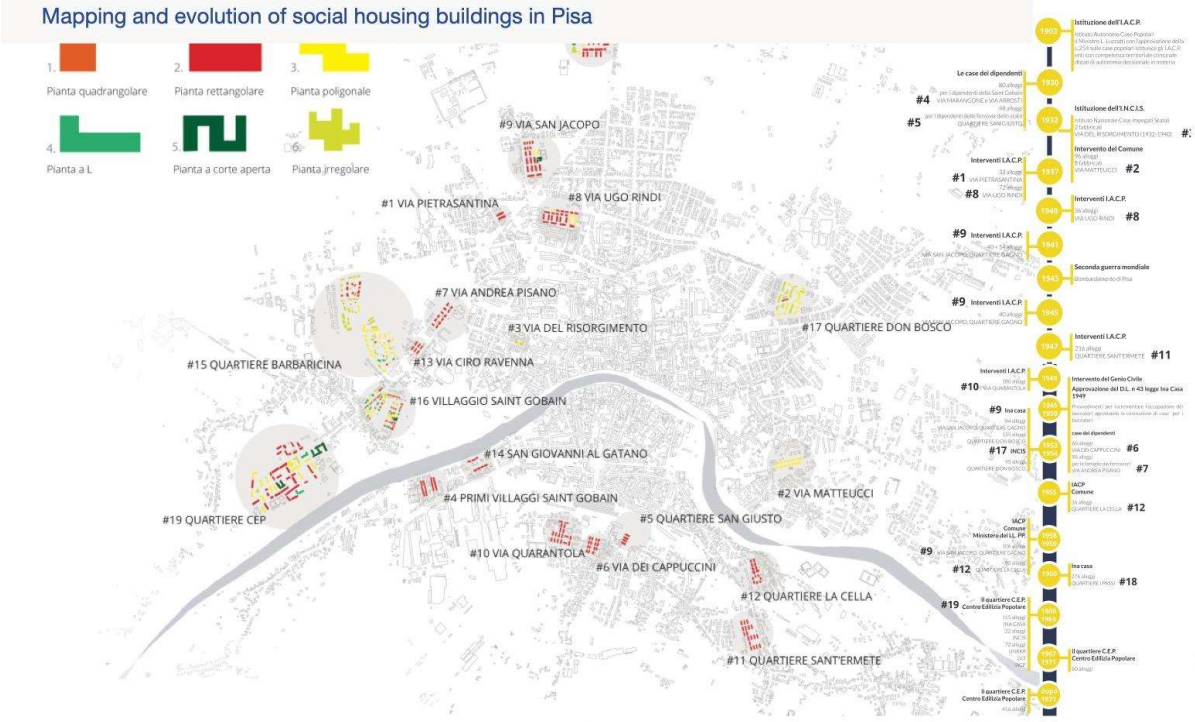


Figure 1. Maps of the districts of the cities of Pisa, Pescara and Rome 2023, Universidad de Granada

3. Experimentation of the interpretative model on three case study

Some of the design strategies identified have been tested in the regeneration of three districts: Villa Gordiani in Rome, Ciro Ravenna in Pisa, and Rancitelli in Pescara. The micro, meso and macro adaptive strategies were applied with the aim of developing a valid approach to redevelopment of a type of residential building and open spaces with characteristics common to different urban contexts. The need to identify homogeneous districts and buildings in terms of identity characteristics and performance deficits has led to mapping of the districts of the cities of Rome, Pisa and Pescara and of the typological-formal and technological-constructive characteristics of social housing buildings (figure 1).

The methodological steps described below refer to the case study of Rome which certainly represented a more complex case study to analyze than the others. On the basis of macro-indicators (demographic, social, economic and environmental characteristics) the mapping of the city was defined in six homogeneous areas: the country city, the car city, the rich city, the compact city, the city of discomfort and the historic city (Lelo, 2020). Direct observation of the specific usage habits in the space and the numerous experiences on the city model inclusive of the user in the urban space (15/20-minute city models) suggested a further level of reading starting from the point of view of the user (user of the city and its services) and evaluation of the homogeneous areas with respect to the qualifying factors, necessary to configure a livable environment.

Subsequently, the homogeneous area of the "compact city" was chosen as a context for experimentation, due to its proximity to the historic center of the city and the presence of qualities (green and/or empty spaces to be redeveloped, heterogeneous and cohesive community, significant identity of the space) to be strengthened with respect to the requirements of inclusion, safety, physical and social accessibility, ergonomic and anthropometric comfort of the space and of the objects that configure it, and the psycho-physical well-being of the user. A second level of investigation concerned mapping of social housing districts and their morphological/technological characteristics within the homogeneous area of the "compact city".

The interpretative model just described was tested on a specific case study, Villa Gordiani in Rome, selected for its neighborhood conformation with large uncharacterized and incomplete residential spaces; for the use of wet construction technologies (reinforced concrete frame structure, brick-cement floors, brick infill) which make the model repeatable on various post-war residential buildings; and finally for the presence of episodes of anthropic degradation and unauthorized building. A photographic survey and archive investigation made it possible to redesign the buildings and the entire district, while a territorial, spatial/functional, energy/environmental and technological/constructive analysis made it possible to identify the main criticalities and the consequent applicable design actions.

At the meso level, the main criticalities concern the environmental quality of the residential space, and the usability and customization of the space based on the specific needs of the users. In this level, the main design actions consist in improving the structural characteristics and expanding the volume of the housing units by adding an envelope to the existing building. So this "adaptable envelope" is not a simple skin that modifies a building's appearance, may seek to create a continuous balcony or extend the inner surface of the home units. The first case can have the effect of a double skin applied to the existing one where the units have a new outdoor space. In the second a new structure is juxtaposed along the main façades of the existing building in order to extend the surface area of the home units with new rooms, winter gardens and continuous balconies.

In the Rome case study the stuccature added is a steel framed system, adjacent to the building body, which makes it possible both to improve the structural performance and to enhance the building from a functional point of view by hosting prefabricated "building prostheses" which introduce new customizable environments through the use of fittings adaptable to different user needs. In this level, the actions are guided by a vision of "upstream circularity" (before use) which concerns efficient management of resources, improvement of production and consumption processes, minimization of waste and containment of costs of the products, through the design of an enclosure that meets the requirements of reversibility, re-configurability, modularity, expandability and scalability.

Neighborhood rating index

	requirements	design action	evaluation attributes	scarse	average	high
	SICUREZZA	Struttura fisica dello spazio	Caratteristiche urbane che migliorano la sensazione di sicurezza Condizione sicura dello spazio pubblica (comprese strade) per attività ricreative Disposizioni per il distanziamento sociale a causa delle restrizioni COVID-19 Miglioramento delle opzioni di mobilità sicura, ad es. pratiche di condivisione delle strade Quartieri vivaci in termini di varietà di attività nello spazio pubblico	X X X X X X X X X X X X	X X X X	X X X X
		Struttura della comunità				
	ACCESSIBILITA'	Struttura fisica dello spazio	Caratteristiche urbane che garantiscono l'autonomia e sicura fruizione dello spazio pubblico Presenza di barriere architettoniche Presenza di arredo urbano conforme alle normative Presenza di segnaletica	X X X X X X X X	X X X X	X X X X
		Struttura della comunità				
	BENESSERE	Struttura fisica dello spazio	Prossimità ad assistenza sanitaria di base Prossimità a cibo sano e conveniente grazie ai mercati di quartiere Connettività e multifunzionalità del verde e degli spazi aperti Mobilità attiva Prossimità ad attività ricreative e culturali	X X X X X X X X X	X X X X X	X X X X X
		Struttura della comunità	Cooperazione della comunità per gli interessi di categorie che necessitano cure speciali (bambini, anziani, persone con disabilità) Interazione tra cittadini per creare e organizzare attività ricreative e culturali (orti urbani, gruppi sportivi)	X X X X X X	X X X X X X	X X X X X X
	ATTRATTIVITA'	Struttura fisica dello spazio	Qualità degli spazi pubblici e cura del verde pubblico Presenza di elementi urbani riconoscibili e generatori di attrattiva Presenza di spazi pubblici innovativi	X X X X X X	X X X	X X X
		Struttura della comunità	Organizzazione di eventi ricreativi e culturali di quartiere	X X X X	X X	X X
	SCALA UMANA	Struttura fisica dello spazio	Possibilità di raggiungere i servizi essenziali a piedi o in bicicletta Presenza prevalente di edifici di non più 5-6 piani di altezza Rapporto diretto tra edifici e spazio pubblico circostante	X X X X X	X X X	X X X
		Struttura della comunità				
	INCLUSIVITA'	Struttura fisica dello spazio	Alloggi Prossimità dei servizi Prossimità dal luogo di lavoro Densità edilizia Mix di uso del suolo Accessibilità	X X X X X X X X X X X	X X X X X X	X X X X X X
		Struttura della comunità	Iniziativa bottom-up per il miglioramento della qualità della vita di quartiere Iniziativa di partecipazione che includono persone di ogni età e capacità fisiche	X X X X	X X X X	X X X X

Design process: case studies, requirements, strategies

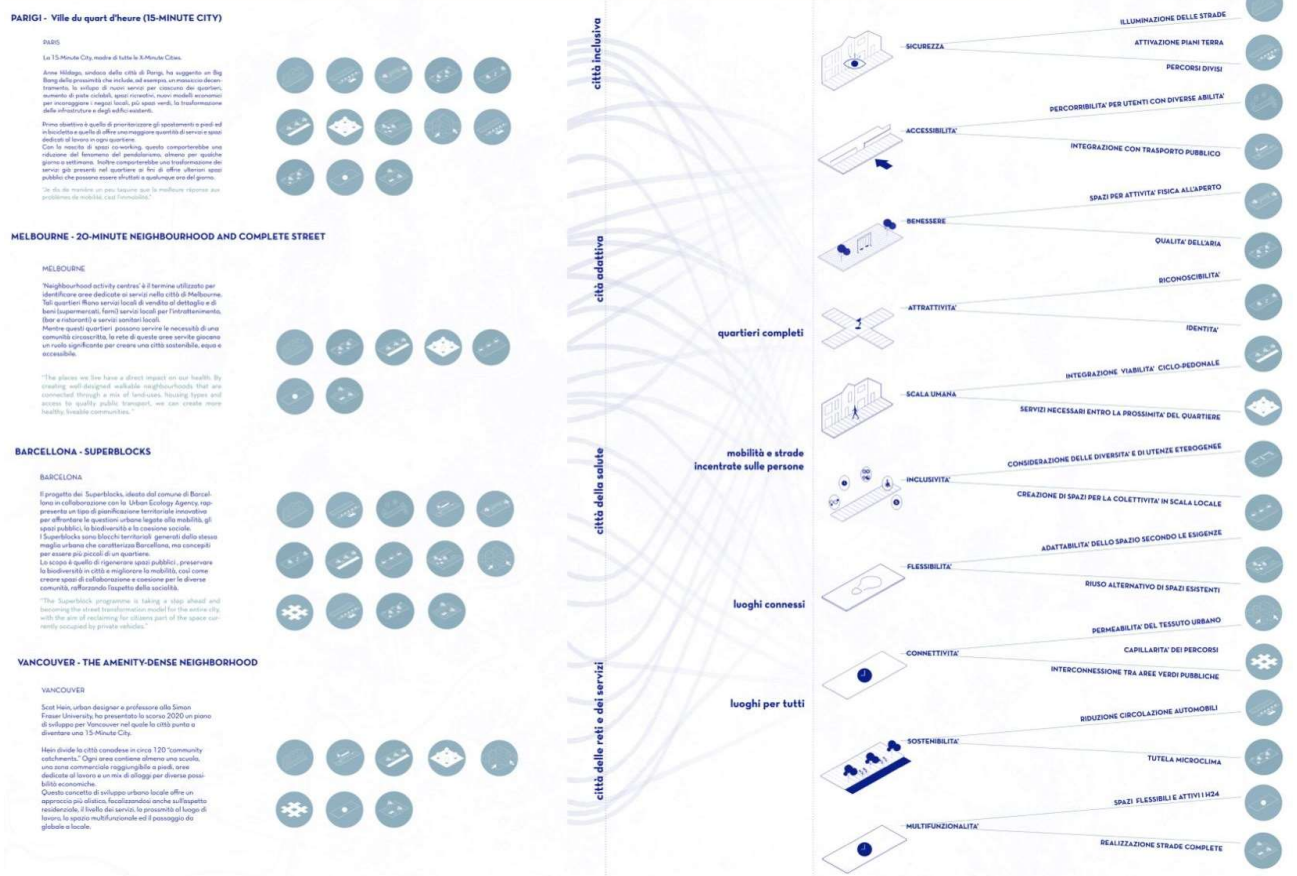


Figure 2. Design Process

2023, Universidad de Granada

At the micro level, the main criticalities concern the poor energy efficiency of the rooms due to heat loss phenomena of the opaque or transparent vertical closures. In this level, the metal envelope added to the existing building becomes the support for the following:

- integrated systems for energy production and water collection and consequent management of surpluses through their introduction into a circular exchange network;
- newly certified easily recyclable components (screens, vertical closures), or ones recovered in the selective demolition phase and subject to remanufacturing.

At this level, the proposed design actions consist in the choice of components/materials from a future point of view of "downstream circularity" (at the end of the use cycle) seen as conservation of their economic and use value through compliance with the requirements of reusability, interoperability, disassembly, modifiability.

At the macro level, the main criticalities are the absence of identity spaces for the local community (made up of elderly people and young couples), discontinuous public spaces due to the widespread presence of cars, and the poor quality of street fittings and cycle/pedestrian paths. At this level, the planning actions are oriented towards the following:

- localization of community-oriented services housed in reversible building modules located in open and flexible areas to host different activities;
- an increase in vegetation and permeable areas within the district, through urban greening actions (pocket parks, urban gardens, educational/recreational facilities) for subtraction and storage of CO₂, and solutions for the recovery of rainwater;
- a land use mix allowing continuous use of the space during the various hours of the day and an increase in visibility during the night through a flexible use of the same space according to the different activities and user flows and correct use of technological devices (lighting, video, etc.);
- provision of spaces for physical activity and pedestrian/cycling mobility, characterized by a correct conformational-dimensional relationship (accessible, inclusive space) but also by the capacity of the space to be an "experiential reality", which interacts with/stimulates users' physical-sensory-cognitive characteristics.

At this level, the design actions are characterized by a strong "process circularity" seen as interaction with the inhabitants, through management practices based on cooperation, collaboration and coordination of different users/stakeholders (figures 2, 3).

4. Conclusions

The main barriers to implementation of the interpretative model are the following: technical barriers related to the rigidity of building processes which, in order to implement circularity strategies, should be reexamined and oriented towards new business models and new relationships between operators interacting along the process and in the management of material flows; there are exaggeratedly rigid and cumbersome regulatory barriers that leave no room for creativity and design invention. Despite the apparent complexity, the experimentation made it possible to verify the operability of the interpretative model on a case study, selected for its building and urban characteristics, making it easily replicable within the homogeneous area identified. Although the identification of micro, meso and macro strategies has the limit of a literature review conducted through databases (which could have led to the exclusion of relevant contributions and solutions), the results suggest promising research areas and multiple operational scenarios of use: as a support tool for the PA to direct sustainable regeneration/redevelopment interventions of existing buildings, and as guidelines in the drafting of innovative tenders for the regeneration of suburbs or for implementation of projects that can be financed under European programs.

Identification of social housing districts in the city of Rome (northeast quadrant)



Implications of the structure added to the existing building on the internal space and on the facade

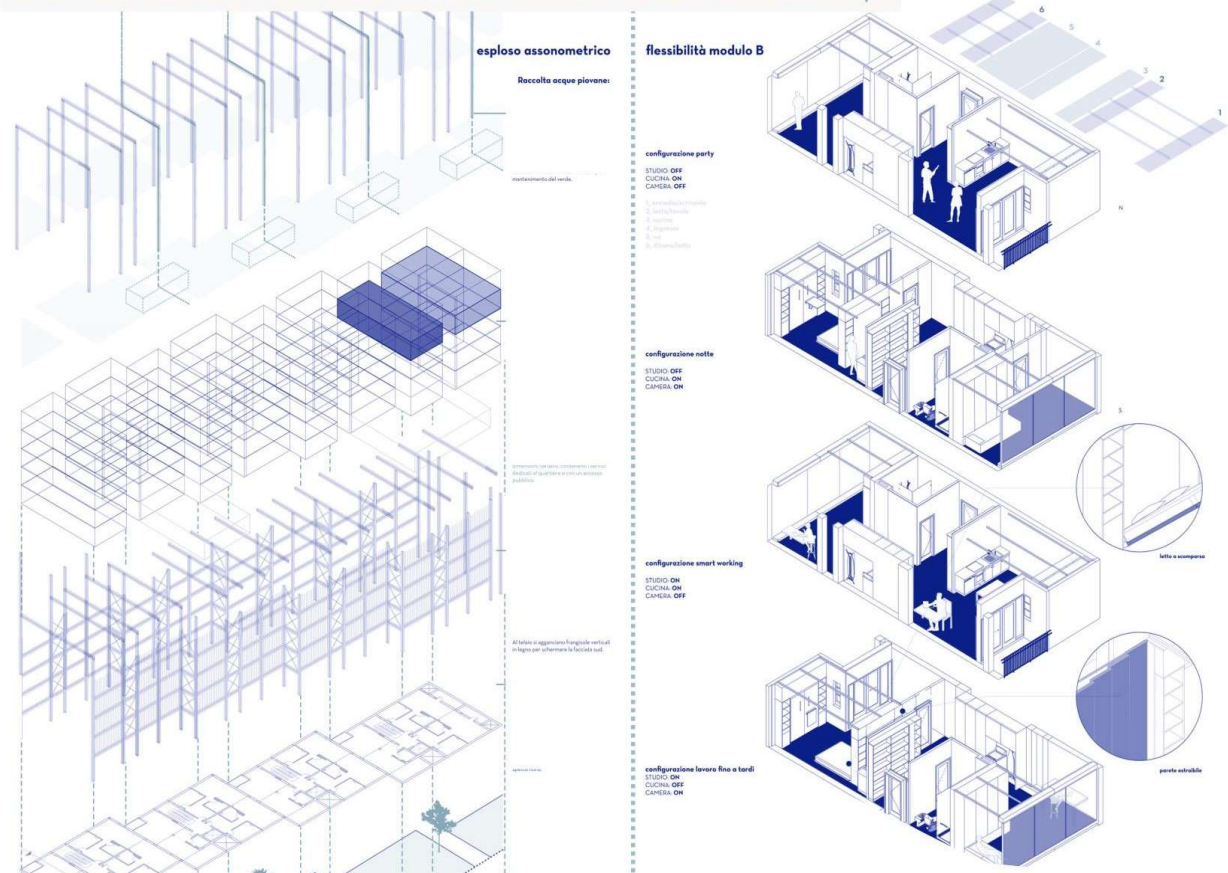


Figure 3. Mapping of the characteristics of social housing and application of the requirements on the district/building of Villa Gordiani in Rome

Note

Graphic elaborations of the images in collaboration with: Ileana Ippolito, Andreina Mastrovincenzo, Francesca Saveria Vicari (for image 1), Francesca Saver Vicari (for image 2,3).

References

- WCED, World Commission on Environment and Development 1987. Our Common Future – Report of WCED, netzwerk-n.org/wp-content/uploads/2017/04/0_Brundtland_Report-1987-Our_Common_Future.pdf, last accessed 2022/01/15.
- Taleb N.N. 2008. *Il Cigno nero*. Il Saggiatore, Milano.
- Manzini E. 2012. Error-Friendliness: How to Deal with the Future Scarcest Resource: The Environmental, Social, Economic Security. That is, How to Design Resilient Socio-Technical Systems. *Architectural Design* 82, 4: 56–61.
- Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. 2017. Conceptualizing the Circular Economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling* 127: 221-232.
- Brownell B. 2010. *Transmaterial 3. A Catalog of Materials that redefine our Physical Environment*. Princeton Architectural Press, New York.
- Lacy P., Rutqvist J. 2015. *Waste to Wealth - the CE Advantage*. Palgrave Macmillan, London.
- Manzini E., Vezzoli C. 2008. *Design for Environmental Sustainability*. Springer, London.
- Tingley D., Davison B. 2011. Design for deconstruction and material reuse, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Energy* 164: 195-204.
- Pedersen Zari M., Jenkin S. 2012. *Redefining cutting edge sustainable design: from eco-efficiency to Regenerative development*. Ministry for the Environment, New Zealand Government, Wellington.
- Antonini E., Gaspari J. and Olivieri G. 2012. Densificare per migliorare: strategie di riqualificazione del parco italiano di edilizia abitativa sociale. In *Techne* 4: 306-314.
- Beatley T. 2011. *Biophilic Cities. Integrating Nature into Urban Design and Planning*, Island Press, Washington.
- Pileri P. 2015. *Che cosa c'è sotto. Altra economia*, Milano.
- Lelo K., Monni S., Tomassi F., 2021. *Le mappe della disuguaglianza: una geografia sociale metropolitana*. Donzelli Editore, Roma.
- Tucci F. 2014. *Involucro, Clima, Energia. Qualità bioclimatica ed efficienza energetica in architettura nel progetto tecnologico ambientale della pelle degli edifici*. Altralinea, Firenze.
- Vittoria E. 1987. Progettare l'incertezza, L. Crespi, *La progettazione tecnologica*, Alinea, Firenze, 137.
- Losasso M. 2021. Transizione circolare: scenari per il futuro del progetto, in *Techne* 22: 7-9.

Selection of schools in Palma (Mallorca) for indoor air quality measurements, towards the promotion of health

Llabrés Morey, M. Angels^a, Hormigos Jiménez, Susana^b y del Río Merino, Mercedes^c

^aUPM-Universidad Politécnica de Madrid, EPS-Escuela Politécnica Superior de Edificación, Avenida Juan de Herrera 6, 28040, Madrid, angels.llabres@alumnos.upm.es, ^bUIB-Universitat de les Illes Balears, Cra. de Valldemossa, km 7.5. 07122, Palma, susana.hormigos@uib.es, ^cUPM-Universidad Politécnica de Madrid, EPS-Escuela Politécnica Superior de Edificación, Avenida Juan de Herrera 6, 28040, Madrid, mercedes.delrio@upm.es

Abstract

Indoor air quality has been studied since the 1970s, being a key element for health, well-being, learning, work and even economic growth, however numerous reports indicate that there are more than two million of premature deaths in the world each year produced by the effects of air pollution in closed and open urban spaces.

However, the time that the population spends indoors is greater, translated into 75-90%. In the schools, object of this work, children spend more than 30%, so it is important that the interior conditions of school buildings are suitable for learning, performance and work, as well as for the health and well-being of its occupants.

As children are one of the most vulnerable groups to suffer diseases due to a bad IAQ, this work began in the municipality of Palma, as it is the center of the island of Mallorca and has the largest extension of territory, in addition to having some problems related to overpopulation, traffic jams and tourism, causing increases in air pollution.

In Palma there are around 200 educational centers distributed among the five districts: Centro, Poniente, Levante, Norte and Playa de Palma. Therefore, for this thesis, a school from each district, being each of them very different, is chosen to study the differences in contamination between them.

The first observations in chosen schools to carry out the indoor air quality measurements are educational centers that have primary school, from first to sixth, have between 20-30 students per classroom, with similar classroom sizes and all of them have been built before the year 2008 (CTE), between the years 1900 and 1990, and have not been the result of big renovations or reforms, and with respect to the indoor installations, most do not have air conditioning-ventilation systems, only natural ventilation through windows and doors..

Keywords: Indoor air quality, Health, Schools, Pollutants, Construction

1. Introducción

Desde el año 2016, los habitantes de las ciudades respiran aire que no cumple con la normativa de seguridad establecida por la OMS (NU, 2019). La contaminación del aire es uno de los mayores problemas de las ciudades actuales convirtiéndolo en la principal causa mundial ambiental de mortalidad prematura, calculándose que, para 2050, el número de muertes se duplicarán (OMS-WHO, 2022).

La contaminación del aire ambiental e interior son una amenaza para la vida en el planeta. Aunque la población mundial se encuentra expuesta a niveles de contaminación por lo menos 2,5 veces por encima del estándar de seguridad establecido por la OMS y demás instituciones, todavía es mayor el tiempo que los ciudadanos pasan en interiores de edificios, alrededor de un 75-90% de su tiempo (WHO-OMS, 2022), siendo este aire interior cinco veces más contaminado que el aire exterior (US EPA, 2022).

Si el tiempo que se pasa en interior de edificios se encuentra entre unos porcentajes de 75-90% y, a esto, se une que una persona inhala unos 11.000 litros de aire al día (se consume de 3 a 4 veces más aire que líquidos), es observable la influencia directa de los ambientes interiores sobre la salud humana (Hormigos S., 2018).

Con respecto a estas comparaciones, cada año la contaminación del aire ambiente provoca la muerte de 3,7 millones de personas, sin embargo, el número de muertes provocadas por el aire interior está alrededor de 4,3 millones, siendo medio millón las muertes de bebés en su primer año de vida (IQAir, 2021).

Así es que, cualquier edificio, ya sea público o privado, depende de una buena calidad del aire interior para satisfacer la buena salud, la calidad, el aprendizaje y/o el trabajo de sus ocupantes/usuarios, sin embargo, hay un factor que hace importante la elección de los centros docentes como los edificios a medir en dicho estudio: los niños, como principal usuario y donde pasan la mayor parte de su día a día.

En los edificios escolares, un mantenimiento deficiente, una mala calidad del aire interior y una antigüedad sin reformar del edificio conducen a un impacto negativo sobre la salud de los estudiantes y demás ocupantes: reducción de la concentración y rendimiento, ausentismo, insatisfacción laboral, además de que resultan ser muy dañinas a largo plazo para los usuarios, incluso causándoles enfermedades.

1.1. Centros educativos en relación con la CAI

Los edificios educativos, como son escuelas, guarderías, universidades y colegios, son muy importantes a nivel sociedad y son el lugar que una quinta parte de la población mundial utiliza (Ingrid Juhasova, 2019). La buena calidad del aire de estos sitios ayuda a la salud y al aprendizaje, así como a la productividad y eficiencia.

Los centros escolares se encuentran en condiciones mejorables y necesitan una renovación urgente, siendo sus espacios interiores la principal fuente de emisiones. Muchos de los materiales utilizados, como acabados de construcción y mobiliario, son las principales fuentes de contaminación junto con las actividades humanas y los sistemas de ventilación-climatización (Ingrid Juhasova, 2019).

Los resultados del Proyecto HEAD prueban que las escuelas primarias bien diseñadas mejoran el rendimiento académico de los niños en lectura, escritura y matemáticas (P. Barrett et al., 2015). El diseño de las aulas cobra especial importancia al tener un efecto positivo sobre los alumnos por encima de los factores del entorno del centro, situando al alumno en el foco del diseño de las aulas.

Algunos puntos de control importantes para el diseño son los tamaños de las aperturas, las alturas de techo y la ventilación mecánica (P. Barrett et al., 2015). Es complicado reformar un edificio completamente para conseguir la satisfacción total de sus usuarios, sin embargo, realizar una evaluación total del impacto en la salud es necesaria para ofrecer estrategias, herramientas, modelos y diseños de construcción de edificios sostenibles, y resolver los diferentes problemas que aparecen en dichos ambientes interiores.

1.2. Contaminantes del aire interior

La calidad del aire interior se ve afectada por una serie de contaminantes ambientales que ponen en riesgo la salud de las personas en el interior de los edificios. Se conoce así que hay una relación directa entre las condiciones interiores de los edificios y la salud de las personas, aunque todavía hay algunas incertidumbres en la calidad del aire y los niveles de contaminantes, sin embargo; los mayores efectos se encuentran sobre

todo en el sistema respiratorio y cardiovascular, siendo las más comunes asma, bronquitis, alergias, rinitis y deterioros en la función pulmonar (Dres. Romero, Diego y Álvarez; 2006).

En el interior de edificios, los materiales empleados durante los procesos de construcción y reforma representan una fuente importante de contaminación. Estos materiales pueden ser desde pinturas, barnices, masilla de sellado, adhesivos, alfombras o productos de madera. Los productos de madera (prensada o aglomerada y vinílicos) constituyen la mayor fuente de emisión, llegando a producir una concentración tres veces mayor que la que ocasionan otras fuentes comunes de emisión, como pinturas y adhesivos. Los productos usados para la limpieza y conservación del edificio también influyen en la producción de contaminantes, ya que la mayoría son productos agresivos y con componentes peligrosos que desprenden componentes químicos.

Además de los productos de construcción, reforma, mantenimiento y limpieza, el clima y la ubicación son elementos que generan contaminación. Los centros urbanos con tráfico denso suelen generar partículas en suspensión que pueden entrar directamente al ambiente interior por ventanas o huecos. El clima también afecta, ya que en climas suaves predomina la ventilación natural, debido a tasas de renovación insuficiente, y en climas húmedos, los edificios pueden presentar altos niveles de moho y bioaerosoles.

Por último, se encuentran las personas, las cuales realizan sus funciones vitales, entre la que se encuentra respirar la cual produce inhalación y exhalación de partículas que, en contacto con otras personas se transmiten por el aire. También se transmiten por el tacto, al compartir objetos y establecer vínculos. Es por ello, que todos estos elementos interiores (materiales y personas) originan la necesidad de controlar la calidad del aire interior y analizar los contaminantes de los ambientes interiores.

Dentro de los contaminantes más importantes para la calidad del aire interior se encuentran los siguientes, los cuales producen diversos efectos en la salud:

Tabla 1. Efectos sobre la salud de los contaminantes más importantes

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

Contaminante	Efectos sobre la salud
PMx	Se inhalan y penetran en el sistema respiratorio, incluso a los alveolos pulmonares, llevando sustancias nocivas a zonas muy sensibles y agravar patologías, hasta conducir incluso a una muerte prematura. Implicadas en el incremento de la mortalidad y morbilidad por causas respiratorias y cardiovasculares, alcanzar el flujo sanguíneo y afectar a órganos, al sistema nervioso central y al sistema reproductor.
CO₂	Asfixia, por desplazamiento de oxígeno, dolores de cabeza, cansancio, falta de concentración, mareos, desvanecimientos, problemas respiratorios.
COV (C₆H₆, B(a)P)	El benceno (C ₆ H ₆) es potencialmente carcinogénico tras ser inhalado y en exposiciones prolongadas ocasiona graves efectos sobre el sistema nervioso central y la producción de células sanguíneas, deteriorando el sistema inmunitario y dañando el material genético celular, originando cáncer (leucemia) y malformaciones congénitas. El Benzo (a) Pireno es nocivo por su efecto bioacumulativo y cancerígeno, además de su elevada potencialidad para inducir tumores (pulmón) e irritantes para vías aéreas y ojos.
Radón	Es una de las principales causas de cáncer de pulmón.
CO	Afecta a los pulmones y puede provocar una disminución de la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre, la oxigenación de órganos y tejidos, así como disfunciones cardíacas, daños en el sistema nervioso, dolor de cabeza, mareos y fatiga.
NO_x	Inflamación de vías aéreas, afecciones de órganos, como hígado o bazo; o de sistemas, como el circulatorio o el inmunitario, que propician a su vez infecciones pulmonares e insuficiencias respiratorias.
O₃	La exposición elevada origina problemas respiratorios (asma, irritación, inflamación, insuficiencias respiratorias) y puede contribuir a incrementar la mortalidad prematura.
SO₂	Irritación e inflamación del sistema respiratorio, afecciones e insuficiencias pulmonares, alteración del metabolismo de las proteínas, dolor de cabeza o ansiedad.
Pb	Puede afectar a todos los órganos y sistemas del cuerpo, en especial al sistema nervioso, originando retraso mental, nacimientos prematuros y retrasos en el crecimiento.
As	Resulta carcinogénico para el ser humano, es irritante para las vías respiratorias y puede producir daños sanguíneos, cardíacos, hepáticos y renales, asimismo alterar el sistema nervioso periférico.
Cd	Es carcinogénico, y afecta especialmente a los sistemas respiratorio, renal y reproductivo.
Ni	Compuestos del níquel se encuentran considerados carcinogénicos, provocan reacciones alérgicas cutáneas y afectan a la defensa inmune y a los sistemas respiratorio y renal, y reducen la fertilidad.

1.3. Calidad del aire interior y niños

Aunque cualquier persona es afectada por los contaminantes interiores, los que son tendentes a desarrollar mayores problemas son los niños debido a:

- Su tasa de respiración es mucho más elevada y absorben más contaminantes.
- Su organismo se encuentra mucho más expuesto porque todavía está en fase de desarrollo.
- Pasan entre un 25-30% de su tiempo en espacios escolares (V.S. Chithra, S.M. Shiva Nagendra, 2018).
- Tienen hábitos naturales: estornudar y toser, lavarse menos las manos y compartir sus utensilios.
- Su tamaño hace que estén más cerca del suelo donde se encuentran las concentraciones máximas de los contaminantes.
- Empiezan a desarrollar anticuerpos enfermado y creando su inmunidad a partir del contacto con esas enfermedades (Zhang S. et al., 2021).

2. Objetivos

El objetivo principal de esta comunicación es la de seleccionar los adecuados centros docentes del municipio de Palma, para establecer las adecuadas estrategias de mejora de las condiciones ambientales para la promoción de la salud de sus ocupantes, sobre todo, los niños.

Dentro de los objetivos específicos, se encuentran:

1. Análisis de la construcción y el diseño arquitectónico de los centros docentes escogidos.

Estos objetivos específicos se ampliarán, durante la tesis, cuando se hayan analizado los centros, en:

2. Recapitular estrategias para la mejora de la calidad del aire interior en los centros docentes.
3. Medir los contaminantes influyentes en la calidad del aire interior y las condiciones de termohigrotérmicas, así como los valores de contaminación del ambiente exterior alrededor de los centros escolares escogidos.
4. Seleccionar las estrategias más adecuadas para los centros docentes en el clima de palma y medir su viabilidad.

Sin embargo, como la tesis todavía no está tan avanzada, se centra dicha comunicación en la selección de los colegios que servirán para desarrollar al completo dicho trabajo.

3. Metodología

En el siguiente capítulo de la memoria se analiza el proceso para llevar a cabo la selección de los centros escolares que conformarán el estudio total sobre la calidad del aire en centros docentes del municipio, para abordar el objetivo principal de esta comunicación.

3.1. Analizar la construcción y el diseño arquitectónico de los centros escogidos.

Para resolver dicho objetivo, se propone la metodología siguiente:

1. Iniciar la búsqueda en las de datos de la comunidad autónoma de los distintos centros del inscritos al municipio de Palma, realizando una tabla con el nombre del centro y los datos iniciales para la selección de los centros estudiar: dirección, tipo de centro, año de construcción y/o reforma, superficie construida, teléfono o mail de contacto, ciclos de formación. Posteriormente, se representan en un mapa con un código identificativo para reconocerlos por código postal y distrito (Figura 1).
2. Seguidamente, una vez completada la búsqueda de la totalidad de centros escolares del municipio y grafiados en los planos, se seleccionan los centros a estudiar atendiendo a diferentes parámetros. Estos parámetros se justifican para entender su elección, en relación con el objetivo del trabajo.
3. Una vez escogidos los centros de trabajo, se efectuará una ficha tipo a cumplimentar en la primera visita y toma de contacto que describa cada uno, además de efectuar los planos de situación, esquema de uso y aulas de primaria de los centros para conocer en detalle las aulas a estudiar.

En la ficha tipo de revisión de los centros se adjunta la documentación siguiente:

- Información general del centro: C.P. y distrito de Palma, año de construcción y/o reforma, superficie construida y de parcela, tipo de edificio (aislado o entre medianeras) y plantas, ciclos educativos, número de alumnos de primaria, horario del centro, alrededores y ubicación.
- Información interior del edificio: número de alumnos, ubicación aulas, dimensiones y alturas, materiales interiores, mobiliario, tipo de ventilación-climatización, ruido, aberturas y dimensiones, iluminación, cerramientos y espesores de los cerramientos.

Conocido el diseño y la construcción de los centros elegidos, se seguirá el estudio hacia los siguientes objetivos (totalidad del estudio) para conocer con mayor detalle la situación interior de las aulas de primaria a medir.

4. Resultados

En el siguiente capítulo de la memoria se analiza el proceso para llevar a cabo la selección de los centros escolares que conformarán el estudio total sobre la calidad del aire en centros docentes del municipio, para abordar el objetivo principal de esta comunicación.

4.1. Resultados del OBJ. 1: Centros docentes de análisis.

En el municipio de Palma hay alrededor de 200 centros educativos entre los ciclos infantil, primaria y secundaria repartidos por toda la ciudad, por lo que, hay una gran variedad de oferta educativa disponible. Estos colegios son de tres opciones: públicos, privados y concertados, además de colegios internacionales.

Estos centros están contruidos desde hace unos 175 años hasta la actualidad, sin embargo, la tendencia es la de encontrar colegios anteriores a los años 2000, y que no han sufrido ninguna renovación integral, más que alguna reforma puntual para garantizar un buen aspecto o por temas de mejorar algún sistema de climatización individual. Es por ello, que presentan características constructivas antiguas, con materiales y mobiliario anticuado que necesita de una renovación urgente.

Estas características resultan atractivas para estudiar la calidad del aire en sus aulas, además de la mayor cantidad de colegios anteriores al 2000 qué elegir, sin embargo, como la cantidad de colegios es elevada en el municipio es importante delimitar la zona a estudiar mediante la elección de colegios situados en los diferentes distritos conocidos.

Ante las opciones de colegios: públicos, privados, concertados e internacionales, no se escoge ninguno en particular, solamente revisando que cuenten con el ciclo de educación primaria, ya que es el ciclo escogido para la medición de la calidad del aire interior. Esto se debe a que es más fiable establecer patrones de conducta en niños comprendidos en edades entre 6 y 12 años, que en edades tan tempranas como son los ciclos de infantil (falta de conocimiento) y secundaria (cambios hormonales, faltas no justificadas).

A continuación, se exponen los colegios escogidos y su caracterización a fin de poder iniciar las mediciones de calidad del aire en el interior de sus aulas.

4.1.1. Proceso de selección

Para el estudio de la calidad del aire en aulas de centros docentes de ciclo de primaria en Palma se han escogido entre cinco o seis colegios, repartidos en el territorio de la ciudad alrededor de los diferentes distritos.

La selección de los colegios se ha realizado, primeramente, estableciendo un colegio por distrito de Palma: Poniente, Levante, Centro, Norte y Playa de Palma-Pla de Sant Jordi, debido a la distribución desigual de la contaminación exterior por barrios y correlacionando la afección de la calidad ambiental exterior con la interior.

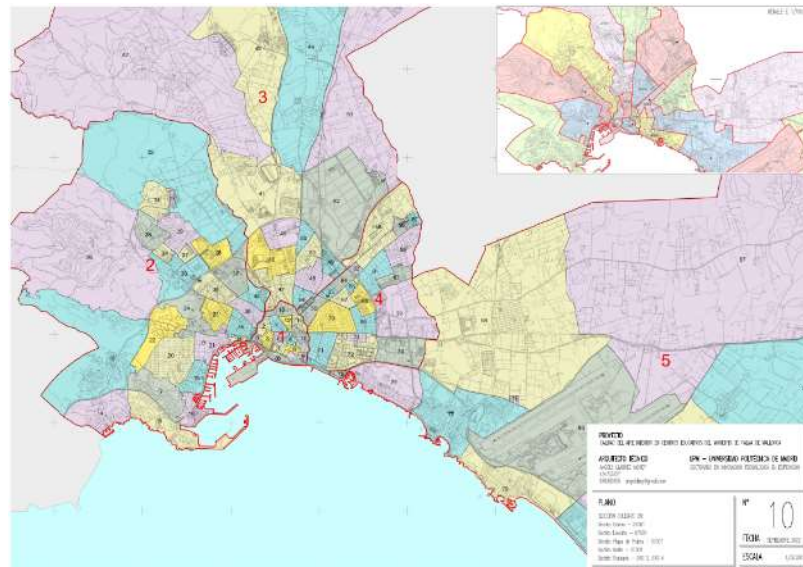


Figura 1. Distritos de Palma y ubicación de centros docentes en distritos

Fuente: Elaboración propia

Además, cada uno de los distritos presenta un medidor de calidad del aire de la Red balear de vigilancia y control de la calidad del aire, encargada de medir en tiempo real los contaminantes más influyentes del aire.



Figura 2. Ubicación de las estaciones de Palma

Fuente: Elaboración propia

Mediante dicha distribución, se observan los alrededores de los medidores del aire distribuidos por Palma:

- En el distrito Centro se sitúa el medidor de la Misericordia, aunque solamente mide el material particulado. Este distrito cuenta con la mayoría de edificios antiguos de la ciudad, muchos en rehabilitación y, además, es la zona de paso de las Avenidas, por donde transitan la mayoría de vehículos en Palma, así que estos dos son grandes focos de contaminación. Aunque el aspecto positivo de este distrito es que en el casco antiguo no se puede acceder con vehículo, los edificios son residenciales, y se sitúan variedad de despachos de oficinas y comercios.
- En el distrito de Poniente se sitúa el medidor del Bosque de Bellver. Presenta diversas zonas verdes y montañosas, y abarca una parte de las más nuevas urbanizaciones periféricas. También, se sitúa el Port de Palma, donde se encuentra el medidor portuario, lugar de acceso a cruceros y grandes buques. La estación de Bellver se sitúa en zona urbana-verde, en el bosque urbano de Bellver, en plena ciudad, en un montículo de unos 100 metros de altura sobre el nivel de mar. Se

encuentra a 3 km del centro y a 1 km del Paseo Marítimo, donde se encuentran los dos puertos de Palma y se desplazan vehículos terrestres y marítimos.

- El siguiente distrito es el Norte, el más rural, donde se encuentra la estación del Parc-Bit, el parque tecnológico de Palma, alejado de la ciudad compacta, y a 10 minutos en coche se encuentra la incineradora de residuos de Tirme. El resto son campos agrícolas y de ganado y alguna pequeña población del municipio. En el mismo distrito, más cerca de la ciudad, se encuentra el mayor polígono industrial de Palma, el polígono de Son Castelló, donde destacan varias industrias.

Es la zona más periférica-rural y está a unos 10 km aproximadamente del centro de Palma, donde el núcleo de población más grande, que es son Sardina, se encuentra a unos 3-4 km. Por lo que no se presencia un tráfico denso en la zona, más que en las zonas industriales.

- En el distrito de Playa de Palma-Pla de Sant Jordi, donde se encuentra la estación de Sant Joan de Déu es similar al Norte, más rural, con campos y pequeños núcleos de población, sin embargo, en este se sitúa el aeropuerto, que tiene la salida de los aviones hacia la costa de la playa de Palma. También hay pequeñas zonas industriales dispersas, donde están algunas industrias de productos de construcción y alimenticios, una de las depuradoras de aguas de Palma y una refinería de petróleo, así como algunas zonas costeras y playas.

La ruta de aviones pasa por encima del Hospital, ya que la pista de aterrizaje del aeropuerto de Son Sant Joan de Palma está a menos de 1 km de distancia.

- El distrito de Levante es similar en construcciones al del centro de Palma, cuenta con la estación de Foners, enlazada con las Avenidas del distrito Centro, por lo que ambos distritos, Centro y Levante, son muy similares en cuanto a características.

La estación de calle Foners se sitúa a 1 km del centro y se ubica en el cruce de calle Manacor con la Avenida Gabriel Alomar, dos de las calles más transitadas de Palma, tanto en vehículo motorizado como a pie. En cualquier hora del día se puede observar gran presencia de tráfico rodado, ya que es una de las salidas de la ciudad, además de que hay aparcamientos públicos cercanos y una zona de ocio y oficinas alrededor de este barrio de Palma.



Figuras 3 a 6. Estaciones de medición: Bosque de Bellver, Parc Bit, Sant Joan de Déu y Foners

Fuente: Elaboración propia

Conocidos los distritos, se inicia la búsqueda de colegios de primaria en cada uno de estos, encontrándose un total de 179 colegios distribuidos por la ciudad, de los cuales solamente 99 cuentan con ciclo de primaria.

Se decide escoger el ciclo de educación primaria por la homogeneidad de las muestras de aulas y de los usuarios. Con respecto, a las guarderías, escoletas y centros de educación infantil, además de la poca evidencia científica en dichos espacios, es difícil encontrar una muestra común en todos los centros. Las aulas

son muy desiguales, las mesas son más pequeñas e incluso, en algunos casos, no disponen de ellas, los lugares de trabajo están mucho más cerca del suelo, los horarios son muy distintos entre centros, así como el número de alumnos en las aulas, junto con la tendencia exagerada a enfermar y contagiarse entre ellos por las tempranas edades de los niños y su funcionamiento del sistema inmunitario.

En cuanto al ciclo de educación secundaria, es difícil conocer por qué algunos alumnos faltan a clase, ya que tienen más control sobre ellos mismos. Sus sistemas inmunitarios están totalmente desarrollados, por lo que las tasas de contagio entre ellos se reducen notoriamente, por lo que no son interesantes a la vista de conocer si se contagian por las malas calidades del aire. También es difícil conocer su estado de salud cuando están entrando en fases de desarrollo y cambio hormonal.

Además de prescindir de los colegios sin educación primaria, se observan las fechas de construcción de los restantes y se eliminan 8 colegios más, por estar construidos posteriores al año 2000. Los colegios de construcción reciente son escasos y son muy dispares entre ellos para establecer conclusiones adecuadas, además, los posteriores al 2008 ya han tenido que satisfacer con el CTE, en tema materiales, caudales de ventilación y dimensiones de las aulas, con lo que las estrategias de mejora interiores pueden ser mínimas.

En los colegios construidos anteriormente al año 2000, se ha llevado a cabo alguna pequeña reforma mínima interior, sobre todo en paredes y suelos para mejorar la apariencia física, sin embargo, no se han analizado los problemas ni se han tenido en cuenta las nuevas normativas para los espacios interiores. Algunos sí se han visto afectados por reformas integrales posteriores al año 2000, que aparecen marcadas en la Sede del Catastro. Estos son siete, por lo que se rescinde de ellos para la elección.

En este caso se cuenta con un total 74 centros educativos repartidos por los distritos de Palma, y se inicia la presentación a dichos colegios para que colaboren con la investigación. Al ser difícil encontrar colegios públicos interesados en la investigación, se observan los colegios privados y concertados, los cuales son más abiertos para realizar tareas en sus instalaciones.

En un principio se decide eliminar los colegios con grandes superficies, debido a sus dimensiones y porque algunos han sido fruto de reformas, unión de partes viejas con nuevas, sin embargo, se decide contar con ellos, hasta realizar una primera visita y corroborar dicha situación, porque algunos puede que solamente hayan sufrido cambios exteriores y de los equipamientos y no en el interior de las aulas objeto de las mediciones.

Con este proceso de selección, se encuentran 6 colegios que cumplen con el proceso de selección y aceptan formar parte de la investigación:

1. Colegio La Purísima, situado en el distrito de Poniente (al lado de la autovía Ma-19, Vía de Cintura).



Figuras 7 a 9. Fotografías de la visita al colegio La Purísima

Fuente: Elaboración propia

2. Colegio Santa Mónica, situado en el distrito de Levante.



Figuras 10 a 12. Fotografías de la visita al colegio Santa Mónica
Fuente: Elaboración propia

3. Colegio Nuestra Señora de la Consolación, situado en el distrito Norte.



Figuras 13 a 15. Fotografías de la visita al colegio Nuestra Señora de la Consolación
Fuente: Elaboración propia

4. Colegio Sant Francesc de Borja Moll, situado en el distrito de Playa de Palma-Pla de Sant Jordi.



Figuras 16 a 18. Fotografías de la visita al colegio Sant Francesc de Borja Moll
Fuente: Elaboración propia

5. Colegio Sant Francesc, situado en el distrito Centro.



Figuras 19 a 21. Fotografías de la visita al colegio Sant Francesc
Fuente: Elaboración propia

6. Colegio Santa María, situado, también, en el distrito de Poniente (justo al lado del Bosque de Bellver).



Figuras 22 a 24. Fotografías de la visita al colegio Santa María
Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Caracterización de los centros escogidos

Los centros escogidos se caracterizan, además de situarse cada uno en un distrito y haber sido construidos anteriormente al año 2000, por sus características similares en envolvente y materiales y acabados interiores, con aulas de primaria son de superficies similares y los mobiliarios prácticamente idénticos. Las características de dichos centros, se establecen en la tabla siguiente:

Tabla 2. Características de cada centro docente escogido
Fuente: Elaboración propia

Centros docentes	Ubicación (alrededores)	Año de constr.	Tipo cerramiento	Acabados interiores	Carpintería y cerrajería	Instalaciones
La Purísima	Edificios entre medianeras y aislados de viviendas unif. y plurif. de varias alturas, linda con autovía Ma-30	1986	Fachada exterior de 25 cm de ladrillo/hormigón con aplacado o proyectado de piedra y tabiquería cerámica de espesor 10 cm	Solados cerámicos, porcelánicos y algun solado vinílico. Paredes y techos de yeso y pintura, hasta media altura alicatados	Ventanas de aluminio. Puertas de paso de madera	Split en pared, para climatización. Lámparas fluorescentes (iluminación)

Santa Mónica	Edificios entre medianeras de viviendas de varias alturas, en zona muy transitada, calles importantes cerca (Aragón, Jacinto, Balmes)	1910	Fachada exterior de 25 cm de ladrillo/hormigón con mortero de cemento y tabiquería cerámica de espesor 10 cm	Solados de terrazo Paredes y techos con yeso y pintura, hasta media altura alicatados	Ventanas de aluminio, de vidrio simple y doble. Puertas de paso de madera	Split en pared o techo, conductos por fan-coils, solo ventiladores (climatización) Lámparas fluorescentes (iluminación)
Nª Sra. Consolació	Edificios entre medianeras y aislados de viviendas plurif. de varias alturas (mayoritariamente altos), alrededor de polígono industrial	1930	Fachada exterior de 25 cm de ladrillo/hormigón con mortero de cemento y tabiquería cerámica de espesor 10 cm	Solados de terrazo, cerámico o parquet Paredes y techos de yeso y pintura, hasta media altura alicatados o aplacados de madera	Ventanas de madera, y vidrio simple Puertas de paso de madera	Ventilador en pared (frío) y radiadores de aceite (calor), para climatización Lámparas fluorescentes (iluminación)
St. Francesc de Borja Moll	Edificios plurif. y complejos hoteleros grandes y de varias alturas, cerca de playa de Palma y el aeropuerto; gran zona turística	1989	Fachada exterior de 25 cm de ladrillo/hormigón con aplacado o proyectado de piedra y tabiquería cerámica de espesor 10 cm	Solados de terrazo Paredes y techos de yeso y pintura	Ventanas de aluminio, fijas y parte superior abatible Puertas de paso de madera	2 Fan-coils de techo para climatización-ventilación (frío-calor) 4 Lámparas fluorescentes (iluminación)
St. Francesc	Edificios entre medianeras y aislados unif. y plurif. y comercios y oficinas en el centro de Palma, con circulación restringida	1900	Fachada exterior de 25 cm de ladrillo/hormigón con aplacado piedra y tabiquería cerámica de espesor 10 cm	Solados de terrazo o cerámicos Paredes y techos de yeso y pintura, hasta media altura aplacados de madera.	Ventanas de aluminio o madera, vidrio simple Puertas de paso de madera	Sin equipos de ventilación/climatización Lámparas fluorescentes (iluminación)
Santa Maria	Edificios unif. y plurif. de varias alturas, varios hoteles, cerca del puerto de Palma y del bosque de Bellver (extensa zona verde)	1980 - 1999	Fachada exterior de 25 cm ladrillo/bloque con enfoscado y aplacado y tabiquería cerámica de espesor 10 cm	Solados de terrazo Paredes y techos de yeso y pintura, hasta media altura algunos alicatados.	Ventanas de aluminio, vidrio doble Puertas de paso de MDF	2 ventiladores colgados (frío) y 2 radiadores ACS (calor). Lámparas fluorescentes (iluminación)

5. Conclusiones

Se pasa más tiempo en el interior de los edificios que en el exterior, y esto también afecta a la cantidad de horas que pasan los alumnos y demás trabajadores del sector escolar en el interior de aulas y otros espacios de escuelas y centros educativos, siendo este alrededor del 30% del tiempo como redactan los estudios.

Al ser las escuelas uno de los lugares más importantes, junto con los hogares, hace el que el estudio de la calidad del aire en el interior de centros escolares cobre especial importancia actual en la investigación para la mejora de las condiciones de salud y bienestar en el interior de dichos edificios.

Y la elección del municipio de Palma, además del lugar de residencia, es importante ya que son nulos los estudios realizados en esta ciudad y donde se observa que la mayoría de centros educativos han sido

construidos anteriores al año 2000 y las reformas interiores de sus instalaciones han sido nulas o parciales, sin atender a criterios del adecuado sistema constructivo para mejorar las condiciones interiores.

Para dicho estudio, se han seleccionado alrededor de 6 centros escolares situados en cada uno de los distritos de Palma, atendiendo a características comunes, de forma que se puedan relacionar los valores de las mediciones de los contaminantes interiores más representativos de la CAI y las condiciones de confort de temperatura y humedad relativa.

Con estas mediciones interiores, junto con los valores de contaminantes exteriores y las condiciones termohigrométricas, se pretende extraer las estrategias adecuadas para mejorar los edificios escolares del municipio, en promoción de la salud y la calidad de vida de sus ocupantes, los niños.

Referencias

- Barrett P., Zhang Y., Barrett L., Davie F., Aulas inteligentes (Clever Classrooms), Informe resumido del Proyecto HEAD (Evidencia Holística y Diseño), University of Salford Manchester, 2015, pp. 1-52.
- Chithra V.S and Shiva Nagendra S.M, "Una revisión de la evidencia científica sobre el aire interior de los edificios escolares: contaminantes, fuentes, efectos sobre la salud y gestión" Revista asiática del medio ambiente atmosférico, vol.12, nº2, ISSN (O) 2287-1160, ISSN (I) 1976-6912, pp. 87-108, 2018.
- Dra. N. Pericas, pediatría de Clínica Diagonal, ¿Cómo afecta la contaminación ambiental a la salud de los niños?, víaempresa, 2021. [fecha de consulta: 29/11/2022]. https://www.viaempresa.cat/es/contaminacion-ambiental-ninos-adolescentes_2160528_102.html
- Dr. Romero Placeres, M., Dra. Diego Olite, F., Dra. Álvarez Toste, M., Epidemiología y Microbiología La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. En: Instituto Nacional de Higiene, 2006. [fecha de consulta: 30/10/2021]. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1561
- EPA, Agencia de protección ambiental de Estados Unidos, Introducción a la calidad del aire interior, 2022 [fecha de consulta: 27/10/2022]. En: <https://espanol.epa.gov/cai>
- Hormigos Jiménez, S., Optimización de la ventilación en ambientes residenciales para la promoción de la salud de sus ocupantes: repercusión del interiorismo arquitectónico, Programa de doctorado en Ciencia y Tecnología de la Salud, 2018, 400 pp., Madrid, España: Universidad CEU San Pablo.
- IQAir, Informe de calidad del aire mundial 2021, Suiza, 2022 [fecha de consulta: 01/12/2022]. https://www.iqair.com/es/newsroom/WAQR_2021_PR
- Juhasova Senitkova, I., Interior Materials Combination and Perceived Indoor Air Quality, MATEC Web Conf., Volume 279, 2019, 10th International Scientific Conference Building Defects (Building Defects 2018), Article Number 03001, p. 1-8, Section Building Design and Technology, 2019.
- Ministerio de Educación, Real Decreto 132/2010, de 12 de febrero, por el que se establecen los requisitos mínimos de los centros que impartan las enseñanzas del segundo ciclo de la educación infantil, la educación primaria y la educación secundaria. 2010. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2010-4132>
- OMS - WHO, Contaminación del aire doméstico y salud, 2022. [fecha de consulta: 17/12/2022]. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
- Ruiz Ruiz, L., García Sanz, M.P., Calidad del ambiente interior, Centro Nacional de Nuevas Tecnologías, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2010, págs. 1-22.
- UN, Naciones Unidas, Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2019, ODS, [fecha de consulta: 16/12/2022]. https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019_Spanish.pdf
- US EPA, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, Calidad del aire interior, 2022. [fecha de consulta: 17/12/2022]. <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq>
- Zhang S, Mumovic D, Stamp S, Curran K, Cooper E. "¿Qué sabemos sobre la calidad del aire interior de las guarderías? Una revisión de la literatura". Ingeniería de Servicios de Edificación Investigación y Tecnología. 2021; 42(5):603-632. <https://doi.org/10.1177/01436244211009829>

Plasterboard partitions: a way out to reduce construction waste on site

del Río Merino, Mercedes^a y Villoria Sáez, Paola^b

^a Grupo TEMA, Escuela Técnica Superior de Edificación, UPM, Spain. mercedes.delrio@upm.es

^b Grupo TEMA, Escuela Técnica Superior de Edificación, UPM, Spain. paola.villoria@upm.es

Abstract

Construction in Spain generates large volumes of construction and demolition waste (CDW), achieving a low recycling rate compared to other countries in the European Union. So, in order to achieve the objective of climate neutrality by 2050, it is necessary to move towards a circular economy aligned with the new circular economy action plan for a cleaner and more competitive Europe. Prefabrication of building elements can make that path easier. This paper shows a study on the use of prefabricated plasterboard partitions in buildings and its impact on waste reduction.

A total of 802 dwellings from seven different residential building projects were analysed -- representing a total of 115743.55 m² --, with similar construction features and following a Mediterranean conventional construction, including materials and techniques. Four of them were built with traditional ceramic hollow bricks and three with plasterboard partitions. Further, CDW generation was obtained through an on-site data collection system, based on the delivery notes issued by the CDW manager. More than 8.000 data of daily total CDW generation were collected and CDW generation ratios per square meter of building construction were obtained. Further, a theoretical data collection was used based on Arquímedes from Cype Ingenieros software.

The main results and conclusions were: total CDW generation ratios obtained in each construction project are similar to the ones established by other studies; In particular, for building projects with interior brick partition walls, this ratio is calculated around 131.01 kgCDW/m²built and 0.192 m³CDW/m²built, while for plasterboard partitions it is set around 113.00 kgCDW/m²built and 0.186 m³CDW/m²built. This means building works generate 15.94% - 3.04% less total waste, in weight and volume respectively, when using plasterboards than when using traditional bricks. This implies that a wider use of prefabrication could considerably reduce construction waste generation in Spain and improve their management.

Keywords: Building, Waste, Reduction, Plasterboard.

1. Introducción

La Comisión Europea ha desarrollado un conjunto de iniciativas conocida como "Pacto Verde", para cumplir con los Objetivos para un Desarrollo Sostenible (ODS) y avanzar hacia una transición ecológica y la neutralidad climática en 2050 con el fin de transformar la UE en una sociedad equitativa y próspera con una economía moderna y competitiva (Commission European Parliament, 2020).

En España, en el año 2018, el Consejo de Ministros aprobó el "Plan de Acción para la Implementación de la Agenda 2030: Hacia una Estrategia Española de Desarrollo Sostenible" (Gobierno de España, 2018). El Plan tiene como objetivo impulsar nuevas políticas, medidas y normativas para la adopción de una Estrategia de Desarrollo Sostenible 2020-2030. La primera función de este Plan ha sido elaborar un diagnóstico de la situación de España con respecto al estado de cumplimiento de los ODS, para, posteriormente aplicar las acciones adecuadas de forma creciente para implementar la Agenda 2030.

Además de la Agenda 2030, en los últimos años la sociedad se está dando cuenta de que el concepto de sostenibilidad, como generación de cero impactos, se ha quedado obsoleto pues no consigue reducir el cambio climático y son muchas las voces que alertan de que hay que pasar a un nuevo paradigma, la sostenibilidad regenerativa, aquella sostenibilidad que busca generar un impacto neto positivo, con beneficios para la sociedad y el medio ambiente (Villoria Sáez and del Río Merino, 2019).

Aplicar los conceptos de la sostenibilidad regenerativa sólo será posible si pasamos de una Economía lineal a una Economía Circular (European Commission, 2015), por eso, el 25 de mayo de 2021 el Gobierno de España aprueba el "I Plan de Acción de Economía Circular" (MITECO, 2021) en el que se establecen 8 ejes de actuación: producción, consumo, gestión de residuos, materias primas secundarias y reutilización del agua, sensibilización y participación, investigación, innovación y competitividad, y empleo y formación.

En el caso concreto del eje "Materias primas secundarias" marca el objetivo de "garantizar la protección del medio ambiente y la salud humana reduciendo el uso de recursos naturales no renovables y reincorporando en el ciclo de producción los materiales contenidos en los residuos como materias primas secundarias".

Además, la Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular, entre otros, establece el objetivo de que como mínimo el 70% en peso de los residuos de construcción y demolición producidos, no peligrosos, sean destinados a la preparación para la reutilización, el reciclado y otra valorización de materiales, incluidas las operaciones de relleno, con exclusión de los materiales en estado natural definidos en la categoría 17 05 04 de la lista de residuos (Spanish Government, 2022). El objetivo, es minimizar los residuos y el consumo de recursos no solo evita o reduce la generación de residuos en el sitio, sino que también ayuda a reutilizar/reciclar (Jaillon et al., 2009).

Actualmente, el sector de la edificación, uno de los sectores menos sostenibles, sin embargo, las principales empresas constructoras están considerando los temas ambientales y buscando la implementación de buenas prácticas para reducir su impacto. Sin embargo, todavía la gran mayoría de las empresas constructoras (pequeñas y medianas empresas) necesitan aceptar esta tendencia (del Río Merino et al., 2011; del Río Merino et al., 2010; Villoria Sáez et al., 2020).

La reducción de residuos en el sitio implica tanto decisiones de diseño como selección de tecnología/materiales de construcción (Llatas and Osmani, 2016; Osmani and Villoria Sáez, 2019; Poon et al., 2004). Por eso, la prefabricación se ha identificado como una solución para reducir el

consumo de materia prima y los residuos generados durante las fases de diseño y construcción (Li et al., 2014; Tam; et al., 2007).

2. Objetivos

El objetivo de este artículo es mostrar algunos resultados de un estudio, sobre el uso de tabiques prefabricados de yeso laminado en edificios y su impacto en la reducción de residuos de construcción y demolición en España. Con ello, podremos confirmar o no que el uso de soluciones prefabricadas en la construcción de edificios beneficia a la gestión de RCD e incluso a su reducción.

3. Metodología

Se analizaron un total de 802 viviendas de siete proyectos de edificación residencial diferentes, lo que representa un total de 115.743,55 m², con características constructivas similares y siguiendo una construcción convencional mediterránea, incluyendo materiales y técnicas. Cuatro de ellos se construyeron con ladrillo hueco cerámico tradicional y tres con tabiquería de yeso laminado (Tabla. 1).

Tabla 1. Características de las obras analizadas

Obra	Nº viv	m2 por viv	Superficie construida (m ²)	Tipo de tabiquería
O226	226	67	23569,00	Ladrillo cerámico
O192	192	89	17617,00	Panel del yeso laminado
O156	156	119	30759,68	Panel del yeso laminado
O105	105	105	20435,24	Ladrillo cerámico
O59	59	59	11045,30	Panel del yeso laminado
O32A	32	111	5983,46	Ladrillo cerámico
O32B	32	111	5983,46	Ladrillo cerámico

La generación de RCD se obtuvo a través de un sistema de recolección de datos experimentales "in situ", con base en las notas de entrega emitidas por el gestor de RCD (Figura. 1). Se recolectaron más de 9.000 datos de la generación total diaria de RCD y se obtuvieron los índices de generación de RCD por metro cuadrado de construcción de edificio.

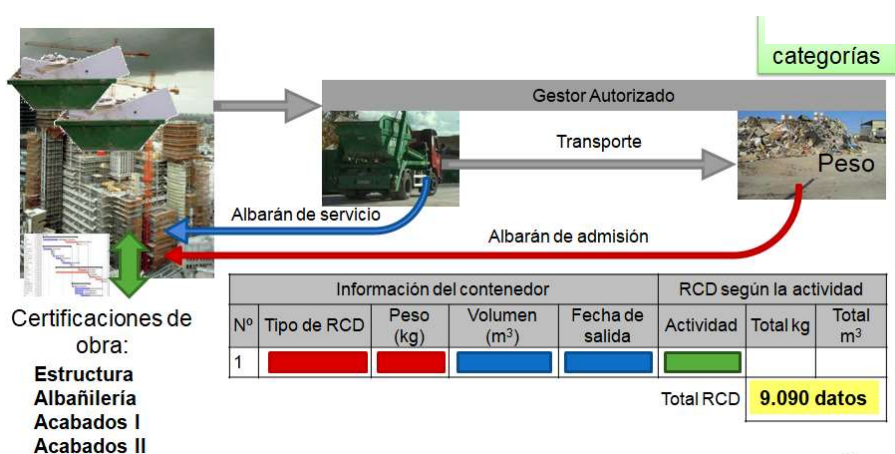


Figura.1. Ejemplo de la recolección de datos experimentales

Además, para conocer el índice de generación de RCD durante las actividades de albañilería, se utilizó una toma de datos teórica basada en la base de datos Arquímedes del software Cype Ingenieros (Figura 2).

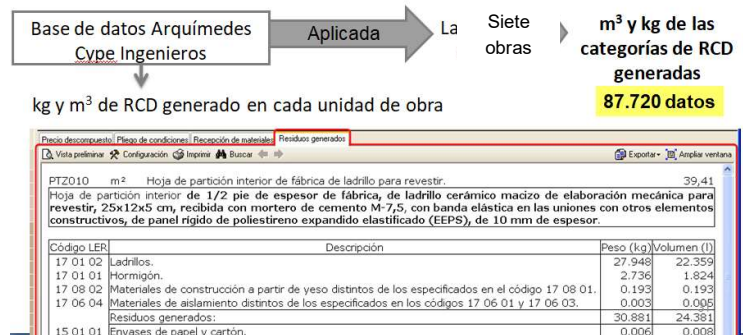


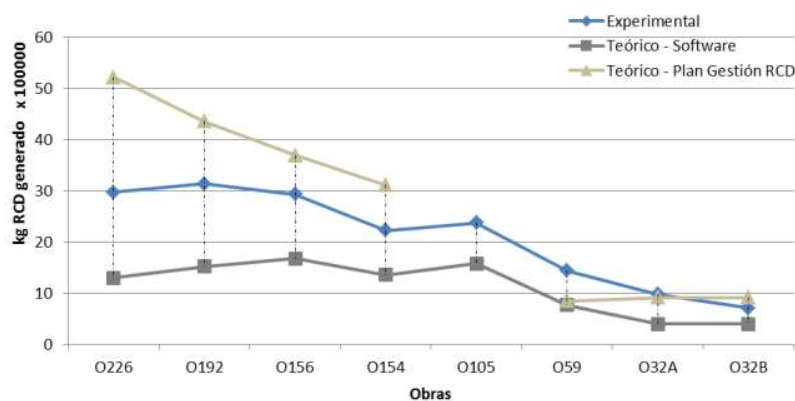
Figura.2. Ejemplo de la recolección de datos teóricos

Por último, se analizaron los datos obtenidos mediante los dos sistemas (experimental y teórico) y se compararon los resultados de generación total y los obtenidos en la fase de albañilería y acabados.

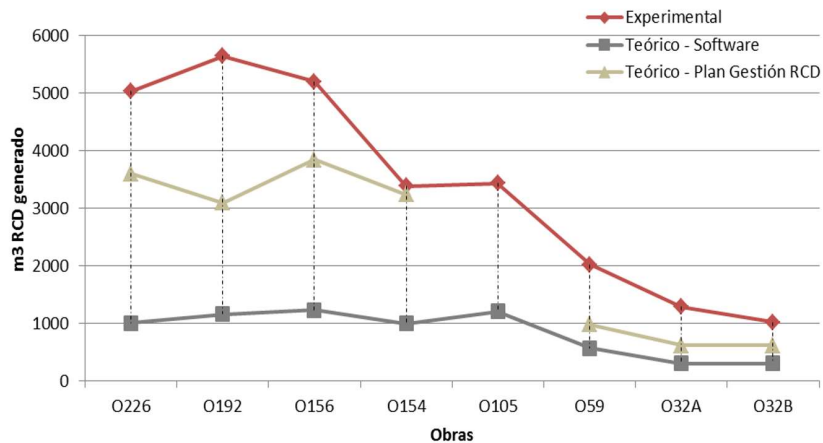
4. Resultados

4.1. Cantidad de residuos generados en la totalidad de la obra

Los resultados de la gráfica 1 muestran la cantidad total de residuo generado en las distintas obras analizadas, tanto en peso como en volumen, y se compara con las cantidades totales obtenidas teóricamente y las indicadas en el Plan de Gestión de RCD. Se observa que los datos obtenidos experimentalmente son claramente superiores a los obtenidos teóricamente y estimados en el PGRCD en todas las obras analizadas, especialmente en cantidades medidas en volumen ya que depende de lo mucho o poco que se compacte el contenedor antes de ser retirado.



(a)



(b)

Gráfico 1. Peso (a) y volumen (b) de RCD totales generados

Relacionando las cantidades obtenidas con la superficie de cada proyecto se obtienen los indicadores o ratios de generación de residuos (Tabla 2). Este indicador medio permite estimar el total de residuos generados una vez conocida la superficie construida del proyecto, en edificaciones de las mismas características que las estudiadas.

En concreto se observa que los proyectos de construcción con tabiquería de yeso laminado tienen menores ratios de generación que las particiones de ladrillo. Para proyectos de edificación con tabiquería interior de ladrillo (O226, O105, O32A, O32B), este ratio se calcula de media en torno a 131,01 kg RCD/m² construido y 0,192 m³ RCD/ m² construido, mientras que para tabiquería de yeso laminado (O192, O156, O59) se fija una media de en torno a 113,00 kg RCD/m² construido y 0,186 m³ RCD/ m² construido.

Tabla. 2. Ratios de RCD generados por metro cuadrado construido

Obra	m ² const	Ratio sobre el total de RCD	
		kgCDW / m ² const	m ³ CDW / m ² const
O226	23569,00	125,99	0,214
O192*	26692,00	117,37	0,212
O156*	30760,00	95,41	0,169
O105	20435,00	116,01	0,168
O59*	11395,71	126,22	0,178
O32A	5983,00	163,52	0,216
O32B	5983,00	118,53	0,170
MEDIA		123,29	0,190

* Construido con yeso laminado

Esto significa que las obras generan entre un 15,94% y un 3,04% menos de residuos totales, en peso y volumen respectivamente, cuando se utilizan placas de yeso laminado frente a cuando se utilizan ladrillos tradicionales.

Además, los ratios de generación de RCD obtenidos en cada proyecto de construcción son similares a los establecidos por otros estudios (Mália et al., 2013; Mercader-Moyano and Ramirez-de-Arellano-Agudo, 2013; Solís-Guzmán et al., 2009).

4.2. Cantidad de residuos generados durante la fase de albañilería y acabados

Los resultados de la Tabla 3 muestran los ratios de generación de residuos por metro cuadrado construido de las actividades de albañilería y acabados. Se observa que utilizando tabiquería de yeso laminado la generación de residuos se reduce en torno a un 31%.

Tabla. 3. Total de RCD generados durante los trabajos de albañilería y acabados

Solución constructiva	kg _{RCD} / m ² _{const}	m ³ _{RCD} / m ² _{const}
Ladrillo	33,42	0,029
Yeso laminado	23,05	0,020

En cuanto a las obras ejecutadas con tabiquería de yeso laminado se observa que los resultados son similares a los obtenidos en obras con tabiquería tradicional. El residuo mayoritario procede de ladrillos t materiales cerámicos, seguido del yeso, representando alrededor de un 58 y 15% respectivamente, tanto en peso como volumen.

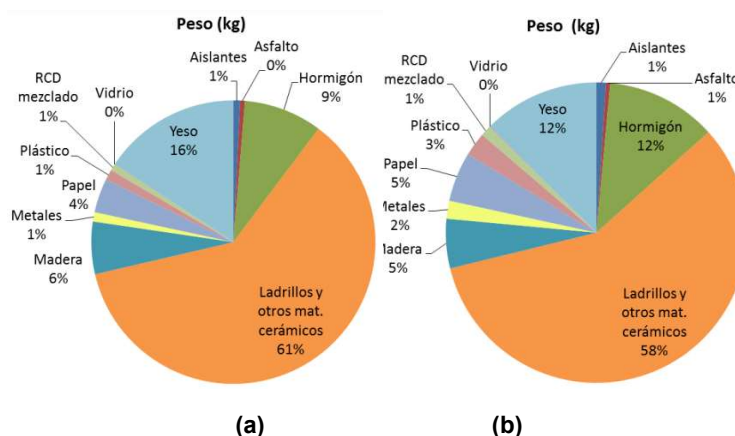


Gráfico 2. Porcentaje de generación de las distintas categorías de RCD en una obra de tabquería de ladrillo (a) y yeso laminado (b)

En cuanto a los tipos de materiales, se observa que la generación de residuo disminuye cerca del 50% en las soluciones con tabiquería de yeso laminado, al ser un sistema prefabricado, lo que genera menor cantidad de residuo en obra.

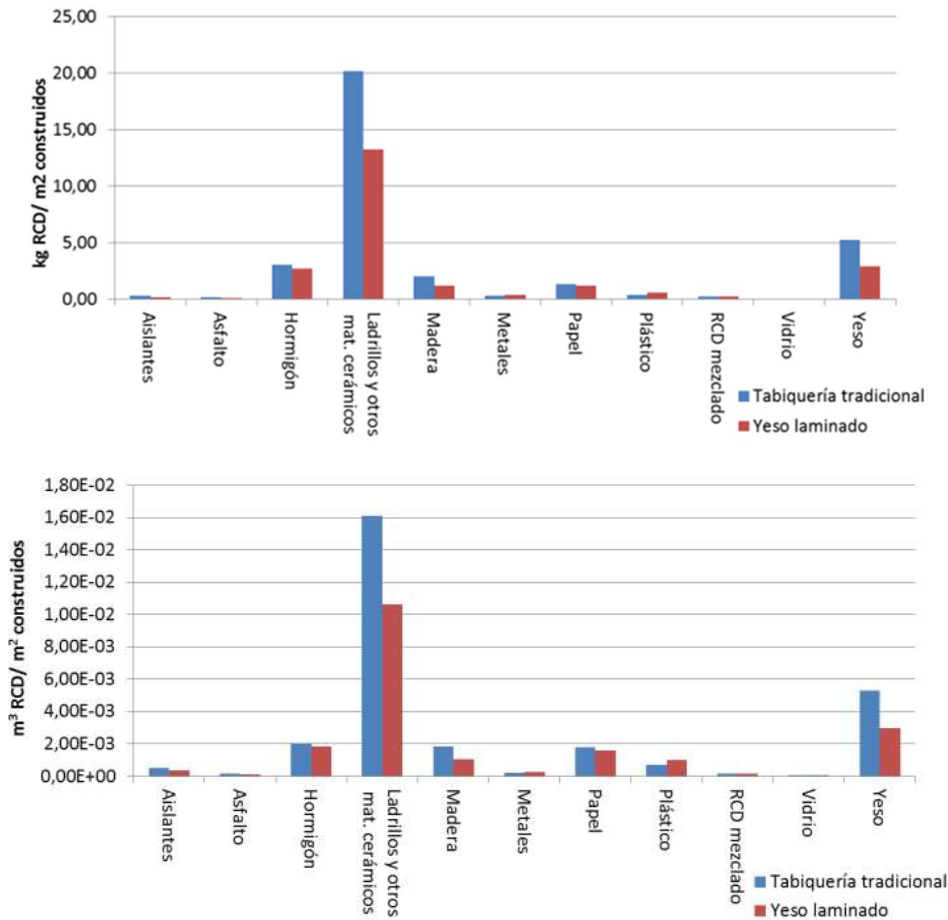


Gráfico 3. Ratio de RCD generado durante la albañilería según la categoría de residuo

5. Conclusiones

La reducción promedio de RCD del total de la obra fue de aproximadamente 16% en peso y 3% en volumen.

Además, al utilizar tabiques de yeso laminado, los RCD generados durante las actividades de albañilería se pueden reducir en torno a un 31% respecto a los tabiques de ladrillo hueco tradicionales.

Se puede concluir por tanto que la utilización de elementos prefabricados en la construcción de edificios consigue importantes reducciones de residuos, en comparación con las técnicas de construcción convencionales y permite una mejor gestión de los mismos, incluso posibilita la devolución de los residuos a las fábricas para su incorporación en el proceso de fabricación, siguiendo criterios de economía circular.

Referencias

- Commission European Parliament, 2020. The European Green Deal, in: Council, T.E. (Ed.), Brussels.
- del Río Merino, M., García Navarro, J., Villoria Sáez, P., 2011. Legal Aspects which Implement Good Practice Measures in the Management of Construction and Demolition Waste. The Open Construction & Building Technology Journal 5, 124-130.
- del Río Merino, M., Izquierdo Gracia, P., Salto Weis Azevedo, I., 2010. Sustainable construction: construction and demolition waste reconsidered. Waste Management & Research 28, 118-129.

- European Commission, 2015. Closing the loop-An EU action plan for the Circular Economy. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions COM 614, 2015.
- Gobierno de España, 2018. Plan de Acción para la Implementación de la Agenda 2030: Hacia una Estrategia Española de Desarrollo Sostenible.
- Jaillon, L., Poon, C.-S., Chiang, Y., 2009. Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong. *Waste Management* 29, 309-320.
- Li, Z., Shen, G.Q., Alshawi, M., 2014. Measuring the impact of prefabrication on construction waste reduction: An empirical study in China. *Resources, Conservation and Recycling* 91, 27-39.
- Llatas, C., Osmani, M., 2016. Development and validation of a building design waste reduction model. *Waste Management* 56, 318-336.
- Mália, M., de Brito, J., Pinheiro, M.D., Bravo, M., 2013. Construction and demolition waste indicators. *Waste Management & Research* 31, 241-255
- Mercader-Moyano, M.P., Ramirez-de-Arellano-Agudo, A., 2013. Selective classification and quantification model of C&D waste from material resources consumed in residential building construction. *Waste Management & Research* 31, 458-474.
- Osmani, M., Villoria Sáez, P., 2019. Current and emerging construction waste management status, trends and approaches, *Waste*, 2nd ed. Elsevier.
- Poon, C.-S., Yu, A.T., Jaillon, L., 2004. Reducing building waste at construction sites in Hong Kong. *Construction Management and Economics* 22, 461-470.
- Solís-Guzmán, J., Marrero, M., Montes-Delgado, M.V., Ramírez-de-Arellano, A., 2009. A Spanish model for quantification and management of construction waste. *Waste Management* 29, 2542-2548
- Spanish Government, 2022. Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular (Law 7/2022, of April 8, on waste and contaminated soil for a circular economy), Boletín Oficial del Estado.
- Tam, Tam, Zeng, Ng, 2007. Towards adoption of prefabrication in construction. *Building and Environment* 42, 3642-3654
- Villoria Sáez, P., del Río Merino, M., 2019. Hacia un nuevo enfoque de sostenibilidad a través de la construcción regenerativa. *Virtual Pro*, 1-14.
- Villoria Sáez, P., Porras Amores, C., del Río Merino, M., 2020. Chapter 3: Estimation of construction and demolition waste, in: Pacheco-Torgal, F. (Ed.), *Advances in construction and demolition waste recycling: management, processing and environmental assessment*. Elsevier, England, pp. 13-27.

Knowledge of earth construction. From empiricism to technicality

Miranda-Santos, M., Navarro-Ezquerria, A., Ramirez-Casas, J., Corominas, A. y González-Sánchez, B.

GICITED-EPSEB-UPC. Avda. Doctor Marañón, 44-50, 08028 Barcelona

Abstract

Neither earth-based building materials, nor earth-based constructions in any of its forms, are subjects included in the programmes of the degrees in Building Engineering or their equivalents, either as part of other subjects or as single subjects. There is an important heritage built with raw earth, not only in rural areas but also in large and medium-sized cities. Currently, this earth-based heritage already requires and will keep requiring renovation works. However, how can building engineers tackle this type of intervention in a building built with raw earth if they don't have the knowledge needed for this particular material nor the specific construction technical skills?

The relatively rapid and recent landing of modern materials, also known as high-tech materials, and the aggravation of raw earth, as construction material, due to the lack of knowledge on its performance, added to excluding regulations, made raw earth an unsuitable material for modern construction.

Nevertheless, this is a key point; technicians in the construction sector and in different fields are becoming more aware of the change needed, which includes building with sustainability parameters and using low-impact materials. Raw earth offers great opportunities for this change.

This work proposes a course on building with earth, not only in the field of renovation but also in new construction. The course content is focused on the material, the different construction techniques, both ancient and modern, mixtures, etc. Therefore, the main approach is recovering the use of raw earth, as a traditional material but studied and applied with state-of-the-art and advanced technology, in other words, the recovery of the tradition from a current point of view.

Keywords: Construction with earth, Architecture with earth, Restoration and rehabilitation with earth, Teaching project

1. Introducción

1.1. Patrimonio de antaño, una inspiración para hoy

Las tradiciones constructivas son parte constituyente de la expresión cultural e identitaria de un territorio (Vegas et al. 2022). Los materiales utilizados y los conocimientos adquiridos a lo largo del tiempo, son una respuesta lógica y evolutiva de adaptación frente a un modo de vida y a un entorno específico.

En el caso concreto de las arquitecturas de tierra, su diversidad constructiva, su extensión geográfica, así como su adaptación al medio natural, social y cultural, dejan entrever una gran riqueza arquitectónica y cultural (Guillaud, 1998; Correia et al. 2014), ya desde el Neolítico (Houben et al., 2006; Minke, 2006; Berge, 2009; Sauvage, 2009; Sénépart et al., 2015). Ejemplo de ello son el 20% de las obras arquitectónicas, construidas parcial o completamente en tierra, declaradas patrimonio mundial por la UNESCO (Houben et al., 2006; Grossein, 2009; Fontaine et al., 2009).

No obstante, la expresión patrimonial y arquitectónica de las construcciones en tierra va más allá de las obras patrimoniales emblemáticas. La tierra también forma parte de las edificaciones vernáculas, tanto en entornos rurales como urbanos. A escala mundial, se estima que alrededor del 10% de la población vive en edificaciones de tierra (Marsh et al., 2021). En los países del llamado Sur global, este número puede alcanzar entre el 20 y 25% (Marsh et al., 2021). Sin embargo, en los años 80 los estudios realizados estimaron que un tercio de la población mundial vivía en casas de tierra (Houben et al., 2006), e incluso en los países del Sur global este número podría alcanzar más de la mitad de la población (Houben et al., 2006; Minke, 2006). Estos datos muestran como desafortunadamente, en tan solo unas pocas décadas, el patrimonio en tierra va desapareciendo, y con él, el conocimiento vinculado a su construcción y su futura rehabilitación.

Es por ello por lo que la preservación de nuestro patrimonio construido en tierra es indispensable. Por un lado, para recuperar los conocimientos técnicos y culturales propios de un territorio, y por otro lado, para garantizar el mantenimiento y la adaptación de dichas construcciones a las necesidades actuales de las sociedades. Estas actuaciones permitirían un ahorro considerable de energía para los usuarios y el entorno, por la no generación de nuevas construcciones (Watson et al., 2011), siempre que estas intervenciones se realicen con técnicas y materiales de bajo impacto ambiental.

1.2. Del abandono a la recuperación de las construcciones en tierra

Principalmente, desde la segunda mitad del siglo XX, las arquitecturas tradicionales, y entre ellas las construcciones con tierra, han ido desapareciendo, abandonándose o sustituyéndose por nuevas técnicas convencionales con materiales industriales (Avrami et al., 2008). Esta realidad ha fomentado un desconocimiento y un desprestigio de las técnicas y arquitecturas tradicionales. En las sociedades actuales y los imaginarios colectivos, es recurrente asociar las técnicas de construcción con tierra al entorno rural, al pasado o incluso ver la tierra como un material destinado a personas y comunidades con bajos recursos económicos (Leylavergne, 2012; Villain 2020).

A día de hoy, el sector de la construcción sigue estando focalizado en materiales industrializados y estandarizados, principalmente en base al hormigón (Global Cement and Concrete Association, 2021). Como bien sabemos, existe una reglamentación muy detallada y explícita sobre la construcción, control de calidad y mantenimiento de las edificaciones realizadas con hormigón armado, y los profesionales del sector de la construcción están especializados en su utilización.

Sin embargo, en las últimas décadas y sobre todo en los países del Norte global, la tierra cruda ha despertado un renovado interés, sobre todo como material de bajo impacto ambiental. Esto puede observarse en el creciente número de proyectos arquitectónicos y estudios científicos sobre la tierra (Morel et al. 2019). No obstante, este renovado interés contrasta con la falta de profesionales que sepan construir con tierra y una oferta de formaciones todavía anecdótica. Asimismo, las técnicas constructivas con tierra cuentan con una regulación normativa aún muy limitada. En España, la única que existe, UNE 41410:2008, se focaliza en la calidad de los bloques de tierra comprimida (BTC). Sin embargo, esta normativa sugiere que, para cumplir con los requisitos para su uso estructural, han de estar estabilizados con un conglomerante hidráulico (Cid et al., 2011; Van Damme et al., 2017).

Este escenario dificulta considerablemente, tanto técnica como normativamente, la utilización generalizada de la tierra. A día de hoy, la utilización de la tierra sigue siendo marginal, y en la mayoría de los casos promovida por actores altamente sensibilizados con el material, con la salud de los usuarios futuros, y con el impacto medio ambiental del sector de la construcción.

1.3. Impacto del sector de la construcción y potencial de la tierra como material de construcción

Es importante tener en consideración que, entre las diferentes actividades humanas, el sector de la construcción actual se encuentra entre los mayores consumidores de energía, más del 40% del suministro mundial anual de energía (Manish K. Dixit, 2019; Keefe, L. 2012; Grace K C Ding, 2004). También es un gran consumidor de materias primas: anualmente consume 40% de la producción mundial de áridos naturales, una cuarta parte de los bosques del mundo y el 16% del agua potable (Keefe, L. 2012; Manish K. Dixit, 2010; Grace K C Ding, 2004). La Comisión Europea calcula que el sector es consumidor del 50% de las materias primas extraídas en Europa (European Commission, 2011). Asimismo, es un importante generador de residuos (Dahlbo, H. et al., 2015).

Tal como se ha abordado en el apartado anterior, una de las grandes ventajas de la tierra son sus importantes beneficios medioambientales. Algunos de los más significativos serían su baja energía incorporada, una emisión de gases invernaderos minimizada y sus características reversibles, además de ser un material local y natural (Hamard E. 2017; Morel et al. 2001; Venkatarama Reddy, B.V et al. 2003; Floissac L. et al. 2009; Keefe, L. 2012; Serrano, S. et al.2016).

Entre los residuos de la construcción, alrededor del 75% están constituidos por tierras minerales (Rouvreau et al., 2010; Cabello Eras et al., 2013), materia prima para las construcciones con tierra. Las tierras minerales se dividen en función de su granulometría. De la más grande a la más pequeña encontramos: las piedras, las gravas, las arenas, los limos y las arcillas. La proporción de cada fracción, así como su naturaleza mineralógica, es única y diferente en cada zona; ello aporta una gran diversidad de aspectos, colores, texturas y posibilidades arquitectónicas en las construcciones con tierra (Fontaine et al., 2009).

La utilización de estas tierras en la propia construcción permite reducir el consumo debido al transporte (Dipote Mollinedo, 2010; Cabello Eras et al., 2013). También se pueden utilizar para mantener y rehabilitar el patrimonio existente. Por último, la tierra empleada ya en una construcción, cuando ésta llega al fin de su vida útil, puede volverse a usar en una nueva construcción. Su reutilización es ilimitable. O sea que no genera un residuo.

A modo de ejemplo, en la región de Bretaña, en Francia, el año 2016 se cuantificó que al menos el 23% de las tierras procedentes de los trabajos de movimiento de tierras podrían ser muy óptimas para las construcciones en Cob de la región, y estas tierras habrían permitido la construcción del 52% de las viviendas unifamiliares (Hamard et al., 2018).

Por todo lo expuesto anteriormente y frente a la situación actual de “crisis climática”, la utilización de la tierra como material de construcción puede posicionarse como una excelente alternativa para explorar e implementar nuevas alternativas constructivas, funcionales, confortables, sostenibles, con baja huella medioambiental y gran potencial arquitectónico.

2. Incorporación de la tierra en los estudios de grado de Arquitectura Técnica

Desde la experiencia de los autores en las dos vertientes, la docente y la investigadora, se cree necesario crear vínculos sociales entre la recuperación del patrimonio existente, y la utilización de la tierra como alternativa constructiva sostenible, con el objetivo de impulsar el conocimiento y aprendizaje del material para generalizar, dentro de sus limitaciones, su uso. Y, para llevar a cabo dicho propósito, se considera fundamental formar en estos aspectos a los futuros técnicos del ámbito de la arquitectura y de la construcción, independientemente del recorrido profesional en el que se dirija el ejercicio de su profesión.

En este artículo, se plantea el diseño de una asignatura de construcción con tierra para el Grado Universitario de Arquitectura Técnica y equivalentes, dividida en módulos temáticos de conocimiento. El hecho de plantear una asignatura estructurada en módulos, permitiría, a su vez, la posibilidad de incorporarlos en otras asignaturas menos específicas en la temática, y poder abordar de esta manera la construcción con tierra, en

las diferentes etapas de los estudios y en diferentes contextos de aprendizaje dentro del Grado Universitario. Esta flexibilidad de transmisión de conocimientos, también favorece su incorporación en los distintos planes de estudio de las diferentes universidades, tanto públicas como privadas, del sistema nacional de estudios universitarios.

2.1 Objetivos de la asignatura

El objetivo principal de la asignatura es aportar a los estudiantes universitarios los conocimientos necesarios sobre la tierra, como material de construcción, y las características de los elementos constructivos hechos con tierra.

Actualmente, la tierra ya se estudia como material de soporte de las construcciones (los suelos) a nivel geotécnico. En esta nueva asignatura, y partiendo del conocimiento inicial geotécnico que se imparte en la primera etapa de los estudios, proponemos conocer cómo incorporar la tierra como material constructivo más allá del uso actual explicado.

Para ello, se propone abordar, a través de los distintos módulos: desde las características físicas y químicas del material, pasando por las características prestacionales de los productos obtenidos (tanto mecánicas, térmicas, acústicas, de durabilidad, reacción al fuego, etc.), hasta el conocimiento de las diferentes técnicas constructivas, las tradicionales y las más modernas y tecnológicamente avanzadas. También, será importante incluir aspectos de control de calidad, tanto del material como de los elementos constructivos durante su ejecución y una vez ejecutados.

Asimismo, se prevén módulos temáticos relacionados con la planificación de obra, el proceso constructivo, el cálculo de los elementos con funciones estructurales, el diseño de las instalaciones, y sobre todo la diagnosis e intervención en la rehabilitación.

Los conocimientos teóricos se complementarán mediante prácticas de laboratorio, visitas de obra y realizaciones de prototipos a escala real.

3. Estructuración de la asignatura

A partir del plan de estudios vigente del grado de arquitectura de la EPSEB-UPC, hemos podido establecer 5 bloques o módulos principales para la asignatura de “Construcción con tierra” (Ver Figura 1):



Figura 1. Módulos principales de la asignatura “Construcción con tierra” y asignaturas del grado de arquitectura técnica donde se podrían integrar.

Fuente: Elaboración propia (2023)

- Características de la tierra como material de construcción (Módulo 1)

La propuesta del módulo temático abordará tres objetivos de aprendizaje básicos:

2023, Universidad de Granada

1. El impacto medioambiental y social de la tierra, desde su extracción hasta su gestión como residuo (ciclo de vida).
2. Los conocimientos sobre las características físicas y químicas de la tierra como material de construcción: composición granulométrica, composición mineralógica, cantidad de finos presentes, índices de plasticidad, densidades y porosidad accesible, resistencias mecánicas, movilidad del agua a través del material, permeabilidad al agua líquida y al vapor de agua, succión capilar.
3. Saber extraer e interpretar la información útil contenida en un estudio geotécnico desde la perspectiva de la construcción con tierra.

El conjunto de estos objetivos será abordado a partir de sesiones teóricas y de ejercicios prácticos. La parte práctica será en forma de ejercicios en clase complementados con ensayos de laboratorio.

- Técnicas y sistemas constructivos con tierra (Módulo 2)

Este módulo temático abordará tres aspectos:

1. Conocimiento de la evolución histórica de las técnicas constructivas con tierra y sus especificaciones geográficas y sociales. Las arquitecturas vernáculas y tradicionales son una importante fuente de inspiración para entender y recuperar principios bioclimáticos y aprendizajes técnicos respetuosos con el medioambiente. Estos conocimientos serán transmitidos en forma de curso magistral, audiovisuales, y acompañado de un trabajo de investigación individual sobre el estudio de un territorio establecido.
2. Conocimiento de los diferentes sistemas constructivos con tierra tradicionales y actuales (Figura 2). El objetivo de este apartado es dotar a los estudiantes de las herramientas necesarias para pre-dimensionar, diseñar y calcular sistemas constructivos con tierra. Pero también, adecuar la presencia de la tierra a la tipología y uso de las edificaciones. Una parte de estos conocimientos serán transmitidos a partir de cursos teóricos, y serán completados con la realización de talleres prácticos. Concretamente, se propone llevar a cabo prototipos de estudio de las diferentes técnicas constructivas a escala real o reducida.
3. Los principios fundamentales, teóricos y prácticos, aplicados a la edificación como son la mecánica, la higrotermia, la acústica, la sísmica o la reacción al fuego. El conjunto de estos conceptos será abordado a partir de sesiones teóricas y de ejercicios prácticos en forma de ejercicios en clase complementados con ensayos de laboratorio.

- Reglamentación y normativa vigente para construir con tierra (Módulo 3)

En cualquier realización arquitectónica es esencial conocer el marco reglamentario. Los futuros arquitectos/as técnicos/as deben conocer el régimen jurídico y reglamentario de la utilización de materiales naturales como la tierra. En este módulo temático, se presentará un resumen de las normativas internacionales de mayor relevancia. También se mencionará la documentación necesaria para poder homologar las edificaciones construidas en tierra y sus condicionantes. Este módulo temático será principalmente teórico, y se acompañará con un ejercicio práctico en grupo sobre un estudio de caso concreto.



Figura 2. Técnicas constructivas con tierra

Fuente: Elaboración propia (2023)

- Planificación y gestión de obras con tierra (Módulo 4)

Los proyectos con tierra u otros materiales naturales no encajan especialmente en las planificaciones y modelos organizativos clásicos de los proyectos arquitectónicos. Por ende, la adquisición de conocimientos específicos a las construcciones de tierra y su planificación es esencial.

Este módulo busca capacitar al estudiantado para planificar, programar y organizar las siguientes etapas constructivas: el acopio de material, los procesos constructivos, los equipos de obra, y los medios técnicos y humanos para su ejecución y mantenimiento.

Para el aprendizaje de dichas etapas constructivas, los cursos teóricos se acompañarán de ejercicios prácticos de planificación. Los conocimientos adquiridos serán completados con visitas de obra.

- Estudio de las lesiones, diagnosis, rehabilitación, restauración y conservación de las construcciones con tierra (Módulo 5)

Se darán herramientas que capaciten al estudiantado para diagnosticar las causas de las lesiones y deficiencias de las edificaciones con tierra. Se mostrarán ejemplos de posibles soluciones para evitar y subsanar las diferentes lesiones o deficiencias. Se explicarán las herramientas y equipos específicos, para el estudio de lesiones, para los elementos de tierra (la maleta del diagnosticador). Además de analizar conjuntamente la interpretación de los resultados.

En este apartado, será muy importante indicar cómo se ha de elaborar la documentación escrita y gráfica de las edificaciones existentes (levantamientos de planos y mapeo del estado actual de las edificaciones estudiadas) y saber realizar toma de datos y campaña de muestras. En este caso, será muy recomendable hacer hincapié en el estudio del ambiente, con especial atención a las humedades del terreno.

Los cursos teóricos irán acompañados por el estudio de casos reales. También se propone realizar prácticas de intervención en el laboratorio, a través de la confección de maquetas que visibilicen las posibles intervenciones a llevar a cabo en los casos reales.

4. Conclusiones

- Los estudiantes de hoy, los futuros técnicos del mañana, no deben acabar sus estudios de grado en Arquitectura Técnica sin los conocimientos básicos de este material, de sus posibilidades, y técnicas constructivas. Aun siendo un material usado desde nuestros ancestros, los conocimientos científicos, la tecnología y el desarrollo actual nos permiten recuperar dichas técnicas para mejorarlas y hacer que el proceso constructivo pueda ser más sostenible.
- No se pretende reemplazar la impartición de los conocimientos actuales, sino complementar, añadir y sobre todo modernizar, dentro de los parámetros de arquitectura sostenible y construcción circular.

- Esta propuesta pretende abordar, a través de los distintos módulos, el material, las técnicas y sistemas constructivos, la normativa, la planificación, y la diagnosis y rehabilitación de construcciones con tierra.
- Los cinco módulos de aprendizaje propuestos tienen un formato innovador con la incorporación de marco práctico transversal basado en las prácticas de laboratorio, la realización de prototipos a escala real y reducida, construcción de maquetas, análisis de casos reales y visitas de obra.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer la financiación recibida en el marco de la subvención TED2021-129705B-C32

Referencias

- Avrami E, et al. 2008. Terra Literature Review: An Overview of Earthen Architecture Conservation. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute.
- Berge B. 2009. The ecology of building materials, 2nd edition. Ed. Elsevier.
- Cabello Eras, J. J. et al. 2013. Improving the environmental performance of an earthwork project using cleaner production strategies. Journal of Cleaner Production. Ed. Elsevier Ltd, 47, pp.368–376.
- Cid J. et al. 2011. Las normativas de construcción con tierra en el mundo. Informes de la Construcción, 63(523), pp. 159–169.
- Correia M, et al. 2014. Versus. Lessons from vernacular heritage to sustainable architecture. CRAterre-, Vernacular Heritage and Earthen Architecture. CRAterre.
- Dahlbo H. et al. 2015. Construction and demolition waste management - A holistic evaluation of environmental performance". Journal of Cleaner Production, nº107. p.333–341.
- Ding G. K. C. 2004. The development of a multi-criteria approach for the measurement of sustainable performance for built projects and facilities. Thèse doctorale. University of Technology, Sydney. p. 404.
- Dipotet Mollinedo, L. G. 2010. Gestión Energética en obras de Movimiento de tierra.
- European Commission 2011. Roadmap to a Resource Efficient Europe.
- Floissac L, et al. 2009. How to assess the sustainability of building construction processes. Fifth Urban Research Symposium, 1–17.
- Fontaine L, et al. 2009. Bâtir en terre. Du grain de sable à l'architecture, in Belin, C. des sciences et de l'industrie (ed.).
- Global Cement and Concrete Association, 2021. Concrete future – GCCA 2050 cement and concrete industry roadmap for net zero concrete. London.
- Grace K C Ding. 2004. The development of a multi-criteria approach for the measurement of sustainable performance for built projects and facilities. PhD, University of Technology, Sydney.
- Grossein O. 2009. Modélisation et simulation numérique des transferts d'eau, de chaleur et de solutés dans le patrimoine architectural en terre, en relation avec sa dégradation. Université Joseph-Fourier - Grenoble I.
- Guillaud H. 1998. Tradition et modernité des cultures constructives de l'architecture de terre : panorama mondial et enjeux actuels sur la recherche, la formation, la documentation et la normalisation, p. 23.
- Hamard E. 2017. Rediscovering of vernacular adaptative construction strategies for sustainable modern building : application to cob and rammed earth. Thèse doctorale. Université de Lyon.
- Hamard E, et al. 2018. A new methodology to identify and quantify material resource at a large scale for earth construction - Application to cob in Brittany. Construction and Building Materials, 170(May), pp.485-497.

- Houben H, et al. 2006. *Traité de construction en terre*, CRAterre. Ed. Parenthèse. Marseille.
- Keefe L. 2012. *Earth Building, Methods and materials, repair and conservation*. Taylor & Francis Group, Abingdon (UK).
- Leylavergne E. 2012. *La filière terre crue en France. Enjeux, freins et perspectives*. Diplôme de Spécialisation et d'Approfondissement – Architecture.
- Manish K. Dixit 2019. Life cycle recurrent embodied energy calculation of buildings: A review. *Journal of Cleaner Production* n° 209. 2019. p. 731–754.
- Marsh A. T. M. et al. 2021. The state of earthen housing worldwide: how development affects attitudes and adoption », *Building Research and Information*. Taylor & Francis, 0(0), pp. 1–17.
- Minke G. 2006. *Building with earth – Design and technology of a sustainable architecture*. Ed. Birkhauser.
- Morel, J.C. et al. 2001. Building houses with local materials: Means to drastically reduce the environmental impact of construction. *Building and Environment*, 36(10), 1119–1126.
- Morel J. C. et al. 2019. What are the barriers affecting the use of earth as a modern construction material in the context of circular economy?. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225(1).
- Rouveau L, et al. 2010. *Rapport Final Projet ANR ASURET, Revue de l'existant*, (BRGM/RP-58935-FR), p.161.
- Sauvage M. 2009. Les débuts de l'architecture de terre au Proche-Orient, in *Mediterra -1st Mediterranean conference on earth architecture*, pp. 189–198.
- Sénépart I, et al. 2015. La construction en terre crue au Néolithique Un état de la question en France, *Archeopages: archéologie & société*, n°42, pp. 6–19.
- Serrano S, et al. 2016. Adaptation of rammed earth to modern construction systems: Comparative study of thermal behavior under summer conditions. *Applied Energy*. Elsevier Ltd, 175, 180–188.
- Van Damme H. et al. 2017. Earth concrete. Stabilization revisited. *Cement and Concrete Research*. Elsevier Ltd, 114(May 2017), pp. 90–102.
- Vegas. F, et al. 2022. Sustainability, Risks and Resilience of Vernacular Architecture, *International Journal of Architectural Heritage*, 16:6, 817-819.
- Venkatarama Reddy B.V, at al. 2003. Embodied energy of common and alternative building materials and technologies. *Energy and Buildings*, 35(2), 129–137.
- Villain V. 2020. *Sociologie du champ de la construction en terre crue en France (1970-2020)*. Thèse doctorale. Université de Lyon. p.484.
- Watson L, et al. 2011. The cob building technique: Past, present and future, *Informes de la Construcción*, n°63(523), pp. 59–70.

Mejoras en la seguridad de la protección individual contra caídas. Estudio de absorbedores de energía, equipos de amarre y selección correcta de nudos

Sáez, Pedro Ignacio ^a, Carrión, Elena Ángela ^b, García-González, Encarnación ^a y Jiménez, Antonio ^a

^aBuilding Sciences & Urbanism Department, University of Alicante, 03690 Alicante, Spain; pi.saez@ua.es, encarna.garcia@ua.es; antonio.jimenez@ua.es

^bCRESMES, Research Group for Testing, Simulation and Modelling Structures in Civil Engineering and Architecture, Civil Engineering Department, University of Alicante, 03690 Alicante, Spain; elena.carrion@ua.es,

Abstract

En la actualidad, la protección contra caídas de altura ha incorporado grandes novedades, la aplicación de los sistemas de acceso mediante cuerda en el ámbito laboral, especialmente para la investigación científica del patrimonio histórico arqueológico inaccesible, ha producido un creciente interés. Este estudio profundiza en el análisis de la seguridad para algunos de los elementos más empleados en los sistemas de protección contra caídas. Se plantea obtener un mayor número de datos empíricos fiables en laboratorio, con el objeto de mejorar algunos elementos como absorbedores de energía, equipos de amarre y nudos. El proyecto de investigación se trata de una tesis doctoral por compendio de publicaciones que se fundamenta en dos fases, una parte previa, basada en la experiencia personal y recopilación de datos durante más de veinte años de todos estos equipos, sistemas y técnicas mediante trabajos de campo en obras singulares y proyectos de investigación arqueológica; y una segunda fase, de investigación empírica mediante ensayos en laboratorio. Como resultado, se publican cinco artículos de investigación multidisciplinar, donde se ha colaborado con distintas áreas del conocimiento como ingeniería, arquitectura o humanidades. Se consiguen dos becas para realizar proyectos internacionales, firmas de convenios de colaboración con ministerios, universidades y empresas del sector.

Un apartado relevante relacionado con las expediciones arqueológicas verticales en América latina son las actividades de formación, cooperación y desarrollo de las comunidades locales. Como resultado, se implementa un nuevo procedimiento de trabajo seguro denominado Arqueología Vertical. La aplicación de los sistemas de acceso mediante cuerdas permite el estudio de nuevos aspectos artísticos y patrimoniales en civilizaciones antiguas, así como el acceso de la comunidad científica a lugares que hasta ahora habían permanecido ocultos. La mejora del conocimiento sobre el comportamiento de los nudos de anclaje, absorbedores de energía y equipos de amarre evitará accidentes graves, algunos incluso mortales, mejorando la seguridad y salud de los investigadores.

Keywords: Knots, Rope, Fall arrest systems, Vertical work, Personal protective equipment against falls

1. Introducción

En los últimos años, en la zona de los Andes amazónicos marcada por una orografía abrupta y vertical, algunos proyectos de investigación arqueológica recurren a la utilización de técnicas complejas de acceso mediante cuerda (figuras 1a y 1b). En muchas de estas expediciones se transponen directamente los equipos empleados en el ámbito deportivo, principalmente técnicas de escalada, espeleología o barranquismo (Fabre, 2008; Stirn, 2014; Toyne et al., 2018). Utilizar directamente estas técnicas meramente deportivas, puede suponer un grave riesgo y ocasionar graves accidentes debido al perfil inexperto de los investigadores. Los científicos suelen ser personal con poca o ninguna formación en técnicas de montaña; por tanto, es esencial aumentar su seguridad adaptando estos sistemas al perfil del usuario.



(a)



(b)

Figura 1: (a) Exploración en Machu Picchu. (b) Trabajos con pinturas rupestres, Leymebamba

Fuente: elaboración propia

En el ámbito laboral, donde existen más datos registrados sobre los trabajos en altura en estudios recientes, se puede analizar estos riesgos sobre la accidentabilidad ocasionada. En la industria de la construcción de EE.UU estos accidentes provocaron 5.701 muertes entre los años 2003 y 2018, alcanzando en 2019 un total de 1.102 fallecimientos, el valor más alto desde 2011 (Dong et al., 2021). Según datos obtenidos por el Center for construction Research and Training en 2018 se registraron 633 fallecimientos y 51 hospitalizaciones (Dong et al., 2019). Safe Work Australia (2021) recopila las muertes por lesiones relacionadas con el trabajo, y en concreto las ocasionadas por caídas de altura, determinando que en 2021 son la tercera causa de mortalidad laboral, con veintidós muertes que suponen un 11 % sobre el total de los fallecimientos. En España en el año 2020 las estadísticas reflejan datos muy similares a los australianos, un total de 86 muertes como resultado de caídas, que representan un 11,39 % sobre el total de accidentes mortales (Ministerio de Trabajo y Economía Social (MITES), 2020). Según el Instituto de Seguridad y Salud en la Construcción de Gran Bretaña (HSE, 2022), las caídas de altura constituyen la principal causa de mortalidad, representando el 50 % del total de los accidentes mortales.

Como hipótesis de trabajo, se propone utilizar un Procedimiento de Trabajo Seguro (en adelante PTS) basado en Sistemas de Protección Individual Contra Caídas (en adelante SPICC), que consta principalmente de tres partes: arnés integral, anclaje y sistema de conexión. Además, hay otros elementos y componentes importantes, como cuerdas, conectores, absorbedores de energía o equipos de anclaje entre otros, que se utilizan para completar los complejos sistemas de trabajo en altura (Carrión et al., 2016; Menchacatorre & Castelló, 2015; Pomares et al., 2020).

La probabilidad de accidentes con consecuencias graves se ven aumentadas si los usuarios carecen de la formación necesaria, originando un riesgo severo (Carrión et al., 2014); un uso eficiente de los SPICC puede contribuir a aumentar notablemente la seguridad (Carrión et al., 2016).

2. Objetivos

Se plantea como meta general de la tesis doctoral desarrollar e implementar un PTS basado en técnicas de trabajo en altura con cuerdas, de manera que se permita el acceso a lugares complejos, para el estudio multidisciplinar de nuevos yacimientos arqueológicos por parte de científicos e investigadores.

De manera pionera, con este PTS se combinan y adaptan los sistemas, técnicas y equipamientos de varios ámbitos diferentes, el deportivo, el laboral, y el de rescate y salvamento. Esta novedad es fundamental para garantizar dos aspectos: en primer lugar, los estándares de seguridad adecuados para personal no experto como científicos e investigadores, y, en segundo lugar, la preservación y el respeto del patrimonio mediante el uso adecuado de las técnicas y materiales empleados. La adaptación y combinación de ámbitos diferentes permite el aprovechamiento óptimo de las técnicas disponibles, primando la seguridad con aquellos usuarios inexpertos. En este sentido también se ha considerado la ligereza y ergonomía necesaria de los equipos en la fase de exploración por parte del personal técnico especializado, permitiendo un acceso preliminar a ubicaciones que serían inalcanzables con sistemas que emplean sistemas de seguridad redundante.

Como objetivo específico se estudia el comportamiento de algunos de los principales elementos o componentes que se utilizan en los sistemas de progresión por cuerda. Los equipos de amarre, absorbedores y cuerdas son analizados de forma pormenorizada en el laboratorio. En concreto, los nudos son uno de los aspectos más relevantes en la seguridad de los sistemas de trabajo en altura. Por ello, entre los objetivos de este estudio se encuentran: poder determinar la eficiencia de los distintos nudos de anclaje empleados en las instalaciones de progresión por cuerda, y mejorar el comportamiento de los absorbedores y equipos de amarre empleados en estos sistemas.

3. Metodología

Partiendo de la hipótesis general dada por válida sobre la aplicación de los sistemas de acceso mediante cuerdas, y el desconocimiento de los investigadores de estas técnicas, se ha utilizado el método hipotético-deductivo. Se recopiló documentación bibliográfica, estadística, fotográfica mediante el trabajo de campo, para finalizar con la publicación del artículo sobre Arqueología Vertical. Se incluye como fuente alternativa de conocimiento la propia experiencia profesional y personal del doctorando que cuenta con más de 30 años de servicio en bomberos, operaciones de rescate y salvamento en montaña, así como la participación en proyectos de cooperación internacional en distintos organismos, instituciones y ONGD, entre los que destaca su implicación con la asociación Ukhupacha.

En los artículos realizados sobre equipos de amarre, absorbedores, cuerdas y nudos empleados en Arqueología Vertical se emplea un método analítico que ha consistido en descomponer y estudiar de forma individual, algunos de estos equipos más relevantes empleados en el PTS propuesto. Se realizan ensayos de laboratorio para obtener mediante guías de observación, datos fiables y objetivos, siguiendo protocolos normativos y planes de ensayos rigurosos, de forma que la experimentación se registra de forma sistemática y en un entorno controlado. La investigación documental ha estado presente en todo el proceso de recopilación y síntesis bibliográfica, y constituye la base teórica del trabajo. Por último, la investigación y trabajo de campo ha sido realizada principalmente en las más de veinte expediciones gracias a la colaboración con la Asociación Ukhupacha.

Posteriormente se analiza y sintetiza toda la información y los datos obtenidos, buscando la respuesta a los problemas planteados, dando explicaciones y resultados, bien en línea, o bien en contraposición a otros autores, para finalmente contrastar y validar la hipótesis de partida. De forma novedosa el PTS para Arqueología Vertical, está siendo utilizado actualmente por diversas administraciones, universidades, empresas especializadas, instituciones, y asociaciones comunales.

4. Resultados

Como finalización de todo este periodo de investigación de la tesis doctoral, se resumen los principales resultados publicados en varias revistas de investigación científica.

4.1. Arqueología Vertical: Seguridad en el Uso de Cuerdas para la Investigación Científica de las Culturas Andinas Precolombinas (Saez, 2021)

En primer lugar, señalar el PTS y los sistemas a utilizar en cada una de las tres fases: exploración, formación y expedición (figuras 2a y 2b). Otro resultado notable es la elección y adaptación de los materiales, técnicas y Equipos de Protección Individual (EPI) adecuados para realizar estos trabajos; los equipos se detallan por

apartados, destacando lo más significativo de cada uno de ellos. Finalmente, en el apartado de resultados de esta publicación, se habla sobre la necesidad de establecer un Plan de Emergencia previo al inicio de cualquier actividad.

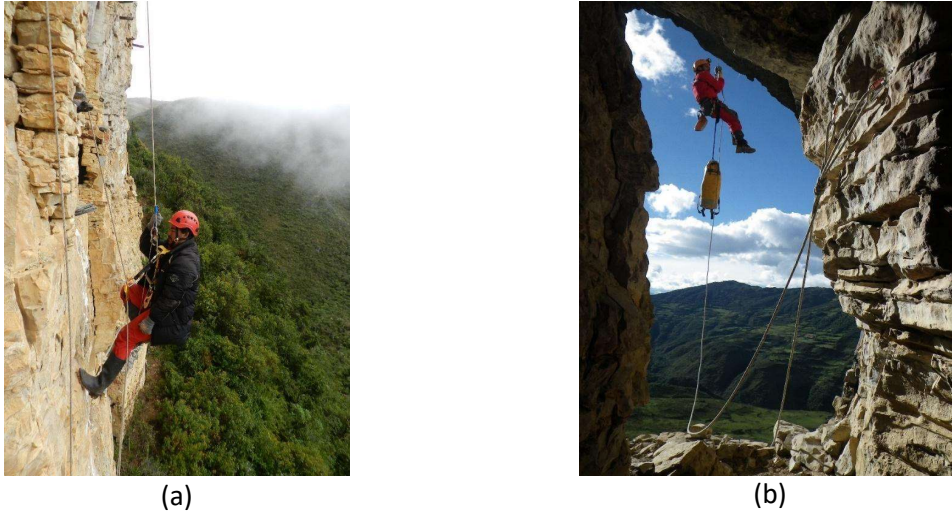


Figura 2: (a) Doble cuerda, acceso y seguridad para seguridad en arqueólogo del Ministerio de Cultura (Perú). (b) Fase inicial de exploración en la zona de Leymebamba (departamento Amazonas)

Fuente: elaboración propia

En más de 20 años de experiencia aplicando este nuevo PTS denominado Arqueología Vertical, solo se han registrado dos accidentes, ambos durante las caminatas para acceder a las verticales. Uno de ellos, se debió a un esguince de tobillo, y el otro, a una caída por un terraplén al derrumbarse parte de un camino. Por todo lo anterior, se puede concluir que las técnicas verticales de progresión por cuerda, correctamente aplicadas bajo la supervisión de expertos, es una técnica de trabajo muy segura, ya que no se ha contabilizado ni un solo accidente durante los trabajos en suspensión.

En total, en las expediciones realizadas entre 2002 y 2017 se han registrado un total de 24.920 horas trabajadas, de las cuales 12.460 horas corresponden a los trabajos en suspensión. El número de personas formadas por la asociación Ukhupacha ha sido de 65 científicos-investigadores y 16 técnicos de trabajos en altura (Ukhupacha, 2023). Se ha colaborado en este periodo con 17 proyectos de distintas universidades, empresas, instituciones y administraciones: Universidad Jaume I de Castellón, Universidad de Alicante, Universidad Central de Florida, Project INTERFASI, Qhapaq Ñan, Ministerio de Cultura de Perú, Centro de Innovación Vertical en Lima (Perú) o la Petzl Foundation (Francia).

La seguridad y la prevención de riesgos en los trabajos en altura son fundamentales. Ante todo, los investigadores deben estar comprometidos con la seguridad en sus intervenciones. El uso de los sistemas de protección individual adecuados y los EPI adecuados es un primer paso para lograrlo.

4.2. Distancia de seguridad en los sistemas anticaídas con absorbedor de energía (Carrión, 2021)

En este trabajo se estudia la distancia mínima requerida por el sistema para que el trabajador en caso de caída no alcance el suelo. Para ello, se somete al equipo a la mayor caída que se permite, factor de caída $F_c = 2$ con 100 kg, y se cuantifica la elongación con la cámara de alta velocidad (midiendo la deformación plástica y elástica y ella es comparada con el dato facilitado por el fabricante).

La energía de deformación fue absorbida con fuerza variable durante el proceso de detención; esta energía está compuesta por una parte de energía plástica generada durante el alargamiento plástico del equipo de amarre con absorbedor de energía incluido (EAL), que normalmente era la mayor parte, y otra parte menor de energía elástica generada durante el alargamiento elástico del EAL y que se recuperaba tras la descarga. La energía potencial en el punto más alto debe ser igual a la energía de deformación en el punto más bajo, Ecuación (1).

$$m \cdot g \cdot (2 \cdot L + S_{max}) = F'_a \cdot S_p + \frac{1}{2} \cdot F'_a \cdot S_e \quad (1)$$

Cuando se opera, la fuerza de descosido promedio teórica (F'_a) se puede resolver y es calculada según la Ecuación (2):

$$F'_a = \frac{m \cdot g \cdot (2 \cdot L + S_{max})}{(S_p + \frac{1}{2} \cdot S_e)} \quad (2)$$

donde m es la masa del operario (kg); g es la aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$); L es la longitud del EAL (m); F'_a es la fuerza de despliegue teórica media (N); S_p es el alargamiento plástico (metros); S_e es el alargamiento elástico (metros); S_{max} es el alargamiento total (metros). Las fuerzas máximas se obtienen de la lectura directa y las fuerzas medias se obtienen analizando los puntos de la curva fuerza-tiempo en cada ensayo. Alguna de las pruebas arroja un valor de F_m superior a 6 kN, superando el umbral de lesión asumido por la EN 355 (European Committee for Standardisation [CEN], 2002). En dos de las pruebas de EAL se está en el límite de seguridad; estos equipos no deberían estar disponibles en el mercado porque no cumplen los requisitos de la EN 355 y, por lo tanto, se presume que no cumplen con el Reglamento (UE) 2016/425 (Union, O. J., 2016). En conclusión, a la vista de los resultados obtenidos, deben ser eliminados del grupo de análisis por no cumplir el requisito reglamentario y normativo de no alcanzar una fuerza máxima de detención de 6 kN (CEN, 2002).

4.2.1. Elongaciones

El alargamiento plástico (S_p en la Figura 3a) se encuentra en todos los casos por debajo de los 1,75 m, alargamiento máximo requerido por EN 355 (CEN, 2002). En la mayoría de los equipos, la deformación elástica representa aproximadamente el 18 % del total, significativamente menor que la deformación plástica. Por lo tanto, un requisito normativo y de prueba basado únicamente en el alargamiento plástico parece, a primera vista, adecuado. En la Figura 3b se muestra el alargamiento en función de la caída libre. Cabe señalar que el objetivo es un equipo que minimice la fuerza y el alargamiento (mm) en cualquier altura de caída.

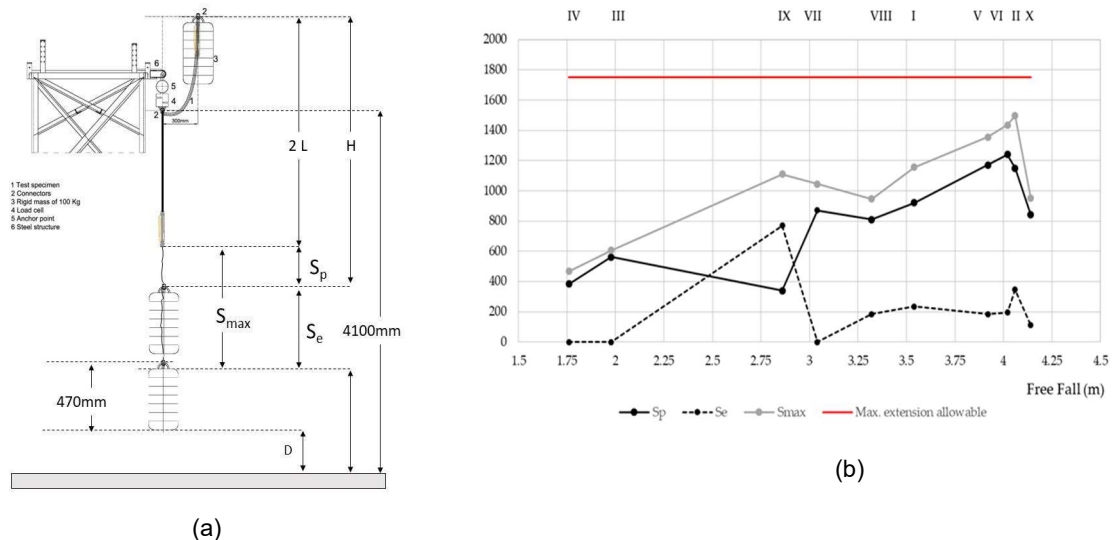


Figura 3: (a) Procedimiento en prueba de comportamiento dinámico. (b) Alargamientos
Fuente: Elaboración propia

No obstante, vale la pena señalar que los nuevos diseños, con un alargamiento altamente elástico, de alrededor del 70 % del total, es probable que cumplan con el requisito reglamentario (<1750 mm). De hecho, tienen un alargamiento muy pronunciado, tal que el usuario alcanzaría un obstáculo por debajo, ya que el requisito reglamentario sólo considera el alargamiento plástico (el total es bastante mayor). La relación que existe entre la caída libre y S_{max} es lineal, siendo la correlación entre ambas medidas de 0,85 (10 muestras). La distancia de caída (caída libre) explica el 72 % de la variabilidad observada en la S_{max} . El coeficiente de ajuste entre los

dos conjuntos de datos fue de 0,333 (la pendiente de la línea de regresión), por lo que se puede concluir que S_{max} representa un tercio de la distancia de caída. La apertura máxima (Figura 3b) obtenida fue de 1,5 m, un 14 % inferior al máximo permitido por la norma. Para absorbedores con grandes deformaciones elásticas (ensayo IX), la utilización de la distancia de detención definida en la norma está muy alejada del valor real de la distancia de detención. Para el resto de los equipos, esta variación no supera el 17 %.

4.3. Fuerza Media de Abertura y Fuerza Máxima de parada en los equipos de amarre con Absorbedores de Energía (Carrión, 2020)

Los resultados obtenidos, expresados en este apartado, se estudian en comparación con los requisitos normativos vigentes en Europa (CEN, 2002). Se presenta una tipificación de la curva fuerza-tiempo en el fenómeno de detención de caída con equipos de amarre con absorbedor de energía incluido (EAL), con factor de caída $F_c = 2$ y 100 kg de masa. Se analizan los resultados obtenidos y su influencia en el impacto que recibiría el usuario.

4.3.1. Longitud del EAL

En el caso de EAL con cuerdas regulables, la medida se ha tomado con el equipo regulado en su longitud máxima. Las longitudes de los absorbedores integrados en equipo de amarre varían en cada muestra seleccionada, tenemos muestras en un rango entre 91 y 207 cm de longitud inicial con conector, las diferentes longitudes permiten una distancia de caída libre entre 182 y 414 cm (longitud doble). Las mediciones de longitud inicial (con conectores estándar de 10 cm) revelan que, en tres casos, la longitud total con conectores supera los 2 m permitidos por la mayoría de las normas, excepto la norma Z259.11.17 (CSA, 2015) donde no se incluye este requisito. Dos de las muestras destacan por la gran diferencia de longitud del equipo indicado por el fabricante en su manual, y el medido realmente en el laboratorio.

4.3.2. Absorción de Energía, F_m y F_a

La altura máxima de caída permitida por cada muestra (h) y la capacidad mínima de absorción se estudian en este apartado para cada uno de los EPI estudiados (Figura 4). La altura máxima de caída ha sido calculada por los autores como el doble de la longitud medida ($L_i * 2$), sobre el EAL con conectores en extensión, pero sin carga. La absorción de energía mínima necesaria para no alcanzar la F_m se puede estimar de acuerdo con la Ecuación (3)

$$E = m g h \quad (3)$$

donde E es la energía potencial (J), m es la masa del usuario (kg), g es la aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$) y h es la distancia de caída libre (m). La capacidad mínima de absorción de energía que debe tener cada equipo ha sido estimada de acuerdo con (3) y está en el rango de 1.78 kJ y 4.06 kJ.



Figura 4: Muestras después de la prueba de rendimiento dinámico

Fuente: elaboración propia

Cuatro de las muestras superan la energía establecida por EN 355 (CEN, 2002) para absorbedores. Superan la longitud máxima normativa permitida para este tipo de equipos. Tres de las diez muestras requieren que el absorbedor disipe más energía que la mínima requerida por el estándar de 3.92 kJ, esto se debe a que la longitud real del equipo es mayor de los dos metros máximos contemplados por la norma. Los absorbedores

no se rompieron por completo, como se muestra en la Figura 4, habrían podido absorber más energía aumentando la altura de caída o la masa del operador. El requisito de no exceder los 2 m de longitud es infundado desde el punto de vista de F_m en el proceso de frenado.

4.4. Optimización en sistemas personales para detención de caídas. Estudios dinámicos experimentales sobre prototipos en equipos de amarre (Pomares, 2020)

4.4.1. Pruebas de factor de caída 2 ($F_c = 2$)

Se estudiaron equipos de amarre comercializados sin absorbedor, además de equipos fabricados como prototipos por los autores con cuerdas dinámicas y nudos de ocho como terminales. Restringiendo este estudio solo a los equipos que tienen una longitud de aproximadamente 1,50 m, los resultados de los prototipos son mejores que los obtenidos en el grupo de equipos comercializados, ya que en el primer grupo solo se rompió uno, mientras que en el segundo grupo fallaron tres elementos de amarre comercializados. Además, entre los que retuvieron la carga, la fuerza máxima de detención presentó valores más bajos en los prototipos. La Figura 5 refleja al comportamiento dinámico de los prototipos sometidos a $F_c = 2$. Como se puede observar, la masa se retuvo, excepto en el ensayo 10 (realizado con cuerda kernmantle de bajo estiramiento). La prueba 9 mostró una fuerza de detención máxima de 12.632 N con un alargamiento del 20,87 %.

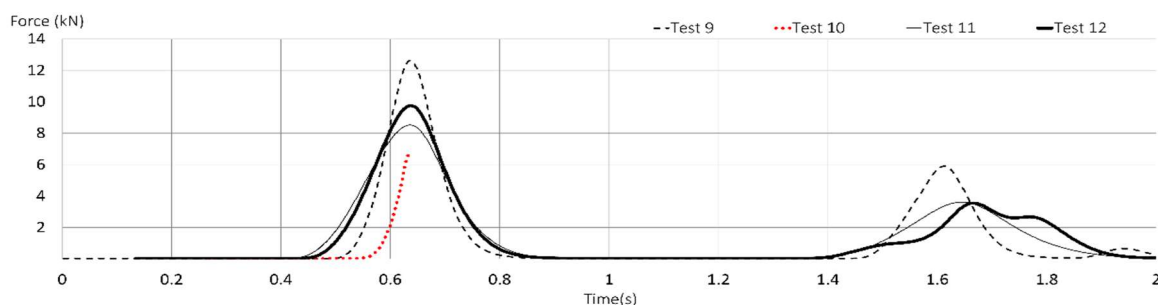


Figura 5: Curvas tiempo-fuerza de los Ensayos 9 a 12 (prototipos de eslingas textiles) con $F_c = 2$
Fuente: Elaboración propia

En el Ensayo 10 la rotura ocurrió en el estrangulamiento del primer nudo (Figura 6), bajo 7 kN, lo que significa una reducción de más del 75 por ciento en la resistencia estática, contrario a lo que afirman las empresas fabricantes. Además, el núcleo de las cuerdas sufrió daños en la zona de contacto con el conector.



Figura 6: Fracaso del espécimen en la Prueba 10
Fuente: Elaboración propia

4.5. Sistemas de acceso mediante cuerdas, determinación de la resistencia en cuerdas con nudos de anclaje: ensayos estáticos (trabajo en fase de publicación)

Los nudos son un elemento necesario para el sistema de acceso mediante cuerda, sin embargo, son escasos los trabajos recientes con nuevos materiales que se centren en el análisis de los nudos de anclaje bajo consideraciones estáticas. Los resultados y las conclusiones de trabajos previos reflejan datos muy heterogéneos. La utilización indiscriminada de todo tipo de nudos sin tener en cuenta su uso, junto al hecho de que el factor humano puede influir sobre una incorrecta realización del nudo, hace imprescindible dar respuestas a cuestiones de seguridad. Para los ensayos se emplean tres modelos de cuerda de distintos fabricantes, 5 series de ensayos con nudos y una última serie de ensayos de cuerda sin nudo. Cada serie de ensayos se compone de 5 roturas, así que se realizan 25 ensayos de rotura con nudo y 5 roturas sin nudo. Para cada modelo de cuerda el número de ensayos a realizar es de 30 roturas; el número total de ensayos a

rotura ha sido de 90. Como puede observarse en la Figura 7 el nudo Double Overhand Noose es el que mejor resultado presenta desde el punto de vista de la resistencia.

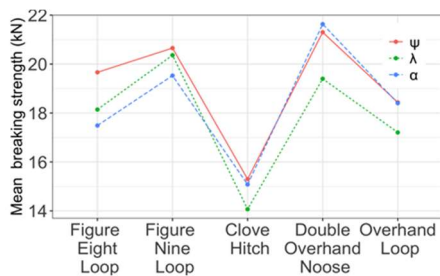


Figura 7. Resistencias: gráfico de interacción entre modelo de cuerda y tipo de nudo

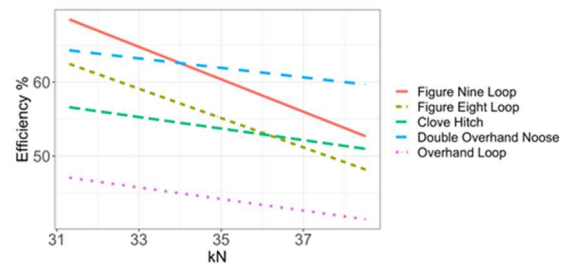


Figura 8. Eficiencia de los nudos en función de la fuerza de rotura de la cuerda

Fuente: elaboración propia

Como resultado destacable es reseñable que la eficiencia de cada nudo es una función lineal decreciente que depende de la fuerza de ruptura estática de la cuerda (Figura 8). El gráfico presenta dos tipos de rectas con pendientes claramente diferenciables. Por un lado, los nudos de la familia de lazo en ocho y lazo en nueve y, por otro lado, el resto. Los resultados de este artículo sobre nudos todavía se encuentran en fase de publicación.

5. Conclusiones

En cuanto a la utilización del PTS para **Arqueología Vertical**, la aplicación directa de técnicas y los EPI procedentes del ámbito deportivo, como la escalada o la espeleología, sin realizar un previo análisis de idoneidad supone un grave error que puede acarrear consecuencias negativas e incluso fatales para los investigadores. La transposición de estas técnicas requiere un estudio detallado por parte de especialistas experimentados, así como un proceso de adaptación de los equipos y sistemas, de forma que se adapten al perfil del usuario inexperto al que van dirigidos. La dilatada experiencia a lo largo de los proyectos realizados en más de dos décadas ha permitido observar notables diferencias entre el ámbito deportivo, el laboral y las técnicas específicas aplicadas en Arqueología Vertical; entre ellas conviene destacar: seguridad obligatoria, técnicas en expedición y formación siempre con doble cuerda, arnés adecuado en función de la fase de trabajo; técnicas de autosocorro específicas en función del entorno, capacitación obligatoria previa y por último, técnicas, equipos y sistemas adaptados a usuarios poco experimentados.

Las resistencias obtenidas en los **ensayos estáticos realizados sobre los nudos de anclaje** demuestran que cualquiera de los nudos ensayados, independientemente del modelo de cuerda, es capaz de resistir una fuerza de tracción lenta superior a los umbrales de lesión grave o mortal (12 kN). La resistencia mínima obtenida con cualquiera de los nudos y cuerdas ensayadas están dentro de márgenes de seguridad adecuados, y resultan aptos para el trabajo de acceso y posicionamiento mediante cuerdas en comportamiento estático. La elección del tipo de nudo sí que produce una variación importante en la resistencia de rotura a tracción; en cambio, la elección del modelo de cuerda no influye de manera tan significativa. Es factible representar la eficiencia de un nudo obtenida empíricamente mediante una recta decreciente dependiente de la resistencia a rotura estática de la cuerda empleada. Sería muy recomendable incluir en la normativa de aplicación, especificaciones técnicas referidas a la eficiencia de los nudos, para determinar su comportamiento frente a las cargas. Establecer una buena clasificación de nudos seguros, puede llevar a modificar los criterios de uso o de fabricación de distintos elementos, componentes y sistemas de los sistemas de protección individual contra caídas. La principal conclusión en esta fase de investigación con ensayos estáticos señala la idoneidad del nudo Double Overhand Noose para su uso como anclaje en instalaciones de cuerda.

Esta investigación ha permitido concluir en los **equipos de amarre con absorbedor** que el alargamiento plástico máximo podría ser reducido en un 29 %. El método descrito en la normativa EN 355 (CEN, 2002) subestima el alargamiento hasta en un 70 % para algunos equipos. El 20 % de los EAL superan la fuerza de detención máxima (F_m) permitida en la EN 355. Los datos proporcionados por los fabricantes sobre la distancia mínima de separación al suelo (MCD) no son fiables, son incompletos. Se recomienda fortalecer el control de

calidad para garantizar que los equipos lanzados al mercado cumplan con el requisito de la normativa. Los hallazgos de este estudio recomiendan aumentar al menos 1 metro más la distancia MCD calculada según la EN 355 (CEN, 2002). Los resultados de esta investigación han dado lugar a conclusiones relevantes para la seguridad del usuario. Es factible aumentar la seguridad de los requisitos establecidos por las diferentes normas. La F_m se puede establecer por debajo de 6 kN en el EAL, y la F_a se puede estimar en el 87,5 % de la F_m . Dos de los EAL adquiridos en el mercado superaron la F_m que permite la normativa, por lo que se recomienda incrementar los controles de calidad aplicados sobre los EAL (Energy Absorbers Lanyards) en los procesos de fabricación. No todas las pruebas de los **equipos de amarre** que se evaluaron con factor de caída $F_c = 2$ fueron capaces de retener la masa con éxito, es decir, sin romperse. La principal contribución de este estudio es que los prototipos hechos con cuerdas dinámicas y terminales anudados—sin absorbedor de energía—podrían retener con seguridad las caídas. Los resultados muestran que las normas EN 354 (CEN, 2011) y la EN 364 (CEN, 1993) deben incorporar requisitos dinámicos de prueba. Sorprendentemente, más del 90 por ciento de los trabajos realizados en alturas utilizan EPI sin absorbedor de energía.

Como líneas de investigación futuras debe señalarse que actualmente se está llevando a cabo un proceso de mejora y actualización de todos estos equipos y técnicas, ya que los procesos de formación y aplicación de los sistemas deben revisarse continuamente. La aparición de maquinaria y herramientas de nuevas tecnologías como topografía, fotogrametría 3D o aviones no tripulados (DRON) permiten un enfoque más seguro para sitios de investigación, acortando plazos y proporcionando nuevas líneas de exploración. Para próximos trabajos, es necesario ampliar conocimiento sobre los nudos analizando otras características como el comportamiento frente a ensayos dinámicos, la hipótesis sobre la relevancia de la confección del nudo y su geometría, y por último la funcionalidad del nudo o la complejidad para ser desatado una vez sometido a cargas.

Como resultado global de la tesis doctoral el nuevo PTS de Arqueología Vertical con la propuesta de organización de los trabajos en tres fases (exploración, entrenamiento y expedición) es una importante novedad respecto a proyectos de investigación previos. El Plan de Emergencia y las técnicas de autosocorro facilitan una notable reducción de los riesgos y una disminución en el número de accidentes. Por primera vez se incorporan técnicas de prevención y seguridad activa a este tipo de trabajos, así como EPI específicos y adaptados para cada fase de las intervenciones. El análisis pormenorizado y la adaptación de los nudos, equipos de amarre y absorbedores permiten aumentar la seguridad de los investigadores en entornos complicados, y las conclusiones obtenidas pueden ser transpuestas a otros ámbitos de intervención con trabajos en altura. Especialmente destacables son las actividades llevadas a cabo de formación, cooperación y desarrollo con las comunidades locales. La aplicación de los sistemas de acceso mediante cuerdas permite el estudio multidisciplinar de nuevos aspectos artísticos y patrimoniales en civilizaciones antiguas, así como el acceso de la comunidad científica a lugares que hasta el momento habían permanecido ocultos e inaccesibles.

Referencias

- European Committee for Standardisation (1993). Personal Protective Equipment against Falls from a Height Test Methods (EN-364/AC:1993).
- European Committee for Standardisation (2002). Personal Protective Equipment Against Falls from a Height—Energy Absorbers (EN-355:2002).
- European Committee for Standardisation (2010). Personal Fall Protection Equipment. Lanyards (EN-354:2010).
- Carrión Jackson, E., Sáez Menchacatorre, P., & Mora-García, R. (2014). Sistemas de protección individual contra caídas: Legislación, Definiciones y Equipos. Alicante: Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Carrión, E., Irlés, R., Segovia, E. & Pomares, J.C. (2016). Sistemas de protección individual anticaídas sometidos a impacto. Simulaciones numéricas. Informes de la Construcción (ISSN-L: 0020-0883), 68 (542). <http://dx.doi.org/10.3989/ic.15.050>
- Carrión, E.Á.; Sáez, P.I.; Pomares, J.C.; González, A. (2020). Average Force of Deployment and Maximum Arrest Force of Energy Absorbers Lanyards. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17, 7647. <https://doi.org/10.3390/ijerph17207647>

- Carrión, E.Á.; Ferrer, B.; Monge, J.F.; Sáez, P.I.; Pomares, J.C.; González, A. (2021). Minimum Clearance Distance in Fall Arrest Systems with Energy Absorber Lanyards. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18, 5823. <https://doi.org/10.3390/ijerph18115823>
- CSA. (2015). CSA Z259.11-17 Fall Arresting Devices-Energy Absorbers and Lanyards. Toronto, Ontario, Canadá: CSA, Standards Council of Canada, Conseil Canadien des normes.
- Dong, X. S., Jackson, R., Varda, D., & Bunting, J. (2019, SECOND QUARTER 2019). Trends of Fall Injuries and Prevention in the Construction Industry. (C.-T.C.Training,Editor) <https://www.cpwr.com/wp-content/uploads/publications/Quarter2-QDR-2019.pdf>
- Dong, X. S., Jackson, R., Varda, D., & Bunting, J. (2019, Second Quarter 2019). Trends of Fall Injuries and Prevention in the Construction Industry. (C.-T. C. Training, Editor) <https://www.cpwr.com/wp-content/uploads/publications/Quarter2-QDR-2019.pdf>
- Dong, X. S., Brown, S., & Brooks, R. D. (2021). Trends in fatal falls in the U.S. construction industry. (C. Springer, Ed.) Black, NL, Neumann, WP, Noy, I. (eds). *Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)*, 221. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74608-7_39
- Fabre, O. (2008). La ocupación prehispánica de las cuevas del departamento de Amazonas. *Boletín de Lima*, 152, 31-50.
- Health and Safety Executive. Health and Safety in Construction in Great Britain (HSE). (2022). *Construction statistics in Great Britain, 2022*. Retrieved 30 January 2022, from <https://www.hse.gov.uk/statistics/industry/construction.pdf>
- Jackson, E. Á. (2016). *Sistemas de Protección Individual Contra Caídas: criterios de instalación y uso* (Doctoral dissertation, Universidad de Alicante). <http://hdl.handle.net/10045/70309>
- Menchacatorre, P. I., & Castelló, S. G. (2015). *Sistemas de Protección Individual Contra Caídas SPICC: guía básica para bomberos (1ª ed.)*. Madrid, España: Ediciones DESNIVEL. <https://www.libreriadensnivel.com/libros/sistemas-de-proteccion-individual-contra-caidas-spicc/9788498293302/>
- Ministry of Labor and Social Economy (MITES). (2020) (2022, 08 of february). *Occupational Accident Statistics: https://www.mites.gob.es/estadisticas/eat/eat20/Resumen_resultados_ATR_2020.pdf*.
- Union, O. J. (2016). Regulation (EU) 2016/425 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2016 on Personal Protective Equipment and Repealing Council Directive 89/686/EEC. Strasbourg, France: European Parliament and of the Council.
- Pomares, J., Carrión, E., González, A., & Sáez, P. (2020). Optimization on Personal Fall Arrest Systems. Experimental Dynamic Studies on Lanyard Prototypes. 17, 1107. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17(3), 1107. <https://doi.org/10.3390/ijerph17031107>
- Sáez, P.I.; Carrión, E.Á.; García, E.; Aparicio-Flores, M.O. (2021). Vertical Archaeology: Safety in the Use of Ropes for Scientific Research of Pre-Columbian Andean Cultures. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18, 3536. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073536>
- Safe Work Australia. (2021). *Work-related injury fatalities/Key WHS statistics Australia 2021*. (S. W. Australia, Editor) Retrieved February 08, 2022, from <https://www.safeworkaustralia.gov.au/doc/key-work-health-and-safety-statistics-australia-2021>
- Stirn, M. A. (2014). Why all the way up there? Mountain and high-altitude archaeology. *SAA Archaeological Record*, 14 (2):7-10.
- Toyne, J.M., Anzellini, A., Epstein Mičulka, L., Mejías Pitti, I., Puig Castell, J., & Guinot Castelló, S. (2018). Going Vertical: Using Vertical Progression Techniques to Explore a Cliff Necropolis in Late Pre Columbian Chachapoyas, Peru. *Advances in Archaeological Practice*, 6(4), 298-311. <https://doi.org/10.1017/aap.2018.31>
- Ukhupacha. (2023, 02 of january). *Llevamos científicos donde nunca han estado*. <http://ukhupacha.com/>

Recycled materials with vulcanized rubber waste

**Rodriguez Aybar, Marta, Pedreño Rojas, Manuel Alejandro, Porras-Amores, César y
Moreno Fernandez, M^a Esther**

Universidad Politecnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Edificación, Av. de Juan de Herrera, 4-6,
28040 Madrid. marta.rodriqueza@upm.es, alejandro.pedreno@upm.es, c.porras@upm.es,
esther.moreno@upm.es

Abstract

The United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization (UNESCO) urges governments and organizations to carry out global activities to reaffirm their commitment to the preservation and protection of the environment, in the promotion of environmental awareness. In this sense, the Spanish Council of Ministers approved the Spanish Circular Economy Strategy and Action Plans on 2020, where the environmental goals for the next decade were addressed under the banner of "Spain Circular 2030". In this study, the residues of vulcanized rubber from excess rubber foil material, used in the paddle ball manufacturing process, were analysed. Rubber residue cannot be recovered within the production cycle because it has become a different material with altered thermostable characteristics (now thermolabile). The main objective of this research is to incorporate this waste in the development of new recycled materials for building applications, trying to improve some of the properties of conventional products. For it, this work mixes the vulcanized rubber, crushed to a size up to 5 mm, into a gypsum binder matrix. The physical and mechanical properties of the new materials are studied, with different water/gypsum ratios and different percentages of aggregate. Thus, new materials are obtained that can be usefully used as coatings or prefabricated interior finishes for buildings, helping the circular economy, reducing the unnecessary consumption of natural resources and raw materials. Future investigations should explore the porosity and workability using lower w/g ratios to improve the mechanical properties of the material, as that is a key property when industrializing precast products are developed.

Keywords: Recycled material; Waste; Mechanical properties; Gypsum.

1. Introduction

Since the end of the 20th century and up to the present, policies are being activated that promote the elimination of waste, the manufacture of less polluting products and, ultimately, an economic development that preserves the current and future planet. This is manifested in the Sustainable Development Goals of the 2030 Agenda (Agenda 2030).

Due to the large consumption of natural resources and the large amount of waste generated by construction, it is one of the most responsible sectors in increasing its carbon footprint. For this reason, more and more studies and research are concerned with finding materials and products that promote sustainability in the construction sector.

On the other hand, plaster is the oldest binder used in construction, decoration, medicine and even food. According to Almagro Gorbea (Almagro 1986), "plaster is one of the most used materials and one with the strongest roots in our construction traditions". According to Ahmed et al. 15 million tons of gypsum waste are generated annually in the world (Ahmed, Ugai, and Kamei 2011). This fact demonstrates the relevance of this material, which has led many researchers to replace part of the raw material with waste from different sources, thus also improving some of its properties.

Some of these jobs use construction waste as aggregates in the mixes. Along these lines, Santos Jiménez et al. They incorporate ceramic waste, making the absorption and surface hardness improve compared to the reference compound (Santos Jiménez 2018). For their part, Villoria-Sáez et al. evaluated the use of glasses from carpentry, achieving an improvement in the mechanical properties of the pastes (Sáez et al. 2019).

Other investigations use industrial residues, improving the thermal and fire behavior of plasters (Binici and Aksogan 2017; Barbero-Barrera, Flores-Medina, and Pérez-Villar 2017; Jiang et al. 2019). For their part, polymers are responsible for the generation of large amounts of waste that is very difficult to eliminate, which is why various authors have used them as aggregates in gypsum matrices to obtain new interior lining materials, prefabricated materials, and mortars. with improved mechanical and thermal properties (Zhu et al. 2018; Ramos and Mendes 2014; San-Antonio-González et al. 2015; Bouzit et al. 2021) (Serna et al. 2012).

There have been several works, articles and investigations that incorporate rubber as residue in the plaster matrix. Among which include:

The study carried out by (Jiménez Rivero, de Guzmán Báez, and García Navarro 2014) where they highlight that the greater the percentage and size of rubber (from insulating shells), due to the formation of micropores, the shore hardness, the density and the mechanical resistances decrease considerably.

On the other hand (Herrero, Mayor, and Hernández-Olivares 2013) investigate the behavior of plaster mixtures with 50%, 60% rubber (residue from used tires) observing a decrease in flexural and compression resistance; adjusting the values to a curve that follows a law, allowing to predict the mechanical behavior based on the percentage of rubber used. The addition of this material, by 30%-40%, improves the density, mechanical resistance and, above all, the acoustic and thermal behavior.

Like their colleagues, (Serna et al. 2012) they use rubber waste from tires in their articles, resulting in the mixture of plaster with rubber reducing flexural resistance by 16% and compressive strength by 18.3%. , although they meet the minimum requirements. In addition, it also decreases the surface hardness of the plaster and gives it a dark color tone.

Several researchers (Herrero, Mayor, and Hernández-Olivares 2013), in different investigations during the years 2016-2019, who study the behavior of the plaster/rubber mixture according to the dosage and granulometry in plasterboard. Affirming that the greater the amount and size of rubber, the less workability and homogeneity of the compound. The density decreases in all the compounds studied, thus being lightened plasters. A composite material is obtained by improving the thermal and acoustic properties, as well as the toughness. On the other hand, the resistance to flexion and compression are diminished

So far, no results have been found for plaster-rubber mixtures from the manufacture of paddle tennis balls. La Comunidad

2. Objective

On the other hand, it is considered important to highlight that in Spain the annual use of paddle balls amounts to approximately 30 million, which means about 20 tons of waste whose decomposition in a landfill would take about 50 years. Therefore, it is essential, given the high and growing demand for the use of paddle tennis balls, to analyze the feasibility of using this waste to obtain building elements that at the same time contribute to the reuse of said waste and the promotion of sustainable construction. Thus, considering that construction materials and their applications can be a viable option for the treatment, recovery and reuse of this waste, the objective of this research is to reduce the consumption of raw materials in the construction sector by incorporating waste from the sports sector in gypsum compounds.

3. Methodology

3.1. Materials

Due to the different manufacturing systems and the different additives used in the plasters, there is a great variety of them. In this research, an E-35 plaster classified as type A has been used according to (13279-1:2009 2009); Water that complies with the characteristics established in UNE EN 13279-2 (13279-2:2014 2014) and vulcanized rubber waste from the excess material of the rubber sheet used in the manufacturing process of paddle tennis balls, reduced to a size of 5mm (Figure 1).



Figure 1: Remains of rubber sheet previously and once crushed to 5mm.

Fuente: Elaboración propia (2022)

3.2. Materials

Several 40*40*160mm test tubes were made following the UNE EN 13279-2 (13279-2:2014 2014) standard. Divided into 3 series with 3 test tubes each, as shown in Table 1. Two water/gypsum (w/y) ratios were used: 0.8 and 0.7, chosen based on what was established by the manufacturer. Likewise, different percentages of addition were used (10%, 14% and 20%) according to previous studies such as those carried out by Morales-Segura et al. (Morales-Segura, Villoria-Sáez, and Caballo-Bartolomé 2020) and Guna et al. (Guna et al. 2021). The residue size is 5mm, obtained from a simple mechanical crushing. A reference series without residue (series 0) was performed for each a/y ratio, in order to be able to perform comparisons.

Table 1. Preparation of test tubes of the different compounds

	Designation	% Waste	A/Y Ratio
Serie 0	REF0.8		0.8
	REF0.7	0	0.7
Serie 1	0.8R10	10%	0.8
	0.8R14	14%	
	0.8R20	20%	
Serie 2	0.7R10	10%	0.7
	0.7R14	14%	
	0.7R20	20%	

3.3. Test methods

The tests have been carried out in the Construction Materials laboratory of the Higher Technical School of Building of the Polytechnic University of Madrid (UPM).

Following the UNE EN 13279-2 (13279-2:2014 2014) standard, the test tubes were conditioned for 7 days at laboratory room temperature of $23 \pm 2^\circ\text{C}$ and humidity around $50\% \pm 5\%$. They are then dried in an oven at $40 \pm 2^\circ\text{C}$ until constant weight, subsequently carrying out the following physical-mechanical tests:

-Dry Apparent Density: according to the UNE-EN 1936 (1936:2007 2007) standard. This is determined by the relationship between the dried weight of the test tube and its volume.

-Superficial hardness, Shore C: according to the UNE 102042:2014 (102042:2014 2014) standard, taking the reading of the pressure exerted with the durometer in ten different areas of each test tube (5 points on each face) and taking the average of said measurements as final value.

-Bending resistance: the test was carried out according to the provisions of the UNE EN 13279-2 (13279-2:2014 2014) standard. This test consists of breaking three test tubes, for each of the evaluated mixtures, using the 3-point method.

-Compression resistance: it is given by the breakage of the six semi-specimens obtained in the bending test. Said resistance values are reached by dividing the maximum applied load (breaking load) by its application area ($40 \times 40 \text{ mm}$) [18].

Both the bending and compression tests were carried out with an Iberest Autotest 200-10SW unit, connected to digital control equipment.

-Scanning Electron Microscopy (SEM): An FEI TENE0 microscope was used to carry out the SEM analysis of the new casts.

4. Results

4.1. Dry bulk density

The results of dry apparent density are reflected in Figure 2. In this line, it is shown that the density varies, first of all, depending on the A/Y ratio. Hence, the compounds with an A/Y= 0.7 are more dense compared to those with a higher water content. The lowest density of the series was 0.8R10, being 4.85% lower than that obtained for the paste ref.0.8.

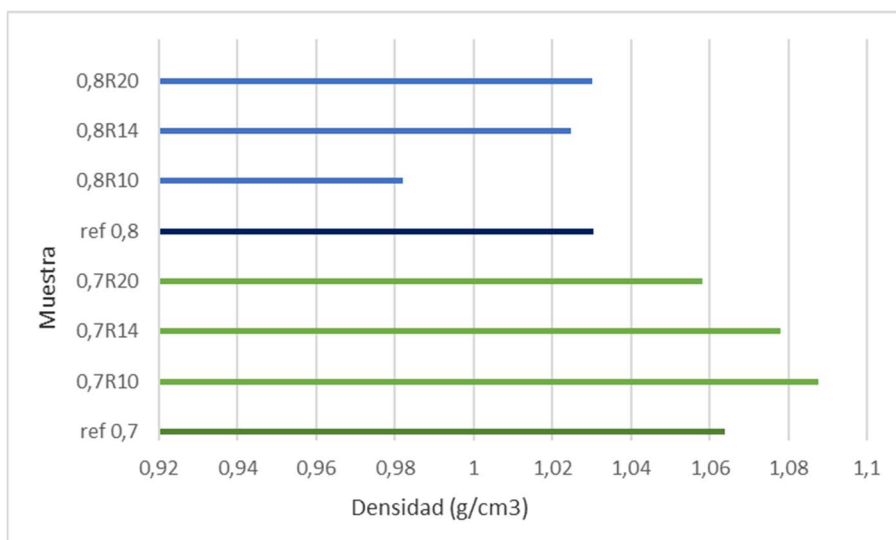


Figure 2: Dry bulk density of gypsum compounds.

Fuente: Elaboración propia (2023)

4.2. Shore C hardness

As we can see in Table 2, which presents the results of Shore C hardness, with a higher A/Y ratio, surface hardness decreases. On the other hand, as we increase the percentage of residue, the surface hardness increases. Reaching the 0.8R20 mixture a value 2.30% higher than the ref. 0.8. In this line, the highest surface hardness was achieved with the sample 0.7R20 (81.07) and the one with the lowest hardness was ref.0.7 (72.33).

Tabla 2. Shore C hardness of compounds

Designation	A/Y ratio	Shore C hardness	Δ (%) of surface hardness with respect to the reference
ref 0.8	0.80	72.33	0.00
0.8R10	0.80	72.50	0.23
0.8R14	0.80	73.80	2.03
0.8R20	0.80	74.00	2.30
ref 0.7	0.70	80.57	0.00
0.7R10	0.70	80.65	0.09
0.7R14	0.70	80.89	0.39
0.7R20	0.70	81.07	0.62

4.3. Bending strength

Figure 3 presents the flexural strength results. It shows that the increase in the percentage of rubber residues in the compounds resulted in a decrease in the flexural strength of the mixtures, in most cases compared to their corresponding reference pastes (same A/Y ratio). However, the best result (5.06 N/mm²) was obtained for the compound Ref.0.7. All compounds are above the 1 MPa minimum for gypsum mortars.

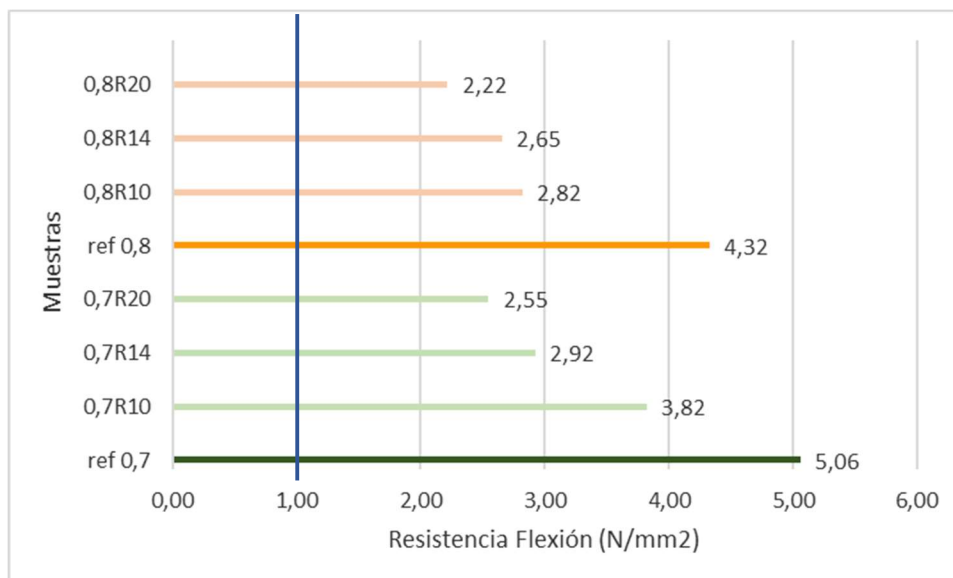


Figure 3: Flexural strength of plaster compounds.

Fuente: Elaboración propia (2023)

4.4. Compressive strength

The behavior achieved for the compressive strength of the compounds, as shown in Figure 4, is very similar to those obtained in the flexural strength. They improve their resistance, based on a lower water/plaster ratio. All the mixtures triple the minimum value of 2 MPa required for plaster mortars, according to the UNE-EN 13279-1 standard. Therefore, all compounds can be used as mortars or mixes for precast building elements.

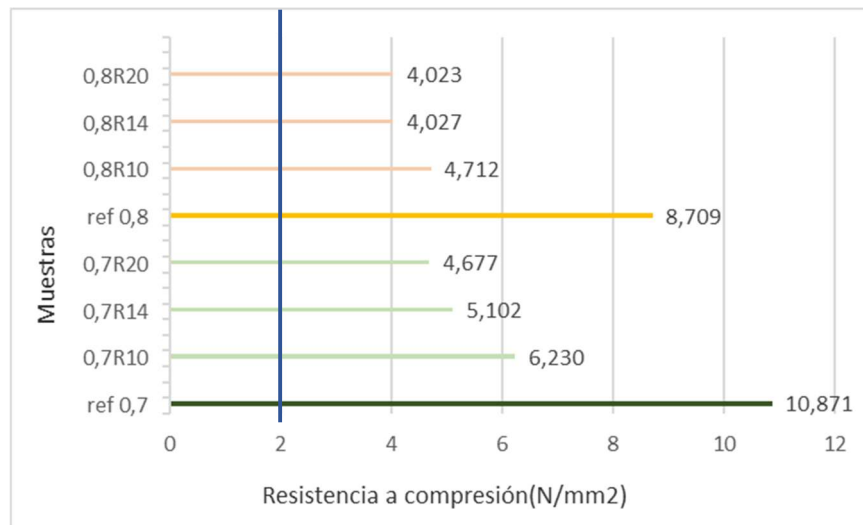


Figure 4: Compressive strength of plaster compounds.
Fuente: Elaboración propia (2023)

4.5. Scanning electron microscopy (SEM)

A microstructural analysis has been carried out, using an FEI TENE0 scanning electron microscope, to justify the results obtained during the mechanical characterization of the new compounds (Figure 5). As expected, the reference compound had a continuous and homogeneous crystalline structure with hardly any porosity. With the incorporation of rubber, a lack of interlocking in the structure is observed.

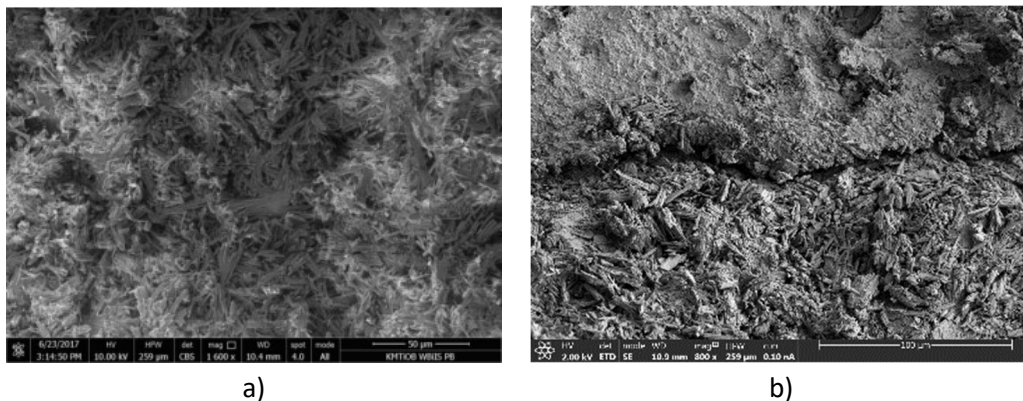


Figure 5: Scanning electron microscopy a) plaster without residue; b) plaster with rubber.
Fuente: Elaboración propia (2023)

5. Conclusions

With the data obtained in the experimental phase, on the compounds used in this work, it can be concluded:

- In all cases, the water/gypsum ratio influences the dry bulk density. On the other hand, the increase in rubber content, in general, decreases the density, with the lightest mixture being 0.8R10 (0.98 g/cm³).
- The addition of rubber in the mixture increased the surface hardness in all cases, compared to its references.
- In the mechanical tests, the flexural and compressive strengths with the highest results (5,860 MPa and 10,06 MPa) were obtained for the Ref 0.7 mix.

In this way, new plaster pastes were obtained where, by replacing part of the plaster with rubber waste from the manufacture of paddle tennis balls, it contributes to environmental sustainability and the promotion of a circular

economy. Thus, in addition to discharging this residue, CO₂ emissions resulting from the plaster manufacturing process are reduced.

The results included in this article could be very useful to update the educational programs of the subject in master's degrees related to construction materials within the civil-building field. Among these qualifications, it is worth highlighting those taught at the Escuela Técnica Superior de Edificación (ETSEM) of the Universidad Politécnica de Madrid (<https://www.edificacion.upm.es/masteres>).

References

- 1936:2007, UNE-EN. 2007. 'Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total'.
- 13279-1:2009, UNE-EN. 2009. 'Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones. AENOR.'.
- 13279-2:2014, UNE-EN. 2014. 'Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo'.
- 102042:2014, UNE EN. 2014. 'Ensayo Dureza Shore C'.
- Agenda, Ministerio de Derechos Sociales y. 2030. 'Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)', www.mdsocialesa2030.gob.es.
- Ahmed, Aly, Keizo Ugai, and Takeshi Kamei. 2011. 'Investigation of recycled gypsum in conjunction with waste plastic trays for ground improvement', *Construction and Building Materials*, 25: 208-17.
- Almagro, Antonio. 1986. "El yeso, material mudéjar." In.: Instituto de Estudios Turolenses.
- Barbero-Barrera, María del Mar, Nelson Flores-Medina, and Víctor Pérez-Villar. 2017. 'Assessment of thermal performance of gypsum-based composites with revalorized graphite filler', *Construction and Building Materials*, 142: 83-91.
- Binici, Hanifi, and Orhan Aksogan. 2017. 'Insulation material production from onion skin and peanut shell fibres, fly ash, pumice, perlite, barite, cement and gypsum', *Materials Today Communications*, 10: 14-24.
- Bouzit, S., F. Merli, M. Sonebi, C. Buratti, and M. Taha. 2021. 'Gypsum-plasters mixed with polystyrene balls for building insulation: Experimental characterization and energy performance', *Construction and Building Materials*, 283: 122625.
- Guna, Vijaykumar, Chandan Yadav, B. R. Maithri, Manikandan Ilangovan, Francois Touchaleaume, Benjamin Saulnier, Yves Grohens, and Narendra Reddy. 2021. 'Wool and coir fiber reinforced gypsum ceiling tiles with enhanced stability and acoustic and thermal resistance', *Journal of Building Engineering*, 41: 102433.
- Herrero, S., P. Mayor, and F. Hernández-Olivares. 2013. 'Influence of proportion and particle size gradation of rubber from end-of-life tires on mechanical, thermal and acoustic properties of plaster-rubber mortars', *Materials & Design*, 47: 633-42.
- Jiang, Jun, Zhongyuan Lu, Jun Li, Yong Fan, and Yunhui Niu. 2019. 'Preparation and hardened properties of lightweight gypsum plaster based on pre-swelled bentonite', *Construction and Building Materials*, 215: 360-70.
- Jiménez Rivero, Ana, Ana de Guzmán Báez, and Justo García Navarro. 2014. 'New composite gypsum plaster – ground waste rubber coming from pipe foam insulation', *Construction and Building Materials*, 55: 146-52.
- Morales-Segura, Mónica, Porras-Amores, César, Paola Villoria-Sáez, and David Caballol-Bartolomé. 2020. 'Characterization of Gypsum Composites Containing Cigarette Butt Waste for Building Applications', 12: 7022.

- Ramos, F. J. H. T. V., and Luis Claudio Mendes. 2014. 'Recycled high-density polyethylene/gypsum composites: evaluation of the microscopic, thermal, flammability, and mechanical properties', *Green Chemistry Letters and Reviews*, 7: 199-208.
- Sáez, Paola Villoria, Mercedes del Río Merino, Evangelina Atanes Sánchez, Jaime Santa Cruz Astorqui, and César Porras-Amores. 2019. 'Viability of Gypsum Composites with Addition of Glass Waste for Applications in Construction', 31: 04018403.
- San-Antonio-González, Alicia, Mercedes Del Río Merino, Carmen Viñas Arrebola, and Paola Villoria-Sáez. 2015. 'Lightweight material made with gypsum and extruded polystyrene waste with enhanced thermal behaviour', *Construction and Building Materials*, 93: 57-63.
- Santos Jiménez, R. 2018. 'Reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD) de tipo cerámico para nuevos materiales de construcción sostenibles ', (Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid (España)).
- Serna, Ángel, Mercedes del Río, José Gabriel Palomo, and Mariano González. 2012. 'Improvement of gypsum plaster strain capacity by the addition of rubber particles from recycled tyres', *Construction and Building Materials*, 35: 633-41.
- Zhu, Cong, Jianxin Zhang, Jiahui Peng, Wenxiang Cao, and Jiansen Liu. 2018. 'Physical and mechanical properties of gypsum-based composites reinforced with PVA and PP fibers', *Construction and Building Materials*, 163: 695-705.

Methodological approach to urban regeneration through urban indicators database

Ortega Castillo, Ivan^a, Giraldo Forero, M. Pilar^b y Lacasta Palacio, Ana M.^c

^a Universitat Politècnica de Catalunya, EPSEB - Av. de Dr. Marañón, 44, Barcelona. ivan.ortega@upc.edu,

^b CTFC - INCAFUST, Crta. St. Llorenç de Morunys km. 2, 25280, Solsona. pilar.giraldo@incafust.cat,

^c Universitat Politècnica de Catalunya. EPSEB, Barcelona. ana.maria.lacasta@upc.edu

Abstract

The purpose of this study, which is part of a Ph.D. thesis currently in development, is to present an approach to a methodology, applicable to urban intervention projects, through a unified database for the calculation of territorial indicators, in order to be able to objectively assess the reality of a specific and concrete territory.

Many times, the proposals for urban interventions are based on a citizen or political needs, without well-defined methods to check analytically and objectively whether this will achieve the desired success. In the same way we find hundreds of values about cities, which come from quite different databases, and even from several different public entities, which makes it difficult to connect them to obtain a real-time radiograph of the urban area, in all its territorial aspects.

In order to solve the problems described a methodology for urban regeneration operations is proposed. Through this communication, the creation of a database of territorial indicators is going to be developed, using the SQL (Structured Query Language) system, which includes all values that can be extracted from a territory and that are currently in different databases, in a unique environment, able to demonstrate objective and multidisciplinary results in the urban area of choice.

These reference values, calculated with the urban indicators, are provided from different methodologies and sources of analysis, in order to obtain the greatest diversity of results and analysis paradigms; to finally define a working methodology through a scalable database that not only serves a specific urban area but can be extrapolated to any type of territory.

Keywords: Urban regeneration, urban indicators, sustainable development objectives, tactical urban planning, SQL database

1. Introducción

La regeneración urbana se estructura como un proceso que pretende renovar y revitalizar las áreas urbanas ya consolidadas, que han sufrido un deterioro físico y social en su trama siendo por lo tanto, un proceso complejo que implica la toma de una serie de decisiones y acciones que buscan mejorar la calidad de vida de los habitantes y la promoción del desarrollo económico de la misma. Según Hubbard (1996), la regeneración urbana es "el proceso de transformación física, económica y social de áreas urbanas deterioradas para mejorar la calidad de vida de sus habitantes y el entorno construido".

En la actualidad, la regeneración urbana se ha convertido en una necesidad urgente para muchas ciudades del mundo, sobre todo a nivel europeo tal y como relata en su estudio a nivel europeo Couch, C. (2003), a consecuencia del crecimiento exponencial de los residentes, y la falta de espacio disponible en los territorios que ya se encuentran consolidados. Estas áreas urbanas degradadas pueden convertirse en un foco de inseguridad, pobreza y falta de oportunidades para la población que en esta reside, lo que a su vez puede afectar la calidad de vida de los mismos, sobre todo teniendo en cuenta que solo en las últimas dos décadas el suelo artificial en España ha sufrido un incremento del 20% (Copernicus Europe's Eyes on Earth, 2023).

La mayoría de las intervenciones por parte de la administración pública en los diferentes entornos con grandes problemáticas territoriales han sido mayoritariamente consecuencia de los movimientos vecinales. La reiteración de quejas, exposición de problemáticas y la necesidad de mejorar sus entornos de proximidad así como su calidad de vida, han llevado a las administraciones a llevar a cabo actuaciones de acuerdo con las necesidades primarias de las unidades territoriales, sin llegar a tener una metodología preestablecida para valorar objetivamente la efectividad de las intervenciones, teniendo en cuenta que "es posible duplicar el bienestar del cual disfrutamos consumiendo la mitad de los recursos naturales empleados" (Weizsäcker, 1997).

Por todo lo expuesto, la utilización de herramientas metodológicas que permitan la recopilación, análisis y visualización de información es esencial pudiendo tomar decisiones informadas y eficaces, en el entorno de la regeneración urbana. Uno de los principales factores para lograr esto son los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), definidos por la Asamblea General de las Naciones Unidas el 15 de septiembre de 2015 con el fin de poder erradicar las condiciones de pobreza y desigualdad de unos países hacia los otros. Para lograr estos fines que describen los ODS, se requiere una aproximación metodológica rigurosa que permita recopilar y analizar una gran cantidad de información sobre el territorio a tiempo real, pudiendo así entender la complejidad del mismo, así como sus problemáticas territoriales y sociales.

Una de las herramientas más objetivas para dicho fin son los indicadores territoriales, basados en medidas a través de valores y operaciones numéricas de diferentes criterios de la trama urbana; estos sirven para poder realizar el seguimiento de la evolución de un territorio, de sus características y de las intervenciones urbanísticas que en este se plantean. Las temáticas de estos son multidisciplinarias, analizando desde las características de la morfología urbana, la morfología edificada, la economía, el transporte, la accesibilidad, etc. En cuanto a la construcción de indicadores, Rueda (1999) afirma que un indicador urbano "es una variable dotada de significado agregado con relación a un fenómeno, además de su propia representatividad".

Para poder entender y relacionar todos los datos derivados de los indicadores territoriales, la generación de bases de datos se ha revelado como una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones informadas en materia de regeneración urbana. No solo por la operacionalidad de las mismas a través de un lenguaje estructurado SQL (Structured Query Language), capaz de interrelacionarse con otras bases de datos bajo los mismos paradigmas, sino también por la capacidad de poder mostrar resultados sobre los datos extraídos de las tramas urbanas en tiempo real.

En este artículo, se abordará la generación de esta metodología de manera efectiva, con el fin de mejorar el diseño y la implementación de políticas públicas para la regeneración urbana, a través de la relación de todas las bases de datos existentes, en una de sola, pudiendo así obtener el resultado de los valores mostrados por medio de los indicadores territoriales.

El caso de aplicación del análisis descrito es en el barrio de Ca n'Anglada (véase figura número 1), situado al este del municipio de Terrassa (Barcelona), se conforma como un gran ejemplo de una zona periurbana consolidada, con una alta necesidad de regeneración urbana debido a sus problemáticas territoriales, tal y como relatan Ballarín et al. (1997).



Figura 1. Vista aérea del barrio de Ca n'Anglada a través de la aplicación de Google Maps. En la izquierda se observa una situación general del municipio de Terrassa y en la derecha una vista ampliada de la zona de Ca n'Anglada, resaltada en ambas imágenes en rojo.

Fuente: Elaboración propia (2023)

Ca n'Anglada ha sido estudiado en muchas de sus facetas, pero sobre todo en los niveles económicos y sociales, por la gran cantidad de hechos importantes que han ido sucediendo a lo largo de su historia, y que lo han posicionado como un punto caliente del municipio; es por eso que hay que valorar las directrices urbanas de intervención con las características preexistentes de la sociedad que lo habita y sobre todo de las necesidades reales que esta muestra y que podrían persistir durante tiempos futuros.

También hay que destacar que, al haber sido objeto de múltiples estudios en diferentes ámbitos, y la repercusión que ha tenido por sus problemáticas sobre todo territoriales y sociales, hay una gran cantidad de información a procesar. Ello sirve de ayuda para la creación de una base de datos suficiente consolidada como punto de referencia para el estudio.

2. Objetivos

La presente disertación tiene como principal objetivo desarrollar una metodología de trabajo para el análisis de las zonas urbanas consolidadas, a través de los conceptos de la regeneración urbana y los objetivos de desarrollo sostenible como base de trabajo. Con la finalidad de poder objetivar todas aquellas decisiones que se tomen sobre un territorio concreto, mediante los indicadores territoriales y la conformación de una base de datos de lenguaje estructurado como herramienta principal.

Además, con la intención de que esta metodología de evaluación y de actuación sirva, no solo para el territorio objeto de estudio, sino también de ayuda para las administraciones públicas a la hora de elaborar proyectos de intervención sobre la trama urbana, de una forma objetiva, dejando al margen las decisiones o influencias políticas. Una metodología que pueda ser extrapolada a otros territorios de cualquier índole, y que garantice la eficacia de cualquier proyecto, así como la optimización de los recursos públicos, todo esto con la ayuda de valores numéricos que puedan objetivar las diferentes casuísticas que en este se encuentran.

La globalidad del objetivo general y de la problemática de estudio, origina objetivos más diversos y concretos, que son los siguientes:

- Aportar una valoración que pueda objetivar el territorio mediante valores que reflejen la situación real y la viabilidad de la propuesta en las memorias urbanísticas, en especial, las relacionadas con las modificaciones puntuales del planeamiento urbano de ordenación.
- Agrupar diferentes bases de datos, que mayormente no se encuentran relacionadas, a través de un sistema de base de datos con lenguaje estructurado (SQL).
- Conformar un grupo de indicadores territoriales con temáticas multidisciplinarias, capaces de mostrar un análisis temporal y objetivo sobre una zona urbana.
- Fomentar el uso sostenible y proporcional de los recursos materiales a la hora de proyectar las actuaciones al tejido urbano.

3. Metodología

La aproximación metodológica en la creación de una base de datos conformada por indicadores territoriales, teniendo como base la regeneración urbana de los territorios consolidados, se realiza a través de los siguientes pasos.

Identificación de los indicadores territoriales que resultan más relevantes. En primer lugar, es necesario definir todos aquellos indicadores territoriales seleccionados para el estudio de las zonas urbanas mediante la revisión bibliográfica exhaustiva de los estudios que los desarrollan de manera interdisciplinaria (BCNecología (2015), Rueda, S (2008), Ramírez G. (2017), Cabrera, N. (2015), Gabriel, A. (2020) , AL21. (2009) o Martínez J. (2003), entre otros).

Recopilación y proceso de los datos necesarios a obtener. Una vez seleccionados los indicadores territoriales interdisciplinarios que sirven como base para el análisis de las zonas urbanas, se determinan cuáles son los datos necesarios que se deben extraer y desde qué fuente se obtienen, esto puede incluir fuentes gubernamentales, organizaciones no gubernamentales, empresas y otros tipos de organizaciones.

Diseño de la estructura de la base de datos. Posteriormente a haber seleccionado los datos normalizados y las bases de datos de donde provienen, se estructura la base de datos principal mediante el lenguaje estructurado SQL, y priorizando en todo momento que sea fácil de usar y que los datos puedan ser fácilmente accesibles. Se considerarán factores como la forma en que se organizan los datos, los tipos de datos que se recopilarán y cómo se presentarán los datos.

Evaluación de la calidad de la base de datos. El último punto del estudio es evaluar la calidad de la base de datos para garantizar que los datos sean precisos y confiables. Se establecen medidas para evaluar la calidad de los datos y se realizarán pruebas para identificar posibles problemas o errores.

3.1. Identificación de los indicadores territoriales

La búsqueda de los indicadores territoriales se realiza teniendo en cuenta un primer paradigma que consiste en realizar un análisis desde un punto de vista urbanístico como campo de especialización, teniendo en cuenta que la presente metodología pueda ser extrapolable con otros indicadores multidisciplinares de otras áreas de estudio, cómo serían, las ciencias sociales, de la salud, economía, política, etc.

La obtención de los diferentes indicadores se realiza mediante una revisión bibliográfica de estudios de ámbito local con estudios como los de Artís et al. (2006), Ezquerro (2020) o Garza (2012); nacional como los expuestos en el apartado anterior; y otros de ámbito internacional con estudios como los de Government of New South Wales (2020), Falivene (2014) o Meyer et al. (2021); para poder asegurar así al máximo la globalidad del estudio y su futura extrapolación a territorios de cualquier índole o estructura urbana. Para valorar todas estas referencias se tienen en cuenta los siguientes parámetros y criterios de análisis:

- Heterogeneidad □ Se valoran mayormente aquellas referencias con una mirada global hacia la regeneración urbana, enfocadas en varios aspectos de la misma, por contra de las que se centran en el análisis de un único factor sin tener en cuenta su entorno.
- Cohesión □ Se prioriza un estudio cohesivo que relaciona los índices territoriales entre sí para darle mayor relación al análisis del entorno urbano, ya sea a través de fórmulas matemáticas, de ecuaciones en forma de proporción o en los datos empíricos.
- Globalización □ Se añade más valor a las referencias globales que a las locales, a pesar de que con menos grado de especialización tienen una mirada multicultural de los asentamientos urbanos. Aun así no se penaliza al local, puesto que el hecho de estar adscrito a un proyecto más grande ya mejora la riqueza en el estudio.
- Jerarquización □ Un aspecto que se da en el marco legal de las referencias, siguiendo el orden jerárquico legislativo español (constitución, reglamentos, órdenes, etc.) en los casos de normativa de ámbito nacional.

- Definición □ Se valora positivamente el hecho de discernir en los criterios de selección de los datos para el cálculo de los índices territoriales para la obtención de datos basados en una realidad empírica del territorio, y no en la generalización de los tipos de asentamientos urbanos.
- Referenciación □ Se aumenta el valor de aquellos índices territoriales con un mayor número de referencias concisas que de las globales, ponderadas las primeras con una mayor cohesión entre estudios; las segundas sirven para dar un mayor criterio a la globalidad del estudio.

Estos indicadores se agrupan en categorías que analicen características similares del territorio y, además, ayude a poder posteriormente estructurar la base de datos en los que se incorporarán:

- Población (P) □ Índices relacionados directamente con los habitantes de la zona, desde su densidad por la superficie que ocupan hasta sus características como grupo de estudio.
- Morfología urbana (Mu) □ En esta categoría se centran aquellos índices que analizan la forma urbana del conjunto de edificaciones, cómo se configuran las islas, cómo son sus redes de comunicación o cómo se interconecta el territorio.
- Morfología edificada (Me) □ Hace referencia a aquellos índices que definen cada edificación en concreto, no el conjunto de las mismas.
- Medio ambiente (Ma) □ Índices referenciados a la calidad de vida de la población, en conceptos sobre todo desde la salubridad urbana.
- Economía (Ec) □ Se relacionan índices que tienen que ver con el tejido productivo de las zonas, desde un análisis del conjunto territorial y no desde la individualidad de cada núcleo familiar o habitante.
- Accesibilidad (Ac) □ Los índices de este grupo analizan la accesibilidad tanto de los parámetros globales del territorio como los individuales de cada edificación, así mismo, también se refieren a los parámetros de mejora para las personas con movilidad reducida.

3.2. Recopilación y proceso de los datos

Para obtener los datos de la zona urbana de Ca n'Anglada objeto del análisis, es necesario utilizar los indicadores territoriales previamente agrupados en las categorías que se han expuesto. Por ejemplo, para calcular la densidad de población se requiere conocer el número de habitantes legalmente emplazados en la zona de análisis y el área total de la misma.

En los índices de carácter poblacional, en el ámbito nacional español, la fuente principal de referencia es el registro de padrón o los informes públicos de estadísticas anuales de cada una de las administraciones públicas en materia de demografía urbana, ya que son las bases de datos oficiales que registran todos los habitantes empadronados en una zona urbana, y que por lo tanto, se encuentran legalmente emplazados; de esta sección se deberá tener en cuenta que hay una variable de todos aquellos habitantes que se encuentran residiendo de forma irregular, que podrían alterar los resultados de los indicadores.

Los datos procedentes del grupo de análisis que hace referencia a la morfología edificada y urbana, así como los de accesibilidad, se extraen mediante herramientas de información geográfica, del tipo QGIS (Quantum GIS), Google Maps o AutoCAD (véase figura número 2), siendo estos datos procedentes directamente de la medición de la forma de la zona urbana; en el caso de análisis en concreto se tomaran datos del Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña. Estas mismas herramientas pueden servir tanto para la lectura morfológica de las edificaciones y de la trama, como para la posterior representación de los datos, siendo un herramienta de carácter global aplicable a cualquier territorio.

Por lo que hace referencia a la morfología edificada, es decir, el interior de cada una de las unidades edificadas, también se obtienen datos oficiales mediante la sede electrónica del Catastro, que también utiliza estas herramientas de geolocalización basadas en georeferencias.

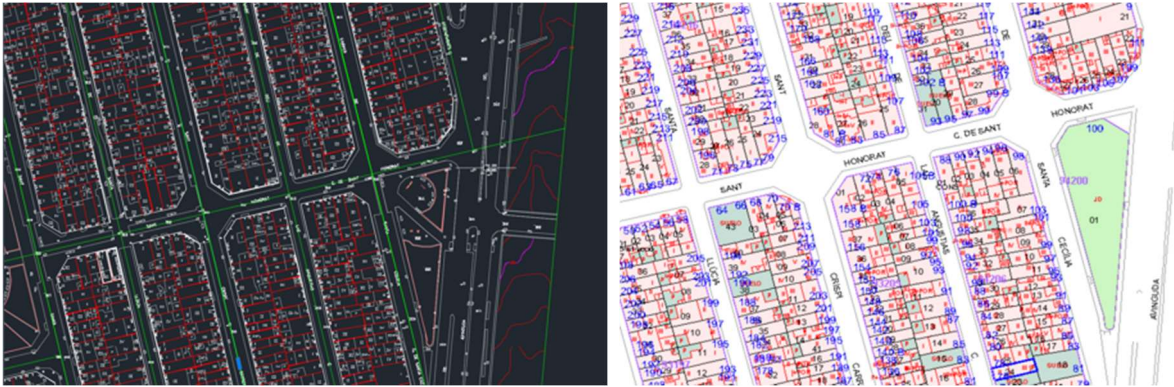


Figura 2. Vista aérea parcial del barrio de Ca n'Anglada (Terrassa, Barcelona) des de la aplicación de AutoCAD en la imagen situada a la izquierda y de la sede del Catastro en la imagen situada a la derecha.

Fuente: Elaboración propia a partir de página web del Catastro (2023)

Los valores provenientes de los grupos de medio ambiente y economía, en el caso concreto que nos ocupa, se extraen principalmente de informes públicos de las administraciones públicas, que incluso pueden no encontrarse en una base de datos conformada. Esto es debido a que muchos de estos datos son de índole muy diversa y afectan a muchas temáticas transversales, desde la diversidad de actividades comerciales hasta la tasa de desempleo, es por eso que resulta de suma importancia conformarlos dentro del nuevo entorno de análisis para tratarlos interdisciplinariamente con los demás factores territoriales.

Para la extracción de los datos desde las diferentes bases de datos y programas anteriormente mencionados, se crea una conexión entre cada una de las bases de datos conformadas y la base de datos estructurada de SQL que se cree, importando los datos desde un archivo CSV (Comma-Separated Values), formato utilizado comúnmente por programas tipo Excel. Será primordial que antes de importar este archivo, se asegure la veracidad de los valores, y de su situación en la tabla, para obtener un resultado idóneo en el nuevo entorno de trabajo.

Dependiendo del tipo de base de datos que se esté utilizando para el archivo CSV se podrá leer utilizando la función `read_csv()` dentro de SQL, e insertar los datos del "data frame" en la tabla de la base de datos creada utilizando la función `to_sql()`. Finalmente, se debe cerrar la conexión con la base de datos SQL utilizando la función `close()`.

3.3. Diseño de la estructura de la base de datos

Una vez recopilados los datos procedentes de las diferentes fuentes de información, se conforma la estructura de la tabla dentro del entorno SQL para poder volcar toda la información extraída. Para eso, en primer lugar es necesario decidir el nivel de análisis que se realizará en la trama urbana, en el caso que nos ocupa, se procede a un análisis "top-down", es decir, desde el nivel más general al más específico.

Dentro del entorno de la base de datos en SQL se crearán diferentes tipos de tablas de la más general a la más concreta, para poder realizar este análisis:

- Datos genéricos □ Son aquellos datos que se aplican a la totalidad del territorio, pero que no pueden desglosarse para una tipología urbana concreta o a una de las categorías que anteriormente se nombraban, sobre todo aplicable a datos de carácter demográfico o social.
- Análisis de las manzanas □ Se analiza la morfología del conjunto de la isla, de la urbanización y viales que la envuelven, dividiendo el territorio en una cuadrícula organizada a través de letras (en el sentido horizontal) y números (en el sentido vertical) para facilitar la ubicación de cada una.
- Análisis de las calles □ Los datos relativos a esta categoría son los datos genéricos de las mismas, o a la morfología global como la longitud total o la anchura promedio.
- Análisis de las edificaciones □ Esta es la categoría más extensa y con mayor número de datos, ya que se analiza cada una de las edificaciones desde, por ejemplo, la morfología de cada uno de los edificios, hasta la concreción de la superficie de cada una de las viviendas.

Para la creación de las tablas mostradas, se aplica el siguiente código de programación según el lenguaje estructurado de SQL, estructurando las columnas con los conceptos de análisis y las filas con los datos extraídos de los CSV:

Tabla 1. Código para la creación de las tablas en SQL

Categoría	Código
Creación tabla	CREATE TABLE "Nombre_tabla" (INTEGER/TEXT/BLOB/REAL/NUMERIC, INTEGER/TEXT/BLOB/REAL/NUMERIC, INTEGER/TEXT/BLOB/REAL/NUMERIC, ...) "Columna_1" "Columna_2" "Columna_3"

En la selección para cada una de las columnas de la tabla se pueden aplicar criterios para los datos procedentes del CSV, estos son, INTEGER (para números enteros en rangos negativos y positivos), TEXT (para elementos únicamente de texto sin valor numérico), BLOB (para archivos binarios de imágenes o video), REAL (para números precisos de hasta siete decimales) y NUMERIC (para números precisos de más de siete decimales).

Además, se pueden aplicar condiciones a estos datos, aun así, se debe tener en cuenta que cuanto más condicionantes para una columna más restrictiva será la exportación de los archivos CSV. Estas condiciones serán, NOT NULL (donde el valor de la columna no podrá ser cero o quedar vacío), PRIMARY KEY (donde el valor deberá ser único y además no quedar vacío el campo), AUTOINCREMENT (donde cada campo insertado incrementará en 1 el valor consecutivamente) y UNIQUE (donde el valor deberá ser único en la fila de datos).

Una vez creadas las tablas del contenido, se extraerán los datos mediante el formato CSV; en el caso que nos ocupa, los datos extraídos de las bases de datos tipo catastro o padrón a través de las referencias catastrales o georeferencias, serán exportados directamente desde Excel al archivo CSV que contendrá los datos de las celdas que se seleccionaron en Excel. En cambio, para los datos extraídos propiamente de la morfología urbana y edificada, en este caso se utilizará la herramienta AutoCAD, de donde se extraerán los datos utilizando tablas.

Cuando los datos se encuentren en el interior de cada una de las tablas, y se compruebe la veracidad de los mismos, se procederá a realizar el cálculo de los indicadores territoriales a través de la herramienta de consultas, para eso será necesario acceder a la pestaña de ejecutar SQL, y escribir las operaciones que se utilizarán para poder calcular los diferentes indicadores.

Dichas operaciones serán desarrolladas con las consultas más comunes, SELECT para seleccionar un dato o grupo de datos, FROM para determinar la tabla origen de los datos, WHERE/WHEN para aplicar condiciones en la selección, ORDER y GROUP BY para ordenar el resultado del cálculo, o DISTINCT para seleccionar un dato o grupo de datos únicos. Además, se utilizarán los comandos de operación, SUM para realizar la suma de datos, AVG para el promedio o COUNT para contar, cómo los principales.

3.4. Evaluación de la calidad de la base de datos

Una vez calculados todos los indicadores territoriales en la pestaña de ejecutar SQL, se generará un archivo de texto (TXT) con los resultados obtenidos, del cual se podrá generar un informe para realizar el cálculo de estos índices a la vez; dicha plantilla será compatible con el análisis de cualquier zona urbana, y únicamente se deberá ir modificando la procedencia de los datos de análisis. De la misma manera, en caso de que se desee que los resultados del cálculo se compartan en un entorno web público (SQL Server), para poder así, realizar estudios comparativos entre diferentes zonas urbanas, volviendo a realizar la siguiente operación:

Tabla 2. Código para la exportación a SQL Server

Categoría	Código
Exportación a SQL Server	SELECT * FROM tabla INTO OUTFILE 'archivo.csv' FIELDS TERMINATED BY ',' ENCLOSED BY '"' LINES TERMINATED BY '\n';

La verificación de los cálculos realizados a través de los indicadores territoriales y del sistema SQL, se puede realizar mediante la comparación de los resultados con los de otros índices similares para asegurar que guardan una relación de lógica entre ellos, por ejemplo, la densidad de espacio público debería ser mayor que la densidad de la superficie destinada a acera, ya que esta última es parte del resultado de la primera. Otras herramientas que se pueden utilizar son la de la visualización de los datos obtenidos mediante sistema GIS, como el QuantumGIS anteriormente mencionado, para poder comprobar gráficamente la veracidad de los resultados.

Además de estos métodos, también es importante contrastar los valores obtenidos con la realidad social y territorial de la trama urbana; por ejemplo, un territorio que tiene una trama fuertemente densificada y con un uso de vivienda predominante, mostrará indicadores de densidad poblacional y de vivienda elevados, por lo contrario, mostrará indicadores de edificabilidad comercial e industrial mucho menores.

4. Resultados

Para la determinación de los indicadores territoriales se han revisado un total de aproximadamente 200 referencias bibliográficas, de las cuales se han seleccionado 111 que cumplían los criterios que se han descrito en el apartado de la metodología. De estos, se han escogido un total de 80 indicadores, repartidos en 6 correspondientes para la categoría del estudio demográfico, 28 referentes a la morfología urbana, 7 de la morfología edificada, 12 para el análisis del medio ambiente, 15 de economía y, finalmente, 12 para la accesibilidad urbana y edificada. La selección de los mismos se ha realizado teniendo en cuenta sobre todo que cada uno de los estudios relacionen más de un indicador territorial, que sean documentos contrastados y con las suficientes referencias bibliográficas para justificar sus cálculos y/o resultados.

Posteriormente, se han evaluado todos los datos que se debían extraer procedentes de los 80 indicadores seleccionados, así como las bases de datos correspondientes desde donde hacerlo. El resultado de esta operación originó un total de 97 datos necesarios para el cálculo de los indicadores; un 17% de los datos se originan en bases de datos demográficas procedentes del padrón municipal y derivados, el 38% era obtenido desde la planimetría urbana del barrio mediante el programa AutoCAD, un 27% correspondiente a bases de datos del catastro o de georeferencias, y por último un 18% procedente de otros informes urbanos de la administración pública y que no se encontraban dentro de ninguna base de datos conformada.

Una vez obtenidos todos los datos e insertados en la base de datos SQL, se procedió al cálculo de los indicadores y a la realización del informe conjunto mediante la herramienta de ejecución de SQL. Estos resultados fueron contrastados entre ellos en primer lugar para poder asegurar la coherencia de los mismos, y posteriormente con la realidad social del territorio, para poder verificar si realmente reflejaban las características del mismo. Por ejemplo, en el caso de estudio, se constatan los resultados de los indicadores territoriales con la realidad urbana, así como sus problemáticas actuales, mostrando por ambos lados una fuerte densificación del territorio, falta de equipamientos públicos y una baja repercusión de zonas verdes por habitantes, entre otros.

Conocer esta realidad territorial y social de la zona urbana también puede ayudar a realizar análisis más exhaustivos, ya que una vez conformada la herramienta de trabajo y los datos del territorio, se pueden realizar múltiples estudios e hipótesis. En el caso de estudio, se observa una fuerte dualidad territorial Norte-Sur, por lo que en este caso resulta interesante poder realizar un análisis de las dos zonas urbanas por separados, para poder ver la disparidad de los resultados de los indicadores territoriales, y así hacer propuestas de intervención más certeras.

5. Conclusiones

Después de haber realizado el análisis y conformado la metodología de trabajo para el estudio de las zonas urbanas, se ha constatado que según los objetivos planteados:

- Los indicadores territoriales son una herramienta objetiva para la valoración del territorio, su aplicación y análisis permite apreciar diversos aspectos de la situación real de la zona urbana en cuestión. Aun así, es importante conocer cómo se conforma la sociedad que reside en la misma y cuáles son sus problemáticas, para poder realizar análisis más exhaustivos.
- En la actualidad, las bases de datos disponibles de zonas como la analizada en este estudio, se encuentran dispersas y sin una relación entre ellas. Cuando se quiere realizar un análisis exhaustivo de una trama urbana y de sus problemáticas, difícilmente, se encontrarán datos transversales o de temáticas multidisciplinarias. Por lo que se cruzar los datos de forma manual. El hecho de agruparlos en un mismo entorno, en este caso mediante SQL, facilita la tarea de poder hacer múltiples análisis y de actualizar los datos de forma sencilla.
- Estos indicadores territoriales no solo son capaces de poder reflejar la realidad urbana, sino que pueden ayudar a realizar hipótesis muy diversas. Por ejemplo, antes de realizar cualquier intervención en la trama urbana se puede realizar una simulación de cuál sería la variación de estos índices, y poder determinar de una forma objetiva si dicha intervención resultaría positiva para el territorio, o, por lo contrario, afectaría a valores que no estaban previstos, ahorrando así costes de intervenciones ineficaces.
- Poder realizar el análisis del territorio en un único entorno facilita y agiliza el tiempo evaluación de las problemáticas que presenta el mismo, suponiendo una herramienta de gran utilidad para las administraciones pública, así como para justificar la necesidad de sus intervenciones de forma veraz.

Referencias

- Ajuntament de Barcelona (BCNecologia). 2015. Certificación del urbanismo ecológico. BCNecologia.
- AL21. 2009. Sistema de indicadores y condicionantes para ciudades grandes y medianas. Ministerio de Medio Ambiente.
- Artís, M. y Vayá, E. 2006. Sistema d'indicadors estratègics de seguiment municipal: Indicadors de qualitat de vida i cohesió social pels municipis de la Xarxa. Grup de Recerca AQR- IREA, Universitat Politècnica de Catalunya.
- Ballarín C., Casas, J. y Márquez M. 1997. Història social de Ca N'Anglada: el moviment veïnal 1950-1995. *Terme* 12: 77-86.
- Cabrera, N., Hermida, M., Orellana, D. y Osorio, P. 2015. Evaluando la sustentabilidad de la densificación urbana. *Indicadores para el caso de Cuenca (Ecuador)*. *Bitácora Urbano Territorial* 25: 21-34.
- Couch, C., Charles, F. y Percy, S. 2003. *Urban Regeneration in Europe*. Blackwell Science.
- Copernicus Europe's Eyes on Earth. 2023. Looking at our planet and its environment for the benefit of Europe's citizens.
- Ezquerria, I. 2020. Sobre densidades y formas urbanas. Análisis de cuatro polígonos en los barrios de la primera periferia residencial de Zaragoza. Universidad de Zaragoza.
- Falivene, G. 2014. Aplicación de indicadores de sostenibilidad urbana a la vivienda social. CEPAL.
- Gabriel, A. 2020. Adaptation of sustainability indicators in urban growth areas - Case analysis in Pilar county, Argentina. Universidad de Buenos Aires.
- Garza, F. 2012. Evaluación de indicadores socio urbanos y estrategias de reforma para el centro de Monterrey. Universidad Politècnica de Catalunya.
- Government of New South Wales. 2020. Built environment indicators Qualities that contribute to a well-designed built environment can be grouped under five themes. NSW Government.
- Hubbard, P. 1996. Urban Design and City Regeneration: Social Representations of Entrepreneurial Landscapes. *Urban Studies*, 33(8), 1441–1461. <https://doi.org/10.1080/0042098966745>
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, <http://betaportal.icgc.cat/canurb>, último acceso 2023/04/05.
- Martínez J., Medina, M. y Agustina, M. 2003. Guía de diseño urbano. Ministerio de Fomento.
- Meyer, M.A., Lehmann, I., Seibert, O. 2021. Spatial Indicators to Monitor Land Consumption for local Governance in Southern Germany. *Environmental Management* 68: 755–771.
- Ramirez, G. 2017. Sistema de gestión de datos urbanos para los planeamientos urbanísticos. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Rueda, S. 1999. El urbanismo ecológico. *Urban-e*. <http://urban-e.aq.upm.es/articulos/ver/el-urbanismo-ecologico/completo>
- Rueda, S. 2008. Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla. Gerencia de Urbanismo - Ayuntamiento de Sevilla.
- UN. 2015. Objetivos de desarrollo sostenible - La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas.
- Weizsäcker, E. U. V. 1997. *Erdpolitik*. Primus-Verl.

Investigación en proyectos multidisciplinares coordinados desde el área de Construcciones Arquitectónicas

Jiménez Delgado, Antonio^a, Campra García de Viguera, Carmen^b, Sáez Mentxakatorre, Iñaki^c y Bouchachi, Maher^d

^a Universidad de Alicante, carretera San Vicente del Raspeig s/n, Alicante. antonio.jimenez@ua.es;

^b Universidad de Alicante, carretera San Vicente del Raspeig s/n, Alicante. ccgd1@alu.ua.es

^c Universidad de Alicante, carretera San Vicente del Raspeig s/n, Alicante. psaez@ua.es

^d Universidad de Alicante, carretera San Vicente del Raspeig s/n, Alicante. mb211@alu.ua.es

Abstract

The building project and its development is an inalienable field for research and teaching in the area of Architectural Constructions, but at the same time and increasingly it is becoming a multidisciplinary work element that enriches the project itself. In recent years, the AEDIFICATIO research group, made up of researchers from Alicante, Granada, Milan, New York and Havana, has led various projects whose common denominator has been multidisciplinary research and the use of process and results in teaching. In the contribution we present three of these emblematic projects to explain the objectives, difficulties and results from an analytical approach.

The first project is a good example of multi and transdisciplinary work, with valid results for the public administration involved as well as for the academic field, among which the publication of a book with the Routledge publishing house stands out, "Health, Wellbeing and Sustainability in the Mediterranean City, Interdisciplinary Perspectives".

The second, titled "Proyecto Aedificatio en el entorno paisajístico de Puente Duda. Geoparque de Granada, UNESCO" and carried out with the BIM methodology, shows the difficulties encountered in the work carried out between different disciplines: architectural constructions, graphic expression, natural environment, urbanism, geology, sociology and history.

The third, Cubo Cultura, which aims to create a physical and symbolic space dedicated to culture and education, explains the work process of a research project by and for students of construction and other disciplines. In the project, scientific and humanistic areas are intertwined, with significant results.

Keywords: Research, Multidisciplinarity, Building, Education, Teaching

1. Introducción

Terminando de revisar la presente contribución recibimos la triste noticia de la pérdida del profesor italiano Nuccio Ordine, premio Princesa de Asturias, quién a través de sus publicaciones ha inspirado la metodología del grupo de investigación AEDIFICATIO poniendo énfasis, entre otras, en el trabajo de investigación y docente lento y consciente como un valor irrenunciable en la universidad (Ordine, 2013). “[...] Contrariamente a lo que predicán los gurús de la velocidad y de la hegemonía del *fast* en cualquier ámbito de nuestra vida”, el aprendizaje y la investigación requieren “lentitud, reflexión, silencio, recogimiento” (Ordine, 2017: 38).

En la actualidad el gran problema de las disciplinas científicas en general, y en concreto en la Construcción Arquitectónica en el ámbito universitario, es la producción académica sin un análisis “lento” y riguroso del proceso de ejecución constructiva en base a proyectos reales. La desconexión excesiva con la edificación, su diseño y ejecución, desvirtúa el proceso de investigación en el que los académicos se ven abocados. Expresiones como “la cultura de publicar o morir” son cada vez más frecuentes y están generando en los últimos años movimientos de protesta (por ejemplo, *Slow Professor*; Berg & Seeber, 2022) en favor de proyectos como los que se desarrollan en el presente artículo, denominados “Proyectos Aedificatio”.

El proyecto de edificación y su desarrollo es un campo irrenunciable para la investigación y la docencia en el área de Construcciones Arquitectónicas, pero a su vez y cada vez más se convierte en un elemento de trabajo multidisciplinar que enriquece el propio proyecto. En los últimos años el grupo de investigación AEDIFICATIO, compuesto por investigadores de Alicante, Granada, Milán, Nueva York y La Habana, ha liderado diversos proyectos cuyo denominador común ha sido la investigación multidisciplinar y el uso del proceso y resultados en la docencia. En la contribución presentamos tres de estos proyectos, emblemáticos para explicar los objetivos, dificultades y resultados desde un enfoque analítico.

El primer proyecto es un buen ejemplo de trabajo multi y transdisciplinario, con resultados válidos para la administración pública implicada al igual que para el ámbito académico, entre los cuales se destaca la publicación de un libro con la editorial Routledge, “Health, Wellbeing and Sustainability in the Mediterranean City, Interdisciplinary Perspectives” (Jiménez-Delgado & LLoret, 2019).

El segundo, titulado “Proyecto Aedificatio en el entorno paisajístico de Puente Duda. Geoparque de Granada, UNESCO” y realizado con metodología BIM, muestra las dificultades encontradas en el trabajo desarrollado entre diferentes disciplinas: construcciones arquitectónicas, expresión gráfica, medioambiente, urbanismo, geológica, sociología e historia.

El tercero, Cubo Cultura, que pretende crear un espacio físico y simbólico dedicado a la cultura y la educación, explica el proceso de trabajo de un proyecto de investigación por y para estudiantes de edificación y otras disciplinas. En el proyecto se entrelazan áreas científicas y humanísticas, con resultados significativos.

2. Objetivos

El objetivo general es poner en valor el denominado “Proyecto Aedificatio”, como ejemplo de buenas prácticas en la producción científica.

El “Proyecto Aedificatio” se centra en la construcción y conservación del patrimonio arquitectónico. Se desarrolla de forma multidisciplinar, tomando al ser humano y el bienestar social como centro y con un objetivo didáctico y cultural. Es un proyecto sostenible que une la arquitectura contemporánea y la tecnología con la tradición y el saber vernáculo, teniendo en cuenta la historia y el *genius loci*. Los miembros del grupo de investigación “Aedificatio” están unidos por el interés hacia un trabajo profesional, de investigación y reflexión cultural basado en los siguientes objetivos:

- Trabajar de forma multidisciplinar, creyendo en la necesidad de superar los límites de un saber monodisciplinar, anclado en la singularidad de cada disciplina, en favor de la cooperación entre especialistas procedentes de distintos ramos del saber: arquitectura, ingeniería, sociología, historia, historia del arte, tecnología.
- Propiciar el encuentro y debate constructivo y formativo por parte de los diferentes miembros del grupo de investigación, el compromiso activo e intercambio de ideas.
- Tener como centro al ser humano, entendiéndolo como singularidad y colectividad. Hoy en día, frente a un mundo nuevo, cada vez más multicultural, multiétnico y multireligioso, se hace necesario un “Nuevo Humanismo” como redescubrimiento del hombre y de su relación con la realidad en la cual vive, como reafirmación del valor de la persona.
- Propiciar el bienestar social. El proyecto se basa en dar respuestas a las necesidades de la colectividad. Para ello es imprescindible el contacto directo con la población, propiciando la participación ciudadana y analizando la información recibida para un adecuado diagnóstico.

- Generar y fomentar la cultura, produciendo un contenido que favorezca un pensamiento crítico y reflexivo. Es un proyecto global e intercultural en cuanto a visión, expertos y metodología.
- Educar. El "Proyecto Aedificatio" tiene una dimensión didáctica, propiciando la explicación y la difusión de contenidos dirigidos a la educación primaria, secundaria y universitaria. La misma palabra "Aedificatio" contiene en sí este concepto fundamental: del lat. *aedificare*, con el significado de construir y fundar, si no también de educar, instruir, iluminar. El "Proyecto Aedificatio" tiene en cuenta la misión de la UNESCO en cuanto a Educación, Ciencia y Cultura.
- Fomentar la curiosidad y creatividad del observador, así como propiciar la belleza y armonía del mismo diseño del proyecto arquitectónico y de su contenido, activando cada uno de los puntos desarrollados en el presente manifiesto.
- Contemplar los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU.
- Unir la contemporaneidad y la tecnología más avanzada con la tradición y saber vernáculo, enfatizando los elementos locales, así como los globales y visiones intergeneracionales.
- Contemplar como objetivo último la preservación de los elementos identitarios del lugar en el cual se interviene y la puesta en valor del *genius loci*.

Los tres proyectos nombrados en la introducción y que justifican la premisa de la presente contribución se consideran representativos para que posteriormente exista una enriquecedora producción científica del área de Construcciones Arquitectónicas.

En concreto, en el primer proyecto, la publicación realizada dentro del contexto del Mediterráneo proporciona un modelo para la creación de ciudades sostenibles y saludables en la región mediterránea. Utiliza la ciudad costera de L'Alfàs del Pi en España como ejemplo para diseñar modelos urbanos renovables e innovadores que ofrecen altos estándares de vida, bienestar y ventajas ecológicas. Los análisis cuantitativos y cualitativos son presentados por académicos en una amplia variedad de campos para proporcionar una comprensión profunda de las influencias sociales, culturales, económicas, políticas, físicas, ambientales y de salud pública, a través del estudio de caso de L'Alfàs del Pi. Los capítulos del libro exploran una serie de propuestas innovadoras para abordar las preocupaciones en el área, incluida la preservación histórica, el transporte sostenible, la promoción de la salud y la actividad física y la conservación del agua. La metodología establece un enfoque estratégico que sirve como punto de referencia útil para las ciudades costeras, particularmente en los países mediterráneos, en la creación de ciudades sostenibles y saludables.

En el segundo proyecto, el Mirador en el contexto del Geoparque de Granada ha pretendido poner en valor el patrimonio natural y paisajístico del entorno del Puente Duda, estudiar y diagnosticar la viabilidad, así como favorecer la conservación del entorno y divulgar el paisaje rural existente

como lanzadera al fomento del turismo. Es necesario promocionar el Geoparque de Granada y ofrecer información del este Lugar de Interés Geológico (LIG).

Por último, en el tercer proyecto, Cubo Cultura es un espacio cultural para el pensamiento libre, un espacio expositivo, de debate y creación artística, que pretende acercar la cultura y el arte a la ciudadanía, propiciando estímulos y despertando la curiosidad.

Para ello, el CUBO varía de ubicación de manera imprevisible, orientándose preferentemente a espacios periféricos, muchas veces olvidados. El propio CUBO se propone como un exponente de alto valor constructivo y estético con el cual los artistas son llamados a dialogar; por otro lado, a su vez el CUBO dialoga con el contexto paisajístico o urbanístico del lugar que lo acoge.

3. Metodología

Desde el punto de vista metodológico, el "Proyecto Aedificatio" se desarrolla en tres fases:

COGNITIO. Fase de conocimiento. En esta primera fase se estudia y analiza el contexto donde se desarrolla el proyecto desde un punto de vista multidisciplinar: histórico, sociológico, económico, artístico, arquitectónico, urbanístico, paisajístico, geológico, etc...

La fase de conocimiento constituye la base del proyecto en su conjunto y permite establecer el concepto y los criterios para el diseño del proyecto arquitectónico.

COGITATIO. Fase de proyecto (arquitectónico, artístico, cultural...). Es esta segunda fase se desarrolla el proyecto, basado en el concepto y criterios definidos en la fase de conocimiento. El proyecto se desarrolla con

metodología BIM, buscando el rigor en el diseño (Emery, 2007) y en la gestión económica, y bajo parámetros de sostenibilidad, combinando las nuevas tecnologías y los materiales contemporáneos con el saber vernáculo.

EDUCATIO. *Fase cultural y educativa.* El “Proyecto Aedificatio” contempla como eje estratégico producir contenidos culturales y educativos que trasciendan al objeto construido dirigidos a los distintos niveles educativos y población en general. Esta última fase pretende generar dinámicas de participación y reflexión activas sobre los procesos públicos de construcción arquitectónica.

4. Resultados

En relación al proyecto en el contexto de la ciudad mediterránea de L’Alfàs del Pi el resultado concreto ha sido la publicación con la editorial Routledge de Taylor&Francis con el título “Health, Wellbeing and Sustainability in the Mediterranean City, Interdisciplinary Perspectives” (Jiménez-Delgado & Lloret, 2019). La investigación realizada se ha concretado en los siguientes temas: análisis y definición de la estructura social, cultural y económica de la ciudad; intercambio e hibridación entre disciplinas en la investigación de territorios saludables en la cuenca mediterránea europea; preservación del patrimonio material e inmaterial en las ciudades mediterráneas; desarrollo urbano inteligente en la ciudad mediterránea; participación ciudadana en el paisaje natural y sociocultural; movilidad urbana e interurbana, definición de corredores verdes y estrategias de intervención; prácticas preliminares de evaluación para la definición de herramientas y objetivos de calidad paisajística en asentamientos mediterráneos; monitoreo del ambiente doméstico y su influencia en la calidad de vida; criterios de preservación de hitos y metodología BIM; el uso de IoT e IA para lograr la eficiencia del agua en entornos urbanos.



Figura 1. Barranco del Guardal y Mirador

Fuente: Elaboración propia (2020)

En la segunda contribución, “Proyecto Aedificatio en el entorno paisajístico de Puente Duda. Geoparque de Granada, UNESCO”, se ha obtenido como resultado la propuesta de un proyecto viable y sostenible realizado con metodología BIM fruto del debate multidisciplinar, siempre intenso, entre los investigadores implicados.

El concepto para el diseño se concreta en el siguiente texto (Figura 1):

“Es un día soleado con una suave brisa, mientras quien observa se percata de la presencia de algunos grupos de escolares que almuerzan junto a sus ancestros genéticos; de un peregrino que transita buscándose a sí mismo en el mundo; de estudiantes y aficionados rastreando las huellas del pasado. También se sorprende por la singular fauna, flora y morfología del territorio. A lo lejos, otea lo que parece una mula y a una familia trabajando la tierra mientras a su lado unos jóvenes comparten su experiencia en redes sociales. De repente, mientras hace notas en su cuaderno apoyado en su libro de bolsillo, un eco silencia el cañón. Todas las personas que allí se encuentran se miran con cara de sorpresa y ánimo. Todas ellas, de repente, sienten un escalofrío que les recorre al hacerse conscientes del contexto en el que se encuentran. Pasado, presente y futuro se han acomodado en unas coordenadas espaciotemporales que dan conciencia a su existencia. Todas ellas, de repente, entienden que juntas están asomadas al barranco del tiempo del Guardal”.

La propuesta es un proyecto cultural con diferentes miradores intermedios hasta llegar al “Mirador del Tiempo”:

- *El sendero del tiempo*. Partiendo del estacionamiento hasta el mirador, conecta todos los nuevos puntos de interés del parque; se configura como un hilo rojo que conecta diferentes emociones que, ligadas culturalmente, siempre han sido el prelude de la chispa del artista.
- *Mirador del descanso*. El tema del camino, subrayado por dos sesiones que, enfrentadas parcialmente, marcan sus límites y su dirección, introduce la idea de parque, sugiriendo un camino y un diálogo tanto individual como colectivo.
- *Mirador del escritor*. El escritor es quien percibe la naturaleza que le rodea y la transmite en verso a su vecino, dejando tras de sí un legado hecho de palabras. El espacio circular dedicado a este primer arte sugiere un punto de encuentro e intercambio cultural en una forma que, eliminando cualquier disparidad, favorece la libertad de opinión y pensamiento en un lugar donde la naturaleza y el medio ambiente son los protagonistas.
- *Mirador del pintor*. El pintor mira la naturaleza, la reinterpreta y la traduce en colores que, fundidos en el lienzo, transmiten al espectador la misma emoción que siente su creador. El cuadrado, como símbolo no dinámico, representa la detención, el instante aislado, el “aquí y ahora”, la tierra; básicamente todo lo que el pintor intenta congelar en su lienzo inmutable.
- *Mirador del tiempo*. El observador es el que escudriña la naturaleza no en busca de inspiración artística, sino en busca de respuestas sobre sí mismo y el mundo que lo rodea y quien transmite a la posteridad un conocimiento verbal compuesto por diálogos, cuentos e historias como el del primer hombre, descubierto de hecho en esta zona. No sabía escribir, no sabía pintar, pero transmitía sus conocimientos oralmente. La forma del triángulo recuerda al telescopio del observador, el que escudriña el paisaje y la historia en busca de sus orígenes y su futuro (Figura 2).



Figura 2. Mirador del tiempo

Fuente: Elaboración propia (2020)

En relación al último proyecto, Cubo Cultura, los resultados obtenidos van referidos al hecho constructivo de un cubo en vidrio con estructura de acero y al espacio cultural y creativo que se genera y su interacción con el entorno social y arquitectónico.

Su primera ubicación fue el Barrio Nuevo de Huéscar junto a las viviendas cueva en un hábitat troglodítico (Figura 3). En este lugar el artista Hermelando B. M. trabajó de día y de noche hasta concluir su obra denominada el “Recién nacido. Soy el espacio donde estoy, efímero paisaje, cuerpo de barro y esparto” (Figuras 4-5). La instalación escultórica, realizada utilizando materiales vernáculos y autóctonos, era un himno a la vida y una reflexión sobre la propia fragilidad humana, recordándonos a la vez la necesidad que todos tenemos de un cobijo y un abrazo, una casa y los afectos de nuestros seres queridos. La obra dialogaba con el territorio y con el propio Cubp, que metafóricamente era el “recién nacido” en el sentido amplio del proyecto. El Cubo tomaba vida y, no casualmente, su andadura comenzó en el Geoparque de Granada, donde se encuentran los restos del hombre más antiguo de Europa, el Hombre di Orce.



Figura 3. Cubo Cultura en el Barrio Nuevo de Huéscar
Fuente: Elaboración propia (2022)



Figuras 4-5. Cubo Cultura en el Barrio Nuevo de Huéscar
Fuente: Elaboración propia (2022)

Posteriormente, el Cubo continuó su andadura en Huéscar, donde, junto a la Torre del Homenaje intervenida por Antonio Jiménez Torrecillas y luego al Convento de San Francisco, la fotógrafa Susana Girón presentó su propuesta creativa (Figura 4). Titulado *Rostros Rastros*, el proyecto se concretó en la realización de los retratos de noventa y nueve habitantes de Huéscar, utilizando una antigua cámara de placas y un soporte sensible en papel positivo directo. El resultado fueron noventa y nueve fotografías sin negativo de origen, que detenían los instantes de las tomas de una forma única e irrepetible y que se expusieron colgadas al aire dentro del mismo Cubo. Según las palabras de la autora, “este proyecto se materializa a través del uso de la fotografía como herramienta de documentación y reflexión sobre el territorio y el tiempo”, con la intención de crear “un documento fotográfico de quiénes éramos, quiénes somos y la incertidumbre de quién seremos como habitantes que comparten un espacio”. Con el proyecto de *Rostros Rastros*, el Cubo ha triplicado su función: era un estudio fotográfico, creando un fondo acogedor y al mismo tiempo abierto y diáfano a las imágenes; el lugar privilegiado de encuentro y diálogo entre fotógrafo y fotografiado y, finalmente, espacio expositivo.



Figura 6. Cubo Cultura en Huéscar, junto a la Torre del Homenaje intervenida por Antonio Jiménez Torrecillas

Fuente: Elaboración propia (2022)

5. Conclusiones

En todos los proyectos analizados en la presente aportación el proceso investigador y didáctico es necesariamente un camino lento (*slow professor*) que requiere un trabajo artesanal, minucioso y detallado.

En el caso del proyecto de la Ciudades del Mediterráneo se obtuvo como resultado académico la publicación en la prestigiosa editorial Routledge. No obstante, el objetivo no debe ser la publicación en sí sino el camino que se desarrolla con un equipo multidisciplinar, interuniversitario e internacional donde el aprendizaje didáctico e investigador trasciende al mero hecho de publicar.

En el desarrollo del proyecto del Mirador resultó ser un ejercicio intenso de debate entre todas las disciplinas implicadas, y como diría Ortega y Gasset (1999), una auténtica lección produciéndose un encuentro entre unos y otros con consecuencias graves. El debate entre disciplinas enriqueció el proyecto que se desarrolló desde el punto de vista investigador y didáctico. Por otro lado, se constató la falta de hábito en nuestro ámbito universitario de trabajar en equipos multidisciplinarios y la importancia de superar la dinámica monodisciplinar de la mayoría de las áreas de conocimiento.

En la propuesta del Cubo el tema de reflexión se centró en la educación y la formación (en un sentido amplio) de la persona en el ámbito de educación primaria, secundaria y universitaria (Molero Pintado, 2000). A su vez se propuso un eje vertebrador, el tiempo, el concepto de “aceleración” y “slow” en los procesos de investigación, educativos y culturales. En definitiva, el Cubo quiere recrearse en el placer de investigar y aprender despacio, de saborear lo que hacemos en la vida y en concreto en el ámbito cultural. Tomando como referente al profesor Nuccio Ordine anteriormente nombrado y sus reflexiones sobre la educación, el Cubo pretende propiciar un debate sobre el aprendizaje en el individuo, su desarrollo cultural y su enriquecimiento personal y colectivo (García Gual, 2017). Así mismo considera sustancial evocar un diálogo con el Patrimonio Arquitectónico de la ciudad como estrategia educativa y cultural.

Desde el punto de vista de la docencia y la formación cada uno de los tres proyectos ha aportado relevantes y sustanciales mejoras en el llamado “aprendizaje significativo” de los estudiantes implicados. En los proyectos se ha hecho partícipe a los estudiantes en el proceso del diseño y desarrollo de los objetivos: junto con los profesores, han debatido y confrontado ideas desde las primeras fases del proyecto hasta finalizarlo, acercando la realidad social al ámbito académico, así como las dinámicas de investigación en cada una de las disciplinas implicadas. Desde un análisis cualitativo de los procesos de aprendizaje generados podemos afirmar que la formación técnica de los estudiantes que han participado es mucho más completa que en aquellos que han seguido métodos convencionales, así como la contextualización y relación entre disciplinas se ha visto

enriquecida por el método aplicado. Además, se ha incentivado la visión humana y humanística de los participantes en los proyectos analizados desde enfoques sociológicos, arquitectónicos, medioambientales, etc.

Las tres fases del proyecto académico, Cognitio, Cogitatio y Educatio, ayudan a comprender la importancia del saber científico así como el conocimiento vernáculo, desarrollando la disciplina de documentar y analizar previo al proyecto (Cognitio); por otro lado, la fase de proyecto significa poner en valor las áreas de conocimiento en juego y la complejidad de la relación entre ellas, así como la concreción de una solución que posteriormente será profundamente analizada e implementada (Cogitatio). Por último, la fase que ayuda al análisis crítico y a la diversidad de postulados (Educatio) forma parte de un proceso de gran riqueza creativa consolidando también las soluciones técnicas en detalles constructivos rigurosos y avanzados dando lugar igualmente a la visión de conjunto correctamente contextualizada.

Referencias

- Berg, M. & Seeber, B.K. (2022). *The Slow Professor: desafiando la cultura de la rapidez en la academia.* Acompañado de *Slow humanities: un manifiesto.* Granada: Eug.
- Emery N. (2007). *Progettare, costruire, curare. Per una deontologia dell'architettura.* Bellinzona: Casagrande.
- García Gual, C. (2017). *La luz de los lejanos faros. Una defensa apasionada de las humanidades.* Barcelona: Ariel.
- Jiménez-Delgado, A. & Lloret, J. (2019). *Health, Wellbeing and Sustainability in the Mediterranean City. Interdisciplinary Perspectives.* Londres: Routledge.
- Margarit, J. (2020). *Poética.* Barcelona: Arpa.
- Molero Pintado, A. (2000). *La Institución Libre de Enseñanza. Un proyecto de reforma pedagógica.* Madrid: Biblioteca Nueva.
- Ordine, N. (2013). *La utilidad de lo inútil. Manifiesto.* Barcelona: Acantilado.
- Ordine, N. (2017). *Clásicos para la vida. Una pequeña biblioteca ideal.* Barcelona: Acantilado.
- Ortega y Gasset, J. (1999). *Misión de la Universidad.* Alicante: Fundeun.

La investigación inmobiliaria de la Cátedra Observatorio de la Vivienda UPV en y su impacto en la Edificación

Cos-Gayón López, Fernando^a, Guillen Vivas, Mirian^b, Martín Furones, Ángel^c y Fernández Plazaola, Igor^d

^a Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, Universitat Politècnica de València, España;

^b Facultad de Arquitectura, Universidad San Gregorio de Portoviejo, Ecuador; ^c Departamento de Ingeniería Cartográfica Geodesia y Fotogrametría, Universitat Politècnica de Valencia; ^d Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, Universitat Politècnica de València, España.

Abstract

The real estate sector is the natural habitat for many graduates in degrees that qualify them to practice Technical Architecture. Therefore, it is necessary for their training to provide the minimum competencies needed to understand the processes that regulate its functioning, which is essential for the construction of our homes and cities.

Data science enables the prediction of housing price trends in the real estate sector through the analysis of large datasets and the application of machine learning and statistical techniques. The Observatory of Housing Chair at the Polytechnic University of Valencia (UPV) uses data science to conduct research on the housing market and predict the evolution of housing prices.

Some of the aspects analyzed in the Chair's research include the behavior, evolution, and prediction of housing prices in different areas of the city, the supply and demand of housing in different market segments, and the relationship between housing supply and land availability.

To achieve this, the Observatory of Housing Chair collects data from various sources, such as public records, housing sales and rental portals, transportation usage, energy consumption, medical consultations, among others. These data are then analyzed using data mining and machine learning techniques to identify patterns and trends in the housing market.

With the information obtained, the Observatory of Housing Chair develops predictive models that allow for the prediction of housing price trends in the future.

These reports provide valuable information to technical architects, who can use it to make informed decisions about project development and property investment.

Keywords: Data science, Real Estate, Sustainable Development, Predictive Analysis, Urbanism

1. Introducción

El Observatorio de Vivienda de la Universitat Politècnica de València (UPV, 2023) se presenta como una herramienta que combina diversas fuentes del sector y estadísticas oficiales con investigaciones académicas

que profundizan en el conocimiento de la Demanda de vivienda en un sector que requiere información precisa, objetiva y actualizada para respaldar decisiones institucionales y empresariales.

La UPV contribuye con el trabajo de campo y la investigación resultante, proporcionando datos objetivos y verificables al sector inmobiliario de Valencia y su área metropolitana. Esto marca un hito en este tipo de instrumentos, al ofrecer el rigor del método científico en el estudio de la oferta y demanda del mercado inmobiliario, en sus diversas tipologías.

Con sede en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación, la UPV dota al Observatorio de Vivienda con recursos humanos y materiales provenientes de diferentes departamentos especializados en construcción, gestión de proyectos inmobiliarios y análisis de datos. La Cátedra cuenta con once Patronos que representan a los principales actores del sector.

Un aspecto especialmente importante es el análisis de la demanda mediante la metodología del "Big Data" (Grybauskas, Pilinkiene, & Stundziené, 2021), que busca detectar anticipadamente los movimientos de posibles compradores o usuarios, correlacionando datos masivos de movilidad, consumo de energía, asistencia a centros educativos y de salud, iluminación urbana, mapas de ruido, transacciones con tarjetas de crédito o débito, y contrastando la información con las redes sociales, entre otros.

Los objetivos se centran en proporcionar a la sociedad información actualizada, verificada e imparcial de manera abierta y accesible, cumpliendo así con su función social. La Cátedra tiene como objetivo anticipar los desequilibrios entre la oferta y la demanda en el sector inmobiliario, utilizando los datos masivos mencionados anteriormente.

Además, este conocimiento se transfiere a la sociedad a través de informes periódicos trimestrales, que brindan información contrastada e imparcial, y están disponibles de forma abierta y accesible, en línea con su función social.

Consideramos esencial la utilización de ciencia de datos en sector inmobiliario, con la posibilidad de gestión transversal de los mismos (Oluwunmi, Role, Akinwale, & Afolabi, 2019). Creemos que hemos desarrollado una metodología sólida cuyas predicciones se alinean con la realidad. Esto nos anima a seguir mejorando nuestros modelos y trabajar continuamente para aportar el rigor que este apasionante sector merece, ofreciendo ciencia para combatir la superstición.

2.- Estado actual

El sector inmobiliario es altamente dependiente de las circunstancias coyunturales, con implicaciones territoriales, sociales, demográficas, culturales y económicas. Sin embargo, lo más destacado es la falta de información rigurosa disponible. De hecho, tener datos confiables resulta extremadamente valioso, ya que marca la diferencia entre proyectos viables y fracasos rotundos.

Desde hace varios años, especialmente desde que se vislumbró la recuperación del sector inmobiliario en 2015, se ha observado una cobertura informativa sistemáticamente catastrofista sobre la realidad y su posible evolución. Esto es algo inusual en cualquier otro sector; los mensajes transmitidos al público han sido mayoritariamente negativos y han advertido sobre la llegada de un nuevo cataclismo inmobiliario.

Centrándonos en los años en los que la Cátedra Observatorio de la Vivienda de la Universitat Politècnica de València ha elaborado informes trimestrales, desde 2018, los medios han insistido en la inminente caída de los precios. En cada presentación de los resultados de nuestros informes, y ya llevamos 17, hemos tenido que justificar en doble medida nuestras conclusiones, ya que han sido (y siguen siendo) numerosos aquellos que anticiparon el colapso del sector, desde hace cuatro años. No importa si se basan en datos rigurosos o simplemente en intuiciones, no se distinguen ni las fuentes ni los razonamientos.

Hoy, cinco años después de nuestros primeros estudios, es innegable quiénes anticiparon de manera más realista la evolución del sector. En la figura 1 (Cátedra Observatorio de la Vivienda UPV, 2023) se muestra claramente la evolución del precio de las viviendas de obra nueva en Valencia desde 2019, lo cual es una

prueba contundente de la seriedad y confiabilidad de los pronósticos apocalípticos: Pese a esas “adivinations” de caída profunda de precios, lo que tenemos es un aumento descontrolado de los mismos.

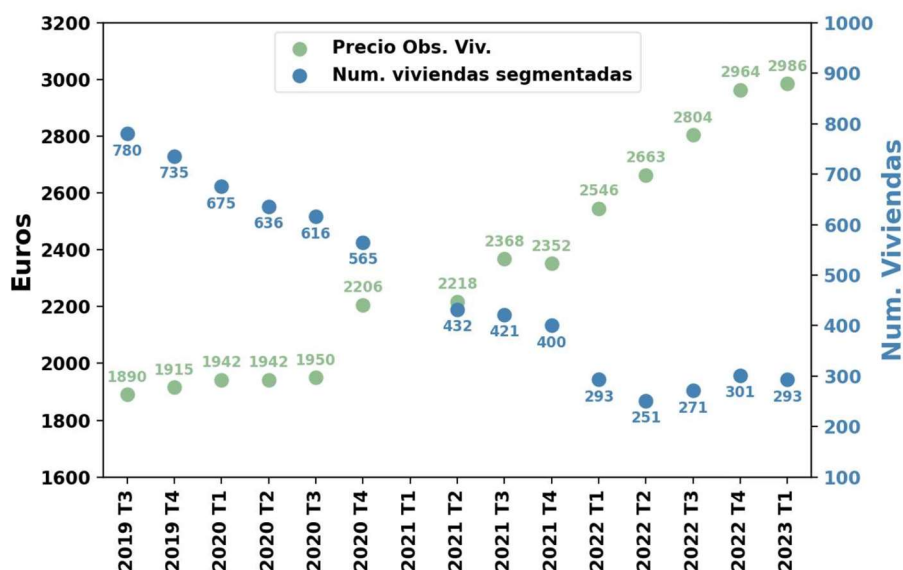


Figura 1. Precio por metro cuadrado obtenido en el Observatorio de la Vivienda y número de viviendas segmentadas sobre las que se ha calculado el valor (Cátedra Observatorio Vivienda UPV, 2022)

La realidad es mucho más compleja y rara vez se puede prever con exactitud lo que sucederá. En el mejor de los casos, al analizar una gran cantidad de datos de manera integral, podemos anticipar posibles escenarios. La complicación radica en las constantes adaptaciones que realiza cualquier sector al entorno, las cuales difícilmente pueden ser predichas.

En este sentido, la decisión de aumentar el número de viviendas en alquiler por parte de empresas respaldadas por grandes fondos, family offices o pequeños inversores ha condicionado la disponibilidad de viviendas de obra nueva, ya que gran parte de la actividad inmobiliaria se ha centrado en el alquiler en lugar de la venta (Monturiol, 2023). Sumado a esto, el marcado déficit de suelo urbano disponible en algunas grandes ciudades, incluyendo Valencia, ha llevado a una contracción sin precedentes en la oferta (lo cual se refleja en la gráfica mencionada).

Dado el significativo desequilibrio entre la escasa oferta y la alta demanda, parte de los compradores optan por recurrir al mercado de viviendas usadas, lo que ha impulsado el crecimiento de dicho mercado. Además, los altos precios de alquiler (superiores a la cuota hipotecaria de una vivienda nueva en todos los barrios de Valencia) han provocado que parte de la oferta de viviendas usadas pase a estar disponible para alquiler, lo que también reduce la disponibilidad de dichas viviendas.

En el ámbito del alquiler, se observa una brusca disminución de testigos, con una estabilización de los precios, pero que se mantienen en niveles históricamente altos.

Por todas estas razones, consideramos que los tres tipos de productos (viviendas de obra nueva, viviendas usadas y viviendas en alquiler) se encuentran en un momento crítico, con una demanda excesiva y escasez de oferta. Es previsible que las viviendas usadas sean las primeras en ajustar su crecimiento, debido a la coyuntura de aumento de las tasas de interés, la inflación y los bajos salarios.

En cuanto a las viviendas de obra nueva, se percibe una profesionalización del sector, con movimientos anticipados al mercado, como la retirada de productos debido al aumento de los costes de construcción, su ajuste y posterior puesta en venta, tal como se detalla en el informe. Las previsiones para el próximo año indican un crecimiento sostenido de los precios, debido al actual desequilibrio entre oferta y demanda.

Por lo tanto, es necesario aumentar el número de viviendas disponibles. Se debe implementar un plan coordinado entre las diferentes administraciones para garantizar el derecho constitucional a una vivienda digna

en España. Para lograrlo, es fundamental construir viviendas nuevas, especialmente viviendas de protección oficial.

Asimismo, una vez fomentado el incremento en la disponibilidad de viviendas, consideramos necesario instar nuevamente a nuestras instituciones a abordar las ayudas para facilitar el acceso a la vivienda, no limitándose únicamente a la primera vivienda. Hasta hace unos trimestres, el grupo de edad inferior a 35 años enfrentaba mayores dificultades para acceder a una vivienda digna, pero ahora esta situación afecta a distintas generaciones debido a la insuficiencia de oferta de viviendas protegidas tanto en compra como en alquiler.

Resultan imprescindibles políticas que garanticen el acceso mediante ayudas directas, garantías para las sumas iniciales de compra no financiadas, y una colaboración efectiva y sostenible entre el sector público y privado que facilite el desarrollo de proyectos destinados a estas categorías de vivienda. También se requiere una gestión eficiente en el desarrollo urbanístico. Sin estas medidas, corremos el riesgo de enfrentar una situación de emergencia habitacional para una parte significativa de la población que no puede permitirse adquirir ni siquiera una vivienda completa para alquilar, viéndose obligada a compartirla con otras familias.

3.- Propuesta de actuación: Aumentar la vivienda protegida pública y privada

Con el propósito de proporcionar datos y rigurosidad acerca del impacto que la creación de nuevas viviendas protegidas tendría en el precio promedio de una ciudad, hemos llevado a cabo un análisis de las consecuencias que se producirían al construir viviendas protegidas en los terrenos públicos disponibles en la ciudad.

La oferta de viviendas en la ciudad de Valencia, como ha venido señalando la Cátedra Observatorio de la Vivienda de la Universitat Politècnica de València desde hace algunos años, se está reduciendo de manera alarmante, lo que ha llevado a una situación de emergencia habitacional.

Este desequilibrio entre la oferta y la demanda de viviendas nuevas ha tenido un impacto significativo en el mercado de viviendas de segunda mano y en el alquiler, lo que ha generado un aumento considerable en los precios. Como resultado, para una gran parte de la población, resulta prácticamente imposible acceder a una vivienda digna, lo que implica que no se está garantizando un derecho fundamental consagrado en nuestra Constitución.

Especialmente preocupante es la escasez de viviendas protegidas, que es prácticamente inexistente, a pesar de ser claramente una de las soluciones que ayudarían a controlar los precios. Un incremento en la disponibilidad de estas viviendas, con un precio máximo de venta fijado, en un contexto de salarios bajos como el actual, permitiría que muchas familias cumplan con los requisitos necesarios para acceder a las ayudas de vivienda protegida, lo que a su vez impulsaría una corrección necesaria en el precio promedio de una vivienda en la ciudad de Valencia.

Con el objetivo de evaluar el impacto de poner a disposición de la ciudadanía nuevas viviendas protegidas, la Cátedra ha llevado a cabo un estudio de los terrenos disponibles y ha realizado proyecciones en diferentes escenarios, considerando distintos niveles de construcción en dichos solares.

4.- Metodología de trabajo

En primer lugar, se tomó como referencia el precio medio de la vivienda en la ciudad de Valencia (Cátedra Observatorio de la Vivienda UPV, 2023).

Seguidamente, se recogieron y procesaron todos los datos de las parcelas de suelo protegido de la ciudad de Valencia a partir de la información que ofrece el Visor del Instituto Valenciano de Edificación (29/01/2023) (Instituto Valenciano de la Edificación, 2023).

Con estos datos, se procedió a filtrar, segmentar, homogeneizar y estudiar cada uno:

1. *Se estudió la normativa de la VL y la VP.*
2. *Se determinaron las superficies útiles.*
3. *Se determinó la cantidad de viviendas aproximadas para cada solar.*
4. *Se determinó una cantidad de viviendas VP aproximadas para cada distrito y para la ciudad de Valencia.*
5. *Se comprobó la hipótesis.*
6. *Se plantaron escenarios.*
7. *Se plantearon las conclusiones.*

5.- Resultados

Con esto, se elaboró un mapa propio con la ubicación de todas las parcelas de suelo protegido en la ciudad de Valencia para el estudio de la VP a nivel de distritos (Fig. 2).

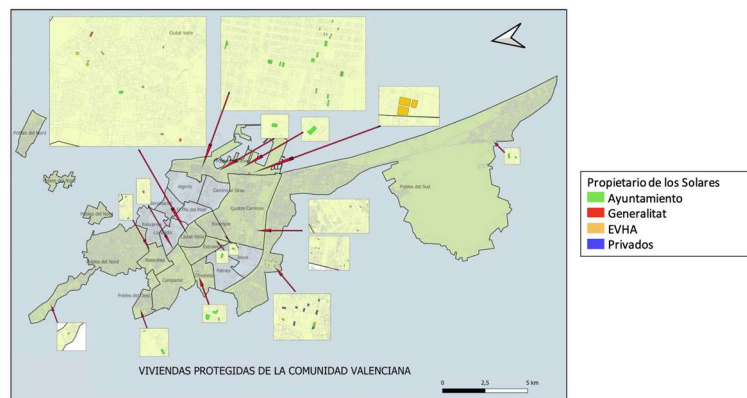


Figura 2. Plano ubicación de suelo público en la ciudad de Valencia (Cátedra Observatorio Vivienda UPV, 2023)

DISTRITO	SUPERFICIE EDIFICABLE RESIDENCIAL	NÚM. VIVIENDAS POSIBLES A CONSTRUIR
Benicalap	10.316,87	92
Pobles del Oest	893,78	8
Campanar	1.911,00	17
Poblats Maritims	17.013,36	151
Pobles del Nord	1.966,19	17
Pobles del Sud	124.115,14	1103
Olivereta	14.274,48	126
Ciutat Vella	7.297,14	65
Extramurs	2.549,51	23
Eixample	10.264,39	91
Quatre Carreres	69.555,72	618
TOTAL	260.157,58	2.312

Figura 3. Viviendas protegidas posibles sobre suelo público urbano disponible en Valencia ciudad (Cátedra Observatorio Vivienda UPV, 2023)

Para ello, se ha tomado como referencia el precio máximo de venta actual para la vivienda protegida en la ciudad de Valencia, 1819 €/m². útil y otro más actualizado a los actuales costes de construcción, 2.000 €/m². útil. Se han contemplado tres hipótesis para cada precio, que estuvieran construidas un 30%, 50% y 100% de dichas viviendas en esos solares disponibles, y cómo esa nueva oferta impactaría en el precio medio de la vivienda en la ciudad.

Los resultados son los siguientes:

% VPO	PRECIO MEDIO VALENCIA CON VPO	PRECIO MEDIO VALENCIA SIN VPO	RENTA BRUTA ANUAL CON VPO	RENTA BRUTA ANUAL SIN VPO
100%	178.166,25 €	289.067,38 €	29.694,38 €	48.177,90 €
50%	189.621,72 €	289.067,38 €	31.603,62 €	48.177,90 €
30%	201.644,74 €	289.067,38 €	33.607,46 €	48.177,90 €



Figura 4. Precio medio y renta bruta necesaria con módulo 1.819,20 €/m²u (Cátedra Observatorio Vivienda UPV, 2023)

% VPO	PRECIO MEDIO VALENCIA CON VPO	PRECIO MEDIO VALENCIA SIN VPO	RENTA BRUTA ANUAL CON VPO	RENTA BRUTA ANUAL SIN VPO
100%	192.563,83 €	289.067,38 €	32.093,97€	48.177,90 €
50%	202.532,11 €	289.067,38 €	33.755,5 €	48.177,90 €
30%	212.994,25 €	289.067,38 €	35.499,04 €	48.177,90 €

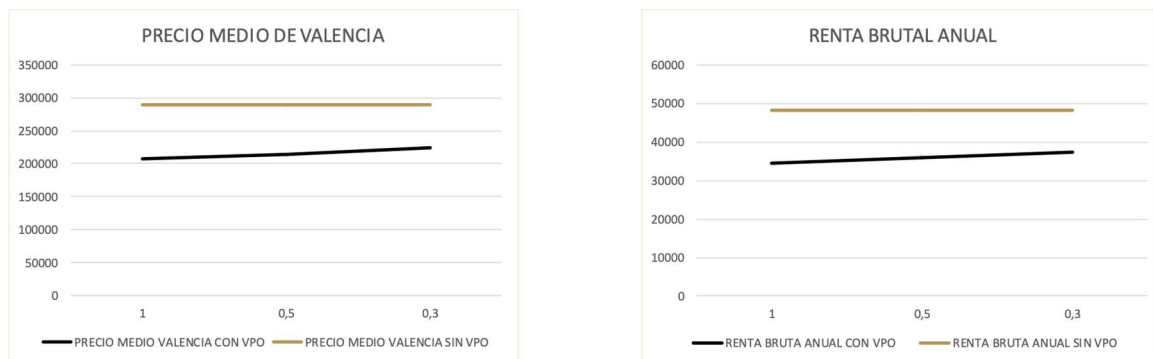


Figura 5. Precio medio y renta bruta necesaria con módulo 2.000 €/m²u (Cátedra Observatorio Vivienda UPV, 2023)

Lo datos, que se desarrollan en el informe, nos dicen que en un escenario con la mitad de las viviendas posibles construidas, el precio medio de la ciudad disminuiría más de un 30% el actual.

En el estudio, como se viene haciendo al analizar la oferta disponible en el visor VIVO de la web observa.upv.es, se relaciona el precio de la vivienda con la renta necesaria para adquirirla, lo que al tratarse de vivienda protegida es fundamental.

6.- Conclusiones

Con todo ello, se plantean unas conclusiones que evidencian cómo una nueva oferta de vivienda protegida, pública o privada, reduciría el precio de las viviendas de manera contundente (entre un 30% y 38%). Y, algo determinante, sin por ello comprometer la salud del sector inmobiliario, sino precisamente, asegurando que

pueda seguir siendo generador de empleo, además de su función esencial, la de garantizar el derecho constitucional de la vivienda para la población.

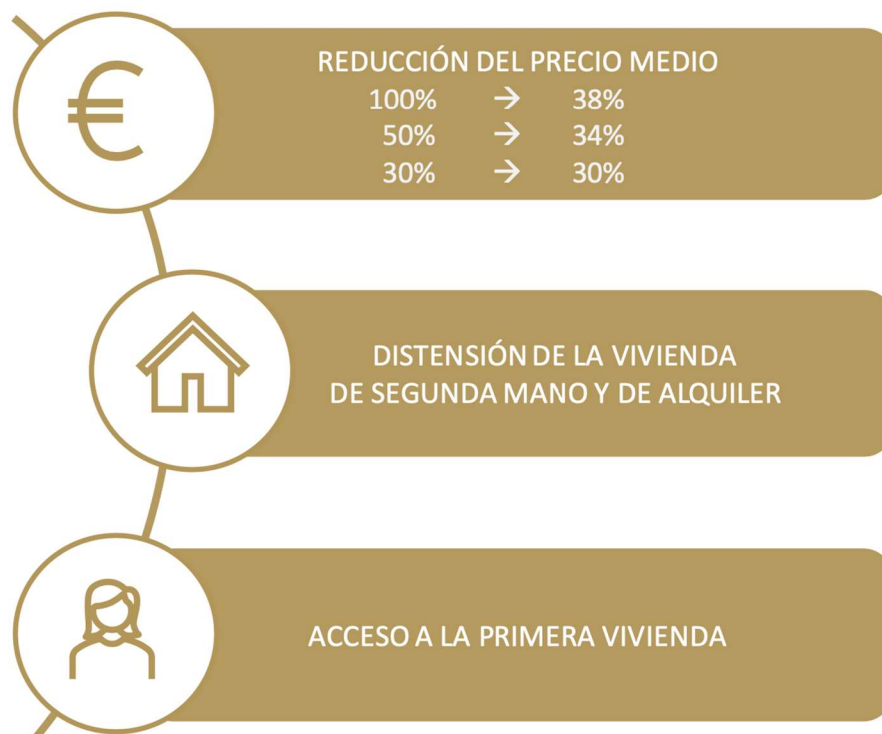


Figura 6. Impacto que tendría la construcción de vivienda protegida sobre suelo público sobre el precio medio en la ciudad de Valencia (Cátedra Observatorio Vivienda UPV, 2023)

Referencias

- Cátedra Observatorio de la Vivienda UPV. (22 de mayo de 2023). Obtenido de Informe 1T2023: <https://observa.webs.upv.es/wp-content/uploads/2023/04/Informe-1T-2023.pdf>
- Cátedra Observatorio de la Vivienda UPV. (22 de mayo de 2023). Obtenido de Informe 4T2022: <https://observa.webs.upv.es/wp-content/uploads/2023/01/Informe-4T-2022.pdf>
- Grybauskas, A., Pilinkiene, V., & Stundzienė, A. (2021). Predictive analytics using Big Data for the real estate market during the COVID-19 pandemic. *Journal of Big Data*, 105.
- Instituto Valenciano de la Edificación. (21 de enero de 2023). Obtenido de Visor Cartográfico: www.five.es
- Monturiol, J. (28 de mayo de 2023). Obtenido de CaixaBank Research: <https://www.caixabankresearch.com/es/publicaciones/notas-breves-actualidad-economica-y-financiera/espana/precio-vivienda-avanzo>
- Oluwunmi, A. O., Role, B. A., Akinwale, O. M., & Afolabi, O. P. (2019). BIG DATA AND REAL ESTATE: A REVIEW OF LITERATURE. *Journal of Physics: Conference Series*.
- UPV. (22 de mayo de 2023). *Cátedra Observatorio de la Vivienda*. Obtenido de www.observa.upv.es

DetECCIÓN OPORTUNA DE ASENTAMIENTOS INFORMALES EMERGENTES: EXPLORANDO FUENTES DE DATOS PARA MODELOS PREDICTIVOS

Guillen Viva, Miriam^a y Cos-Gayón López, Fernando^b

^a Arquitecta, Prof. Facultad Arquitectura, Universidad San Gregorio de Portoviejo, Ecuador;

^b PhD. Arquitecto Técnico y Arquitecto, Prof. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación,
Universitat Politècnica de València

Abstract

The proactive identification of susceptible urban spaces facilitates preemptive measures and resolution of city problems before they escalate beyond control. Employing data science methodologies to urban buildings presents an array of advantages for this line of research, facilitating the accumulation and dissection of voluminous data from diverse sources including sensors, geographic information systems, public archives, and social networks. This aggregated data is subsequently utilized to pinpoint patterns and trends in urban spaces, thereby enabling the early detection of potential vulnerabilities and issues. Data science further empowers the generation of predictive models that can forecast future tendencies of urban spaces. These models can be instrumental in gauging the impact of various urban interventions, such as changes in construction project types, transport modifications, or the implementation of new public policies. This research illustrates how data science enables the effective allocation of resources and budgets toward prevention and resolution of problems in urban spaces. Leveraging the amassed data, the most pressing issues can be identified, and necessary interventions can be prioritized, thereby contributing to more impactful public policy formation in urban planning.

Keywords: Slums, Data science, Sustainable Development, Predictive Analysis, Urbanism.

1. Introducción

La formación de asentamientos informales es una realidad creciente en numerosas ciudades del mundo, en especial en aquellas con rápido crecimiento demográfico y limitada capacidad para proveer de viviendas formales y accesibles a sus habitantes. Ante este desafío, se vuelve esencial desarrollar modelos que faciliten prever el surgimiento de nuevos asentamientos, y así poder actuar proactivamente en la gestión de estos fenómenos urbanos. Al respecto, es imprescindible conocer en profundidad el proceso de construcción de las viviendas informales, dado que este conocimiento es un pilar fundamental para la construcción de modelos predictivos eficaces.

Para empezar, el proceso de construcción de las viviendas informales es un indicativo valioso de la dinámica y ritmo de crecimiento de estos asentamientos. Estos procesos, que suelen ser orgánicos y responder a lógicas de autoconstrucción, no están guiados por reglamentaciones urbanísticas o de construcción, lo que les confiere características particulares en términos de materiales, técnicas y tiempos de construcción. Reconocer estos patrones permitiría detectar a tiempo las primeras etapas de formación de nuevos asentamientos y anticipar su desarrollo futuro.

Además, comprender el proceso constructivo nos permite entender las relaciones que se establecen entre los residentes y su entorno. Los materiales utilizados, la forma en que se organizan las viviendas en el espacio y la relación con el entorno natural y construido, son aspectos que pueden darnos pistas sobre la posible expansión de estos asentamientos y su impacto sobre la ciudad y el territorio.

Por otra parte, es importante recordar que los procesos constructivos de viviendas informales están estrechamente ligados a factores socioeconómicos. La disponibilidad de recursos, las habilidades de los constructores, el acceso a la tierra y a infraestructuras básicas, son algunos de los factores que determinan cómo y dónde se construyen las viviendas informales. El análisis de estos factores permitiría entender las condiciones que propician la emergencia y expansión de asentamientos informales.

En tal sentido, es importante que los modelos predictivos se basen en un entendimiento profundo de las realidades locales. Cada ciudad, cada contexto, tiene particularidades que deben ser comprendidas y tenidas en cuenta para que las predicciones sean lo más aproximadas posible y útiles.

Por último, tener un conocimiento profundo del proceso constructivo en asentamientos informales puede permitir el desarrollo de estrategias de intervención temprana, enfocadas no solo en la prevención, sino también en la mejora de las condiciones de vida de sus habitantes. Esto podría traducirse en políticas de acceso a la tierra y a la vivienda, en la promoción de técnicas de autoconstrucción mejoradas, y en la provisión de infraestructuras básicas, entre otras medidas.

En resumen, conocer el proceso de construcción de viviendas informales es esencial para el desarrollo de modelos predictivos efectivos para la detección temprana de asentamientos emergentes. Este conocimiento, combinado con el análisis de factores socioeconómicos y ambientales, permite comprender y anticipar la dinámica de crecimiento de estos asentamientos, proporcionando a las autoridades herramientas útiles para la planificación urbana y la gestión de la informalidad.

Este estudio describe el proceso de construcción de viviendas informales en el barrio San Pablo, en la ciudad de Portoviejo. El objetivo de la descripción es identificar variables que informen el desarrollo de un modelo predictivo que pueda ayudar a detectar de manera oportuna cuándo está emergiendo un nuevo asentamiento informal. Con este análisis se pretende adquirir un entendimiento más profundo de cómo se desarrollan y crecen estos asentamientos, con el fin de proporcionar herramientas para una intervención temprana y efectiva por parte de las autoridades pertinentes.

El enfoque metodológico es un estudio de caso descriptivo cualitativo, y la recopilación de datos implica observaciones y entrevistas con los residentes locales de los asentamientos informales. Los datos serán codificados y analizados de tal manera que faciliten una descripción rica del proceso de construcción de las casas en estos asentamientos informales, mientras proporcionan evidencia a lo largo del camino. Los resultados esperados, más allá de la descripción del proceso de construcción, son una lista de posibles variables que pueden ser consideradas para el entrenamiento del modelo predictivo.

1.1. Antecedentes teóricos

En el esfuerzo de predecir la emergencia de estos asentamientos, se han utilizado diversas técnicas y herramientas. Un método ampliamente empleado para identificar y estudiar asentamientos informales es el análisis de imágenes de satélite. Al respecto, Kohli et al. (2013) emplearon técnicas de aprendizaje automático y análisis de objetos en imágenes de satélite para identificar asentamientos informales. Esta metodología permite recoger gran cantidad de información geográfica de manera no intrusiva y a gran escala, pero presenta el reto de la interpretación y validación de los datos obtenidos. Como señalan los autores, la identificación de asentamientos informales en imágenes de satélite requiere un conocimiento profundo de las características de estos asentamientos en el contexto específico del estudio.

En contextos como la Amazonía brasileña, Aguiar et al. (2007) utilizan métodos estadísticos para modelar la dinámica del uso del suelo. A través de análisis espaciales y estadísticos, los autores logran identificar patrones y factores que influyen en el cambio del uso del suelo. Este tipo de enfoque aporta una perspectiva valiosa para entender las dinámicas a gran escala que conducen a la formación de asentamientos informales. Sin embargo, este enfoque podría no capturar la riqueza y la especificidad de los procesos a nivel local que también contribuyen a la formación de estos asentamientos.

También es interesante mencionar el trabajo de Taubenböck et al. (2008) en megaciudades de India. Los autores realizan un análisis espaciotemporal para entender los patrones de crecimiento urbano y la formación de asentamientos informales. Este tipo de análisis proporciona una visión dinámica de los procesos urbanos y puede ser especialmente útil para predecir la emergencia de asentamientos informales en contextos de rápido crecimiento urbano.

Los trabajos de Coppin et al. (2004) y Lu & Weng (2007) hacen uso de datos de alta resolución en múltiples fechas para la detección de cambios, en la mayoría de los casos utilizando solo dos imágenes. Este enfoque tiene la ventaja de ser relativamente sencillo y directo, permitiendo identificar cambios visibles en la superficie terrestre a lo largo del tiempo. Sin embargo, una limitación importante de este enfoque es que puede no capturar cambios sutiles o graduales que ocurran en un periodo de tiempo más largo. Además, este método se basa en la suposición de que los cambios identificados entre dos imágenes son representativos de la dinámica general de cambio, lo cual puede no ser siempre el caso.

Por otro lado, De Beurs & Henebry (2005) presentan un enfoque basado en datos hiper-temporales, que utiliza un método basado en un umbral; es decir, la métrica de cambio se compara con un umbral predefinido para inferir si hubo cambio o no. A pesar de la potencialidad de este enfoque para capturar cambios más sutiles y graduales en el tiempo, ha sido sujeto de crítica el que la métrica de cambio utilizada suele basarse en estadísticas anuales, lo que limita la capacidad de estos métodos para representar de manera precisa y completa la dinámica de los cambios a lo largo del tiempo.

A pesar de los esfuerzos en la detección y monitoreo de asentamientos informales, persiste una brecha en los métodos que pueden ayudar a detectar oportunamente cuándo está emergiendo un nuevo asentamiento. Además, se ha informado poco sobre cómo las fuentes de big data, como las redes sociales, los datos de consumo de energía, pueden ayudar a predecir dónde están surgiendo nuevos asentamientos. Descubrir variables para monitorear en tiempo real estas dinámicas se alinea con los movimientos de las ciudades inteligentes en el contexto urbano de los países en desarrollo. Esta relación entre la detección de asentamientos informales y las ciudades inteligentes hace esencial llevar a cabo esta investigación, ya que no sólo permitirá entender mejor los patrones de crecimiento urbano, sino también proporcionar herramientas para la gestión eficiente y sostenible de las ciudades en un contexto de creciente urbanización.

En resumen, los intentos para predecir la formación de asentamientos informales han empleado una variedad de técnicas y enfoques. Cada enfoque tiene sus ventajas y limitaciones, y su idoneidad depende del contexto específico del estudio. Es probable que el camino más prometedor para la predicción de asentamientos informales sea la integración de enfoques cuantitativos y cualitativos, y la combinación de análisis a diferentes escalas, desde el análisis de imágenes de satélite hasta el estudio en profundidad de los procesos locales.

2. Metodología

La justificación del enfoque metodológico seleccionado, es decir, un estudio de caso descriptivo cualitativo radica en su capacidad para proporcionar un entendimiento detallado y en profundidad del fenómeno del surgimiento de asentamientos informales en un contexto específico. En este caso, el barrio San Pablo en la ciudad de Portoviejo. Este enfoque es particularmente útil cuando se trata de explorar y entender fenómenos sociales complejos y multifacéticos, como la formación de asentamientos informales, donde las interacciones entre factores sociales, económicos, políticos y ambientales pueden ser altamente contextuales y dinámicas.

En cuanto a la recopilación de datos, se optó por un enfoque mixto que combina observaciones y entrevistas con los residentes locales de los asentamientos informales. Las observaciones proporcionan un conocimiento directo y sin filtrar del proceso de construcción y desarrollo de las viviendas informales, mientras que las entrevistas permiten obtener información detallada y en primera persona sobre las experiencias, motivaciones y desafíos de los residentes. Este tipo de datos proporciona una visión más rica y contextualizada del fenómeno, lo cual es esencial para la identificación y comprensión de las variables que informan el desarrollo del modelo predictivo.

Respecto al análisis de datos, la codificación y el análisis cualitativo permitirán traducir los datos recopilados en información útil y explicativa. Este proceso implicará identificar patrones y tendencias, así como generar categorías y temas emergentes que ayuden a describir y entender el proceso de edificación de viviendas informales.

La selección de Portoviejo, y en particular el barrio San Pablo como caso de estudio, se justifica por la rapidez con la que aparecen nuevos asentamientos y la incapacidad de las autoridades para prever el transcurso de ocupación. Además, este contexto particular proporcionará nuevas perspectivas sobre la ocupación informal, enriqueciendo la literatura existente en este campo. Así, el estudio promete arrojar luz sobre el desarrollo de los asentamientos informales y facilitar la generación de un modelo predictivo útil y efectivo.

3. Resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación mantienen el orden en el que fue levantada la información de acuerdo con el diseño metodológico planteado a través de observaciones y entrevistas, y permiten esclarecer el proceso de edificación de vivienda informal en las periferias de Portoviejo, específicamente en el barrio San Pablo. Se aplicaron dos instrumentos que hicieron posible la exploración de los requerimientos necesarios. Los participantes en las entrevistas fueron residentes voluntarios escogidos de manera aleatoria. Los datos recogidos recibieron un tratamiento descriptivo.

Según la información registrada, los habitantes que deciden radicarse en el San Pablo principalmente se asientan sobre lotes vacíos que identifican como disponibles en las colinas de la parroquia, de manera ilegítima y deliberada. Esta decisión es tomada por dos grupos de personas, en primer lugar y mayoritariamente por quienes han vivido muchos años en el sector, que ahora cuentan con su propia familia y necesitan una solución espacial para tener cobijo, manteniendo el sentido de pertenencia hacia el lugar en donde crecieron; y en segundo lugar, por personas que han abandonado o han huido de sus lugares de residencia ubicadas en otras provincias como Esmeraldas, Guayas y Santo Domingo de los Tsáchilas, para buscar refugio en el San Pablo debido a su participación en hechos delictivos. También existen muchos casos en los que ciertos ciudadanos se autodenominan como propietarios de terrenos ubicados en el San Pablo que deciden vender lotes, ilegalmente, pues se declaran poseedores de parcelas sin documentación legal que respalde sus afirmaciones.

Una vez adquirido el terreno, de manera autoritaria o siendo víctimas del tráfico ilegal de tierras, los nuevos residentes inician la construcción de sus viviendas con materiales perecibles y económicos, con técnicas de construcción elementales, sin normativa urbana, arquitectónica y/o estructural, en zonas sin infraestructura y mediante la autoconstrucción. En un principio, las viviendas se construyen generalmente con bambú o cañas rollizas utilizadas a manera de columnas; caña picada, tabloncillos de madera, madera contrachapada, láminas metálicas onduladas con recubrimiento galvanizado e incluso cartones como paredes o muros; y para las cubiertas utilizan sobre todo materiales metálicos galvanizados. Con el transcurso del tiempo, dependiendo de la disponibilidad económica de los habitantes del hogar, y de sus necesidades físico-espaciales por el incremento de los miembros del hogar, las viviendas podrían sufrir transformaciones, ampliaciones y/o mejoras,

en consecuencia, la construcción de las casas se torna progresiva, no solamente por la corta durabilidad de los materiales empleados, sino también por el posible incremento de la capacidad financiera de la familia.

Según los datos obtenidos, sobre el acceso a los servicios básicos como el agua potable, los habitantes que se han ubicado en las cotas más altas de las colinas del San Pablo, donde no existe el suministro del servicio ni infraestructura vial que permita el acceso vehicular, desde hace algunos años se han visto obligados a comprar el agua procedente de las zonas bajas del sector en tanques con capacidad de 25 litros, a través del bombeo desde cisternas ubicadas en las viviendas de familias que se dedican a la comercialización del agua o desde tanqueros que visitan constantemente el sector a sabiendas del déficit del servicio. Los tanques deben subirlos hasta sus viviendas a pie o con la ayuda de motos o tricimotos, aunque inicialmente lo lograban con la ayuda de animales de carga. Hace algunos años también se obtenía agua desde pozos, con bombas accionadas por fuerza humana o mecanizada, cerca de masas de agua subterránea ubicadas en las zonas más bajas del sector.





En cuanto a la evacuación de aguas servidas en las viviendas que se encuentran desconectadas de la red de saneamiento, se utilizan pozos ciegos. Por su parte, algunos residentes obtienen energía eléctrica a través de conexiones clandestinas, que además de ser ilegales, ponen en riesgo a las viviendas aledañas.

Debido a la cercanía que existe con un botadero de basura de desperdicios degradables y no degradables, algunos residentes se dedican al reciclaje como una actividad para obtener recursos económicos. Además, muchos objetos y materiales son utilizados para construir y equipar sus casas, como cañas, tablas, planchas metálicas, plásticos, colchones, colchonetas, sillas, etc.

Por lo tanto, es importante tener en cuenta cuál es el proceso de conformación de los asentamientos informales y las implicaciones que genera ese proceso. En ese sentido, todas las fases de creación de los asentamientos informales se dan de manera simultánea, es decir, mientras inicia la urbanización, se construye la vivienda y las familias empiezan a habitarlas, sin tener en cuenta la infraestructura del sector, equipamientos, etc. y continúan bajo esas condiciones precarias durante un largo periodo de tiempo, afectando la calidad de vida de los residentes; a diferencia de los asentamientos formales que cuentan con un proceso más lineal y planificado (Saez et al. 2010).



Entonces, se podría afirmar que el proceso de consolidación de las viviendas en las zonas urbanas pobladas por grupos humanos de escasos recursos económicos se extiende en el tiempo y va en relación de sus necesidades y recursos. Las posibilidades económicas, las habilidades para gestionar y el crecimiento familiar parece incidir directamente en la transformación de sus casas. Como señalaba Moser (1972), los pobres construyen progresivamente sus viviendas de acuerdo con las limitaciones de sus ingresos económicos, lo que les permite decidir el tamaño y estilo según los requerimientos de su familia. Sin embargo, en muchos asentamientos informales han transcurrido 20, 25, 30 años o más – como en el caso del San Pablo- y aún

existe un alto déficit cualitativo en las viviendas, que se suma al déficit cuantitativo para personas de menor nivel socioeconómico y mayor vulnerabilidad.

Las modificaciones que los residentes realizan en sus viviendas muestran la necesidad de rediseñar el espacio habitable de acuerdo con las necesidades propias de cada familia. Así, la calidad de la vivienda guarda relación con el grado de satisfacción de esas necesidades que pueden variar con el transcurso de los años, tal como varían el tamaño y las características de la familia. De hecho, las primeras transformaciones se dan por la poca durabilidad de los materiales utilizados inicialmente, además de la búsqueda de mayor seguridad, factores climáticos e inseguridad.

Los casos de los asentamientos informales guardan muchas similitudes especialmente en la forma de apropiación del espacio, sistemas constructivos, materiales y progresividad de las viviendas, sobre todo en la costa ecuatoriana, así lo describe la antropóloga Caroline Moser en su estudio sobre la comunidad “Indio Guayas” en Guayaquil: “Al comienzo vivíamos en el barro y caminábamos por los puentes. Viví sin cuatro paredes. Pero poco a poco construí mi primera casita”- Lydia (Moser, 2010).

Reiteradamente quienes fueron entrevistados indicaron que sus viviendas les daban seguridad física. No obstante, Moser (1972) aclara que los alojamientos deben permitir acceso, abrigo y tenencia para quienes habitan el espacio y para los vecinos. Y es precisamente con el cumplimiento mínimo de estas tres variables que una vivienda se puede catalogar como hogar. Además de seguridad física, los entrevistados relacionaban sus casas con la tranquilidad de poseer un bien, de tener algo “propio”, algo muy representativo de la cultura latinoamericana, sin ser su mayor preocupación la precariedad en la que desarrollen sus vidas y las de sus familias.



4. Conclusiones

Las personas que se asientan informalmente en las periferias de las ciudades generalmente utilizan áreas de conservación ecológica, de uso agrícola o lotes privados, con materiales y técnicas constructivas básicas, sin tomar en cuenta a personal calificado, sin planificación, sin asistencia financiera, sin permisos de construcción, sin normativa urbana / constructiva / arquitectónica, sin infraestructura elemental, etc.; lo que de acuerdo a los criterios utilizados por UN HABITAT correspondería a hogares de asentamientos precarios.

El componente de desarrollo progresivo de edificación de las viviendas de los asentamientos informales intenta satisfacer las necesidades, requerimientos y expectativas de cada familia, de cada comunidad y de cada contexto en particular. La vivienda se completa en el mediano y largo plazo, según las necesidades, voluntad y posibilidades de la familia: la vivienda se consume mientras se construye (Cilento, 1994).

Es importante resaltar la participación de los habitantes en la construcción de sus viviendas, la organización de las comunidades en la promoción y gestión de su hábitat. El proceso de construcción se da a través de la autoconstrucción y con el apoyo de las familias del sector gracias a su ingenio personal y comunal. Las redes, las relaciones sociales, la organización y participación colectiva de los pobladores del barrio son vitales en la formación inicial y en la consolidación de los asentamientos. La toma de decisiones se da porque son ellos los que particularmente identifican sus necesidades y sus soluciones.

Resulta interesante la aplicación de la ciencia de datos en la industria de la construcción que a lo largo de los años ha sido considerada muy tradicional e ineficiente. De esta forma, gracias a la aplicación de *Data Science* y específicamente del análisis predictivo, se podría detectar el surgimiento de un nuevo asentamiento a través de la detección temprana de los patrones del proceso de edificación de las viviendas en asentamientos informales para plantear distintos escenarios futuros que permitan la toma de decisiones más acertadas con la finalidad de mejorar la calidad de las personas más vulnerables.

Referencias

- Aguiar, A. P. D., Câmara, G., & Escada, M. I. S. (2007). Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: Exploring intra-regional heterogeneity. *Ecological Modelling*, 209(2–4), 169–188. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.06.019>
- Cilento, A. (1999). Cambio de paradigma del habitat. Caracas: Colección Estudios.
- Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., & Lambin, E. (2004). Review Article Digital change detection methods in ecosystem monitoring: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9), 1565–1596. <https://doi.org/10.1080/0143116031000101675>
- De Beurs, K. M., & Henebry, G. M. (2005). A statistical framework for the analysis of long image time series. *International Journal of Remote Sensing*, 26(8), 1551–1573. <https://doi.org/10.1080/01431160512331326657>
- Kohli, D., Warwadekar, P., Kerle, N., Sliuzas, R., & Stein, A. (2013). Transferability of Object-Oriented Image Analysis Methods for Slum Identification. *Remote Sensing*, 5(9), 4209–4228. <https://doi.org/10.3390/rs5094209>
- Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, 28(5), 823–870. <https://doi.org/10.1080/01431160600746456>
- Moser, C. (1972). Gente del barrio, vidas extraordinarias. En J. Turner, Freedom to build. Housign as a verb (págs. 148 - 75). NewYotk: Collier Macmillan
- Moser, C. (2010). Gente Del Barrio, vidas extraordinarias. Activos y reducción de la pobreza en Guayaquil, 1978 - 2004. Santiago de Chile: Ediciones Sur.
- Sáez Giraldez, E., García Calderón, J., & Roch Peña, F. (2010). La ciudad desde la casa: ciudades espontáneas en Lima. *Revista Invi*, 25(70), 77-116.
- Taubenböck, H., Wegmann, M., Berger, C., Breunig, M., Roth, A., & Mehl, H. (2008). Spatiotemporal analysis of Indian megacities. *Proceedings of the international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 10(Part B), 75–82. <https://elib.dlr.de/54680/>

Analysis and characterization of “Marès” sandstone as a construction element, according to its extraction area.

Oliver Vives, Javier^a, Carmona Gómez, Cristian^b y Masdeu Mayans, Francesc^c

^a Universitat de les Illes Balears, Crta Valldemosa km 7.5, Palma de Mallorca, jov766@id.uib.eu,

^b Universitat de les Illes Balears, Crta Valldemosa km 7.5, Palma de Mallorca, cristian.carmona@uib.es,

^c Universitat de les Illes Balears, Crta Valldemosa km 7.5, Palma de Mallorca, francesc.masdeu@uib.es

Abstract

Sandstone is one of the most common and characteristic sedimentary rocks on the island of Mallorca and locally denominated “Marès”. In this study, the characterization and analysis of the thermal properties of Mallorca’s sandstone has been carried out. The study which follows a previous work focused on the mechanical properties, samples sandstone from different extraction locations around Mallorca.

In order to thermally characterize the “Marès”, different samples were tested using an instrument called Calibrated Hot Box. By carrying out a test for each specimen provided, it was possible to analyze the thermal properties of this material and to characterize it according to different extraction area. In addition, other thermal properties such as specific heat capacity and thermal diffusivity have been studied.

The main objective of this study was to analyze and characterize the “Marès” specifically as a construction material, and additionally determine the impact of the extraction area in thermal properties. Thanks to the mechanical and thermal characterization of the material has been possible to complete thorough analysis.

The results have been compiled in a technical file on the material has been generated, gathering all its characteristics. This file will be very useful in the world of construction, since absurd characteristic values are currently used on this material. Thanks to this, and as mentioned above, it will be possible to take into account these properties for the renovation/construction of houses in which this material, so characteristic of the Balearic Islands, such as “Marès”, is present.

Keywords: Sandstone, Thermal properties, Traditional construction, Results

1. Introducción

El marés es un material de construcción típico de Mallorca, y de las Islas Baleares, que se ha utilizado desde hace varios siglos. Es conocida vulgarmente como una arenisca (piedra sedimentaria detrítica) y se ha instaurado en la construcción tradicional de Mallorca en los últimos siglos. Se ha utilizado en edificios de carácter histórico, como la Catedral de Mallorca o torres de vigilancia, pero también se ha utilizado en la construcción tradicional de las Islas Baleares.

1.1. Antecedentes

Los constructores de las islas han utilizado este material dirigido a partes estructurales u ornamentales para los edificios. No se ha identificado en qué momento de la historia se empieza a utilizar el marés en la historia de las islas, desde la cultura talayótica se pueden encontrar piezas, por lo que se puede ver que se trata de un material que hace muchos siglos que se emplea en la construcción.

En los siglos XVII y XVIII, antes de la aparición de nuevas técnicas constructivas o materiales de nuevo avance como el cemento u otros, el marés acogió un papel muy importante en las islas (Amengual Romaní and Serra Matheu, 2008). Este material fue uno de los principales recursos para la construcción típica de las islas, sobre todo en el Sur de Mallorca. El uso de este material se ha convertido en un signo distintivo en las islas.

A partir del siglo XIX, se produce una recesión de la utilización de este material por varios motivos. El principal y más importante es el avance de las tecnologías en la construcción moderna, ya que se descubren nuevas técnicas y materiales de uso más sencillo y económicamente más asequible para la población. Debido a esto, y a la introducción de materiales importados de la península Ibérica, el marés pasa a ser un material poco utilizado (Amengual Romaní and Serra Matheu, 2008).

1.2. El "Marès" y su situación actual

En la actualidad el marés se utiliza con fines ornamentales y, aunque en los últimos años ha adquirido un papel más relevante que la última década, su uso es minoritario. Esto se debe a los diferentes motivos que se han nombrado anteriormente.

Hoy en día, en las viviendas donde se realizan reformas o rehabilitación de estas, se puede observar la fachada de marés se mantiene, aunque por el interior se introduce trasdosado con aislamiento térmico.

Otro uso que se le da actualmente es ornamental o decorativo. El uso de este material y la tendencia de mantener un aspecto antiguo, pero con las mejores técnicas de hoy día, ha llevado a utilizar pequeñas placas de grosores mínimos (5-10 cm) como revestimiento de fachadas y también de interior.

El marés es un material pétreo típico en la comunidad de las Islas Baleares, el cual se ha empleado para la construcción y otros elementos a lo largo de los años. Actualmente, existe muy poca bibliografía acerca de las propiedades de este material, aunque no se ha podido localizar las fuentes específicas por lo que dificulta su búsqueda. Únicamente se dispone de un Trabajo de Fin de Grado realizado hace varios años realizado en la Universidad de las Islas Baleares por dos alumnas de los estudios de Arquitectura Técnica (Amengual Romaní and Serra Matheu, 2008) y que se explica con mayor ímpetu en los siguientes apartados.

Las casas que realizan la venta y comercialización de este material no son conocedores de las características que ofrece este material. Algunas de ellas ofrece una serie de características, las cuales son mínimas, y todas ellas respecto a sus propiedades mecánicas. Respecto a las propiedades térmicas no se ofrece ninguna caracterización del material. Debido a esto y la necesidad de cumplir con la normativa actual, no es posible utilizar este material más que para fines ornamentales.

2. Objetivos

Debido al tiempo que sería necesario para llevar a cabo un estudio completo de todas las propiedades del material, se va a completar otra parte adicional al estudio que anteriormente se ha realizado sobre este material,

con el cual se trabajará y como bien indican en ambos proyectos, existe la posibilidad de ampliar el estudio de este material en el futuro.

El objetivo principal de este proyecto realizar el análisis y caracterización del Marés como elemento constructivo, en función de su zona de extracción. La finalidad de este proyecto es:

- Completar los resultados que se obtienen en el proyecto anterior, añadiendo las propiedades térmicas del mismo material. Dentro de estas características se van a estudiar las siguientes: flujo térmico y capacidad calorífica específica. Además, se añaden otras como la difusividad térmica, la cual se obtiene a partir de las dos mencionadas anteriormente.
- Obtener y clasificar los resultados obtenidos según su zona de extracción.
- Aplicación de los resultados.

3. Metodología

3.1. Búsqueda de información sobre el “Marès”

En las últimas décadas se encuentran escasas publicaciones y/o artículos respecto a este material y sus características. Se encuentran sobretodo artículos o publicaciones de las canteras de donde se extrae el material o el material como seña de identidad de las Islas Baleares. Pero en muy pocos se trata de las características del material.

Además de estos, todos redactados desde entidades externas a las Islas Baleares, se encuentra otro Trabajo de Fin de Grado realizado en la Universidad de las Islas Baleares. Este trabajo titulado como “El marés y la piedra de Santanyí: canteras y caracterización básica”, redactado y publicado en 2008 por Carmen Amengual Romaní y M. Mar Serra Matheu, y tutelado por Victoriano García Martínez (Amengual Romaní and Serra Matheu, 2008).

En el trabajo que se realiza consta de la continuación del análisis y caracterización básica del material como elemento constructivo. De esta forma se van a utilizar los resultados y datos obtenidos por este trabajo anterior, incorporando más información y análisis de datos que anteriormente no han sido analizados.

3.2. Datos importantes sobre el material

A partir del estudio anteriormente nombrado (Amengual Romaní and Serra Matheu, 2008), se obtiene información importante. La palabra Marés es la designación que se utiliza para referirse a un tipo de piedra típico dentro de las Islas Baleares. Siendo consecuentes se debe diferenciar o hacer referencia más concreta, ya que se incluyen diferentes tipos de piedras dentro del mismo grupo.

En lo que al Marés respecta, es una roca arenisca que nace de una sedimentación formada por un proceso continental, por arenas fosilíferas de depósito marino en las cuencas sedimentarias o de acumulación dunar a lo largo de las regresiones marinas (eolianitas), con más de 50% de su composición carbonática (calcarenita) y porosidad considerable (Amengual Romaní and Serra Matheu, 2008).

Una de las piedras que se incluye dentro del grupo que se ha nombrado anteriormente es la Piedra de Santanyí. Se trata de una roca con más antigüedad. Pero no solo eso la diferencia del Marés; la Piedra de Santanyí también es una roca sedimentaria, aunque en este caso nace de una sedimentación-acumulación de depósitos marinos (oolitos) relacionados con ambientes maréales de zonas tropicales (Amengual Romaní and Serra Matheu, 2008).

Realizan un estudio de las canteras que se encuentran activas, a fecha de su ejecución (2008), con una serie de criterios finalmente escogen las siguientes:

- Son Auba (Muro)
- Ca's Vilafranquer (Petra)
- Sa Sinia Nova (Manacor)

- Es Campo Roig (Felanitx)
- Son Grau (Porreres)
- Galdent (Llucmajor)
- Son Jordá (Santanyí)

A partir de probetas de estas canteras se realizan ensayos, divididos en dos bloques. Dentro del primer bloque, caracterización inicial, hay dos ensayos:

- Ensayo petrográfico: estudio de la estructura interna de la piedra.
- Densidad aparente y real: analizar el peso por unidad de volumen y conjunto de huecos que existen.

En el segundo bloque, correspondiente a la caracterización de comportamiento, se divide un 3 diferentes apartados:

- Ensayos de comportamiento hídrico: estudio del comportamiento del material frente al agua. Hay los siguientes ensayos:
 1. Absorción de agua a presión atmosférica.
 2. Absorción de agua por capilaridad.
- Ensayos de comportamiento mecánico: análisis de la resistencia del material frente a diferentes esfuerzos. Se pueden encontrar estos ensayos:
 1. Resistencia a la compresión.
 2. Resistencia a flexión.
 3. Energía de rotura o resistencia al choque.
 4. Resistencia a la abrasión.
 5. Resistencia al deslizamiento.
- Ensayos de envejecimiento acelerado: tienen el objetivo de saber la resistencia o durabilidad del material.

3.3. Conductividad térmica del Marès

Para continuar la caracterización del material, a los datos ya aportados, se completarán con las propiedades térmicas del material. En este caso, se va a estudiar la conductividad térmica a partir de ensayos de laboratorio sobre el material.

La conductividad térmica "es una medida de la capacidad de una sustancia para transferir calor a través de un material por conducción" (Nick Connor - Thermal Engineering, 2019), es decir, medir la capacidad de conducir calor a través de ellos. Esto se mide en $W/(m \cdot K)$. Cuanto mayor sea esta conductividad térmica, este material será mejor conductor de calor, y, por tanto, peor aislante térmico.

Los procesos de transferencia de calor se pueden cuantificar en términos de ecuaciones de velocidad apropiadas. La ecuación de velocidad en este modo de transferencia de calor se basa en la ley de conducción térmica de Fourier. Esta ley establece que la tasa de tiempo de transferencia de calor a través de un material es proporcional al gradiente negativo en la temperatura y al área, en ángulo recto a ese gradiente, a través del cual fluye el calor (Nick Connor - Thermal Engineering, 2019).

La finalidad de la instrumentación que se utiliza es la determinación de resistencia térmica de un material mediante la obtención del flujo térmico y las temperaturas a las que esta se somete.

$$R_x = \frac{(T_I - T_S)}{q_x} \left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right) \quad (1)$$

Donde T_I y T_S dan valor a la temperatura inferior (o caliente) y temperatura superior (o fría), y q_x da valor al flujo térmico por unidad de superficie que atraviesa la muestra a utilizar (Carmona Gómez, 2019).

3.3.1. Caja Caliente Calibrada

El principal y único instrumento que se utiliza para la caracterización térmica del material en estudio es la caja caliente calibrada. Este instrumento viene reflejado según las dos normas anteriormente comentadas, como la ISO 8990 e ISO 8302, y su metodología de caracterización del material.

El funcionamiento de este instrumento es plantear la forma por la cual encontrar el valor de transmitancia térmica ($W/m^2 \cdot K$) del material que se esté estudiando y caracterizar el material térmicamente. El sistema posibilita el hallazgo de la transmitancia térmica de un material en función de la diferencia de temperatura entre las dos caras del elemento. En la cara inferior disponemos de una plancha caliente que aporta calor a una temperatura controlada y en la cara superior no hay ningún elemento, sino la temperatura ambiente del lugar. Y por tanto el valor, de flujo térmico, es captado por el sensor colocado en la parte superior y que atraviesa el elemento.

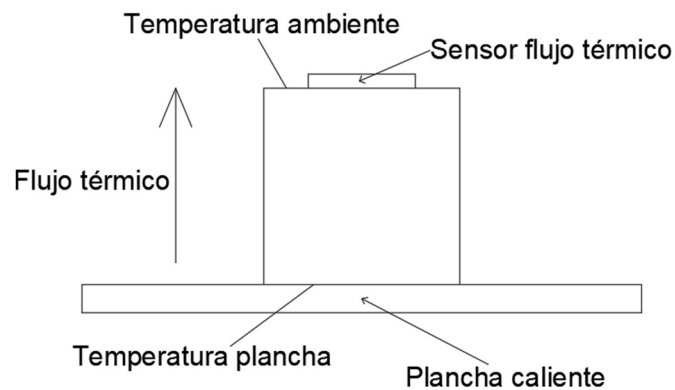


Figura 1. Caja Caliente Calibrada

Fuente: Elaboración propia (2022)

Cabe destacar que se trata de un sistema de fabricación propia, no se trata de sistema de venta en serie ni comercial. Este está fabricado por el tutor que dirige este trabajo, el Dr. Carmona Gómez, y que ha utilizado anteriormente en experimentos del departamento de Construcción de la Universidad, así como para su Tesis Doctoral.

3.3.2. Recopilación de muestras

Como se ha comentado anteriormente, y en varias ocasiones, este trabajo trata la caracterización térmica del marés y piedra de Santanyí y se suma la caracterización ya realizada por las compañeras en los años anteriores. Por lo que, para ello se van a utilizar las mismas muestras que se utilizaron para el primer experimento.

Se ha accedido a todo el material utilizado para cada una de las pruebas que se realizaron y se ha escogido las probetas que no sufrieron ensayos destructivos o que pudieran dañar el material y que mejor se conservan.

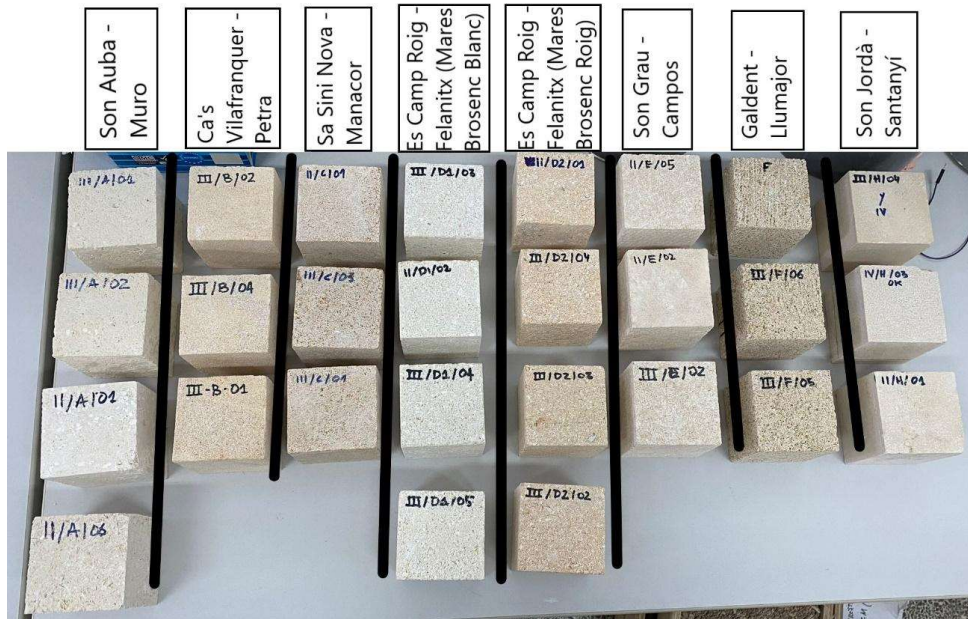


Figura 2. Vista de las probetas elegidas para ensayar y caracterizar térmicamente

Fuente: Elaboración propia (2022)

Como se puede observar en la Figura 2, se han recogido un mínimo de 3 probetas por cada una de las canteras que se escogieron para realizar el estudio.

3.3.3. Ensayos de laboratorio

Una vez se disponen de las probetas que se van a someter a ensayo en el laboratorio, se realizó un calendario o programa para seguir un orden concreto a la hora de realizar los ensayos. Para ello se ha realizado de forma que, se procede al ensayo de una muestra de cada cantera, hasta completar una muestra ensayada de cada una de las canteras, y así hasta finalizar con todas ellas.

El proceso que se realiza para cada uno de los ensayos es el siguiente:

- 1º - Selección de la probeta: Como se ha explicado anteriormente se sigue un orden de probetas/muestras para realizar los ensayos. De forma que inicialmente se elige la muestra a ensayar.
- 2º - Instalación del transductor térmico y de flujo térmico: con la probeta ya escogida se realiza la instalación del conjunto de transductores, térmico (el cual indica la temperatura) y de flujo térmico, en la zona superior de la muestra. Esta se fija a la muestra, de forma que no se pueda mover o desplazar en el momento de colocarla o que durante el ensayo se pueda mover.
- 3º - Limpieza de plancha caliente: se debe revisar que la planta caliente este totalmente libre, donde únicamente puede haber el transductor térmico inferior, ya que si la muestra no se apoya bien sobre esta plancha el ensayo puede dar error o no ser correcto.
- 4º - Colocación de muestra: con la plancha totalmente despejada se procede a la colocación de la muestra en la zona central de esta. Se debe asegurar que la muestra está en el punto idóneo para el ensayo.
- 5º - Aislamiento térmico: Una vez colocada la muestra y en su correcta posición se procede a la colocación del aislamiento térmico, perlas de poliestireno extruido. Se debe cubrir la muestra hasta la parte superior, pero sin cubrir el transductor de la parte superior.
- 6º - Encendido del programa: con la muestra colocada y correctamente aislada se procede a encender el equipo que debe transmitir todas las ordenes al instrumento. Iniciando así, tanto el software y hardware, para poder tomar todos los datos necesarios y ordenar las funciones necesarias.

- 7º - Inicio del ensayo: Una vez se inicia el ensayo no se puede realizar ninguna modificación en la muestra o instrumento, ya que se inicia la recogida de datos por parte del programa encargado.
- 8º - Final del ensayo: Una vez ha pasado el tiempo transcurrido para el ensayo se debe dejar enfriar a temperatura ambiente, por lo que se debe dejar aproximadamente entre 12 y 24h hasta poder extraer la muestra del instrumento.
- 9º - Extracción de la muestra: con el instrumento y muestra a temperatura ambiente, se procede a la extracción de la muestra de este. Se debe realizar de forma delicada, de forma que se pueda extraer correctamente el transductor que se ha colocado sobre este.
- 10º - Reinicio de ensayo: Con este último paso se finalizaría el ensayo y se procede al comienzo de uno nuevo.

Se realizan un total de 24 ensayos, 3 por cada una de las 8 canteras seleccionadas. Para cada una de las muestras y ensayos se debían respetar un espacio de tiempo concreto por varios motivos. Uno de ellos era no interferir en la toma de datos, otro importante era el enfriamiento de la plancha caliente y/o muestra para no causar ningún peligro a la hora de la extracción de la muestra y, por último, pero no menos importante, poder realizar un enfriamiento a temperatura ambiente ayuda a que el siguiente ensayo se produzca en las mismas condiciones que los anteriores.

Cada uno de los ensayos constaba de un total de 36h aproximadamente compuestas por:

- t=0h a t=2h: proceso de calentamiento de la plancha caliente hasta la temperatura deseada. Este es un tiempo aproximado ya que dependiendo de la muestra el tiempo puede ser mayor o menor.
- t=2h a t=5h: una vez la plancha se encuentra a temperatura constante, se realiza la toma de datos durante un período aproximado de 3h.
- t=5h a t=17h: proceso de enfriado. Una vez finaliza la toma de datos, la plancha caliente se desconecta y se deja enfriar hasta temperatura ambiente. Durante este tiempo también se recogen datos.
- T=36h: una vez se encuentra todo a temperatura ambiente (muestra e instrumento) se retira muestra ensayada para la colocación de una nueva muestra y realizar un nuevo ensayo.

3.4. Calor específico de Marés y Piedra de Santanyí

El calor específico, o también llamado capacidad calorífica específica, está definido como la energía necesaria para incrementar en una unidad de temperatura una cantidad de sustancia (Engineering ToolBox, 2003). La unidad de medida en la que se representa es Joules (J).

En este caso, se van a hallar los valores de la capacidad calorífica específica del Marés y la Piedra de Santanyí a partir de la composición química de cada uno de los materiales que se han ensayado.

Para obtener el calor específico de cada una de las probetas de las diferentes canteras de donde se obtienen se va a realizar el cálculo mediante los valores de capacidad calorífica específica de sus componentes y el porcentaje de estos.

Se va a realizar un cálculo de ejemplo y posteriormente, en el apartado de resultados, se adjuntará la tabla de con los valores obtenidos para el resto de las canteras.

La primera muestra que se analiza se trata de Marés de Muro y ha sido extraído de la cantera de Son Auba (A). Este este compuesto por un 47,9% de Calcita y 52,1% de Dolomita.

Recordamos que el calor específico de cada material que compone este marés es de 834 J/Kg·°C en el caso de calcita y de 553 J/Kg·°C de la Dolomita.

Por lo tanto, a modo de ejemplo, la capacidad calorífica del Marés de Muro es:

$$c = \%_C \cdot c_C + \%_D \cdot c_D = 0,479 \cdot 834 + 0,521 \cdot 553 = 688 \frac{J}{Kg \cdot ^\circ C} \quad (2)$$

De forma que, con este dato, podemos calcular la cantidad de energía calorífica perdida o ganada para este material frente a un cambio de temperatura, siempre que se sepa la masa y el cambio de temperatura de esta.

3.5. Difusividad térmica del Marès y Piedra de Santanyí

La "difusividad térmica aparece en el análisis de conducción de calor transitorio y en la ecuación de calor. La difusividad térmica representa la rapidez con la que el calor se difunde a través de un material y tiene unidades m^2 / s " (Nick Connor - Thermal Engineering, 2019).

Esta propiedad del material proporciona una idea de la inercia térmica del material, es decir, la facilidad o dificultad para cambiar su temperatura. Este dato también es importante porque sirve de referencia para ver que material es mejor aislante frente al calor, ya que esto es importante en climas donde hace la temperatura es elevada.

Para obtener la difusividad térmica del material era necesario conocer los valores de conductividad térmica, densidad real y capacidad calorífica específica.

Se va a realizar un cálculo de ejemplo y posteriormente, en el apartado de resultados, se adjuntará la tabla de con los valores obtenidos para el resto de las canteras.

La primera muestra que se analiza se trata de Marès de Muro y ha sido extraído de la cantera de Son Auba. Este material tiene las siguientes propiedades:

- $\lambda = 0,3012 \text{ W/m}\cdot\text{k}$
- $\rho = 2828,00 \text{ kg/m}^3$
- $c_e = 687,60 \text{ J / kg} \cdot ^\circ\text{C}$

Por lo tanto, a modo de ejemplo, la difusividad térmica del Marès de Muro es:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_e} = \frac{0,3012 \text{ W/m}\cdot\text{k}}{2828 \text{ kg/m}^3 \cdot 687,6 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}} = 1,549 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \quad (3)$$

Una vez se han obtenido todos los resultados, se puede realizar una comparación o análisis de que material es mejor aislante frente al calor.

4. Resultados

Una vez ya se han realizado todos los ensayos y cálculos necesarios se procede al análisis de los resultados obtenidos durante este proceso.

Los valores obtenidos son similares, teniendo una desviación media de un 3,9%. Donde el valor más alto es de 0,3843 $\text{W/m}\cdot\text{k}$ y el menor valor es de 0,2697 $\text{W/m}\cdot\text{k}$. Desde el punto de vista inicial suponen unos valores aceptables y de gran valor para la utilización de este material.

Se consulta la normativa vigente actual para verificar la conductividad térmica que esta indica para un material similar al que se ha ensayado en este trabajo. Para ello se ha de recurrir al "Catalogo de elementos constructivos del CTE". En este caso, se trata de un material catalogado como rocas y suelos, y se denomina Caliza. Para este tipo de material se encuentran cinco variantes: muy dura, dura, dureza media, blanca y muy blanda. Siendo estos entre 0,85 y 2,30 $\text{W/m}\cdot\text{k}$.

Como se puede observar, los valores obtenidos en los ensayos y los indicados por la normativa son dispares a la vez que confusos. En el caso que se ocupa, el valor de referencia (medio) aportado por la normativa es 1,6 $\text{W/m}\cdot\text{k}$ y, por tanto, 5 veces mayor al valor medio en los ensayos.

Con los valores obtenidos en los ensayos, el marès podría compararse con un bloque de arcilla, como un H12 o H16, los cuales tiene una conductividad térmica entre 0,220 y 0,320 $\text{W/m}\cdot\text{k}$. Hasta podría llegar a compararse con otros materiales como madera frondosa o piezas de hormigón prefabricado.

En definitiva, los valores obtenidos no son correlativos con la realidad o los valores obtenidos a través de la normativa. Por lo que, no se pueden tomar de referencia estos valores, aunque si se puede trabajar con ellos para verificar que tipo de marés es mejor o peor frente a diferentes condiciones térmicas.

Se han encontrado pequeños errores del proceso de ensayo, que han están siendo subsanados para poder encontrar un valor correcto para este material.

A partir de todos los ensayos y cálculos realizados se puede obtener una tabla de caracterización del material como la que se adjunta:

Tabla 1. Caracterización Marés de Son Auba
Fuente: Elaboración propia (2022)

ENSAYO	Son Auba - Muro
Textura (microscopio)	Matriz↑ Cemento↓
Tamaño grano (μ) (microscopio)	177-500(F-G) Predomina G
Porosidad (%) (microscopio)	30-40 Bien conectada, móldica
Difracción Rayos X (%)	Calcita 47,9 Dolomita 52,1
Densidad aparente (kg/m ³)	1636,00
Densidad Real (kg/m ³)	2828,00
Porosidad abierta (%)	38,60
Porosidad total (%)	42,10
Volumen poros abiertos (ml)	137,10
Volumen aparente (ml)	218,20
Absorción de agua a presión atmosférica (%)	17,00
Coefficiente de absorción de agua por capilaridad (g/m ² s ^{0,5})	379,085
Resistencia a compresión (MPa)	20,30
Resistencia a Flexión bajo carga concentrada (MPa)	4,90
Energía de rotura (J)	3,20
Resistencia a la abrasión (mm)	31,60
Resistencia al deslizamiento (en húmedo) (uds) (SRV)	84,83
Resistencia al deslizamiento (en seco) (uds) (SRV)	86,00
Conductividad térmica λ (W/m·k)	-0,3012
Calor específico c (J/Kg·°C)	688
Difusividad Térmica (m²/s)	1,549·10⁻⁷

3.1. Aplicación de los resultados

Obtenido los resultados que se han comentado anteriormente, y suponiendo que estos son correctos (únicamente para este apartado), se va a analizar que aplicación tienen estos resultados y que consecuencias pueden suponer a nivel cotidiano ya sea en obras de reforma, obra nueva u otros campos relacionados con la construcción.

El ámbito que más relevancia tendrán estos resultados, viendo cómo evoluciona la actualidad de la construcción, es en la rehabilitación o reforma de vivienda existentes en las islas. Debido a la escasez de concesión de licencias para obra nueva en varios municipios de las islas, se está optando por realizar reformas o rehabilitaciones de viviendas existentes. Siempre que existan elementos constructivos que contengan los materiales que se están estudiando: Marés y Piedra de Santanyí.

A la hora de realizar una obra de este tipo, se inicia por la redacción del proyecto de rehabilitación del edificio. Para ello se estudian los materiales existentes en la vivienda y se decide, junto con el nuevo propietario y conociendo sus necesidades, que elementos se van a modificar y cuáles no. Respecto a los que no se pueden modificar, en la mayoría de los casos, esta son las fachadas las cuales son elementos catalogados y no se pueden modificar.

Una vez queda aclarado esto, se procede al diseño de los elementos constructivos que van a componer el edificio. Incidiendo en las fachadas, elemento que contiene el material que se ha estudiado, se deben cumplir

los requisitos que opone la normativa actual, enfocándose en la envolvente térmica. Para ello es necesario cumplir una serie de exigencias que esta normativa marca, en la que se incluye la transmitancia de la envolvente térmica.

En la actualidad, cuando se realiza una reforma sobre una vivienda que tiene las fachadas construidas con marés, las propiedades térmicas de este se dejan de lado para cumplir la normativa utilizando un aislamiento y una hoja interior.

Gracias al estudio que se ha realizado y las propiedades térmicas obtenidas, es posible utilizar el marés como una hoja más dentro de la fachada y poder usar los valores obtenidos, y no dejarlo totalmente de lado en este apartado.

Esto que se ha explicado en el párrafo anterior no conlleva que se deje de utilizar aislamiento y otra hoja interior, sino que gracias a la aportación que ofrece el marés y que ahora si se tiene en cuenta, es posible disminuir el grosor del aislante térmico o utilizar otra hoja interior. Esto puede suponer un ahorro económico y utilizar un material que realmente si tiene aportación térmica.

Por la misma razón, esto se puede aplicar a construcciones de obra nueva, en la que se utilice el marés como revestimiento de la fachada. Gracias a las aportaciones de estos resultados es posible tener en cuenta las propiedades térmicas del material a la hora de realizar el diseño de las fachadas u otros elementos que contengan este material.

Además, realizando un correcto proceso de validación de estos resultados frente a las entidades encargadas de ello, sería posible justificar de forma idónea en los diferentes proyectos de donde se obtienen estos resultados.

5. Conclusiones

El Marés es un material típico de las islas Baleares, el cual ha sido utilizado a lo largo de la historia, tanto como elemento estructural como elemento principal en fachadas, además de otros usos. En las últimas décadas, este material se ha dejado de utilizar en la construcción y se ha utilizado como material ornamental. La redacción de este trabajo viene de la necesidad de completar la caracterización de este material para poder utilizarlo no solo como ornamental, sino poder introducirlo de nuevo en la construcción, ya que es un material típico y una imagen de las islas.

Actualmente este material es utilizado como revestimiento final de una fachada o revestimiento de interior, sin tener en cuenta las propiedades térmicas o estructurales que puede aportar a la construcción. Esto es debido a la falta de información que se dispone de este, ya que nunca ha sido sometido a ensayos, ni caracterizado como pueden haberse sometido la mayoría de los materiales que se utilizan actualmente.

El objetivo principal de este trabajo es hallar las propiedades térmicas del marés y, posteriormente, caracterizarlo según su zona de extracción. Para ello se han realizado varios ensayos experimentales, además de la determinación de otras características a partir de dichos ensayos.

El ensayo principal que se ha realizado a lo largo del trabajo es el análisis de la conductividad térmica del marés. Esto se ha llevado a cabo con una instrumentación especial para ello, como es la caja caliente calibrada. Gracias a ello se han determinado unos valores de flujo térmico para cada una de las probetas ensayadas y posteriormente poder caracterizarlas según su zona de extracción.

Los valores que se han determinado, todo y que no han sido correctos o coherentes, sí que han servido para realizar una valoración del material y poder determinar cuál de estos es mejor aislante térmico según la zona de la isla de donde provengan.

Otra de las características que se han determinado en este trabajo es el calor específico de cada uno de los diferentes tipos de marés que se han estudiado. Esto se ha llevado a cabo a partir de la composición química del material y del conocimiento de la capacidad calorífica específica de estos componentes. Gracias a esto ha sido posible determinar el calor específico de los diferentes materiales a estudiar.

Y por último, la característica final que se ha estudiado es la difusividad térmica. Para ello, se han utilizado los valores de densidad y calor específico. Además, también se utilizaron los valores de flujo térmico, que como

se ha mencionado anteriormente, se trata de unos valores que no son correctos pero que si se puede utilizar como referencia para poder realizar la caracterización del material.

En conclusión, con este trabajo se pretende realizar la caracterización básica del marés, concretamente de las propiedades térmicas, y sumarlas a las tablas de caracterización ya realizadas por el anterior trabajo (Amengual Romaní and Serra Matheu, 2008). Realizando los ensayos, se ha detectado varios errores los cuales se pueden solucionar, utilizando otras probetas de dimensión mayor, y realizar un correcto estudio de las propiedades térmicas.

Actualmente se están realizando ya ensayos y pruebas con los errores corregidos, cuyos valores se podrán obtener a partir del siguiente curso académico, una vez se hayan realizado todos los ensayos necesarios para ello.

Referencias

- Amengual Romaní, C. and Serra Matheu, M.M. (2008) El marés y la piedra de Santanyí: canteras y caracterización básica. Palma de Mallorca.
- Carmona Gómez, C. (2019) Instrumentación y caracterización del flujo térmico de materiales con aplicación al ahorro energético en Edificación. Universitat de les Illes Balears.
- Engineering ToolBox (2003) Heat Capacity. Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/heat-capacity-d_338.html (Accessed: 8 September 2022).
- Nick Connor - Thermal Engineering (2019a) ¿Qué es la conductividad térmica? Definición. Available at: <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-conductividad-termica-definicion/> (Accessed: 3 August 2022).
- Nick Connor - Thermal Engineering (2019b) What is Thermal Diffusivity – Definition. Available at: <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-difusividad-termica-definicion/> (Accessed: 7 September 2022).

Positive Energy Buildings Potential for Climate Change Adaptation and Energy Poverty Mitigation

Torres-González, Marta^a, Corona Macías, Yanet^b, Delgado Gutiérrez, Evelyn^c, Maestre Rodríguez, Cristina^d, León Muñoz, Miguel^e, Bienvenido Huertas, David^f, Sánchez García, Daniel^g, Gómez Cobos, Emilio^h and Rubio-Bellido, Carlosⁱ

^a Universidad de Sevilla. Av. Reina Mercedes 4A, 41012, Sevilla. mtorres18@us.es, ^b Universidad de Sevilla. Av. Reina Mercedes 4A, 41012, Sevilla. yanetcorona@us.es, ^c Universidad de Sevilla. Av. Reina Mercedes 4A, 41012, Sevilla. edelgado3@us.es, ^d Universidad de Sevilla. Av. Reina Mercedes 4A, 41012, Sevilla. cristina.maestrerodriguez@gmail.com, ^e Universidad de Sevilla. Av. Reina Mercedes 4A, 41012, Sevilla. miguelleon@us.es, ^f Universidad de Granada. Dr. Severo Ochoa St., 18001, Granada. dbienvenido@ugr.es, ^g Universidad de Sevilla. Av. Reina Mercedes 4A, 41012, Sevilla. dsanchez7@us.es ^h Universidad de Granada. Dr. Severo Ochoa St., 18001, Granada. emiliog@ugr.es, ⁱ Universidad de Sevilla. Avenida Reina Mercedes 4A, Sevilla 41012. carlosrubio@us.es

Abstract

This research will set the concept of Positive Energy Buildings (PEB) from a dynamic and holistic point of view. Nowadays, the building sector is required to directly reduce GHG emissions (approximately 90%). In this context, the Energy Performance of Buildings Directive (EU) 2018/844 has set the need of European countries to establish energy strategies with the aim of having decarbonised buildings before 2050.

The aim of the study is to set the potential for PEB from a dynamic and holistic approach which considers climate change adaptation, adaptive energy saving strategies and energy poverty. The methodology proposed, divided into 3 Phases, will close the gaps for PEB implementations. Firstly, the potential applicability of adaptive comfort and the adaptive strategies, including climate potential for renewable energy production, will be depicted in every city of Spain and the Mediterranean area based on Geographical Information System (GIS). Secondly, the tested case studies energy in use, including energy production and consumption with the optimal configuration of PEB, will be achieved. Thirdly, by means of the application of energy poverty indicators, regarding the new paradigm of prosumers households and the gender dimension, the incidence of PEB in energy poverty mitigation will be developed.

The expected results, setting the PEB potential for a multidisciplinary approach will support the energy transition in Spain, forming sustainable cities and facing climate change, according to the 3 strategic lines of the thematic priority Climate, energy and mobility and the Long term strategy for Energy Rehabilitation in the Building Sector in Spain.

Keywords: Positive Energy Buildings, Climate Change, Energy Poverty, Adaptive Comfort, Net Zero Energy Buildings

1. Introduction

Building sector is responsible for around 30% of the energy consumption at a global level (The United Nations Environment Programme (UNEP) 2012), thus generating 40% of greenhouse gas (GHG) emissions. For this reason, the European Union has established the steps required to achieve a low carbon economy by 2050 (EC 2011). The goal is to reduce the GHG emissions in such year by at least 80%. To achieve this, the building sector is required to bluntly reduce GHG emissions (approximately 90%), among others. Recently, the Energy Performance of Buildings Directive (EU) 2018/844 has set the need of European countries to establish energy strategies with the aim of having decarbonised buildings before 2050. These assertive policies time overlap with a pandemic situation and an increase in energy costs. For this reason, managing the energy to guarantee well-being conditions is more and more holistically understood, considering the increment of time households due to intermittent confinement periods. Also, it is of governments and institutions' interest in recent years with the creation of European Construction Sector Observatory (ECSO) and the Energy Poverty Observatory (EPOV).

From the foundation of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in 1988, 5 assessment reports (IPCC 2014) have been written, and the sixth is nowadays being produced, and many studies focus on climate change (the PI among others), the increase of GHG emissions, and the shortage of natural resources (Kalvelage et al. 2014; Wang and Chen 2014; Rubio-Bellido, Pérez-Fargallo, and Pulido-Arcas 2016). Energy consumption predictions and users' climate adaptability can be modified because of climate change. In this way, new buildings are nearly zero energy consumption (NZEB) from 2020, and major renovations will be encouraged in the existing buildings to reduce to the maximum their energy consumption (EC 2016). The NZEB concept has been widely studied until nowadays, and an international and national regulatory framework has been created (EC 2018). Regarding the pursuit of the energy transition in Europe with the recent "Clean energy for all Europeans" package, overcoming the NZEB barriers will be a reality in next years.

Generally, a NZEB and deep renovated buildings in some periods produce excess energy that use in other times. The approach considered in this work is that a Positive Energy Building (PEB) should produce excess energy all over the year. The NZEB energy performance has been widely studied, with reductions from 62% in modern buildings of Ireland (Colclough, Griffiths, and Hewitt 2019) to 80% in traditional buildings of the centre of Europe (Feist et al. 2005). However, the overheating risk in summer can limit their use in southern Europe member states (Zinzi et al. 2017). Also, technical, economic, and social obstacles (such as energy poverty) limit the establishment of NZEB (Attia 2018; Santamouris 2016). In this context, the European Union has established both annual limit values for using the primary energy and minimal values for producing energy from in-situ renewable sources according to climate zones (EC 2016). Recommended annual limit values should be appropriate for NZEB. However, dynamic thresholds must be considered in the case of PEB in order to consider the consumption/production of energy thorough the lifetime. For that reason, the regulation demands new research studies dealing more specifically with this issue. It is therefore require to change the methodology proposed to implement PEB by considering other influential parameters, such as users' preferences, the quality of internal environment, the variation of external conditions in the context of climate change, socioeconomic and cultural factors (Attia et al. 2017).

Up to now, the integration of users' climate adaptability into the low energy consumption has been proposed through adaptive comfort models. Such models are included in the standards EN 16798-1:2019 and ASHRAE 55-2017, which consider that users can interact with the environment. Both standards are based on two international projects whose results showed the relationship between the indoor operative temperature and the outdoor temperature with respect to users' comfort conditions. Also, various research have been considering the effect of climate change in adaptive comfort conditions (Fig.1).

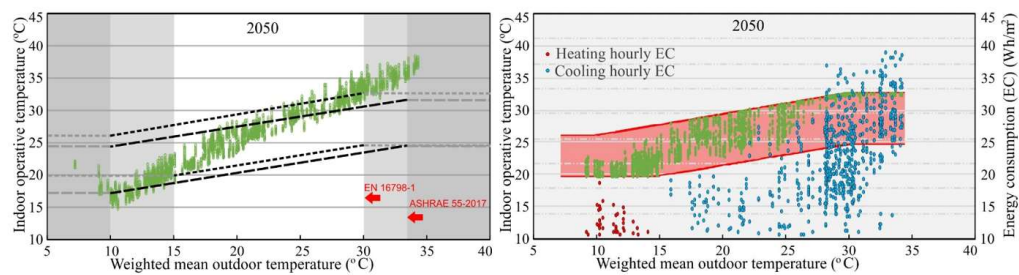


Fig. 1. Adaptive comfort models applied to a household in free running mode located in Mediterranean climate (Csa) in 2050 (left) and its hourly energy consumption based on adaptative setpoint temperatures (right).

Source: Authors (2022)

The integration of adaptive comfort models into building significantly influences the energy consumption (Ren and Chen 2018). In this way, there are some studies where setpoint temperatures varied by reducing the energy consumption (Hoyt, Arens, and Zhang 2014). However, most of them use setpoint temperatures based on the predictive mean vote (PMV).

In recent years, a series of research studies have showed how using adaptive setpoint temperatures (Fig. 2) influence the energy consumption by analysing their advantages and limitations with respect to the models based on the PMV. The following studies are remarkable: (i) study about the use of adaptive setpoint temperatures in future climate scenarios with the aim of reducing the energy demand in office buildings (Sánchez-García et al. 2019); (ii) analysis of the application of the adaptive thermal comfort approach in various administrative buildings in United Kingdom, both in the current and future scenarios (Holmes and Hacker 2007); (iii) assignation of the lower limit of the comfort zone of the model developed by Van der Linden et al. (Kramer et al. 2015; van der Linden et al. 2006) (established in the ISSO 74 standard) for Holland to the heating setpoint temperature of a museum, thus reducing the energy consumption by 74%; (iv) application of the adaptive comfort model from ASHRAE 55-2013 through setpoint temperatures which monthly varied, thus reducing the heating energy demand by 20% and the cooling energy demand by 80% (Sánchez-Guevara Sánchez, Mavrogianni, and Neila González 2017); and (v) comparison of energy demands of a mixed-mode building by using both usual setpoint temperatures and setpoint temperatures based on the neutral temperature of a comfort model previously developed in the city of Seville (Barbadilla-Martín et al. 2018). Results showed reductions of 27.5% and 11.4% in cooling and heating energy consumption, respectively.

2. Objectives

The aim of this research is to set the potential for PEB from a dynamic and holistic approach which considers climate change adaptation, adaptive energy saving strategies and energy poverty. Taking into consideration this innovative approach, prosumers and their economic, social and environmental context in the center of the analysis and the solutions for energy generation with minimum consumption, which will radically contribute to attain an environmentally inclusive society, are established. Thus, three main objectives of marked interdisciplinary nature will be reached:

- SO1. To evaluate the influence of climate conditions on the application of adaptive strategies to identify the adaptive comfort potential, the possibility of using adaptive setpoint temperatures, the climate characteristics for renewable energy production and the effect of such strategies on future climate change scenarios.
- SO2. To diagnose prosumers energy production and consumption patterns in PEBs maintaining comfort conditions, considering the effect of climate change, and the optimization of PEB configurations in present and scenarios.
- SO3. To assess the social and global approach to PEBs considering aspects such as the analysis of energy poverty and gathering all the analyses in a global approach.

3. Metodology

The starting hypothesis is that PEB must be understood from a holistic point of view. This novel approach will overcome the state of the art by merging dynamic and adaptive energy consumption and production measures with economic, social and environmental parameters in the context of climate change and users' adaptation. The methodological structure is divided into Phases (A, B, C):

- **Phase A. Climate adaption (SO1):** It is focused on the analysis of the potential of adaptive comfort possibilities in present and future climate zones. The adaptive comfort potential will be considered not only in Spain but also in the Mediterranean Area. New high resolution climate classification based on adaptive comfort potential in current and future climates will be obtained thank to adaptive comfort potential maps.
- **Phase B. Use of the energy (SO2):** This stage relies on the management of the use of the energy in the built environment in the short-, mid- and long-term, with different levels of production/consumption and considering the effects of climate change to ensure the sustainability and the resilience of buildings. In this phase simulations report are pursued.
- **Phase C. Social and global approach (SO3):** The evaluation of the PEB impact on indicators of energy poverty to evaluate the potential of using designs to reduce or eradicate such cases.

To develop this method the license of the software Meteonorm is crucial to accomplish the interpolation of climate data and climate change future scenarios files.

4. Results

Results from SO1 (Phase A)

- **A1. Climate scenarios.** Hourly environmental parameters of each year, obtained both from the reference years and the measurements carried out in recent years (2010-2020) in different locations of Spain and the Mediterranean Area were extracted (Fig. 2). For this purpose, various sources were used, such as national meteorological agencies and software to interpolate climate data previously used by the PI (i.e., the Meteorological State Agency of Spain (AEMET) and Meteonorm software). At this point, the 8,131 municipalities of Spain will be analyzed. Mediterranean Area will also be considered with a resolution of 10 km to ensure an accurate climate characterization. Also, climate scenarios will be hourly estimated according to the IPCC. Specifically, in line with the Fifth Assessment Report (AR5), the Representative Concentration Pathways (RCP) scenarios RCP 2.6, RCP 4.5 and RCP 8.5 will be analyzed from 2030&2100.
- **A2. Adaptive comfort models.** Analysis of the applicability of various adaptive models (ASHRAE 55-2017 and EN 16798-1) by using the climate data compiled in T A1. Such analysis was made with the objective of evaluating the real application possibilities at a climate level. The results will be represented in high resolution maps by using Geographic Information System (GIS) (Fig. 3). These maps could pave the way for an alternative and adaptive climate classification.
- **A3. Adaptive setpoints.** Based on the analysis of the adaptive model (A2), the potential for natural ventilation will be analysed. Hourly degree method will be used to measure the savings obtained with adaptive setpoint temperatures, which will be compared with the static setpoint temperatures. The analysis was carried out for heating and air conditioning systems.
- **A4. Energy production.** Based on the climate data compiled in A1 and present and future potential for generate energy from renewable sources will be carried out. Outdoor climate conditions potential will be considered by means of various hypothesis at climate data disposal.

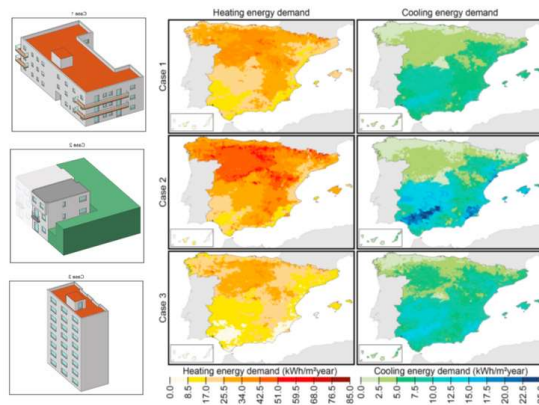


Fig. 2. Distribution of the heating and cooling energy demand in the case studies [A1].
Source: Authors (2023)

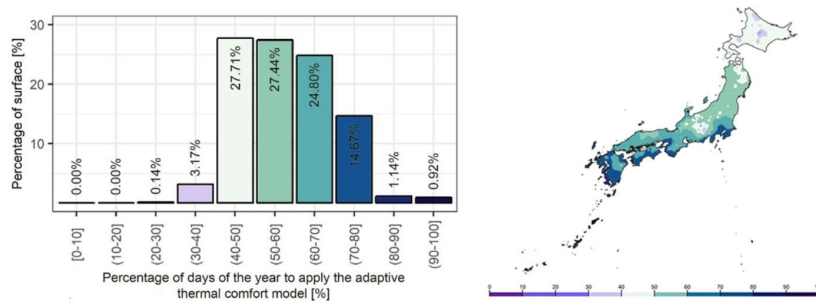


Fig. 3. Percentage of days of the year to apply the adaptive thermal comfort model in Japan in the current scenario [A2].
Source: Authors (2023)

Results from SO2 (Phase B)

- B1. Energy consumption.** Previous case studies were selected so that they constitute a representative sample of the building stock in several regions. These buildings were previously monitored, simulated, calibrated and analyzed by authors. That case studies will be simulated according to criteria of ASHRAE 55-2017 and EN 16798-1:2019, by using adaptive setpoint temperatures. Buildings will be carried out with the interface of DesignBuilder (PI is international trainer) for the thermal model. Energy simulations will be carried out with 'accim', a Python package, which uses EnergyPlus engine and allows multiple iteration in the simulation process to achieve a universe of results comparable with the adaptive potential in Phase A. The energy consumption will be dynamically, hourly, and annually evaluated (Fig. 4). In this sense, adaptive thermal comfort models set will be used, as well as recommendations by national regulations.

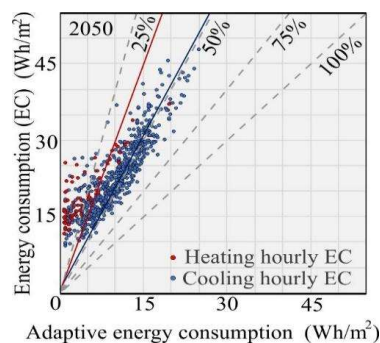


Fig. 4. Example of comparison between actual (adaptive) and static EC.
Source: Authors (2023)

- B2. Energy production.** Energy management innovative technologies as well as energy regulations will be analyzed firstly, on A4 data and secondly, in the specific cases studies of B1. Distribution System Operator (DSO), based on more active and decentralized energy management, will be compared with the traditional Distribution Network Operator (DNO). All the renewable energies at disposal in the cases studies will be considered; that is, district supplies which can interchange energy systems with the buildings. All the case studies considered in B1 will be also simulated to set the energy production in present and future scenarios.
- B3. PEB configurations.** From the analysis of B1 and B2, the adequate configurations to adopt PEB in all the area will be obtained. The configurations are based on the optimization of excess of energy hourly throughout the year. The process seeks a correct balance between energy production and consumption to achieve positive energy during the course of the year at present time and in future scenarios. The possibilities of changing prosumers use patterns will be considered due to the action of climate change.
- B4. Artificial intelligence.** The data compiled in B1-B3 will be used to develop prediction models by means of artificial intelligence. Various algorithms were used depending on the problem to be solved (i.e., artificial neural networks, tree algorithms, or support vector regression algorithms)(Fig.5). The datasets used should be adapted to each problem suggested, distinguishing the following aspects: (i) energy production/saving evaluation; and (ii) possibilities of PEB implementations. Also, the models will be adapted to the characteristics of each case, so the datasets typical of the characteristics of each zone will be developed.

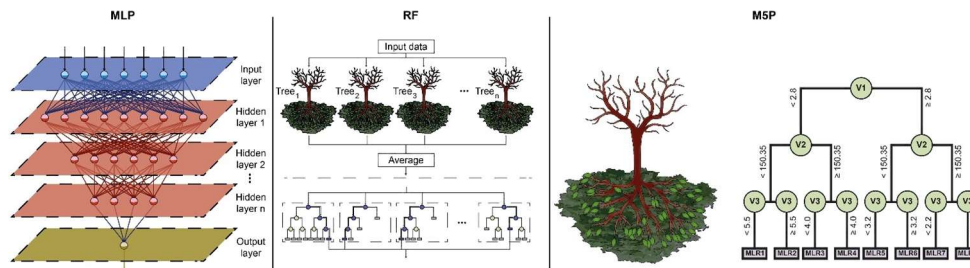


Fig. 5. Different algorithms to evaluate energy production: Linear regression & Random Forest & M5P. Source: Authors (2023)

Results from SO3 (Phase C)

- C1. Energy poverty.** Optimized cases of B3 with the data compiled in main indicators of energy poverty will be evaluated. Authors have already developed the indicators Fuel Poverty Potential Risk Index (FPPRI), Poverty Adaptive Degree Hourly Index (PADHI) and The Normalized High Energy Requirements (NHER) index, which includes incomes and gender dimension. By using census data, population and typologies of buildings, the percentage of energy poverty will be determined in the current scenario, as well as its potential of reduction with PEB strategies (Fig.6).

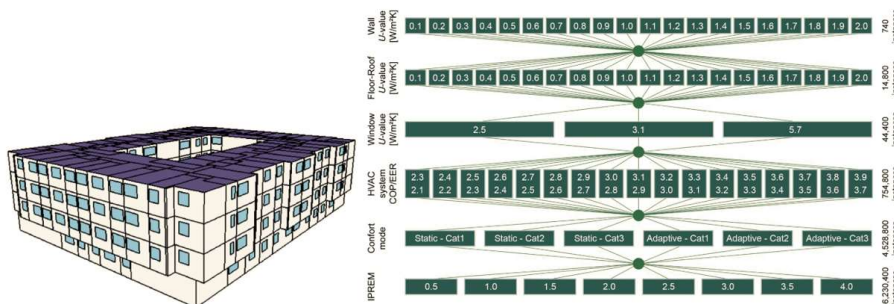


Fig. 6. Artificial neural networks and linear regression prediction models for social housing allocation. Source: Authors (2023)

C2. Global understanding. The different approaches of the research and the expected results must be analyzed from a critical point of view, that will allow to identify the most favourable conditions for

PEB and to understand its implications on energy poverty. The effort of gathering various fragmented fields of knowledge, will be evaluated, considering the risks and gains, as well as the future trends in public policy and inclusive society (Fig.7).

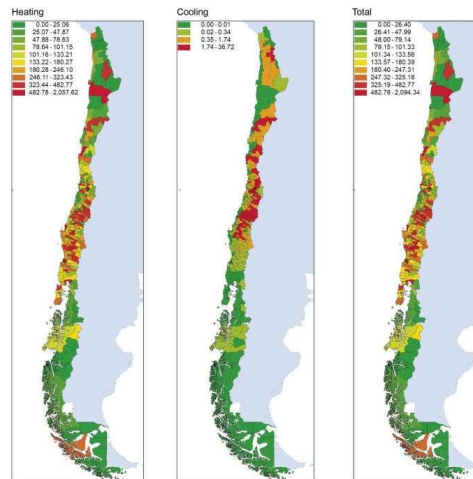


Fig. 7. Distribution of the Poverty-Adaptive Degree Hourly Index in Chilean municipalities. Source: Authors (2023)

5. Conclusions

At the scientific level, this work proposes an innovative way of integrating different areas within a highly fragmented research landscape. The approach involves a combination of techniques from energy production and consumption, climate change adaptation and energy poverty alleviation in PEB, which have never been before brought together in a single holistic research effort. This work will contribute directly to SDG7 Energy, considering affordability and poverty mitigation. In this line, the work also contributes to SDG11 Cities considering the possibility to extrapolate PEB research to Positive Energy Districts.

The expected results will support the energy transition in Spain, contributing to sustainable cities and facing climate change, according to the 3 strategic lines of the thematic priority and the Long term strategy for Energy Rehabilitation in the Building Sector.

The technical innovation that will be brought about will be novel methods to deal new holistic understanding of PEB. These will improve the global concept of energy production with the minimum energy consumption and a low-carbon approach.

In terms of social contribution, people are at the centre of sustainable development, people's lifestyle is key to achieving a resilient world, even more so when we face to the four global demographic “megatrends”— population growth, population ageing, migration and urbanization – holding important implications for economic and social development and for environmental sustainability. People do not act responsibly for lack of information; our goal is to raise awareness.

As far as environmental and economic aspects concerned, this work will contribute by 2025 to achieve various goals of the Agenda 2030, among others: (i) enhance international cooperation to facilitate access to clean energy research and technology and promote investment in energy infrastructure and clean energy technology, (ii) support positive economic, social and environmental links between urban, peri-urban and rural areas by strengthening national and regional development planning and (iii) improve education, awareness-raising and human and institutional capacity on climate change mitigation, adaptation, impact reduction and early warning.

References

- Attia, Shady. 2018. *Net Zero Energy Buildings (NZEB): Concepts, Frameworks and Roadmap for Project Analysis and Implementation*. Butterworth-Heinemann.
- Attia, Shady, Polyvios Eleftheriou, Flouris Xení, Rodolphe Morlot, Christophe Ménézo, Vasilis Kostopoulos, Maria Betsi, et al. 2017. 'Overview and Future Challenges of Nearly Zero Energy Buildings (NZEB) Design

- in Southern Europe'. *Energy and Buildings* 155 (November): 439–58. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2017.09.043>.
- Barbadilla-Martín, E, J.Guadix Martín, J.M.Salmerón Lissén, J.Sánchez Ramos, and S.Álvarez Domínguez. 2018. 'Assessment of Thermal Comfort and Energy Savings in a Field Study on Adaptive Comfort with Application for Mixed Mode Offices'. *Energy Build* 167: 281–289. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.02.033>.
- Colclough, Shane, Philip Griffiths, and Neil J Hewitt. 2019. 'Winter Performance of Certified Passive Houses in a Temperate Maritime Climate: NZEB Compliant?' In *Sustainable Building for a Cleaner Environment: Selected Papers from the World Renewable Energy Network's Med Green Forum 2017*, edited by Ali Sayigh, 103–13. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94595-8_10.
- EC. 2011. 'A Roadmap for Moving to a Competitive Low Carbon Economy in 2050'. Brussels, Belgium.
2016. 'Commission Recommendation (EU) 2016/1318 of 29 July 2016 on Guidelines for the Promotion of Nearly Zero-Energy Buildings and Best Practices to Ensure That, by 2020, All New Buildings Are Nearly Zero-Energy Buildings'. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016H1318&from=EN>.
2018. 'Directiva (UE) 2018/844 Por La Que Se Modifica La Directiva 2010/31/UE Relativa a La Eficiencia Energética de Los Edificios y La Directiva 2012/27/UE Relativa a La Eficiencia Energética'. *Diario Oficial de La Unión Europea* 156: 75–91.
- Feist, Wolfgang, Jürgen Schnieders, Viktor Dorer, and Anne Haas. 2005. 'Re-Inventing Air Heating: Convenient and Comfortable within the Frame of the Passive House Concept'. *Energy and Buildings* 37 (11 SPEC. ISS.): 1186–1203. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.06.020>.
- Holmes, Michael J., and Jacob N. Hacker. 2007. 'Climate Change, Thermal Comfort and Energy: Meeting the Design Challenges of the 21st Century'. *Energy and Buildings* 39 (7): 802–14. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.02.009>.
- Hoyt, Tyler, Edward Arens, and Hui Zhang. 2014. 'Extending Air Temperature Setpoints: Simulated Energy Savings and Design Considerations for New and Retrofit Buildings'. *Building and Environment* 88: 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.09.010>.
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ippc*.
- Kalvelage, Kelly, Ulrike Passe, Shannon Rabideau, and Eugene S. Takle. 2014. 'Changing Climate: The Effects on Energy Demand and Human Comfort'. *Energy and Buildings* 76: 373–80. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.009>.
- Kramer, R P, M P E Maas, M H J Martens, A W M Schijndel, and H L Schellen. 2015. 'Energy Conservation in Museums Using Different Setpoint Strategies: A Case Study for a State-of-the-Art Museum Using Building Simulations'. *Appl. Energy* 158: 446–458. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.044>.
- Linden, A. C. van der, A. C. Boerstra, A. K. Raue, S. R. Kurvers, and R. J. De Dear. 2006. 'Adaptive Temperature Limits: A New Guideline in the Netherlands: A New Approach for the Assessment of Building Performance with Respect to Thermal Indoor Climate'. *Energy and Buildings* 38 (1): 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.02.008>.
- Ren, Zhenggen, and Dong Chen. 2018. 'Modelling Study of the Impact of Thermal Comfort Criteria on Housing Energy Use in Australia'. *Applied Energy* 210 (November 2017): 152–66. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.110>.
- Rubio-Bellido, Carlos, Alexis Pérez-Fargallo, and Jesús A. Pulido-Arcas. 2016. 'Optimization of Annual Energy Demand in Office Buildings under the Influence of Climate Change in Chile'. *Energy* 114: 569–85. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.021>.
- Sánchez-García, Daniel, Carlos Rubio-Bellido, Juan Jesús Martín del Río, and Alexis Pérez-Fargallo. 2019. 'Towards the Quantification of Energy Demand and Consumption through the Adaptive Comfort Approach

- in Mixed Mode Office Buildings Considering Climate Change'. *Energy and Buildings* 187: 173–85. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.02.002>.
- Sánchez-Guevara Sánchez, Carmen, Anna Mavrogianni, and Fco Javier Neila González. 2017. 'On the Minimal Thermal Habitability Conditions in Low Income Dwellings in Spain for a New Definition of Fuel Poverty'. *Building and Environment* 114: 344–56. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.029>.
- Santamouris, Mat. 2016. 'Innovating to Zero the Building Sector in Europe: Minimising the Energy Consumption, Eradication of the Energy Poverty and Mitigating the Local Climate Change'. *Solar Energy* 128: 61–94. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.01.021>.
- The United Nations Environment Programme (UNEP). 2012. *Building Design and Construction: Forging Resource Efficiency and Sustainable*. Nairobi, Kenya.
- Wang, Haojie, and Qingyan Chen. 2014. 'Impact of Climate Change Heating and Cooling Energy Use in Buildings in the United States'. *Energy and Buildings* 82 (October): 428–36. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.034>.
- Zinzi, Michele, Francesca Pagliaro, Stefano Agnoli, Fabio Bisegna, and Domenico Iatauro. 2017. 'Assessing the Overheating Risks in Italian Existing School Buildings Renovated with NZEB Targets'. *Energy Procedia* 142: 2517–24. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.192>.

Design of sustainable non-structural concrete using construction and demolition waste with the addition of reused rock wool as a by-product of residential demolitions

Teijón-López-Zuazo, Evelio^a, Vega-Zamanillo, Ángel^b y Gavron Siqueira, Cristina^c

^a University of Salamanca, Zamora Polytechnical School, Viriato Campus, 49022 Zamora, Spain eteijon@usal.es ; ^b University of Cantabria, Civil Engineering Technical School of Santander , Los Castros Avenue, 39005 Santander, Spain angel.vega@unican.es ; ^c Polytechnic Institute of Bragança, School of Technology and Management, Campus de S. Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal carolina.gsiqueira@outlook.com

Abstract

Considering the environmental impact caused by the construction industry, studies that develop sustainable alternatives for the sector are of great relevance. Rock wool is an inorganic fibrous substance frequently used for acoustic insulation, fire protection, pipe insulation or even as synthetic soil for growing plants. Rock wool can also be used as cement reinforcement due to its pozzolanic characteristics. This solution represents an alternative to replace coarse and fine aggregates, reducing consume of natural resources and minimizing the environmental impact of solid waste disposal in landfills.

We have carried out the batching of concrete trying to avoid the generation of waste in the first instance, avoiding the waste of raw materials and the cost of waste management from the reuse of construction and demolition waste, which will optimize our production processes and avoid negative environmental impacts. With this we manage to avoid the generation of waste that is difficult to use and we define a sustainable concrete from the eco-design phase, both as a product and in the subsequent manufacturing and use process due to the improvement of its properties.

We have manufactured concrete specimens with recycled aggregate from construction and demolition waste structures (CDWCon) by adding rock wool. We have investigated with rock wool percentages of 5, 10 and 15%. The results obtained allow us to confirm that a 5% addition of rock wool does not produce a decrease in the strength characteristics. The simple compressive strength (UCS) value of 15.9 MPa at 14 days, demonstrate its usefulness as a non-structural concrete. This application is of special interest, since in addition to its validity as a filler concrete with the consequent environmental benefits, other properties that rock wool provides can be added, such as thermal insulation, a very interesting property in building floors or gravity walls.

Keywords: Sustainable concrete, Non-structural, Construction and demolition waste, Rock wool, Thermal insulation

1. Introducción

Los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), en la Unión Europea suponen una producción de 800 millones de toneladas al año, lo que supone del orden del 25% al 30% de todos los desechos. En España, 13 millones de toneladas anuales proceden de demoliciones en Edificación y 6 millones de toneladas anuales asociados a la Obra Pública. Esto supone el 40 % de la producción total de residuos. Esto supone un modelo de producción insostenible, asociado a clásicos modelos lineales de fabricación con no retorno.

La sustitución en el hormigón de los áridos por reciclados procedentes de RCD supone la puesta en valor de un subproducto destinado a vertedero, eliminación graves impactos al medio natural en los procesos extractivos de canteras o graveras, tan graves como la alteración paisajística, contaminación atmosférica y en cualquier caso emplazadas en zonas ambientalmente sensibles como el Dominio Hidráulico o de montaña.

Existen algunas fracciones de los RCD que no pueden ser procesados por los gestores autorizados en las plantas de reciclaje de residuos. Entre estos residuos no biodegradables se encuentra la lana de roca, sustancia fibrosa de naturaleza inorgánica que se utiliza con frecuencia para el aislamiento acústico, la protección contra incendios, el aislamiento de tuberías o como tierra sintética para el cultivo de plantas (Jiříčková y Černý 2006).

Para un tamaño crítico de 75 μm , los residuos de lana de roca pueden actuar como material cementante o relleno inerte en los compuestos a base de cemento (Cheng et al, 2011). A la relación W/C (agua/cemento) de 0.55, con un 10.0% de lana de roca, obtienen un aumento de la resistencia a la compresión equivalente al 19.0% a los 28 días, un aumento de la resistencia a la tracción del 33.0%, una reducción de la resistencia a la abrasión del 4.0%, una disminución de la absorción del 33.0% y un aumento de la resistividad del 251.0% en comparación con las probetas de control. Por tanto, la adición de residuos de lana de roca a materiales compuestos a base de cemento disminuye la contracción en seco y la absorción superficial (Lin et al., 2012).

La influencia del uso de fibras residuales de lana de roca en las propiedades del mortero de cemento ha sido investigada (Abed, 2020). La presencia de lana de roca reduce la densidad respecto a la mezcla de referencia y mejora la resistencia a la compresión. El mayor aumento de la resistencia a la compresión, del 80,3% se obtiene en las mezclas con un 2.0% de sustitución para una longitud de fibras de 5 mm. La mezcla con lana de roca presentó una mejor conductancia térmica que la de referencia y una mejor la resistencia a flexotracción. Las probetas con fibras de longitud de 5 mm y una sustitución del 4.0% mostraron el mayor incremento en la resistencia a la flexión debido a la detención de las grietas. El porcentaje de absorción también disminuyó.

La fibra de lana de roca procedente del reciclado de RCD en sustitución del 40% de la arena del mortero, incrementa la dureza de la matriz de cemento respecto a la referencia (Ramírez et al., 2019). Sin embargo, en relación a la resistencia a flexión, la sustitución del 30.0% obtuvo mejor resultado. En este caso, la resistencia a la compresión disminuye pero sigue cumpliendo los requisitos mínimos. Se observó que en este tipo de material compuesto se producían pequeños aumentos de la porosidad y ligeras disminuciones de la densidad.

El comportamiento a compresión del Hormigón de Áridos Ligeros (HAL) incluyendo residuos de lana de roca tras su exposición a altas temperaturas ha sido investigado (Bahrami y Nematzadeh, 2021). La adición de residuos de lana de roca hasta un 7.5% en el volumen de HAL, la resistencia a la compresión, después de la exposición a 400°C, aumenta en un 4.5% en comparación con la resistencia del hormigón de referencia sin lana de roca. Sin embargo, la resistencia a la compresión disminuye al añadir un 10.0% de residuos de lana de roca en el volumen de HAL. También la incorporación de lana de roca en mezclas bituminosas, mejora el rendimiento de los pavimentos de carreteras frente a problemas como roderas y agrietamiento por fatiga.

Al aumentar el porcentaje de lana de roca en las mezclas tipo hormigón bituminoso, la resistencia a la deformación plástica de las roderas se incrementa (Behbahani et al.,). Así, para una tensión de 150 kPa, un aumento del 0.8% en la fibra de lana de roca supone un aumento del 84.0%. En la tensión de 300 kPa, el aumento fue de alrededor del 130.0%. La vida a fatiga de las muestras en las tensiones de 250 y 400 kPa con un 0.8% de lana de roca aumentó un 52.0% y un 53.0%. Además, las mezclas reforzadas con lana de roca tenían un módulo de rigidez más alto, y esto indica que las mezclas de asfalto de módulo más alto pueden tener una mayor capacidad de carga.

La lana de roca también se utilizó como aditivo eficaz en el asfalto de matriz pétreo tipo SMA (Alinezhad y Sahaf, 2019) para evitar el potencial de drenaje en la mezcla SMA y estabilizar el ligante asfáltico en mezcla.

2. Objetivos

Con respecto al diseño de un hormigón no estructural sostenible utilizando RCD y adición de lana de roca reutilizada como economía circular ha resultado conveniente destacar como objetivos generales y específicos:

- El Ecodiseño de hormigones conformados únicamente con árido procedente del reciclado de RCD, reduciendo el consumo de recursos naturales y minimizando el impacto medioambiental por eliminación de residuos sólidos en vertederos.
- Utilizar la lana de roca procedente del rechazo en plantas de reciclaje como refuerzo del hormigón sostenible, aprovechando sus características puzolánicas, permitiendo la sustitución de áridos gruesos y finos y el aprovechamiento de un subproducto destinado inicialmente a vertedero controlado.
- Comprobar la mejora de las propiedades mecánicas del hormigón sostenible con fibra de lana de roca respecto al hormigón convencional.

3. Metodología

3.1. Materiales

Los áridos utilizados en esta investigación proceden del machaqueo en la Planta de Tratamiento de RCD de Calvarrasa de Abajo (Salamanca, España). Hemos seleccionado la línea de zanorras procedentes del machaqueo de hormigones estructurales, en demoliciones de edificaciones y obras públicas (RCDCon).



Figura 1. Fracciones en zahorra artificial de RCD de hormigón estructural RCD Con
Fuente: Elaboración propia (2022)

La caracterización de estos áridos, conforme Norma UNE-EN 12524:2003+A1, se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Distribución de fracciones en CDWCon

Componentes	Hormigón (CDWRCon)	
	Contenido (%)	Categoría
Rc	66.0	Rc50
Rc+Ru	92.6	Rcu90
Rb	1.5	Rb10-
Ra	5.5	Ra10-
Rg	---	---
X	0.4	X1-

Donde la distribución de los agregados se clasifica con la siguiente nomenclatura:

- Rc = Hormigón y mortero (agregados naturales con mortero de cemento adherido).
- Ru = Áridos no ligados (áridos naturales sin mortero de cemento adherido).
- Rb = Cerámica (ladrillos, tejas, gres y sanitarios).
- Yg = Yesos gruesos.
- X = Otras impurezas (madera, papel, metales, plástico, etc.).
- Filler = Materiales finos que no pueden ser clasificados.

Dada la propia naturaleza de los áridos reciclados, se obtuvieron las densidades y absorción de agua del árido grueso mediante el método de balanza hidrostática, norma UNE EN 1097-6, Figura 2. También se obtuvieron valores de absorción para muestras de lana fibilada.

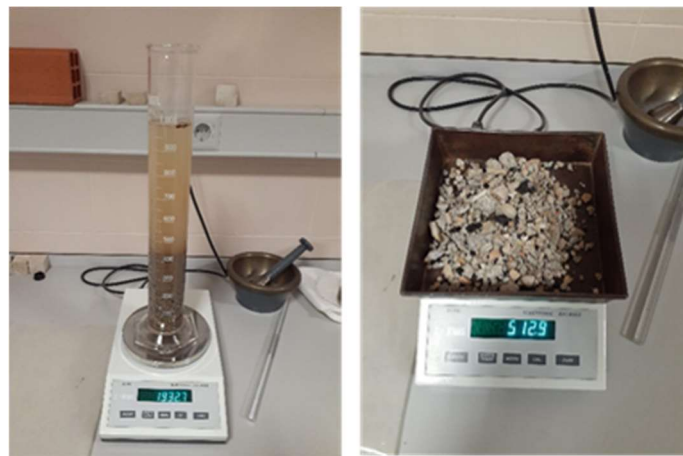


Figura 2. Ensayo de peso específico y absorción de fracción gruesa de RCDCon

Fuente: Elaboración propia (2022)

En general, los áridos provenientes de RCD son más absorbentes que los áridos naturales, y, por ende, los áridos provenientes de RCDCon. El ensayo de absorción de agua a 24 horas (WA24) muestra que para el agregado grueso se obtiene un coeficiente de 5.1% de su peso, valor alto en el umbral de las recomendaciones de la Instrucción EHE-08 que restringe a un 5% como máximo. La lana ofreció una absorción media del 8.7%.

El cemento utilizado para la confección y fabricación de las probetas es un Cemento Blanco tipo BL II / B-LL 42,5 R de endurecimiento rápido de la marca Cementos Tudela Veguín (Masaveo Industria).

Para calcular las dosificaciones de los materiales utilizados en esta investigación se han tomado de referencia estudios previos realizados para la obtención de un hormigón no estructural con áridos reciclado.

4. Resultados

En esta investigación se han considerado diferentes dosificaciones de lana de roca, con porcentajes del 5, 10 y 15% del peso del cemento, Figura 3, para así poder analizar una curva de resistencia a compresión según el

aporte de fibras obteniendo el porcentaje óptimo. Antes de la elaboración de las probetas, se ha determinado, según la UNE-EN 12350-2:2020 “Ensayos de hormigón fresco. Parte 2: Ensayo de asentamiento”, la consistencia del hormigón fresco de cada una de nuestras series.



Figura 3. Hormigón con RCDCon y lana de roca. Ensayo de asentamiento al 5.0 y 15.0%

Fuente: Elaboración propia (2022)

Para la determinación de la resistencia a compresión se ha seguido la norma UNE- EN 12390-3:2020 Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas. Desencofradas las distintas series de probetas, compuestas por 3 probetas cilíndricas de cada porcentaje de fibras, se han conservado en cámara húmeda hasta rotura a distintas edades, 7 y 14 días, Tabla 2. Como serie 0, esto es, amasada con la misma zahorra CDWCon pero sin adición de lana de roca, se han partido de los valores de la investigación en hormigones no estructurales con áridos reciclado (Teijón- López-Zuazo et al., 2021).

Tabla 2. Resistencia a compresión simple (RCS) de series de probetas

Probeta	Lana de roca (%)	Cono de Abrams (cm)	Edad (días)	RCS (MPa)
HL0	0.0	7.0	7	16.1
HL5 ₁	5.0	3.0	7	13.1
HL5 ₂	5.0	3.0	7	13.6
HL5 ₃	5.0	3.0	14	15.9
HL10 ₁	10.0	2.0	7	10.3
HL10 ₂	10.0	2.0	7	10.2
HL15 ₁	15.0	0.0	7	4.8
HL15 ₂	15.0	0.0	7	5.3

Todas las roturas han sido obtenidas de forma satisfactoria para las diferentes edades de curado, Figura 4, en el sentido de un correcto posicionamiento de la probeta y planos de rotura a 60°, lo cuál es especialmente importante en el caso de áridos reciclados con procedencias heterogéneas.

Como puede observarse, la serie que obtiene mejores resultados con fibras es la HL5, con un contenido en lana de roca del 5.0%. Todas las series disminuyen sus propiedades mecánicas al aumentar el contenido de fibras. En función de los porcentajes de lana, para roturas a edades de curado de 7 días, existe una diferencia media de 3.0 MPa entre el 0 y 5%, 2.9 MPa entre el 5 y 10% y una incluso mayor de 5.2 MPa entre el 10 y 15%

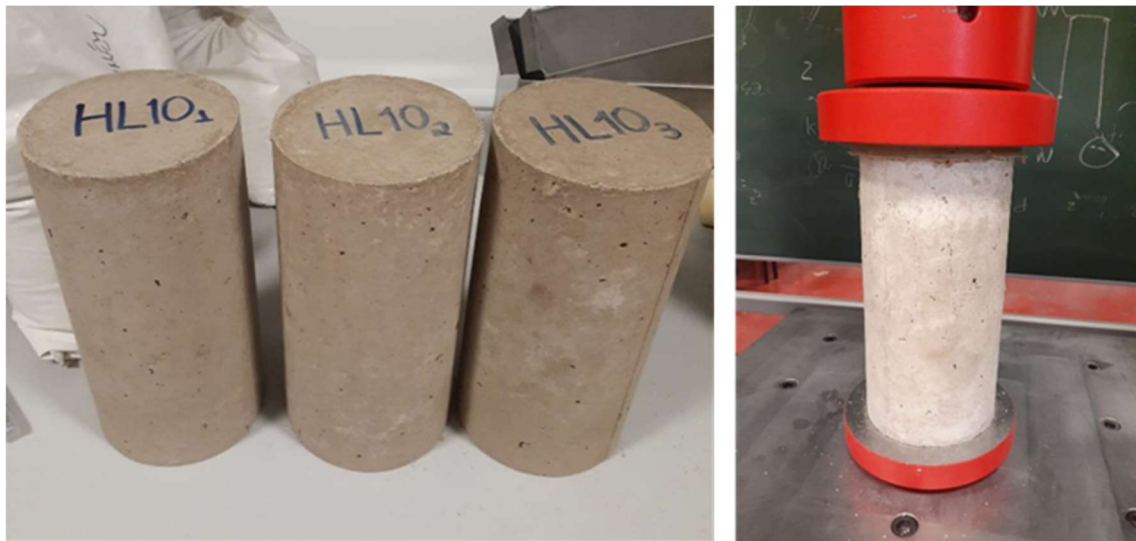


Figura 3. Probetas desencofradas (RCDCon + 10% lana de roca) y rotura a compresión simple

Fuente: Elaboración propia (2022)

5. Conclusiones

En esta investigación hemos tenido como objetivo demostrar las mejoras que puede tener la aplicación de lana de roca reutilizada como subproducto de las plantas de reciclaje de RCD en la fabricación de hormigones no estructurales constituidos con áridos provenientes de residuos de construcción y demolición de edificación, obteniéndose de la línea de investigación las siguientes conclusiones:

- El empleo de hormigones sostenibles, constituidos con áridos reciclados y otros subproductos del Sector de la Construcción, deben considerarse siempre por sus elevados beneficios medioambientales buscando producir la transformación del mismo desde su integración en la economía circular.
- El ecodiseño de hormigón con residuos de construcción y demolición y la reutilización de otros subproductos como la lana de roca procedente de demoliciones de edificios, atiende a los principios de la Economía Circular, preservando y mejorando el capital natural, optimizando el rendimiento de recursos limitados, procurando la máxima utilidad de los materiales de construcción al final de su vida útil y la regeneración del medio natural evitando daños a los ecosistemas en graveras y canteras o reduciendo la emisión de sustancias tóxicas en el proceso industrial de fabricación de la lana de roca.
- De forma generalizada se observa para todos los porcentajes, una disminución en la resistencia a compresión simple RCS al aumentar el contenido de lana de roca.
- La adición de lana de roca en fibras hasta un máximo del 5% en peso sobre el contenido en cemento, permite alcanzar valores en el hormigón dosificado al 100% con árido reciclado tipo zahorra de hormigón CDWCon, hormigones sostenibles que cumplen con la RCS exigibles para hormigones de limpieza, hormigones no estructurales y prefabricados que deben alcanzar 15MPa a 28 días.
- Futuras líneas de investigación aconsejan estudiar el comportamiento térmico de estos hormigones con árido reciclado y adición de lana de roca, pues a los beneficios ambientales de un hormigón fabricado en exclusiva con materiales reciclados y reutilizados se añade el beneficio de un mayor aislamiento térmico, ventaja muy importante a efectos de aislamiento en hormigones de solera de naves y pavimentos exteriores.
- También resultaría complementaria a esta investigación el completar la caracterización mecánica como la resistencia a tracción o flexotracción del material. Esto no se ha podido realizar en este estudio por lo que sugiere para futuras líneas de investigación.

Referencias

- Jiříčková M.; Černý R. 2006. Effect of hydrophilic admixtures on moisture and heat transport and storage parameters of mineral wool. *Construction and Building Materials* 20: 425-434.
- Cheng A.; Lin W.; Huang R. 2011. Application of rock wool waste in cement-based composites. *Material and Design* 32: 636-642.
- Lin W.; Cheng A.; Huang R.; Wu Y.; Han T. 2012. Rock wool wastes as a supplementary cementitious material replacement in cement-based composites. *Computers and Concrete* 10: 401-411.
- Abed, Z. M. 2020. Investigating the Various Sustainable Variables of Composite Ferrocement Mortar Using Residual Rock Wool Fibers. *Journal of Materials in Civil Engineering* 32:12.
- Ramírez C. P.; Merino M. R.; Arrebola C. V.; Barriguete A. V.; Kazberuk M. K. 2019. Analysis of the mechanical behavior of the cement mortars with additives of mineral wool fibres from recycling of CDW. *Construction and Building Materials* 210: 56-62.
- Ramírez C. P.; Sánchez E. A.; Merino M. R.; Arrebola C. V.; Barriguete A. V. 2018. Feasibility of the use of mineral wool fibres recovered from CDW for the reinforcement of conglomerates by study of their porosity. *Construction and Building Materials* 191: 460-468.
- Bahrami A.; Nematzadeh M. 2021. Effect of rock wool waste on compressive behavior of pumice lightweight aggregate concrete after elevated temperature exposure. *Fire Technology*.
- Behbahani, H.; Gilani, V. N. M.; Salehfarid, R.; Safari D. 2020. Evaluation of Fatigue and Rutting Behaviour of Hot Mix Asphalt Containing Rock Wool. *International Journal of Civil Engineering* 18: 1293–1300.
- Alinezhad M.; Sahaf A. 2019. Investigation of the fatigue characteristics of warm stone matrix asphalt (WSMA) containing electric arc furnace (EAF) steel slag as coarse aggregate and Sasobit as warm mix additive. *Case Studies in Construction Materials* 11.
- AENOR. UNE-EN 13242:2003+A1. 2008. Áridos para capas granulares y capas tratadas con conglomerados hidráulicos para uso en capas estructurales de firmes. 1-46.
- AENOR. UNE-EN 1097-6. 2001. Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de las partículas y la absorción de agua. 1-34.
- AENOR. UNE-EN 12350-2. 2009. Ensayos de hormigón fresco. Parte 2: Ensayo de asentamiento. 1-12.
- AENOR. UNE-EN 12390-3. 2003. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la Resistencia a compresión de probetas. 1-20.

Graphic analysis and 3D virtual representation of the San Fernando courtyard of the Hotel Alfonso XIII in Seville

Chaza Chimeno, M^a Rosario^a, Diaz Cañete, Pablo^b, Rico Delgado, Fernando^c y Jiménez Sanchez, Virginia Asunción^d

^a Universidad de Sevilla, Av. Reina Mercedes, 4, 41012 Sevilla. chaza@us.es, ^b Universidad de Sevilla, Av. Reina Mercedes, 4, 41012 Sevilla. pdiaz@us.es, ^c Universidad de Sevilla, Av. Reina Mercedes, 4, 41012 Sevilla. fricodel@us.es, ^d Universidad de Sevilla, Av. Reina Mercedes, 4, 41012 Sevilla. virjimnepo@gmail.com

Abstract

The aim of this paper is to study and analyse the San Fernando courtyard of the Hotel Alfonso XIII in Seville, one of the most emblematic buildings in the city, using digital tools. Cutting-edge technologies and systems have been used to carry out the survey and obtain the three-dimensional virtual model that allows us, in turn, to obtain a reliable planimetry of the current situation. These technologies have been applied to our case study, a regionalist-style courtyard of great cultural interest which, due to its uniqueness and historical value in the city of Seville, it was considered important to carry out an architectural survey. The Hotel Alfonso XIII, in the Sevillian regionalist style, was created for the Ibero-American Exhibition of 1929 by the architect José Espiau y Muñoz.

For this work, advanced technological equipment such as the Leica BLK 360 scanner was used, as well as the specific software Cyclon Register, Cyclon Field, ReCap Pro, Revit and AutoCAD. Thanks to these technologies and software, it has been possible to obtain a point cloud, which has allowed us to carry out the virtual modelling and subsequent updated planimetry. This graphic documentation, which will be provided to the Hotel Alfonso XIII, can be used for future research, as well as serve as information for subsequent reforms, renovations or remodelling that need to be carried out.

Keywords: Hotel Alfonso XIII, Laser Scanner, HBIM, Regionalism.

1. Introducción

En la actualidad, existen innumerables edificios históricos en Sevilla de los cuales la información que hay recogida es escasa o no está actualizada, por lo que realizar un estudio de estas características, de cualquier edificio patrimonial, puede ser de suma importancia. El uso de nuevas tecnologías con equipos, como el escáner láser, permite la obtención de geometrías fidedignas del estado actual del edificio. En lo referente al patrimonio histórico, hoy en día resulta complejo hacer un trabajo de campo minucioso, eficaz y con la rapidez que se requiere, si no se utilizan estos sistemas. El levantamiento arquitectónico es un proceso de toma de datos en un espacio, generalmente construido, que requiere actualizar planimetrías existentes y aportar detalle específico para futuras intervenciones en los edificios (Marcela, 2017). Los sistemas BIM y HBIM nos facilitan el manejo de la toma de datos e información que ha de utilizarse para obtener resultados gráficos óptimos. Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, se ha realizado un levantamiento arquitectónico y un análisis gráfico del patio de San Fernando, perteneciente al Hotel Alfonso XIII de Sevilla.



Figuras 1 y 2. Fachada y patio de San Fernando del Hotel Alfonso XIII

Fuente: Elaboración propia (2022)

2. Objetivos

El principal objetivo del presente estudio es la realización del levantamiento arquitectónico del patio de San Fernando, mediante sistemas de captación y sistemas BIM, que nos permita la posterior obtención de una planimetría actualizada (plantas, alzados, secciones, volumetrías y renderizaciones). Partiendo de nuestro objetivo principal, se han planteado como objetivos secundarios los siguientes:

- Aportación de documentación histórica localizada sobre el patio de San Fernando.
- Desarrollar un análisis gráfico del patio de San Fernando desde su origen hasta la actualidad.

3. Metodología

El estudio comienza con la búsqueda de información relativa al patio de San Fernando y los sistemas BIM mediante publicaciones como artículos, libros, páginas webs y trabajos que pudiesen ser importantes y relevantes. No se sabía con exactitud si se conservaban documentos gráficos del hotel donde se aportasen datos relevantes del patio San Fernando, por lo que se decide realizar un escaneo láser para obtener documentación gráfica actualizada.

3.1. Trabajos previos

Los trabajos previos se centraron en dos aspectos fundamentales de este estudio, en primer lugar, sobre el levantamiento arquitectónico, los métodos de captación en sistemas HBIM de edificaciones similares a nuestro caso de estudio, las nubes de puntos y la realización del modelado tridimensional. En segundo lugar, se buscó información sobre el patio de San Fernando, siendo para ello de gran importancia la investigación sobre la posible documentación existente de la Exposición Iberoamericana de 1929 y el proyecto original del Hotel Alfonso XIII. Entre la documentación investigada, se encuentran catalogados los expedientes 02/102 y 02/103, en la Fundación FIDAS, que incluyen documentación del proyecto original, tales como la memoria,

las bases del concurso para la ejecución del hotel, un documento del resumen gráfico de los proyectos presentados al concurso, los planos originales del proyecto de José Espiau, y fotografías.



Figuras 3 y 4. Portada de las bases y plano de planta del concurso de proyectos para la construcción del Gran Hotel Alfonso XIII, año 1916.

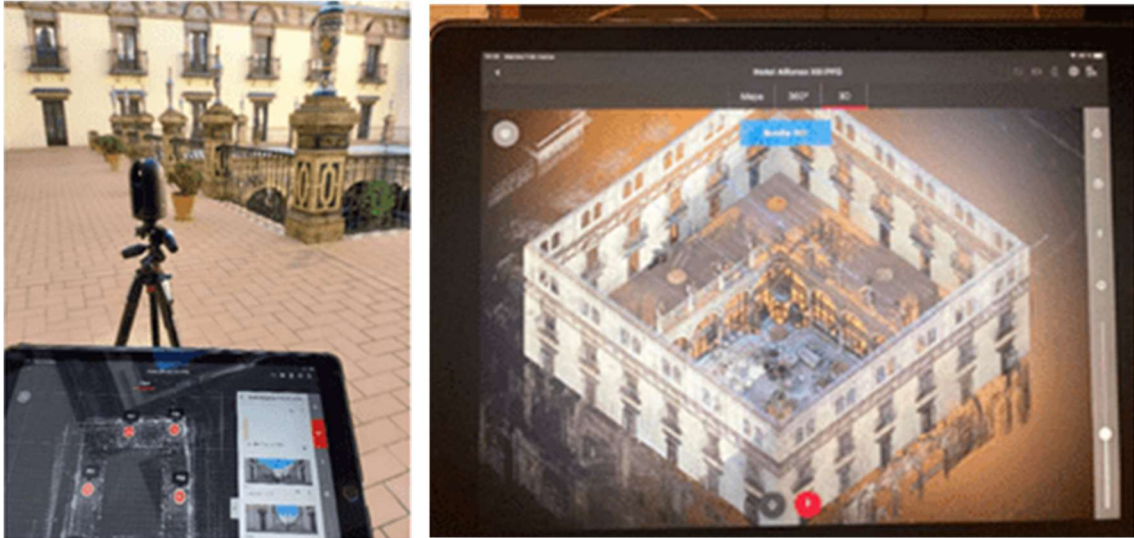
Fuente: Fundación Fidas (2022)

3.2. Trabajo de campo

Con carácter previo a la visita en la que se realizó el escaneo del patio, se prepararon unos croquis de la terraza y del patio para poder indicar donde se deberían hacer los estacionamientos. El trabajo de escaneo se realizó con el escáner BLK-360 de Leica. Con la ayuda de los croquis realizados con anterioridad, se llevó a cabo el escaneo del patio de San Fernando. En primer lugar, se realizaron nueve estacionamientos en la terraza, de los veinticinco totales. Estos estacionamientos se ubicaron cuatro en las esquinas, cuatro el centro de cada lado de la terraza, y uno último cerca de la barandilla que nos sirviera de enlace entre la planta superior y la inferior.

Posteriormente, nos dirigimos a la planta baja donde se realizaron los dieciséis estacionamientos restantes que se distribuyeron cuatro en las esquinas y en el centro de cada lado del patio. En la fuente se utilizó el trípode de 1 metro para hacer cuatro escaneos y el trípode de 7 metros para realizar los últimos cuatro. Cada proceso de escaneo consta de un primer barrido de 360° en el cual el escáner realiza fotografías. A continuación, realiza otro barrido en donde se produce el escaneo láser. En función de los parámetros de calidad seleccionados, el proceso de escaneo puede tardar de 2 a 8 minutos. Para nuestro trabajo se ha seleccionado una calidad media, por lo que la duración de cada uno de los estacionamientos fue de unos 4 minutos aproximadamente.

El escáner almacena en su memoria interna los datos obtenidos en el trabajo de campo, pero para tener un control de los estacionamientos realizados y la calidad utilizada en el proyecto se usa el iPad Pro, que tiene instalada la aplicación Cyclon Field la cual se usa para poder realizar enlaces previos de los estacionamientos y ver la idoneidad de estos durante el proceso de trabajo. Este dispositivo se conecta al escáner gracias a una wifi que crea el propio escáner. Una vez finalizado todos los estacionamientos y enlazados entre sí, se obtuvo la nube de puntos del patio de San Fernando como se muestra en la figura número 6, a continuación.



Figuras 5 y 6. Enlace de los estacionamientos en el iPad Pro y nube de puntos obtenida con los enlaces visualizados en el iPad Pro

Fuente: Elaboración propia (2022)

3.3. Trabajo de gabinete

El trabajo de gabinete se dividió en dos fases: en primer lugar, búsqueda de documentación del patio y estado de la cuestión y, en segundo lugar, modelado y obtención de planos.

3.3.1. Contexto histórico, análisis y descripción del patio de San Fernando

A principios del siglo XX, España se encuentra ante la reciente pérdida de las colonias de Cuba y Filipinas, en 1898, y necesita un auge mediático de grandeza. De la mano del general Primo de Rivera y el monarca Alfonso XIII, se crea la Exposición General Española con dos sedes: una primera en Barcelona con el nombre de Exposición Internacional de Barcelona, y una segunda en Sevilla denominada Exposición Iberoamericana. Pero la repercusión de las Exposiciones se ve afectada negativamente por la gran crisis económica de la bolsa de Nueva York de 1929 (Emparan, 2009; Martial 2021), la Guerra de África y la Semana Trágica barcelonesa (Villar Movellán, 2010). La Exposición Iberoamericana de 1929 fue creada principalmente por motivos políticos ya que Sevilla se hallaba como una ciudad sin industrializar, con escasez de infraestructuras y mantenida por el entorno rural. Dicha Exposición hizo que la ciudad avanzase de forma próspera, aumentando sus niveles económicos e industriales (Emparan, 2009).

Aun teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, la Exposición Iberoamericana puede considerarse un auténtico éxito a nivel arquitectónico. Se consiguieron realizar grandes obras que actualmente son grandes referentes para la ciudad de Sevilla, a nivel nacional e incluso internacionalmente. Entre estas obras podemos destacar la Plaza de España, la Plaza de América, los Pabellones Internacionales como el de México, Perú, etc., y sin olvidarnos del Hotel Alfonso XIII (Trillo de Leyva, 1977).

El Hotel Alfonso XIII fue creado para este acontecimiento con el pretexto de tener un lugar digno para albergar a los futuros visitantes. Para ello, el Comité de la Exposición creó un concurso de proyectos al que se presentaron once propuestas, entre ellas, la ganadora “Guadalquivir”, del arquitecto sevillano José Espiau y Muñoz (Gámiz-Gordo, 2012; Villar Movellán, 2010).

José Espiau y Muñoz nacido en 1879, fue uno de los arquitectos sevillanos más relevantes al principio del siglo XX, destacado por su estilo modernista y regionalista (Movellán, 1985). Dedicado principalmente a las tipologías arquitectónicas de casas colectivas y unifamiliares, chalets, hoteles y casinos. Siendo su participación en proyectos urbanísticos mucho más escueta (Alonso Gómez et al., 1983).

El Hotel Alfonso XIII pertenece a un estilo arquitectónico denominado arquitectura regionalista, entendiéndose como una mezcla de política y cultura. A nivel político, como una necesidad de salir de la pobreza económica y pública que por aquel entonces sufría Sevilla, y en general Andalucía, en comparación con otras ciudades

y autonomías españolas. Y a nivel cultural como mezcla de la sensibilización historicista de las restauraciones arquitectónicas existentes, la industrialización de los alfares trianeros, el precedente neomudéjar y las relaciones con la arquitectura nacional (Villar Movellán, 2010).

En cierto modo, Espiau crea su propio estilo regionalista empleando en la obra del hotel pináculos, pérgolas, elementos neomudéjares y neobarrocos, ladrillos de varios tonos dentro de un mismo cromatismo, azulejos vidriados, verjas, rejas faroles y barandas de hierro forjado (Ayto. Sevilla, 2010). En las memorias del proyecto arquitectónico presentado por Espiau al concurso, se considera que el diseño y la disposición del patio constituye la esencia del proyecto (Espiau, 1916).

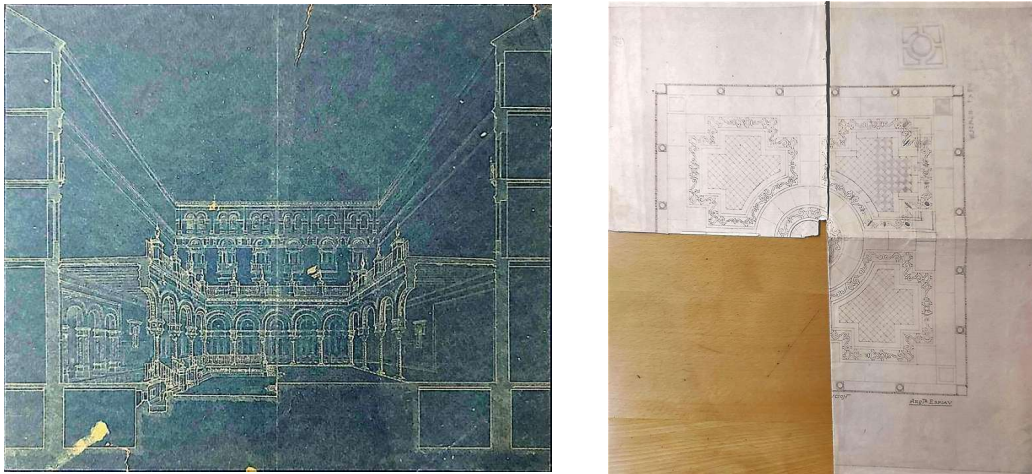
El Hotel Alfonso XIII es propiedad del Ayuntamiento de Sevilla, catalogado como bien de interés cultural desde el 1998 (Molina, 2012) y cedido a la cadena hotelera Stardwodd Hotels & Resorts hasta el año 2044 (ABC de Sevilla, 2008). Desde los años de su construcción, entre 1916 y 1928, el hotel pasó por diferentes modificaciones a lo largo de su ejecución, con respecto a lo dictado en proyecto. El proyecto inicial del patio de San Fernando se inspiró en los patios de estilo barroco, como por ejemplo los del Real Alcázar y el patio central del Hospital de los Venerables. Sin embargo, durante una de las visitas del Rey Alfonso XIII a las obras del hotel, este mostró su desacuerdo con el proyecto, pidiendo a José Espiau diseñar un nuevo patio (Benigno, 2017). El diseño principal realizado por el arquitecto se basaba en un patio cuya cota se situaba a un nivel más bajo que la galería, en donde se cree que transcurriría el agua procedente de la fuente por el perímetro exterior. Para acceder al mismo había cuatro escaleras, situadas en los arcos centrales de las arcadas, que darían paso a la zona transitable del patio. En el centro, parece que albergaría una fuente al mismo nivel que el perímetro exterior. Esta descripción se plantea como una hipótesis teniendo en cuenta las figuras 7 y 8 mostradas a continuación, puesto que no se han encontrado imágenes fehacientes de donde poder realizar un análisis gráfico con mayor exactitud.



Figuras 7 y 8. Comparativa entre una postal del patio de San Fernando antes de la remodelación de 1916-28 (izq) y el patio del Hospital de Los Venerables (dcha).

Fuente: Todocolección y elaboración propia (2022)

Espiau plantea como solución un patio situado a la misma cota que la galería. En cuanto al pavimento, propone realizar una cruz en cada esquina rodeada por una cenefa de dibujos geométricos. En la zona central sigue situada la fuente, a la cual se le da protagonismo gracias a los caminos que acceden a ella creados por la geometría planteada en la solería de las cuatro cruces. Este diseño es el que se conserva en el patio hasta la reforma de 1977.



Figuras 9 y 10. Plano cianotipo de perspectiva cónica de la primera propuesta de diseño del patio y plano de la solución adoptada finalmente por Espiau

Fuente: Fundación Fidas (2022)

En 1977 la Empresa Nacional de Turismo (ENTURSA) realiza obras de reparación, restauración y posterior puesta en funcionamiento del hotel. El proyecto de reforma fue realizado por el arquitecto D. Carlos Picardo Castellón, con un presupuesto de doscientos millones de pesetas. (ABC de Sevilla, 1977). En esta remodelación se realizan trabajos de consolidación de la cubierta y la tabiquería; renovación de la carpintería exterior, verjas, azulejos, zócalos, artesanados, forjado del comedor de banquetes; y sustituciones de las instalaciones de fontanería, electricidad y aire acondicionado. Asimismo, se crean baños, una nueva suite, un estacionamiento cubierto, un bar - cafetería de desayunos y un restaurante en el semisótano, además de disponer nuevos elementos de jardinería (Picardo Castellón, 1979). En cuanto al patio de San Fernando, se desmontó en su totalidad para, una vez vaciado, poder situar un aljibe de 800 m³ que garantizara el abastecimiento de emergencia (Picardo Castellón, 1979). Teniendo en cuenta la magnitud de la obra realizada en el patio, se cree que el pavimento original fue imposible de recuperar en su totalidad, por lo que la solería tuvo que ser renovada siendo esta la que se encuentra en la actualidad colocada. A su vez, este arquitecto instaló una nueva fuente que, a su juicio, se adecuada más a la grandeza del patio de San Fernando.



Figura 11. Patio de San Fernando, tras la reforma y remodelación de 1977.

Fuente: Picardo Castellón (1979)

En la década de los 90, el hotel es reformado con motivo de la celebración de la Exposición Universal de Sevilla de 1992. Esta reforma se lleva a cabo en 1991 por el arquitecto D. Rafael Manzano Martos (Benigno, 2017). En ella se realizó una transformación de las habitaciones del hotel, pasando de las 260 iniciales a 147, de las cuales 19 son suites, entre las que destaca su afamada Suite Real. De igual modo, no se han encontrado datos sobre si en esta intervención se realizaron modificaciones en el patio de San Fernando.

Por último, en el año 2011, se informa sobre una nueva reforma en el Hotel Alfonso XIII. Esta remodelación se incluye en el contrato firmado entre la cadena hotelera Starwodd Hotels y el Ayuntamiento de Sevilla. El coste total de la obra fueron veinte millones de euros y fue llevada a cabo por el arquitecto D. Jaime Montaner del estudio de arquitectos Demópolis Arquitectura & Ingeniería junto a las consultoras EC Harris y HBA. En esta reforma se realizaron trabajos donde se actualizaron las instalaciones de electricidad, de climatización y de conducciones de aguas. Así mismo se planteó una mejora del sistema de seguridad y se renovó el mobiliario.

Con lo que respecta al patio de San Fernando, en esta intervención se mejoró la impermeabilización de la cubierta de la galería y se pintó la fachada de la planta primera del patio (ABC de Sevilla, 2011).



Figura 12. Patio de San Fernando, en las obras realizadas en 2011.

Fuente: Kako Rangel para ABC (2022)

En la actualidad, la planta baja está conformada por una galería acristalada con ventanales, formada por arcadas quintuples de arcos de medio punto. Los ventanales acristalados establecen una división de espacios entre el restaurante de la galería, llamado también San Fernando y el patio del mismo nombre.

El pavimento de planta baja está compuesto por baldosas de mármol de diferentes colores, tamaños y formas que pasaremos a describir a continuación. Con el fin de acercar más el punto de vista en la descripción de la solería y su diseño, las dimensiones que no superen un metro se indicarán en centímetros.



Figura 13. Plano de solería obtenido en modo realista. Programa Revit.

Fuente: Elaboración propia (2022)

3.3.2. Desarrollo del Proceso del Levantamiento Arquitectónico

Tras finalizar la fase de trabajo de campo, se exportaron los archivos BLK del escáner a una estación de trabajo, donde se procedió al tratamiento de los datos almacenados. Este proceso comenzó con la creación de un nuevo proyecto en el programa Cyclon Register 360. Posteriormente, se importaron los puntos de 4 en 4 para no saturar el programa y a su vez, ir realizando los enlaces y no perder el orden de los estacionamientos realizados. Tras obtener la nube de puntos completa creada en el programa Cyclon Register 360, ésta se guardó en formato (.rcp) pudiendo así ser importada desde Autodesk ReCap Pro donde podemos operar con ella para eliminar los puntos generados que son innecesarios, orientarla y tomar medidas entre otras opciones.



Figura 14. Nube de puntos completa creada en el programa Cyclon Register 360, en formato (.rcp) importada a Autodesk ReCap Pro

Fuente: Elaboración propia (2022)

Esta nube se inserta en el programa de Revit de Autodesk con total compatibilidad, para empezar el trabajo de maquetación virtual y levantamiento tridimensional. Para realizar la toma de medidas de la nube completa se trabajó con el programa ReCap Pro con el comando de distancias ortogonales. Una vez obtenido el modelo completo en Revit, extraemos las vistas necesarias para exportarlas a AutoCad y poder realizar la planimetría.

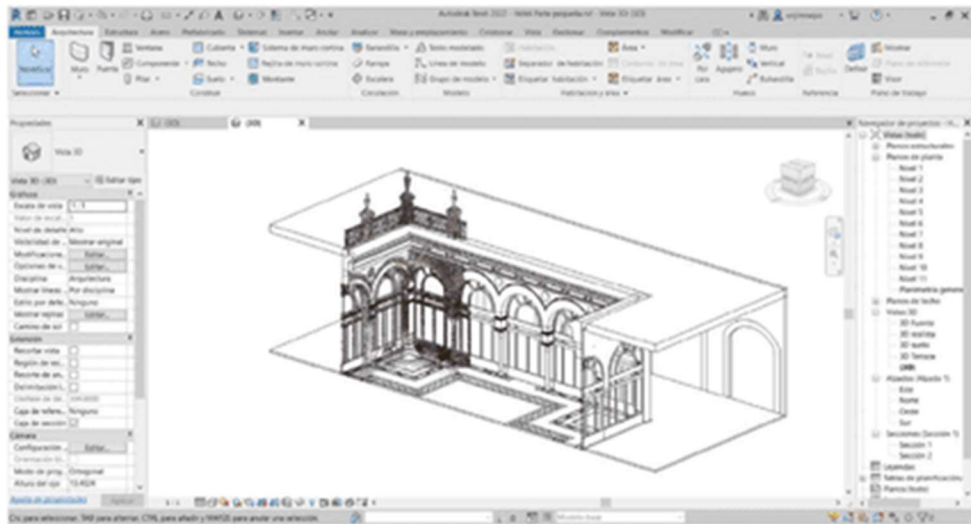


Figura 15. Nube de puntos insertada en programa Revit para modelado 3D

Fuente: Elaboración propia (2022)

4. Resultados y conclusiones

Durante la elaboración de este trabajo de investigación, el objetivo principal ha sido comprobar la validez de la aplicación de la metodología de levantamiento digital mediante escáner 3D, para la obtención de un modelo tridimensional mediante sistemas BIM/CAD, que facilite una planimetría actualizada del caso de estudio, en nuestro caso el patio de San Fernando del Hotel Alfonso XIII.

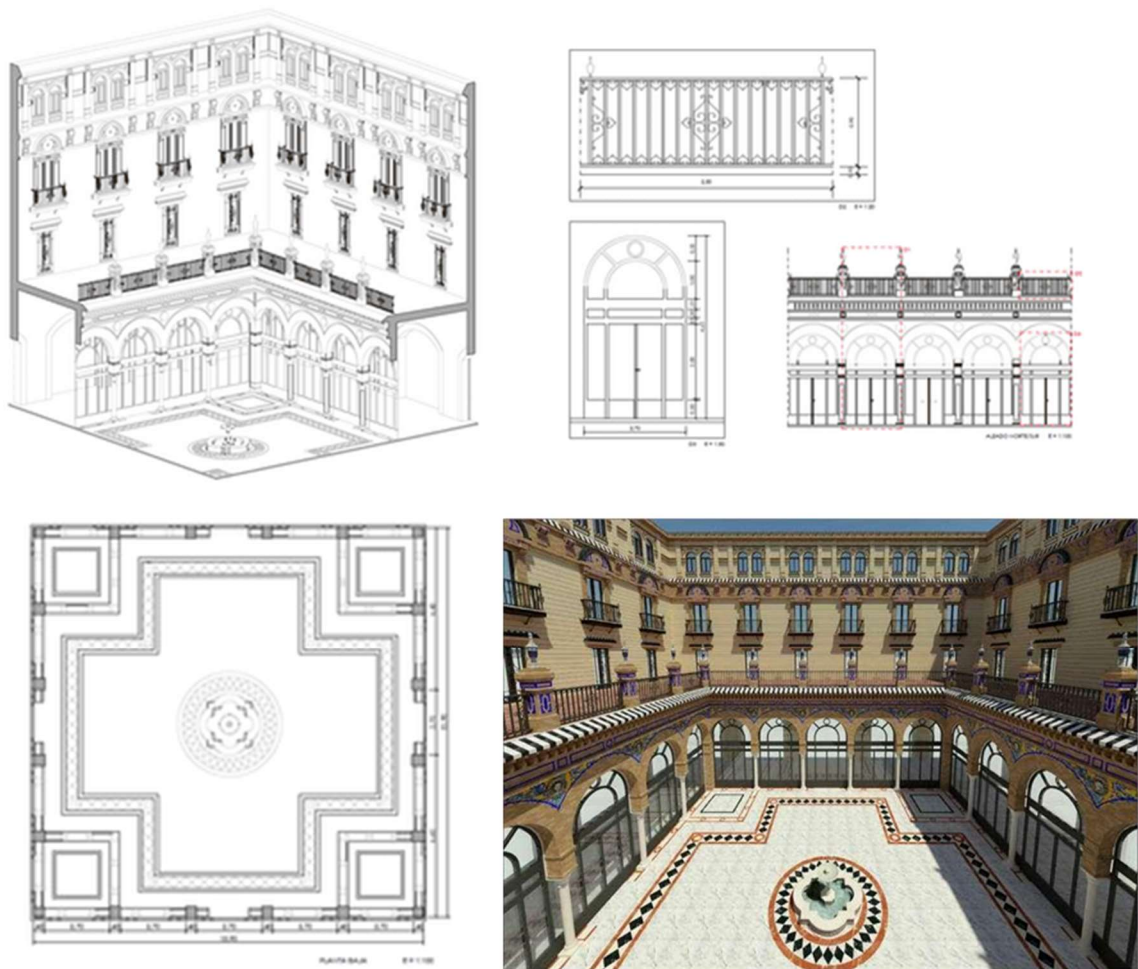
Se considera que esta metodología de levantamiento es adecuada en su aplicación en elementos o edificaciones patrimoniales, pues nos permite conseguir y elaborar una amplia documentación gráfica detallada, que pueda servir para futuras intervenciones.

Hay que destacar que el método utilizado idealiza el modelo geométrico, lo que a su vez puede permitir otros tipos de análisis como la comparación con el modelo real deformado del edificio.

En el proceso de búsqueda de información histórica y gráfica del patio de San Fernando, se aporta una trazabilidad de la documentación histórica localizada, y de la evolución e intervenciones realizadas desde la construcción inicial del edificio.

Otro resultado a destacar ha sido realizar un análisis gráfico exhaustivo del patio de San Fernando en el que se describen, de manera detallada, todos sus elementos compositivos, consiguiendo un conjunto de gran belleza armónica. Por otro lado, hay que indicar que se ha localizado en FIDAS una amplia documentación que informa sobre el proceso del concurso para el diseño del hotel, así como documentación del proyecto original del arquitecto José Espiau.

Como conclusión general, esta metodología de trabajo para la obtención de estos recursos digitales, fomentan la colaboración y el intercambio de conocimientos entre diferentes instituciones académicas y culturales. Podemos afirmar por tanto, que el uso de estas tecnologías en la digitalización de nuestro patrimonio es de gran importancia, ya que de esta forma los recursos serán almacenados y compartidos fácilmente; garantizando la preservación a largo plazo y el acceso global al conocimiento.



**Figura 16. Planimetría obtenida del Patio de San Fernando del Hortal Alfonso XIII de Sevilla.
Volumetría, planta, alzado, detalles de carpinterías y render**

Fuente: Elaboración propia (2022)

5. Referencias

- Marcela Pulido, L. (2017). Técnicas para un levantamiento arquitectónico. Revista Oblicua. Universidad del Valle de Cali, Colombia.
- Martín Emparan, A. (2009). Primer proyecto español de marca-país: la Exposición Iberoamericana de Sevilla, 1929. i+ Diseño. Revista Científico-Académica Internacional de Innovación, Investigación y Desarrollo en Diseño, 1, 7-20.
- Martial, C. (2021). Two International Exhibitions in Spain: Seville Exhibition (Ibero-American Exhibition), March 15 to December 31, 1929, Barcelona Exhibition, May 1 to December 31, 1929.
- Villar Movellán, A. (2010). Arquitectura del Regionalismo en Sevilla (1900-1935). 2ª Edición. Diputación de Sevilla. Sevilla.
- Trillo de Leyva, M. (1977). Sevilla 1909-1930: la exposición Ibero-americana y las obras conexas. Universidad de Sevilla.
- Gámiz-Gordo, A. (2012). José Espiau y Muñoz y el concurso del hotel Alfonso XIII en Sevilla (1916). In Con cursos de arquitectura 14. Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica, Oporto, del 31 de mayo al 2 de junio de 2012, Pág. 111-118.
- Villar Movellán, A. (1985). Catálogo de la arquitectura de José Espiau y Muñoz (1879-1938).

Archivo hispalense: Revista histórica, literaria y artística, 68 (209), 145-174.

Alonso Gómez, M., Cazorla Glez-Ceferino, J.M., Espiau Eizaguirre, E., Espiau Eizaguirre, M., González Cordón, A., Pérez Escolano, V., Trillo de Leyva, M. y Villar Movellán, A. 1983. José Espiau y Muñoz arquitecto 1884-1938. Colegio Oficial de Arquitectos de Andalucía Occidental. Sevilla.

Ayuntamiento de Sevilla (2010). Edificios singulares de Sevilla, la ciudad regionalista. Consorcio de Turismo de Sevilla. Ayuntamiento de Sevilla. Sevilla.

Espiau y Muñoz, J. (1916). Memoria del proyecto Hotel Alfonso XIII. Lema "Guadalquivir"

Molina, M. (2012). El Renacer del Alfonso XIII [en línea]. Recuperado 10 de mayo de 2022, de Homepage, https://elpais.com/ccaa/2012/03/13/andalucia/1331667190_180246.html, last accessed 2023/04/19.

ABC de Sevilla (2008). El Ayuntamiento renovará la cesión del Alfonso XIII a Starwood Hotels. [en línea]. Recuperado 10 de mayo de 2022, Homepage, https://sevilla.abc.es/sevilla/sevi-ayuntamiento-renovara-cesion-alfonso-xiii-starwood-hotels-200810210300-91723320974_noticia.html, last accessed 2023/04/19.

Benigno (2017). Hotel Alfonso XIII. [en línea]. Recuperado 11 de mayo de 2022, Homepage, <http://curiosasevilla.blogspot.com/2017/03/hotel-alfonso-xiii.html>, last accessed 2023/04/20.

ABC de Sevilla (1977). Han comenzado las obras de restauración del Alfonso XIII. [en línea]. Recuperado 10 de mayo de 2022, de ABC SEVILLA 09-09-1977, página 29- Archivo ABC.

Picardo Castellón, C. (1979). Reforma y modernización del Hotel Alfonso XIII de Sevilla, España. Informes de la Construcción, 32(315).

ABC de Sevilla (2011). El Hotel Alfonso XIII cierra sus puertas durante un año para renovar sus entrañas. [en línea]. Recuperado 11 de mayo de 2022, Homepage, https://sevilla.abc.es/sevilla/sevp-hotel-alfonso-xiii-cierra-201106010000_noticia.html, last accessed 2023/04/20.

Surrogate modelling exploiting long-term monitoring data for damage identification of the Muhammad Tower in the Alhambra in Granada, Spain

García-Macías, Enrique^a, Hernández-González, Israel Alejandro^a, Puertas, Esther, Gallego, Rafael^a, Castro-Triguero, Rafael^b, y Ubertini, Filippo^c

^a Department of Structural Mechanics and Hydraulic Engineering, University of Granada, Av. Fuentenueva sn, 18002 Granada, Spain, enriquegm@ugr.es; israela42@correo.ugr.es; epuertas@ugr.es; gallego@ugr.es, ^b Department of Continuum Mechanics and Theory of Structures, University of Córdoba, Spain, me1catr@uco.es. ^c Department of Civil and Environmental Engineering, University of Perugia. Via G. Duranti, 93 - 06125 Perugia, Italy. filippo.ubertini@unipg.it

Abstract

The growing awareness on the importance of the preservation of Cultural heritage (CH) buildings has driven the more frequent implementation of Structural Health Monitoring (SHM) systems. Such systems rely on the implementation of long-term monitoring systems, in such a way that inspection and rehabilitation actions can be scheduled according to the real-time condition of the asset. Among the available technologies, ambient vibration-based SHM has become particularly popular. On this basis, Structural Identification (St-Id) or model updating, represents the most efficient solution to achieve complete damage identification capabilities, namely detection, localization, and quantification. Model updating aims to bridge the gap between numerical models and real systems by tuning the model parameters to minimize the mismatch amidst experimental and theoretical observations. Nonetheless, one of the major obstacles for the implementation of St-Id stems from the difficulties involved in the use of computationally intensive numerical models into automated long-term SHM systems. To tackle such a challenge, this work proposes the use of a light surrogate model based on Kriging meta-modelling to replace the forward numerical model. The effectiveness of the developed methodology is demonstrated with a real case study of a 13th-century rammed earth (RE) tower, the Muhamad Tower. The Muhamad Tower, also known as the Tower of the Hens, belongs to the Alhambra monumental complex in Granada, Spain. A vibration-based SHM system was installed in the tower, and the modal properties have been extracted by automated Operational Modal Analysis (OMA) since January until March 2022. Through a set of synthetic damage scenarios, the presented results demonstrate the ability of the developed methodology to accurately identify the location and severity of damage in the tower, with computational times compatible with real-time SHM.

Keywords: Digital Twins, Historical Constructions, Structural Health Monitoring, Automated Operational Modal Analysis, Structural Identification

1. Introduction

Cultural heritage (CH) buildings constitute especially sensitive assets in the built stock due to their strategic role in the tourism industry and their invaluable historical and architectural value. The growing awareness on the importance of the preservation of these assets has driven the more frequent implementation of Structural Health Monitoring (SHM) systems. In this context, rammed earth (RE) CH constructions represent scarcely studied assets but widespread worldwide. This is particularly evident in countries such as Spain and Portugal, where earthen architecture was extensively used during the Islamic occupation of the Iberian Peninsula between the 8th and 15th centuries (Delgado; Guerrero et al., 2006). Despite the growing awareness about the importance of the preservation of these CH assets and the related economic sectors, as well as the renewed interest for earthen architecture as a viable solution for sustainable building policies, the implementation of continuous SHM systems remains marginal.

Among the available technologies, ambient vibration-based SHM has become particularly popular owing to their non-destructive nature and minimum intrusiveness, causing no disruption to the normal fruition of the assets (Pallarés et al., 2021). The damage identification process is commonly organized in a hierarchical structure of increasing complexity (Rytter, 1993): Level I: Detection; Level II: Localization; Level III: Classification; Level IV: Extension; and Level IV: Prognosis. On this basis, damage assessment can be generally conducted by means of unsupervised learning (UL) and supervised learning (SL) tools. Unsupervised techniques through statistical pattern recognition and anomaly detection has become particularly popular given its independence from structural models and related uncertainties, as well as its straightforward implementation into continuous SHM schemes (García-Macías; Ubertini, 2021). These techniques, often referred to as Structural Identification (St-Id) or model updating, represent the most efficient solution to achieve complete damage identification capabilities. The modelling of RE historic constructions represent a formidable problem, both from the characterization of the constitutive properties of RE (Ávila et al., 2022) and the simulation of ancient full-scale constructions, with uncertain history of interventions, existing pathologies, material uncertainties, etc. It is worth noting the work by Silva et al., 2018 who surveyed the seismic behaviour of twenty traditional Portuguese dwellings through simplified indexes. Nguyen et al., 2021 developed different numerical simulation approaches to replicate the seismic response the shaking table test results of a RE building reported by Zhou 2019 and Liu, 2019. Their results evidenced the importance of implementing 3D volume models to achieve close fittings with the experimental data, and evaluated the accuracy of implementing a concrete damage plasticity (CDP) model to simulate the non-linear behaviour of RE. A noteworthy contribution on the modelling of a full-scale RE asset is the one by Martínez et al., 2022 who reported the development of a Finite Element Model (FEM) of the 13th century Tower of Comares in the Alhambra, Granada (Spain). In particular, the FEM reported in that work accounted for 12 different partitions, as well as 9 different material models.

The aforementioned numerical models are computationally intensive, which impedes their implementation for continuous St-Id and damage identification. As a solution, The present work instead proposes the use of a light surrogate model based on Kriging meta-modelling to replace computationally intensive numerical models and so enable continuous damage identification. The developed approach is tested in a real case study, the Muhammad Tower in the Alhambra fortress equipped with a dynamic-based SHM system. The presented results demonstrate the ability of the proposed surrogate model-based St-Id to obtain time series of model properties, being possible to implement statistical process control tools for quasi real-time damage identification.

2. Muhammad Tower

The Muhammad Tower in Fig. 1 (b) (also referred to the Hontiveros Tower and Tower of the Hens) is the westernmost tower of the monumental complex of the Alhambra (Fig. 1 (a)) which is currently one of the few preserved palatine cities of the Islamic period (8th-15th century). Originally constructed as a military enclosure, the Alhambra became a fortified palatine city during the Nasrid dynasty in the mid-13th century. Designated as a world heritage site by UNESCO in 1984, the Alhambra monumental complex is the second most visited site in Spain and attracts more than 3 million tourists yearly. The Muhammad Tower was erected in the 13th-century by Muhammad II for defensive purposes to control the access to the palaces. It is inserted in the walls of the Alhambra Fortress between the Tower of the Cube and the Mexuar Palace. The tower has 1.3-1.9 m thick walls and rises 11.6 m high above the floor (1.20 m-tall battlements included). It has an approximately rectangular cross-section (6.6 x 9.0 m). It consists of two vaulted floors and a terrace finished with a 0.8 m high parapet and

battlements. The three levels of the tower are connected by staircases at the southwest façade of the tower. The walls of the tower are mainly made of rammed earth and brick masonry.

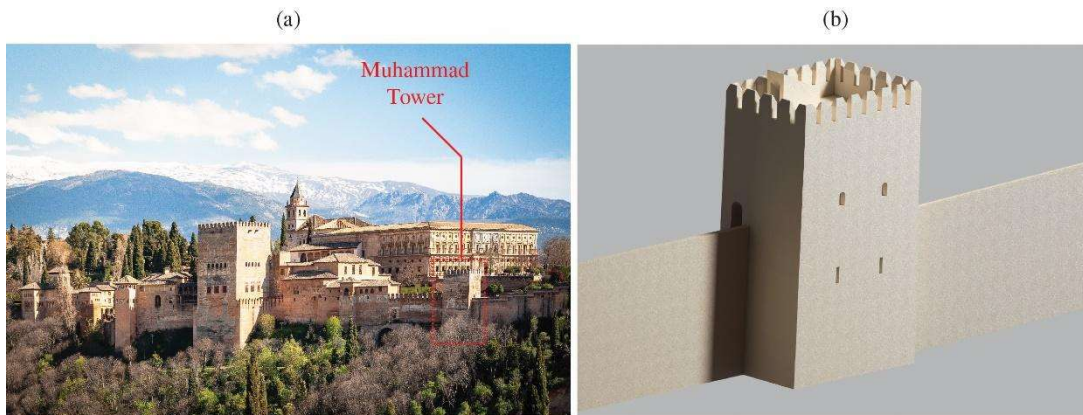


Figure 1. The Alhambra fortress (a) and the Muhammad Tower (b).

With the aim of assessing the current condition of the tower, a continuous vibration-based SHM system was installed from January until March 2022. The monitoring system comprised 8 high-sensitivity piezoelectric sensors model PCB393B31 ($\pm 5\%$ 10.0 V/g, broadband Resolution: 1 μg rms and ± 0.5 g pk) installed on the three main levels of the tower, and a data acquisition system (DAQ) model LMS SCADAS in the second level (see Fig. 2 (a)). The theoretical details on the implemented automated OMA procedure in the in-house software codes MOVA and MOSS (García-Macías; Ubertini, 2020) are presented in a second conference paper and omitted here for brevity.

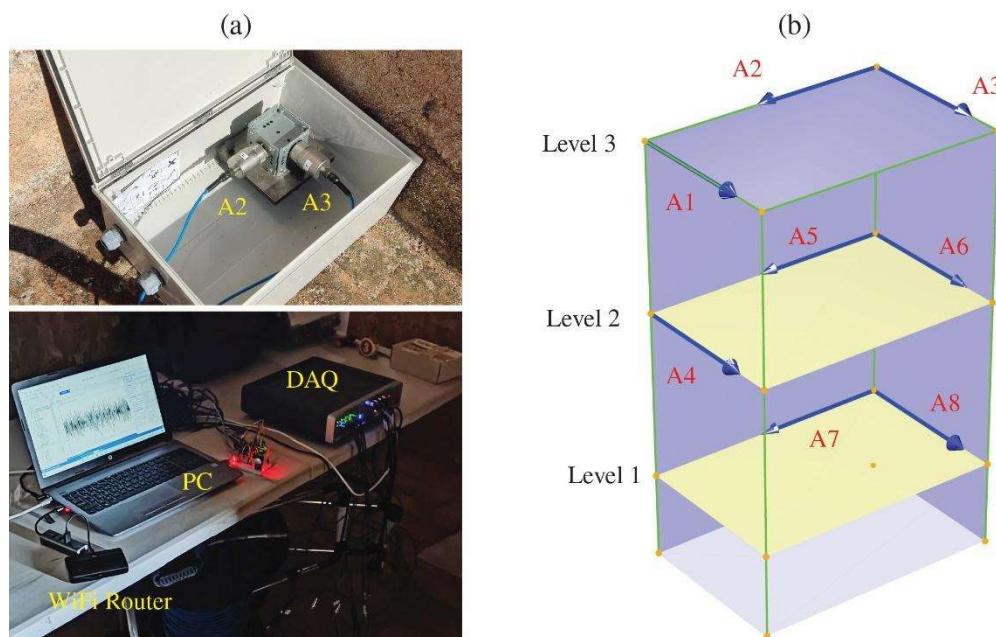


Figure 2. Layout of the continuous monitoring system (a) and views of the sensors and the acquisition equipment (b).

3. Surrogate Model-Based continuous St-Id.

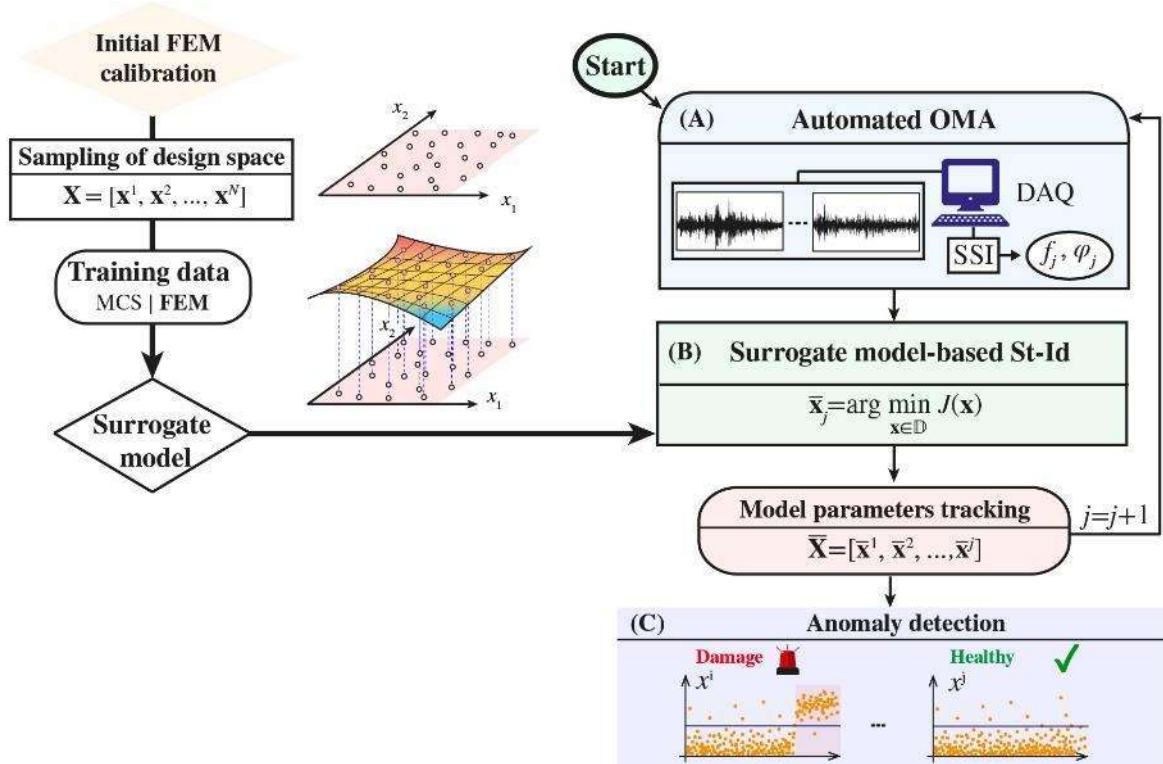


Figure 3. Workflow of the proposed surrogate model-based St-Id for quasi real-time damage identification of structures.

The proposed surrogate model-based continuous St-Id approach is sketched in Fig. 3. In this work, we focus on vibration-based SHM. In this context, a set of accelerometers deployed on the structure continuously record the ambient vibration response of the structure. On this basis, the modal signatures of the structure (resonant frequencies, damping ratios and mode shapes) are extracted through automated OMA. Once identified, this set of modal signatures are used to feed the structural model of the tower and conduct St-Id. The aim of St-Id is to identify the model parameters of the model that minimizes the mismatch between the experimental signatures and the theoretical predictions. Such a process can be formalized through an optimization problem with an objective function $J(x)$ accounting for the relative differences between the l experimental modes and the predictions by the surrogate model is introduced as:

$$J(x) = \sum_{i=1}^l [\alpha \varepsilon_i(x) + \beta \delta_i(x)] + \frac{\eta}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{(k_i - 1)^2}{b_i - a_i}, \quad (1)$$

with

$$\varepsilon_i(x) = \frac{|f_{exp}^i - f_{model}^i|}{f_{exp}^i}, \quad \delta_i(x) = 1 - MAC_i(x), \quad (2)$$

and α , β and η weighting coefficients. Terms f_{exp}^i and f_{model}^i denote the i -th resonant frequency obtained experimentally and the corresponding prediction by the structural model, and MAC_i stands for the Modal Assurance Criterion (MAC) between the experimental and theoretical mode shapes. The last term represents a classical Tikonov regularization term used to minimize ill-conditioning limitations in the calibration ($k_i = 1, \forall i$ denotes the perfectly healthy condition of the structure). On this basis, the St-Id procedure is given by the following constrained non-linear minimization problem:

$$\underline{x} = \operatorname{argmin}_{x \in D} J(x). \quad (3)$$

Note that the solution of the optimization problem in Eq. (3) through iterative algorithms requires an elevated number of evaluations of the structural model. In the case of historical constructions, numerical models are often computationally intensive, which makes the St-Id computationally expensive and incompatible with real-time SHM. To address this issue, we propose in this work the use of a computationally light surrogate model bypassing the original numerical model of the structure. The construction of a surrogate model generally comprises four consecutive steps (see left hand side of Fig. 3), including: (i) Selection of design variables; (ii) Sampling of the design space, (iii) Generation of the training population, and (iv) Construction of the surrogate model. The definition of the design space consists in selecting all those parameters and their variation ranges required to parametrize the original FEM and reproduce the potential damage scenarios. Let us consider m design variables $x_i \in R$, $i = 1, \dots, m$ (e.g. elastic properties of some structural parts) determining the response, y , of a FEM. Let us also assume that the design variables x_i are allowed to vary only within a certain physically meaningful range $[a_i, b_i]$. Accordingly, the vector of design variables $x = [x_1, \dots, x_m]^T$ spans the m -dimensional design space $D = \{x \in R^m: a_i \leq x_i \leq b_i\}$. To construct the surrogate model, it is necessary to assemble a training population of N individuals mapping the output y and the design space D . This is accomplished by drawing input samples uniformly over the design space D and building a matrix of design sites $X = [x^1, \dots, x^N] \in R^{m \times N}$. Then, the corresponding outputs are obtained by direct Monte Carlo simulations (MCS) using the main FEM. This allows to define an observation vector $Y = [y_1, \dots, y_N]^T$, with $y_i \in R$ being the system's response to the input x^i . In this work, the elastic moduli of certain regions of the FEM (referred to as macro-elements hereafter) are defined as damage-sensitive input design variables, x_i , while the modal properties extracted from a linear modal analysis of the FEM are assumed as outputs.

The training population defined by the matrix of design sites X and the observation vector Y are used to construct the surrogate models. A wide variety of models can be found in the literature, although the Kriging has been selected in this work. The Kriging model, with origin in Geostatistics (Matheron, 1963), is a commonly used technique for interpolation of spatial data. The Kriging interpolator conceives the function of interest $y(x)$ as the sum of a regression model $y_r(x)$ and a random function $F(x)$ with zero mean as follows:

$$y(x) = y_r(x) + F(x). \quad (4)$$

It can be understood that $y_r(x)$ globally approximates the design space, whilst $F(x)$ introduces localized deviations. The regression function $y_r(x)$ depends upon p regression parameters $\beta = [\beta_1, \dots, \beta_p]$, and given functions $f(x) = [f_1(x), \dots, f_p(x)]$ with $f_i: R^m \rightarrow R$ as (Lophaven et al., 2002):

$$y_r(x) = f(x)^T \beta. \quad (5)$$

The covariance matrix of $F(x)$ between any two of the N -sampled data points x_i and x_j reads:

$$\operatorname{Cov}[F(x_i)F(x_j)] = \sigma^2 R[r(\theta, x_i, x_j)], \quad (6)$$

where σ^2 stands for the variance of $F(x)$, and $r(\theta, x_i, x_j)$ is a given spatial correlation function dependent on θ correlation parameters. Finally, the term R is a $N \times N$ symmetric, positive definite matrix with components $R_{ij} = r(\theta, x_i, x_j)$. The relation between the interpolated values $\hat{y}(x)$ of the response $y(x)$ at an arbitrary design site x is defined by the Kriging predictor as follows:

$$\hat{y}(x) = f(x)^T \beta + r(x)^T R^{-1}[Y - f(x)^T \beta], \quad (7)$$

where $r(x)$ is a vector containing the correlations between the design sites and x as:

$$r(x)^T = [r(\theta, x_1, x), \dots, r(\theta, x_m, x)]^T. \quad (8)$$

Hence, once the regression model and the correlation function are chosen, the Kriging interpolator is constructed by selecting adequate regression parameters β and the correlation parameters θ . Once identified, the surrogate model can reemplace the forward FEM, offering a computationally light representation apt for continuous St-Id.

4. Numerical results and discussion

4.1 FEM of the Muhammad Tower and initial calibration

With the aim of counting on a realistic numerical model of the Tower to train the surrogate model, a 3D FEM model of the Muhammad Tower and the surrounding walls has been built using ABAQUS environment as shown in Fig. 4. For this preliminary investigation, one single material model with isotropic constitutive behaviour has been considered for all the structure. The model was constructed from information gained from available structural drawings and in-situ inspections. The walls, vaulted floors and battlements were included in the model, and the connection between the tower and the adjacent walls of the Alhambra fortress was assumed to be rigid. To simulate the semi-buried condition of the south façade of the tower, a set of transverse and longitudinal spring elements was included in the model. In order to maintain a trade-off between computational burden and accuracy, only a section of the walls of the Alhambra fortress. In particular, preliminary sensitivity analyses revealed that walls longer than 15 m caused no variations in the modal properties of the tower. The foundation of the tower and the adjacent walls were assumed fixed to the ground, assuming soil-structure interaction effects as negligible. For this preliminary investigation, one single material model with isotropic constitutive behaviour has been considered for all the structure. The initial mechanical parameters of the material model were selected as 1.75 GPa and 2.15 t/m³. Note that, since one single homogenized material has been considered in the model, the initial material properties were selected between the values corresponding to brick masonry (1.44-1.45 t/m³, and 1.6-3 GPa) and RE (2.1-2.3 t/m³, and 1.2-6.3 GPa) as reported by González Limón and Casas Gómez (1997) for the Tower of Comares, proximate and with similar characteristics to the investigated tower. The elastic modulus, the mass density and the stiffness of the spring elements in the model have been considered as uncertain parameters and calibrated through linear sensitivity analysis. To do so, the first-order Taylor expansion of the natural frequencies of the tower has been constructed as:

$$f_{FEM} = f_{0,FEM} + S(X - X_o), \quad (9)$$

where X_o stores the initial guess of the parameters, $f_{0,FEM}$ collects the corresponding natural frequencies, and S is a matrix containing sensitivity coefficients computed numerically by finite differences. In this light, the updated values of the uncertain parameters X_1 can be computed as:

$$X_1 = X_o + (S^T S)^{-1} S^T (f_{exp} - f_{0,FEM}), \quad (10)$$

where f_{exp} denote the experimentally identified resonant frequencies as reported in Table 1. In the calibration, the first three modal signatures of the tower were considering, including first-order bending modes in the two orthogonal directions of the tower and a global torsional model. The calibrated resulted in a value of the Young's modulus of the tower of $E = 1.97 \text{ GPa}$ and a mass density of $w = 2.42 \text{ t/m}^3$. Table 1 summarizes the comparison between the experimental modal signatures and those predicted by the tuned FEM model. In general, very good agreements were found in terms of resonant frequencies with a mean error value of 1.28% and Modal Assurance Criterion (MAC) coefficients close to 1.

It is important to note that the linear modal analysis of this 3D FEM takes approximately 5 minutes, which becomes impractical with continuous St-Id applications where thousands of model evaluations are typically required. This justifies the construction of the proposed surrogate model. To do so, a simple parametrization of the model has been defined by partitioning the tower into three macro-elements M_i (M_1 in $z \in [0.0, 7.76]$, M_2 in

$z \in [7.76, 11.82]$, and M_3 in $z \in [1.82, 15.90]$) as shown in Fig. 4. In the subsequent analyses, the elastic moduli of the macro-elements are selected as damage-sensitive design variables for the Kriging meta-model.

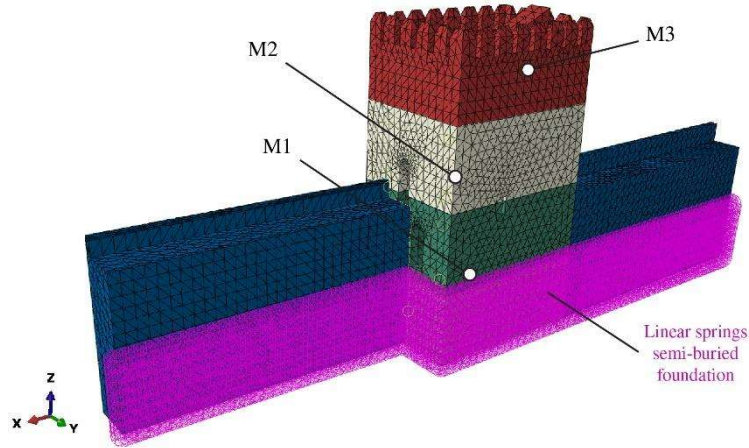


Figure 3. Partition of the FEM of the Muhammad Tower into macro-elements for St-Id.

Table 1. Comparison between experimental and numerical modal properties after FEM calibration. The experimental resonant frequencies have been obtained by automated Covariance-based Stochastic Subspace Identification (COV-SSI) of the first 30 min of ambient vibrations of the Muhammad Tower recorded on on January 10th 2022 10:06 a.m

	Experimental [Hz]	Numerical [Hz]	Error [%]	MAC
1	4.419	4.530	2.51	0.98
2	7.317	7.312	-0.07	0.94
3	9.788	9.666	-1.24	0.95

4.2 Training of the surrogate model.

The quality of the surrogate model is highly determined by the sampling of the design space, also referred to as experimental design (ED). Following the parametrization of the FEM into macro-elements, the design variables have been defined as stiffness multipliers k_i , $i = 1, \dots, 3$, affecting the elastic moduli of macro-elements M_i . The stiffness multipliers are assumed to be uniformly distributed within the variation domain $[0.7, 1.2]$ (*i.e.* $b_i = 1.2$ and $a_i = 0.7$). Note that such a variation range is considerable large, with 0.7 meaning a reduction of 30% the elastic modulus of a macro-element. In this light, random samples have been drawn uniformly over $D = \{x \in R^3: 0.7 \leq k_i \leq 1.2\}$ using the quasi-random sequence of Sobol. In order to select the size of the training population, a convergence analysis considering different training populations with $N = 20, 40, 80, 120, 160$, and 200 individuals have been conducted following the procedure reported in reference (Sobol, 1967), omitted herein for paucity of space. For every training population, the modal signatures corresponding to every individual of the populations are obtained by forward evaluation of the 3D FEM, being this the most computationally intensive step in the procedure. Since only the first modes of the tower have been considered in the analysis, a total of 27 surrogate models (3 resonant frequencies plus $8 \cdot 3$ modal displacements) are built. The convergence analyses revealed that a population of 120 individuals yield convergent fitting errors when considering the population of 200 samples as the validation set. The comparison between the predictions of the surrogate model and the forward FEM is shown in Fig. 5. In order to appraise the quality of the surrogate model to estimate the mode shapes of the tower, a metric $J_{MAC,r}$ accounting for the median value of the 1-MAC values between the r -th exact mode shape φ_r and the predictions by the surrogate models $\hat{\varphi}_r$ in the validation set is introduced as:

$$J_{MAC,r} = med[1 - MAC(\varphi_r, \hat{\varphi}_r)]. \quad (11)$$

Note in Fig. 5 that very low $J_{MAC,r}$ values are obtained for all the considered mode shapes, which demonstrates that the surrogate models have been constructed with accuracy.

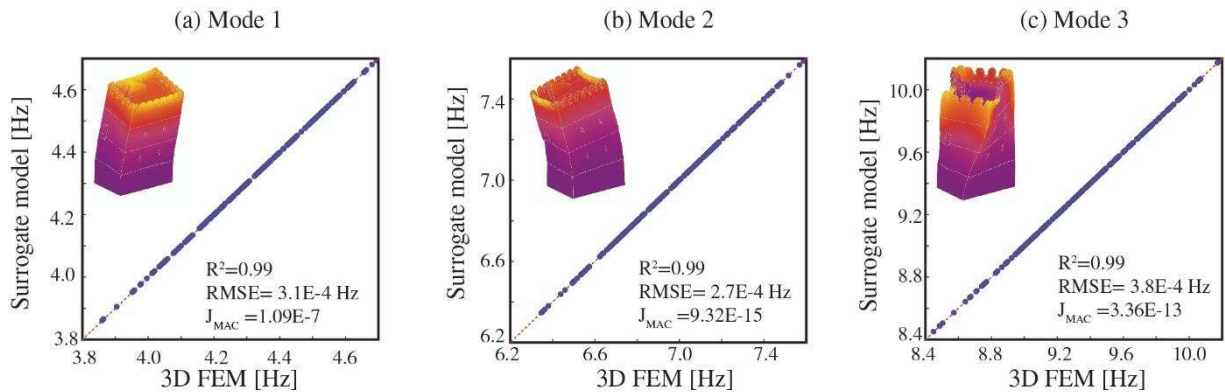


Figure 5. Scatter plot of the predictions by the Kriging model (120 training samples) versus the forward evaluations of the 3D FEM of the Muhammad Tower (validation set of 200 samples).

4.3 Continuous surrogate model-based St-Id

Once the surrogate model is constructed, it is ready for being implemented into a continuous SHM system as previously sketched in Fig. 3. According to the measurement layout previously described in Section 2, ambient vibrations are sampled at 200 Hz through the Simcenter Testxpress software and stored in separate data files containing 30-min-long records. Environmental data is retrieved from the Granada-Albayzín meteorological station managed by the Department of Mineralogy and Petrology from the University of Granada, located only 280 m far from the tower. The modal signatures of the tower are continuously extracted by automated COV-SSI of every 30 min-long acceleration records, and the time series of resonant frequencies from January until March 2022 are reported in Fig. 6 (a). The time series of environmental temperature and relative humidity are reported in Fig. 6 (b).

The optimization problem in Eq. (3) is often non-convex, thereby global optimization algorithms are recommended to solve it. In this work, this optimization problem is solved sequentially for every 30 min-long accelerations record using a Particle Swarm optimization algorithm. After some manual tuning, weighting coefficients $\alpha=\beta = 1$ and $\eta=0.3$ resulted in a reasonable constraint on the variation of the fitting parameters and accuracy in the fitting of the experimental resonant frequencies and mode shapes. The obtained time series of stiffness multipliers are reported in Fig. 6 (c). It is observed that environmental effects also manifest on the fitted stiffness multiplier. Specifically, it is clearly observed that the top macro-element of the tower (k_3) is particularly sensitive, while k_2 and k_1 show lower sensitivities. To deepen into this aspect, Fig. 7 reports the correlation analysis between the fitting parameters and the environmental conditions. These results confirm the previous analysis as the top macro-element (k_3) exhibits highest sensitivity. Interestingly, there exists a positive correlation between this stiffness multiplier and environmental temperature, while the opposite effect is found for relative humidity. Note that the sensitivity of the modal features of the tower to variations in the top macro-element is minimum, thereby in-deep calibration analyses (desirably through Bayesian Inference) are required to confirm this behaviour. Opposite signs in the correlations are found for the stiffness parameter of the bottom macro-element (k_1). This behaviour agrees with the correlations observed for the resonant frequencies, which increases for increasing temperatures, while increasing humidity leads to a softening effect of the RE. It is important to note that the use of the Kriging meta-model allows the inverse calibration to be conducted in about 7 seconds, which makes the proposed approach fully compatible with long-term SHM applications.

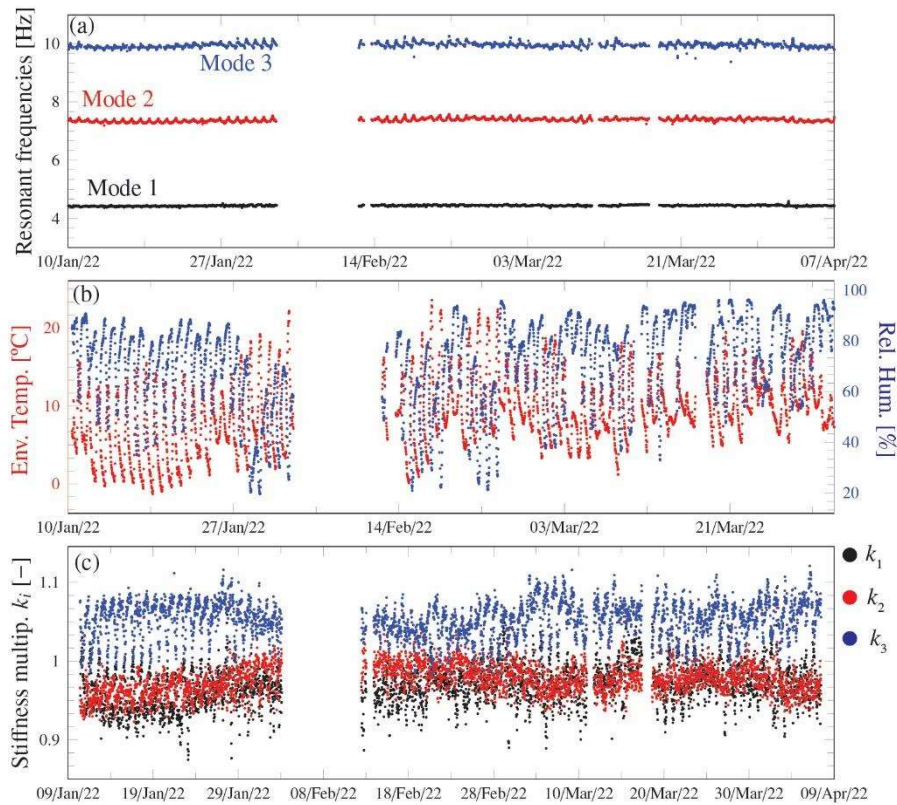


Figure 6. Experimental resonant frequencies of the Muhammad Tower (a), time series of environmental temperature and humidity (b), and time series of fitting stiffness multipliers k_i obtained by surrogate model-based St-Id (c).

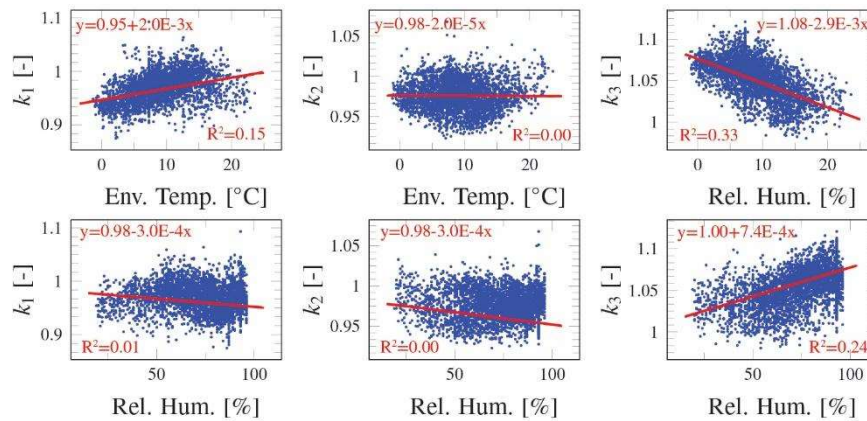


Figure 7. Correlation analysis between the stiffness multipliers k_i of the macro-elements of the Muhammad Tower obtained by surrogate model-based St-Id.

5. Conclusions

To tackle the challenge of continuous St-Id of RE historic constructions, this work has proposed the use of a cost-efficient Kriging-based surrogate model to replace computationally intensive FEMs. The proposed approach allows one to obtain time series of damage-sensitive model parameters with computational times compatible with long-term SHM. The effectiveness of the developed methodology has been demonstrated with a real case study of a 13th-century RE Muhamad Tower. The reported numerical results have shown the proficiency of the proposed approach to identify environmental effects (temperature and humidity) upon the intrinsic stiffness of certain parts of the tower. Future developments will include the development of more detailed

FEMs of the Tower, including a denser partition of the structure and accounting for the heterogeneity in the material properties.

Acknowledgements

This work has been supported by the Secretaría General de Universidades, Investigación y Tecnología and by the Secretaría General de Vivienda de la Junta de Andalucía (Spain) through the research projects "Revalorización Estructural del Patrimonio Arquitectónico de Tapial en Andalucía" [Ref: A-TEP-182-UGR18] and "Metodología para el Análisis de la Integridad Estructural del Patrimonio Arquitectónico construido en tapial" [Ref: UGR.20-12], respectively. The collaboration of Prof. Nicolás Velilla from the Dept. of Mineralogy and Petrology from the Univ. of Granada to access the environmental data of the Granada-Albayzín meteorological station is gratefully acknowledged. Finally, the support and information provided by Patronato de la Alhambra y el Generalife are also warmly acknowledged.

References

- Ávila, F., Puertas, E., & Gallego, R. (2022). Characterization of the mechanical and physical properties of stabilized rammed earth: A review. *Construction and Building Materials*, 325, 126693.
- Delgado, M. C. J., & Guerrero, I. C. (2006). Earth building in Spain. *Construction and Building Materials*, 20(9), 679–690.
- García-Macías, E., & Ubertini, F. (2020). MOVA/MOSS: Two integrated software solutions for comprehensive Structural Health Monitoring of structures. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 143, 106830.
- García-Macías, E., & Ubertini, F. (2021). Integrated SHM systems: Damage detection through unsupervised learning and data fusion. In *Structural health monitoring based on data science techniques* (pp. 247–268). Springer.
- González Limón, T., & Casas Gómez, A. de las. (1997). Estudio de los materiales y de las fábricas de la Torre de Comares de la Alhambra.
- Lophaven, S. N., Nielsen, H. B., Søndergaard, J., & others. (2002). DACE: a Matlab kriging toolbox (Vol. 2). Citeseer.
- Martínez, J., Ávila, F., Puertas, E., Burgos-Núñez, A., & Gallego-Sevilla, R. (2022). Historical and architectural study for the numerical modeling of heritage buildings: The Tower of Comares of the Alhambra (Granada, Spain). *Informes de La Construcción*, 74(565), e429.
- Matheron, G. (1963). Principles of geostatistics. *Economic Geology*, 58(8), 1246–1266.
- Nguyen, T. D., Bui, T. T., Limam, A., Bui, T. L., & Bui, Q. B. (2021). Evaluation of seismic performance of rammed earth building and improvement solutions. *Journal of Building Engineering*, 43, 103113.
- Pallarés, F. J., Betti, M., Bartoli, G., & Pallarés, L. (2021). Structural health monitoring (SHM) and Nondestructive testing (NDT) of slender masonry structures: A practical review. *Construction and Building Materials*, 297, 123768.
- Rytter, A. (1993). *Vibrational based inspection of civil engineering structures*.
- Silva, R. A., Mendes, N., Oliveira, D. V., Romanazzi, A., Domínguez-Martínez, O., & Miranda, T. (2018). Evaluating the seismic behaviour of rammed earth buildings from Portugal: From simple tools to advanced approaches. *Engineering Structures*, 157, 144–156.
- Sobol', I. M. (1967). On the distribution of points in a cube and the approximate evaluation of integrals. *Zhurnal Vychislitel'noi Matematiki i Matematicheskoi Fiziki*, 7(4), 784–802.
- Zhou, T., & Liu, B. (2019). Experimental study on the shaking table tests of a modern inner-reinforced rammed earth structure. *Construction and Building Materials*, 203, 567–578.

Automated OMA and normalization of resonant frequencies of a 13th-century tower in the Alhambra monumental complex in Granada, Spain

García-Macías, Enrique^a, Hernández-González, Israel Alejandro^a, Puertas, Esther, Gallego, Rafael^a, Castro-Triguero, Rafael^b, y Ubertini, Filippo^c

^a Department of Structural Mechanics and Hydraulic Engineering, University of Granada, Av. Fuentenueva sn, 18002 Granada, Spain, enriquegm@ugr.es; israela42@correo.ugr.es; epuertas@ugr.es; gallego@ugr.es, ^b Department of Continuum Mechanics and Theory of Structures, University of Córdoba, Spain, me1catrr@uco.es. ^c Department of Civil and Environmental Engineering, University of Perugia. Via G. Duranti, 93 - 06125 Perugia, Italy. filippo.ubertini@unipg.it

Abstract

This work presents the results of a Structural Health Monitoring (SHM) campaign conducted from January until March 2022 in a 13th century rammed earth tower, the Muhammad Tower, in the Alhambra fortress (Granada, Spain). The investigation was framed within a research project aimed at assessing the structural damage experienced by the tower after a seismic swarm occurred from February until August 2021, which registered more than 3000 earthquakes with 36 of them achieving magnitudes M_w above 3.5. In-situ inspections revealed the existence of important earthquake-induced pathologies in the tower, including the extension of some pre-existent major cracks and the appearance of new local defects. In particular, severe damage was observed at the connections of the battlements and the parapet at the top level of the tower, requiring the installation of a temporary underpinning system. In this context, a vibration-based SHM system was installed, comprising 8 uni-axial high-sensitivity piezoelectric accelerometers at the three main levels of the tower. Through automated Operational Modal Analysis (OMA), the modal properties of the tower (resonant frequencies, damping ratios, and mode shapes) were continuously identified and tracked by means of statistical process control tools. The paper presents the results of the SHM system, comprising: (i) a discussion on the identification of the modal signatures of the tower, including global modes and local ones attributed to local movements of the battlements, (ii) assessment of the environmental conditions and thermal capacitance effects on the modal properties of the structure, and (iii) the removal of the environmental effects upon the modal features for damage detection through novelty analysis.

Keywords: Rammed Earth, Historical Constructions, Structural Health Monitoring, Automated Operational Modal Analysis, Environmental Effects.

1. Introduction

Raw earth has been used worldwide as a traditional construction material for millennia, although today earthen architecture is attracting a growing interest as a viable solution for sustainable building policies. The oldest use of this material dates back to 10,000 BCE as evidenced by archaeological excavations of the first permanent dwellings in Southwest Asia (Schroeder, 2016). Rammed earth construction has a particularly long tradition in Spain and Portugal, where it prospered during the Islamic occupation of the Iberian Peninsula between the 8th and 15th centuries (Delgado; Guerrero, 2006). Nonetheless, although the implementation of SHM to civil engineering structures such as bridges or dams is becoming widespread, their application to rammed earth constructions remains marginal.

In the broadest sense, SHM exploits long-term monitoring data to track anomalies in the structural performance caused by damage (Chen, 2018). These systems are often complemented with sensors monitoring the environmental and operational conditions (EOC) to facilitate the discrimination of damage from normal operational conditions. A noticeable example of this is the well-known benchmark case study of the Z24-Bridge studied by Peeters and De Roeck (2001), who found variations up to 18% in the first four resonant frequencies of the bridge. In this regard, reported field applications reveal that EOC are extremely case-dependent and may dramatically vary depending on the type of construction material, structural topology, solar radiation, etc. For instance, in masonry structures, positive correlations between environmental temperature and resonant frequencies are often observed (Ubertini et al., 2018). This is conceivably explained as the effect of the closing of superficial cracks or micro-cracks induced by thermal expansion of masonry. Nevertheless, some other works such as the one by Gentile et al. (2019) disclose the opposite behaviour. In their investigation on the SHM of the Milan Cathedral in Italy, those authors reported found a negative correlation between resonant frequencies and temperature, which was ascribed to the actions exerted by metallic tie-rods in the building.

This work presents the main research results obtained after the continuous vibration-based SHM of an ancient rammed earth tower, the Muhammad Tower in the Alhambra in Granada, Spain. Ambient vibrations and environmental data have been continuously acquired since January until March 2022. Through automated Operational Modal Analysis (OMA), the modal properties of the tower have been continuously identified and tracked by means of statistical process control tools.

2. Muhammad tower: Description of the structure and SHM system

The Muhammad Tower in Fig. 1 (a) (also referred to the Tower of the Hens) is the westernmost tower of the monumental complex of the Alhambra, which is currently one of the few preserved palatine cities of the medieval Islamic period in Europe (8th-15th century). The Alhambra overlooks the city of Granada (Andalusia) on top of the Sabika Hill at the foot of the Sierra Nevada Mountains in Southeast Spain (see Fig. 1 (b)). The Muhammad Tower was erected in the 13th-century by Muhammad II for defensive purposes to control the access to the palaces. It is inserted in the walls of the Alhambra between the Tower of the Cube and the Mexuar Palace. The tower has 1.3-1.9 m thick walls and rises 11.6 m high above the floor (1.20 m-tall battlements included). It has an approximately rectangular cross-section (6.6 x 9.0 m).



Figure 1. The Muhammad Tower (a) and its geographic position (b).

With the aim of assessing the current condition of the tower and the impacts of future interventions to retrofit the battlements, a continuous vibration-based SHM system has been installed since January 2022. The monitoring system comprises 8 high-sensitivity piezoelectric sensors model PCB393B31 ($\pm 5\%$ 10.0 V/g, broadband Resolution: 1 μg rms and ± 0.5 g pk) installed on the three main levels of the tower (labelled with A1 to A8 in Fig. 2 (a)), and a data acquisition system (DAQ) model LMS SCADAS in the second level (see Fig. 2 (a)).

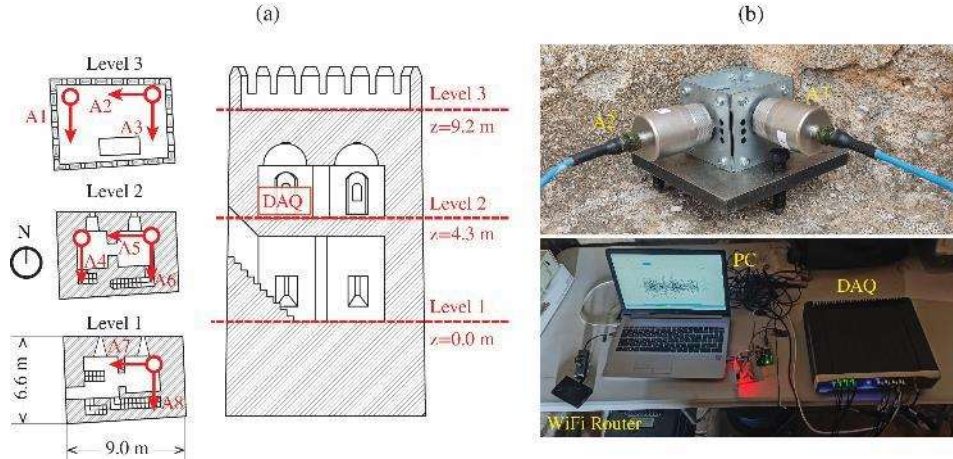


Figure 2. Layout of the monitoring system (a) and views of the sensors and the DAQ (b).

3. Automated OMA and data normalization

3.1. Covariance-based Stochastic Subspace Identification (COV-SSI)

The differential equation of equilibrium of a dynamic system discretized with n_2 degrees of freedom (DOFs) can be written in continuous state-space form as follows:

$$\dot{x}(t) = A_C x(t) + B_C u(t), \dot{y}(t) = C_C x(t) + D_C u(t), \quad (1)$$

where $A_C \in R^{2n_2 \times 2n_2}$, $B_C \in R^{2n_2 \times n_i}$, $C_C \in R^{l \times 2n_2}$, and $D_C \in R^{l \times n_i}$ are the so-called state matrix, input matrix, output matrix, and direct transmission matrix, respectively. Vector $x(t) \in R^{2n_2}$ denotes the state vector and contains the displacements and velocities of the DOFs of the system, while the observation vector $y(t) \in R^l$ contains a subset of l measured outputs. Vector $u(t) \in R^{n_i}$ contains n_i input forces applied to the system. The modal features of the system can be obtained from the eigenvalue decomposition of the state matrix as $A_C = \Psi \Lambda_C \Psi^{-1}$, with matrices Λ_C and Ψ respectively containing the eigenvalues and eigenvectors of A_C with the following structure (Magalhães; Cunha, 2011):

$$\Lambda_C = [\Lambda \ 0 \ 0 \ \Lambda^*], \Psi = [\theta \ \theta^* \ \theta \Lambda \ \theta^* \Lambda^*], \Lambda = [\cdot \ \lambda_k \ \cdot], \theta = [\cdots \ \phi_k \ \cdots], k = 1, \dots, n_2, \quad (2)$$

where asterisk indicate complex conjugates. Poles λ_k are related to the resonant frequencies (natural frequencies ω_k) and the modal damping ratios (ξ_k) of the system as:

$$\lambda_k = -\xi_k \omega_k + i \omega_k \sqrt{1 - \xi_k^2} \rightarrow \omega_k = |\lambda_k|; \xi_k = -\frac{\lambda_k}{\omega_k}, \quad (3)$$

with i denoting the imaginary unit. The mode shapes are represented in Eq. (2) by $\phi_k \in R^{n_2}$ although, since only a subset of l DOFs is measured, the observable modal matrix $\Phi \in R^{l \times n_2}$ reads $\Phi = C_C \Psi$. In practice, signals cannot be obtained continuously but at discrete time instants $t_k = k\Delta t$, with $k \in N$ and $\Delta t = 1/f_s$ the adopted sampling interval with sampling frequency f_s . In addition, in the context of OMA, the system inputs in $u(t)$ are

unknown and must be represented through stochastic processes. On this basis, the discrete stochastic state-space model reads:

$$x_{k+1} = Ax_k + w_k, y_k = Cx_k + v_k, \quad (4)$$

with vectors $w_k \in R^{2n_2}$ and $v_k \in R^l$ representing zero-mean realizations of white noise processes accounting for the effect of unknown outputs as well as the effects of process and measurement noises, respectively. It can be demonstrated that the eigenvectors of matrix A coincide with those of the continuous counterpart A_C . In addition, the eigenvalues of the discrete model μ_k are related to those of the continuous model λ_k as (Magalhães; Cunha, 2011):

$$\lambda_k = \frac{1}{\Delta t} \ln \ln (\mu_k). \quad (5)$$

On this basis, the SSI-COV method identifies the stochastic state-space model from the output covariance matrix. To do so, this method exploits an important property of stochastic state-space models regarding the relation between the correlation matrix of the measurement records and the state-space matrices as (Rainieri; Fabbrocino, 2014):

$$R_j = CA^{j-1}G, \quad (6)$$

with R_j being the output correlation matrix for a time lag $\tau = j\Delta t$, and G being the next state-output covariance matrix given by $G = E[x_{k+1}y_k^T]$. In this light, the SSI-COV method starts by computing the output correlation matrix for positive time lags varying from Δt to $(2j_b - 1)\Delta t$ represented by R_1 to R_{2j_b-1} . Afterwards, the covariance matrix is organized into a $l j_b \times l j_b$ block Toeplitz matrix as:

$$T_{j_b} = \begin{bmatrix} R_{j_b} & R_{j_b-1} & \dots & R_1 & R_{j_b+1} & R_{j_b} & \dots & R_2 & \dots & R_{2j_b-1} & R_{2j_b-2} & \dots & R_{j_b} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Applying the factorization property of the correlation matrix in Eq. (6), the Toeplitz matrix T_{j_b} can be decomposed in the product of the following matrices:

$$T_{j_b} = [C \ CA \ \dots \ CA^{j_b-1}] [A^{j_b-1}G \ \dots \ AG \ G] = OG, \quad (8)$$

where matrices O and G are the so-called extended observability and reversed extended stochastic controllability matrices, respectively. Then, the Singular Value Decomposition (SVD) of the block Toeplitz matrix is calculated:

$$T_{j_b} = USV^T = [U_1 \ U_2] [S_1 \ 0 \ 0] [V_1^T \ V_2^T] = U_1 S_1 V_1^T, \quad (9)$$

where only a subset of n singular values are retained in S_1 (model order). The comparison of Eqs. (8) and (9) shows that the observability and the controllability matrices can be calculated from the outputs of the SVD using the following partition:

$$O = U_1 S_1^{1/2}, \Gamma = S_1^{1/2} V_1^T. \quad (10)$$

Once matrices O and Γ are obtained, the identification of the state-space matrices is straightforward. On one hand, matrix C can be extracted from the first l lines of the observability matrix. On the other hand, the state

matrix A can be obtained by the Balanced Realization (BR) method, which exploits the shift structure of the observability matrix as (Magalhães; Cunha, 2011):

$$\begin{aligned} [C \ CA \ \dots \ CA^{j_b-2}] A &= [C \ CA \ CA^2 \ \dots \ CA^{j_b-1}] \rightarrow A = \\ [C \ CA \ \dots \ CA^{j_b-2}]^\dagger [C \ CA \ CA^2 \ \dots \ CA^{j_b-1}] &= O^{to\dagger} O^{bo}, \end{aligned} \quad (11)$$

where O^{to} and O^{bo} contain the first and the last $l(j_b - 1)$ rows of O , and O^{bo} , and the symbol \dagger indicates the Moore-Penrose pseudo-inverse.

3.2. Automated interpretation of Stabilization Diagrams through hierarchical clustering

Once the identification parameters are selected (time lag j_b and maximum model order), the poles of the identified linear system are computed for model orders ranging from n_{min} to n_{max} . Then, the poles are filtered by the application of a set of hard criteria (HC) and soft criteria (SC) to remove the mathematical or spurious poles. The HC criteria concern the elimination of complex conjugate poles, damping ratios above physically feasible values (in this work $\xi \leq 10\%$), and high Mode Phase Collinearity (MPC) values ($MPC \geq 80\%$). After applying HC, a list of stable poles is obtained by finding those poles abiding certain tolerances between consecutive model orders, including relative variations of resonant frequencies and damping ratios ($\Delta f \leq 1\%, \Delta \xi \leq 3\%$), Modal Assurance Criterion (MAC) values ($MAC \leq 0.01$), and Modal Transfer Norms (MTF) ($MTN \leq 0.1$) (refer to Reynders et al., 2012). Once a list of stable poles are selected and represented in a stabilization chart, the identification of physical modes (columns of stable poles) is performed automatically through hierarchical clustering. To do so, the cut-off distance of the related dendrogram is obtained following the procedure by (Zini et al., 2022). This is conducted following three sequential steps:

(i) From the highest model order (step $k = 1$), each identified pole λ_i is considered as a single element cluster. Let us note where f_{λ} and ϕ_{λ} the frequency and mode shaped computed from a pole λ , respectively. At the k -th step, the distance d_{ij}^k is computed between each analysed stable-pole of the model order n_k and each identified stable-poles λ_j in the lower model order n_{k-1} as:

$$d_{ij}^k = \frac{|f_{\lambda_i^{(k)}} - f_{\lambda_j^{(k-1)}}|}{f_{\lambda_j^{(k-1)}}} + 1 - MAC(\phi_{\lambda_i^{(k)}}, \phi_{\lambda_j^{(k-1)}}), \quad (12)$$

(ii) Once all the distances are calculated, the minimum distance d_i^k in Eq. (12) is retained. The minimum distances are collected in a vector $d^k = (d_1^k \ d_2^k \ \dots \ d_n^k)$ containing the minimum distances of the poles between two-consecutive model orders (n_k and n_{k-1}).

(iii) The cut-off threshold is estimated as the 80th percentile of the distribution of the distances d^k .

3.3 Data normalization and Novelty Analysis

Based on the previous automated OMA approach, time series of modal features can be obtained through a modal tracking approach and collected in an observation matrix $Y \in R^{N \times n}$ containing n modes and N observations. Given that matrix Y is commonly affected by EOC, it is critical to develop a statistical pattern recognition model to phase out such effects. Such a model provides a statistical representation trained over a set of t_p feature samples in which the structure is assumed to remain healthy, often referred to as the *training period*. This baseline dataset must statistically represent the healthy state of the structure under all the possible EOC (one year is often adopted). Once trained, the predictions of the model \underline{Y} can be used to phase out the variance due to EOC from Y forming the so-called residual error matrix $E \in R^{N \times n}$, that is $E = Y - \underline{Y}$. When the system remains healthy, matrix \underline{Y} reproduces the part of the variance of the features driven by EOC, while E only contains the residual variance stemming from modelling errors. Conversely, if a certain damage develops, this only affects the data contained in Y while matrix \underline{Y} remains unaltered. Therefore, matrix E concentrates the damage-induced variance and is apt for being used for damage identification. In this work, Multiple Linear Regression (MLR) has been adopted. This input-output data normalization model exploits the linear correlations existent between n features (*estimators* – in this case resonant frequencies) and a set of p independent

exploratory variables (*predictors* – environmental data). Once trained, the predictions of MLR are obtained as $\underline{Y} = Z\beta$, where $Z \in R^{N \times (p+1)}$ is an observation matrix composed of an $N \times 1$ vector of ones and an $N \times p$ matrix containing the time series of the p selected predictors, while $\beta \in R^{(p+1) \times n}$ is a matrix of regression weights composed of intercept terms in the first row and linear regression coefficients in the remaining p rows. The ordinary least squares estimate of β reads:

$$\beta = (Z^T Z)^{-1} Z^T Y. \quad (13)$$

Once the vector of residuals E is obtained, damage detection can be performed by novelty analysis. To do so, statistical process control charts are particularly popular due to their relative simplicity and direct automation. In this work, the Hotelling's T^2 control chart has been adopted (for further theoretical details, readers are referred to (Stein, 1956)).

4. Numerical results and discussion

The previous formulation has been implemented in an in-house software program called MOVA/MOSS (García-Macías; Ubertini, 2020). The software code is dedicated to long-term dynamic SHM of structures, containing all the necessary tools for automated damage detection, including (i) signal processing, (ii) automated OMA, (iii) Frequency Tracking, (iv) data normalization, and (v) novelty analysis through control charts. The acceleration time series were pre-processed including: (i) elimination of linear trends, (ii) removal of anomalous spikes through Hanning window filtering, and (iii) second order high-pass Butterworth filtering with cut-off frequency of 2 Hz. Figure 3 furnishes the stabilization diagram obtained using COV-SSI of the first 30 min-long records acquired by the SHM system. To do so, j_b has been assumed as 193 (corresponding to a time lag of 3.2 s). Then, matrices O, Γ, A and C and then the modal parameters are estimated considering an odd number of singular values and vectors varying from 20 to 120 with steps of 2. It is noted that several columns of stable poles in the frequency range up to 60 Hz, with three clear columns in the frequency broadband below 10 Hz. In order to facilitate the identification of physical poles and automate the modal analysis, the automated OMA procedure previously overviewed in Section 3.2. is applied to the stabilization diagram from Fig. 3. The resulting dendrogram is shown in Fig. 4 (a), where the optimal cut-off distance determined by the procedure in Section 3.2. is denoted with a red dashed line. This cut-off distance determines 14 clusters with similar modal properties as shown in Fig. 4 (b). Some clusters are populated by a reduced number of poles, which are considered as spurious modes. Defining the minimum cluster size to consider a cluster belonging to a physical mode of 3% the number of poles under analysis, the number of clusters reduces to 8 as reported in Table 1. After inspection of the modal displacements, only the first three modes can be easily interpreted as global modes (see Fig. 5).

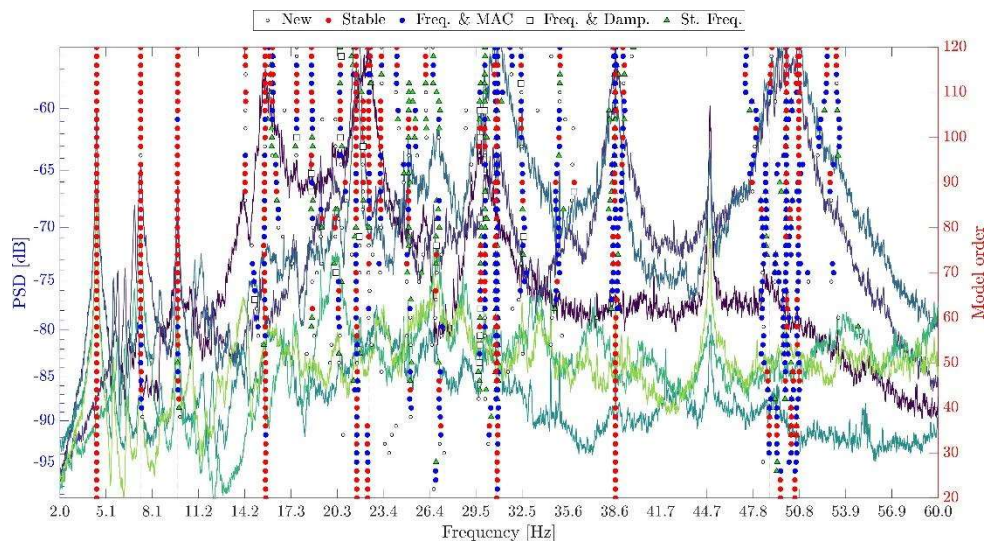


Figure 1. Stabilization diagram obtained by COV-SSI of the Muhammad Tower (10/01/22, 10:06 a.m.).

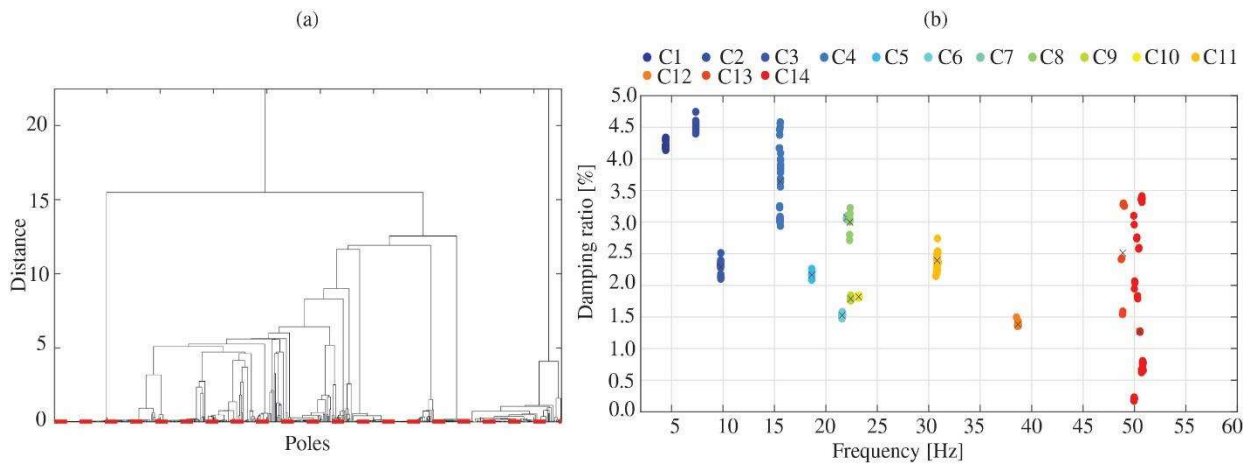


Figure 2. Dendrogram for clustering of stable poles obtained by COV-SSI of the Muhammad Tower (a) and resulting clusters (b) (January 10th 2022 10:06 a.m.).

Table 1. Experimentally identified modal signatures of the Muhammad Tower on January 10th 2022 10:06 a.m.

	f_i [Hz]	ξ_i [%]	MPC [%]
Mode 1 - Fy	4.43	4.22	100.0
Mode 2 - Fx	7.34	4.51	99.4
Mode 3 - Tz	9.78	2.29	99.9
Mode 4 - L1	15.56	3.64	99.8
Mode 5 - L2	21.58	1.52	99.5
Mode 6 - L3	22.41	1.79	99.5
Mode 7 - L4	38.68	1.38	99.9
Mode 8 - L5	50.47	1.27	99.7

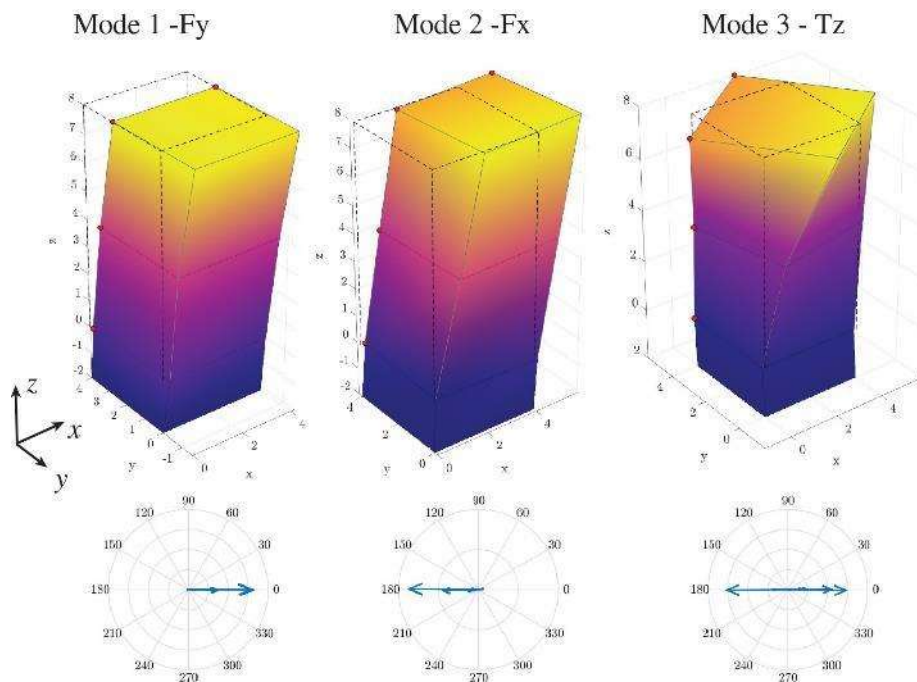


Figure 3. Global mode shapes of the Muhammad Tower on January 10th 2022 10:06 a.m.

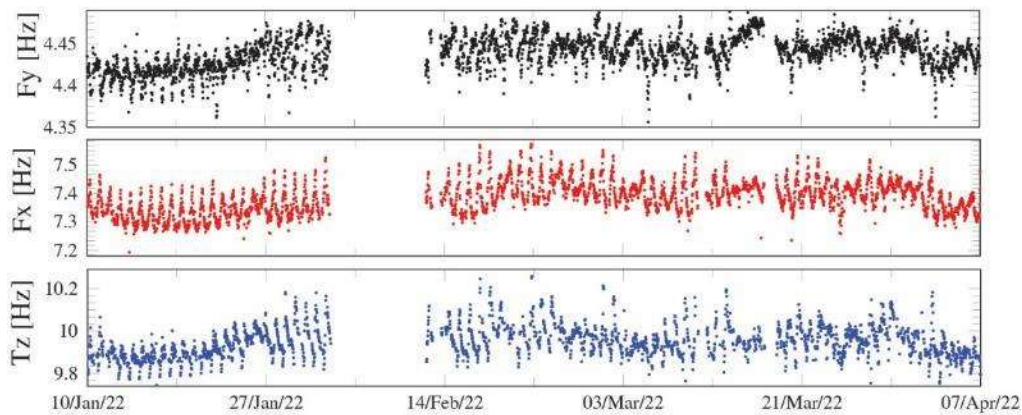


Figure 4. Tracking of the resonant frequencies of the Muhammad Tower from January until April 2022.

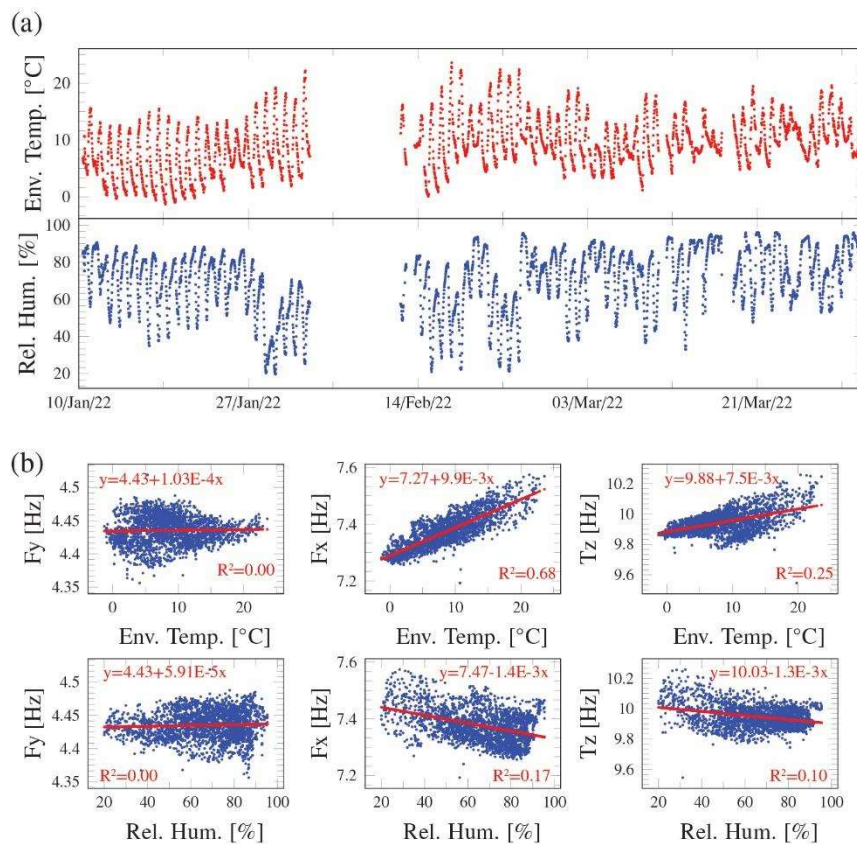


Figure 5. Time series of environmental data (a) and correlations with the resonant frequencies of the Muhammad Tower (b).

The identification results from Table 1 were used to define the baseline modal features of the tower to be tracked during continuous monitoring. To do so, a standard frequency tracking approach was implemented to trace the time series of the modal features of the palace. This approach consists of grouping the modal pole identified during the continuous monitoring by exploiting their similarities with the reference baseline features. The comparison is performed in terms of relative variations in the resonant frequencies $\Delta f \leq 5\%$ and MAC values $MAC \geq 0.85$. In every step in the tracking procedure, all the poles complying with pre-defined thresholds are sorted according to a metric distance involving both Δf and MAC values as $d_{ft} = (1 - \eta)\Delta f + \eta(1 - MAC)$, η being a weighting factor between the contributions of Δf and MAC, and selected as $\eta = 0.5$ in the present work. Once sorted, the pole with the lowest distance d_{ft} is collected in the corresponding time series of the mode. On this basis, the global modes of the tower have been tracked throughout all the monitoring period with success ratios above 70% as shown in Fig. 6.

In order to ascertain the influence of EOC, detailed correlation analyses were conducting with respect to a large variety of environmental factors assessed by the Granada-Albayzín methodological station. The time series of environmental temperature and humidity are furnished in Fig. 7 (a), where it is clearly observed that these physical magnitudes are opposite in phase. This favours the appearance of opposite correlations with the resonant frequencies of the tower as shown in Fig. 7 (b), that is, positive correlations with environmental temperature and negative with relative humidity. The positive correlation with temperature is ascribed to the closure of micro- and macro-cracks induced by thermal expansion of the RE, while the negative correlation with the relative humidity indicates the softening of the material as the relative humidity increases. Interestingly, note that the fundamental frequency shows almost no correlation with temperature nor humidity. In this mode, bending motions concentrate along the N-S direction, where the walls of the Alhambra offer limited stiffness. Conversely, modes 2 and 3 do activate the longitudinal and bending stiffness of the walls around the axes of maximum inertia. This may indicate that the walls of the Alhambra are particularly affected by EOC, which may explain the larger sensitivity of Modes Fx and Tz.

Finally, although the monitoring period remains limited to define a proper training period (typically of one year), the data normalization and novelty analysis approaches previously overviewed in Section 3.3. are applied to the experimentally identified resonant frequencies. To do so, a training period of two months is selected, the first resonant frequencies of the tower are selected as estimators, and environmental temperature and humidity as predictors. Figure 8 (a) shows the comparison between the experimental data and the predictions by the MLR model. Particularly close agreements were found for Mode 2 as evidenced in the zoom insert in the figure, which agrees with the previous discussion on the environmental effects in the tower. On this basis, the Hotelling's T^2 control of the obtained residuals is depicted in Fig. 8 (b). This graph allows to identify the appearance of anomalies (possibly due to damage) in the shape of data points violating a certain Upper Control Limit (UPL). In this figure, an UCL corresponding to 99% confidence level of the residuals in the training period has been selected. At this stage, the continuous SHM performs automatically, being possible to activate certain heuristic rules or more sophisticated techniques to identify the appearance of anomalies in real time.

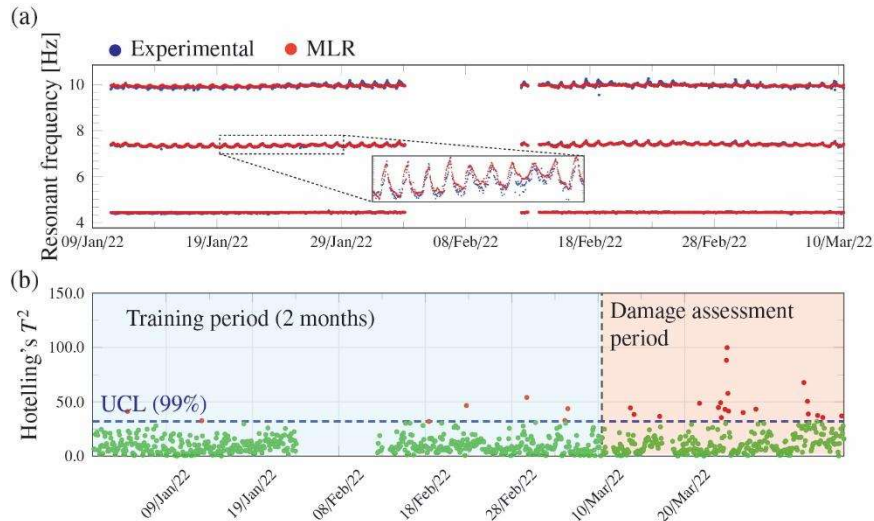


Figure 6. Experimental data versus predictions by MLR (a) and Hotelling's T^2 control chart of the obtained residuals (b) in the Muhammad Tower.

5. Conclusions

This work has presented the main research results obtained after the continuous vibration-based SHM of the Muhammad Tower in the Alhambra. Ambient vibrations have been continuously acquired from January until March 2022 with a monitoring system comprising 8 high-sensitivity accelerometers deployed on the main three levels of the tower. Through automated Operational Modal Analysis (OMA), the modal properties of the tower have been continuously identified and tracked by means of statistical process control tools. The key findings of this work can be summarised as:

- Three global modes have been consistently identified all throughout the monitoring period. Up to 5 high-order modes have been also identified, although the difficulties in the interpretation of their modal components suggest that these modes may correspond to local motions of the battlements of the tower.
- Clear correlations between environmental temperature and relative humidity have been found for two global modes involving the motion of the walls of the Alhambra where the tower is inserted. Conversely, the first-order bending mode activating the out-of-plane stiffness of the walls reveals almost no correlation with environmental data.
- Positive and negative correlations are found between the resonant frequencies of the tower and environmental temperature and humidity, respectively. Such a positive correlation with temperature is ascribed to thermal-induced closure of micro- and macro-cracks. Instead, the negative correlations with the relative humidity indicates the presence of moisture-induced softening of the RE.

Acknowledgements

This work has been supported by the Secretaría General de Universidades, Investigación y Tecnología and by the Secretaría General de Vivienda de la Junta de Andalucía (Spain) through the research projects "Revalorización Estructural del Patrimonio Arquitectónico de Tapial en Andalucía" [Ref: A-TEP-182-UGR18] and "Metodología para el Análisis de la Integridad Estructural del Patrimonio Arquitectónico construido en tapial" [Ref: UGR.20-12], respectively. The collaboration of Prof. Nicolás Velilla from the Department of Mineralogy and Petrology to access the environmental data of the Granada-Albayzín meteorological station is gratefully acknowledged. Finally, the support and information provided by Patronato de la Alhambra y el Generalife are also warmly acknowledged.

References

- Chen, H. P. (2018). *Structural health monitoring of large civil engineering structures*.
- Delgado, M. C. J., & Guerrero, I. C. (2006). Earth building in Spain. *Construction and Building Materials*, 20(9), 679–690.
- García-Macías, E., & Ubertini, F. (2020). MOVA/MOSS: Two integrated software solutions for comprehensive Structural Health Monitoring of structures. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 143, 106830.
- Gentile, C., Ruccolo, A., & Canali, F. (2019). Long-term monitoring for the condition-based structural maintenance of the Milan Cathedral. *Construction and Building Materials*, 228, 117101.
- Magalhães, F., & Cunha, Á. (2011). Explaining operational modal analysis with data from an arch bridge. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 25(5), 1431–1450.
- Peeters, B., & De Roeck, G. (2001). One-year monitoring of the Z24-Bridge: environmental effects versus damage events. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 30(2), 149–171.
- Rainieri, C., & Fabbrocino, G. (2014). Operational modal analysis of civil engineering structures. *Springer, New York*, 142, 143.
- Reynders, E., Houbrechts, J., & De Roeck, G. (2012). Fully automated (operational) modal analysis. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 29, 228–250.
- Schroeder, H., & Schroeder, H. (2016). The development of earth building. *Sustainable Building with Earth*, 1–46.
- Stein, C. (1956). The admissibility of Hotelling's T^2 -test. *The Annals of Mathematical Statistics*, 616–623.
- Ubertini, F., Cavalagli, N., Kita, A., & Comanducci, G. (2018). Assessment of a monumental masonry bell-tower after 2016 Central Italy seismic sequence by long-term SHM. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 775–801.
- Zini, G., Betti, M., & Bartoli, G. (2022). A quality-based automated procedure for operational modal analysis. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 164, 108173.

Populations of Digital Twins: Towards a Comprehensive Damage Identification of Historical Constructions

Hernández-González, Israel Alejandro^a y García-Macías, Enrique^a

^a Department of Structural Mechanics and Hydraulic Engineering, University of Granada, Av. Fuentenueva sn, 18002 Granada, Spain, israela42@correo.ugr.es; enriquegm@ugr.es.

Abstract

The growing awareness among citizens about the invaluable historical, artistic, and socio-economic impacts of cultural heritage constructions has fostered the implementation of numerous Structural Health Monitoring (SHM) systems around the globe. These systems rely on the continuous acquisition of monitoring data of the structural response to infer the presence of damage, enabling the implementation of efficient condition-based maintenance strategies. In this context, considerable advances have been made in recent years in the realm of unsupervised damage assessment techniques, which directly exploit monitoring data to infer the presence of damage. Nonetheless, these methods are only proficient in detecting structural damage (Level I – damaged or non-damaged), while obtaining information on the localization and severity of the pathology (Levels II and III) is challenging. To achieve higher identification levels, it is commonly imperative to rely on a theoretical model of the instrumented asset to relate the health condition of individual structural elements and the monitoring data. However, this leads to serious technical difficulties, including the large computational demands involved in the modelling of real-scale constructions, and the existence of severe ill-conditioning limitations in the associated inverse model calibration problem. To address these issues, this work presents a novel concept of populations of digital twins. These populations are defined by sets of numerical models representing the different failure mechanisms the structure may experience. Then, when fed with continuous monitoring data, all the models in the population can be calibrated simultaneously. Once an anomaly is detected in the monitoring data, the activated failure mechanism is identified through a model selection approach. Two case studies are presented to illustrate the potential of this approach, including a numerical case study of a planar truss structure, and a real full-scale historical construction, the Muhammad Tower in the Alhambra fortress (Granada, Spain).

Keywords: Bayesian Criterion Information, Model Selection, Model Update, Structural Health Monitoring, Structural Identification

1. Introduction.

To preserve the integrity and stability of structures, lower maintenance costs, and prevent catastrophic collapses, it is crucial to implement effective Structural Health Monitoring (SHM) systems capable of enabling condition-based maintenance strategies. These systems allow conducting damage identification by inspecting the appearance of anomalies in the monitoring data. Generally, damage identification can be conducted through unsupervised (data-driven) or supervised (model-driven) techniques. Nonetheless, only supervised techniques offer full damage identification capabilities (detection, localization and quantification). To this aim, Finite Element (FE) model updating represents one of the most commonly used approaches. Model-driven damage identification is typically formulated through an optimization problem, in which certain model parameters are calibrated by minimizing an objective function accounting for the gap between the model predictions and the experimental data (Teughels et al., 2002). Such an optimization problem however represents a formidable problem. On one hand, the inverse modal calibration of large civil engineering structures is often ill-conditioned and ill-posed. This refers to the lack of convexity in the optimization problem, thereby the uniqueness of the solution is seldom guaranteed. To address this issue, several studies in the literature have proposed the use of global optimization algorithms such as genetic (Hou et al., 2016; Tiachacht et al., 2018; Zimmerman et al., 1999) or particle swarm algorithms (Tran-Ngoc et al., 2018; Xia et al., 2020). Nevertheless, while capable of searching the whole design space without getting stuck at local sub-optimal minima, these evolutionary algorithms require numerous model evaluations, which poses a serious obstacle when adopting computationally intensive FE models (FEM). On the other hand, the selection of the fitting parameters is not a trivial task, being necessary to identify those with physical relevance and influence upon the monitored features of the structure. This selection must also take into account the failure mechanisms the structure may experience, which can be varied and uncertain in practice.

The serious difficulties involved in model-driven damage identification have seriously limited the technological transfer of supervised SHM techniques to engineering routine practice. To address this issue, this work presents a novel concept of multi-model-driven damage identification, also referred to as populations of digital twins. This approach opposes to traditional single-model FE model updating, which offers no measure of the plausibility of the identification results. Instead, this work proposes the use of multiple models with fitting parameters tuned to replicate the different damage mechanisms the structure may experience. To alleviate the computational costs involved in the inverse calibration of these models, we propose the use of Kriging surrogate models capable of reducing several orders of magnitude the computational time involved in the calibration. In this light, the simultaneous calibration of the models conforming the population along with the implementation of a proper model selection technique offers a robust assessment of plausibility of the damage assessment. In this work, a simple but efficient model selection technique is proposed by exploiting the Bayesian Information Criterion (BIC). This metric penalizes models with large differences between the model predictions and the experimental data, as well as models with high complexity (large number of model parameters) (Neath, Cavanaugh, 2012). Such a model selection approach is formulated following the Occam's razor principle (Walsh, 1979), that is to say, the simplest model that best reproduces the monitoring data will be presumably the best choice. To illustrate the potential of this approach, two case studies are presented, including a (i) numerical planar truss structure; and (ii) a real case study of an instrumented structure, the Muhammad Tower in the Alhambra fortress.

2. Finite element model updating

Finite element model updating, as sketched in Fig. 1, refers to the process of calibrating certain model parameters x_i , $i = 1, \dots, m$ (Fig. 1 (b)), (organized in a vector of parameters $x = [x_1, x_2, \dots, x_m]^T$) with the aim of minimizing the mismatch between experimental data (Fig. 1 (a)) and the theoretical predictions (Fig. 1 (b)). Note that numerical models of large-scale structures generally contain a significant amount of uncertainty stemming from different assumptions, idealization, discretization, as well as epistemic uncertainties associated with the material and connectivity between structural elements. To minimize such uncertainties, FE model updating is formulated as an optimization problem seeking the model parameters that minimize the differences between the theoretical and experimental results (Fig. 1 (d)). In most cases, the FE models of large-scale civil engineering structures are computationally intensive, which compromises the efficiency of iterative optimization algorithms. To address this issue, we proposed the use of computationally efficient surrogate models, specifically Kriging

models, capable of reproducing the same predictions of the forward FE model but with rarmarkably lower computational burden (Fig. 1 (c)).

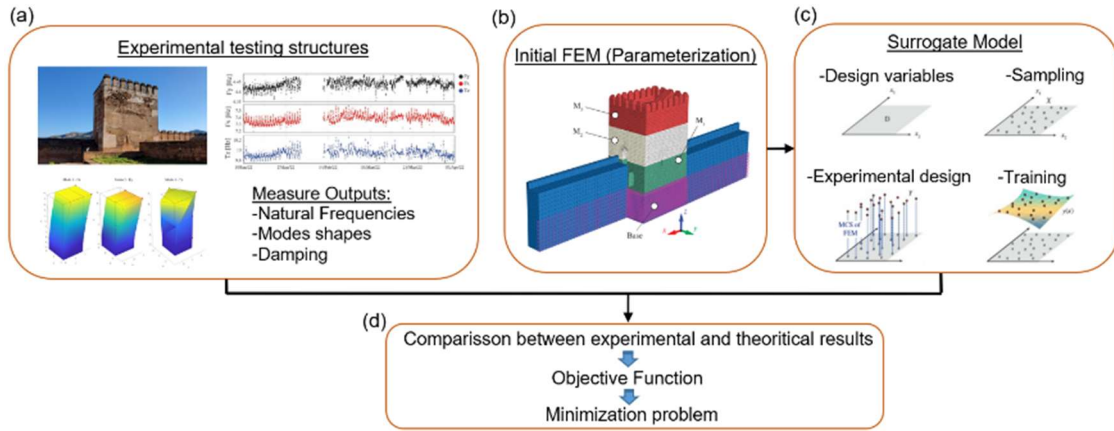


Figure 1. Surrogate model-based finite element model updating: (a) Experimental testing; (b) Numerical modelling and parametrization; (c) Surrogate modelling; and (d) parameter inference

The definition of the objective function is thus the first step FE model updating. In this work, we focus on vibration-based SHM, which allows extracting the modal signatures (resonant frequencies and mode shapes) of structures. In this light, we introduce an objective function $J(x)$ accounting for the relative differences between the experimentally determined vibration modes and their theoretical counterparts:

$$J(x) = \sum_{i=1}^l [\alpha \varepsilon_i(x) + \beta \delta_i(x)] + \eta \sum_{i=1}^m (1 - x_i)^2, \quad (1)$$

with

$$\varepsilon_i(x) = \frac{|f_{exp}^i - f_{model}^i|}{f_{exp}^i}, \quad \delta_i(x) = 1 - MAC_i(x), \quad (2)$$

where α , β and η denote weighting coefficients. The terms f_{exp}^i and f_{model}^i denote the i -th experimental and numerical resonant frequency, respectively. Finally, the term MAC_i stands for the Modal Assurance Criterion (MAC) value between the i -th experimental and numerical mode shapes, respectively. The last term in Eq. (1) represents a classical Tikonov (L^2) regularization term used to limit ill-conditioning in the calibration. On this basis, the procedure is given by the following constrained non-linear minimization problem:

$$\underline{x} = \underset{x \in D}{\operatorname{argmin}} J(x). \quad (3)$$

The optimization problem in Eq. (3) is generally non-convex and, consequently, it is recommended to adopt global optimization algorithms. For this purpose, the particle swarm algorithm has been adopted in this work.

3. Model selection by Bayesian Information Criterion

The optimization problem outlined above is critically determined by the fitting parameters in x . Nonetheless, the selection of these parameters represents a formidable problem. In particular, there is not a general procedure for making such a selection, and this should be conducted taking into account the potential failure mechanisms the structure may experience. There is therefore no general model that can reproduce all the different pathologies a structure may present, but instead specific models should be created for specific failure mechanisms. These models, organized into different model classes MC_i , should be calibrated through the inverse calibration approach outlined in Eq. (3). On this basis, a proper model selection approach needs to be adopted to identify the most plausible model class. In this work, we propose the use of the BIC metric as a simple but efficient approach. It allows model comparison and selection by simultaneously testing several specific hypotheses, evaluating the models' plausibility based on their goodness of fit to the experimental data and their complexity (number of fitting parameters). The BIC is formally defined for the i -th model class as (Wit et al., 2012):

$$BIC_i = m \ln(n) + 2 \ln \ln(\hat{L}_i), \quad (4)$$

where \hat{L}_i is the maximized value of the likelihood function of the model MC_i , i.e. $\hat{L} = p(y | \hat{x}, MC_i)$, \hat{x} are the parameter values that maximize the likelihood function, y is the observed data (resonant frequencies and mode shapes), n is the number of observations, or equivalently, the sample size (in this work, the number of resonant frequencies and evaluate mode displacement components). Under the assumption that the model errors are independent and identically distributed according to a normal distribution, the BIC in Eq. (4) can be rewritten as:

$$BIC_i = n \ln\left(\frac{RSS}{n}\right) + m \ln \ln(n), \quad (5)$$

where RSS stands for the residual sum of squares:

$$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2. \quad (6)$$

Note that the BIC metric in Eq. (5) increases as so does the error in the predictions and the number of fitting parameters. Therefore, once the BIC values for all the competing models or classes, the optimal class can be selected as the one with minimum BIC, that is minimum prediction error and model complexity.

4. Numerical results and discussion

The effectiveness of the proposed concept of populations of digital twins is illustrated through two different case studies: a theoretical and a real full-scale structure. The first case study is a planar truss structure serving as a control case study used to quantify the effectiveness of the proposed model selection approach. The second case study is the Muhammad Tower in the Alhambra fortress, which was recently instrumented by the researchers with a dynamic-based SHM system (García-Macías et al., 2022). This case study offers a realistic scenario to test the effectiveness of the proposed approach in terms of damage identification effectiveness and computational efficiency.

4.1 Case Study I: 2-D Truss Structure

The investigated 31-bar planar truss structure (Fig. 2) is a benchmark case study for model updating and optimization investigations utilized by several researchers in the literature (refer e.g. to Messina et al., 1998; Nobahari, Seyedpoor, 2013; Seyedpoor, 2012). The FE of the structure is defined using planar 2-nodes truss elements implemented in Python, leading to a total of 28 degrees of freedom. The mass density and the modulus of elasticity of the material are defined as 2770 kg/m³ and 70 Gpa, respectively. All the elements of the structure are defined with a cross-section area of 4.83 cm².

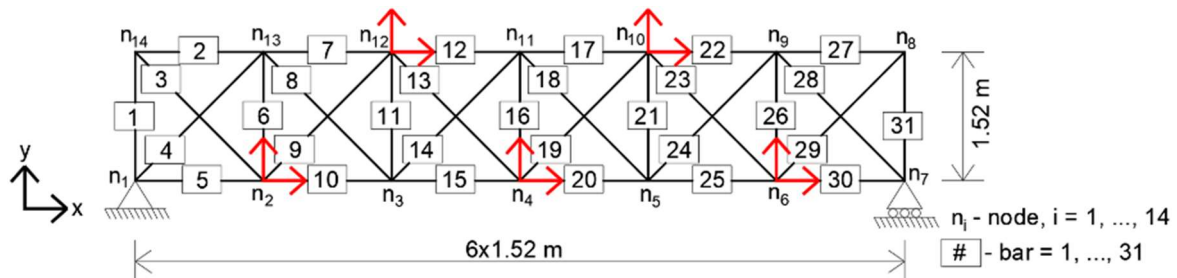


Figure 2. Case Study I: Truss Structure

To discretize the mode shapes, five sensors monitoring “x” and “y” directions are defined at nodes n_2 , n_4 , n_6 , n_{10} , and n_{12} as indicated with red arrows in Fig. 2. The first eight frequencies and mode shapes are considered in the subsequent analyses. To evaluate the robustness of the proposed approach to the presence of noise in the measurements, the modal displacements ϕ_{ij} are contaminated with a random zero-mean normally-distributed noise $p(z)$ as:

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}}, \tag{7}$$

where σ is the standard deviation of the noise. Specifically, three noise levels are considered hereafter, namely $\sigma_1 = 0.01$, $\sigma_2 = 0.05$ and $\sigma_3 = 0.10$.

To assess the effectiveness of the proposed model selection approach, four classes of competitive models have been defined as reported in Fig. 3. Specifically, the fitting parameters of the model classes are defined as stiffness multipliers k_i of the bars highlighted in blue. Note that the defined classes represent nested models, in which a subset of the parameters are always contained in the previous class. In the FE model calibration in Eq. (1), the range of variation of the stiffness multipliers k_i is set to $[0.7, 1.1]$, and the weighting factors α , β and η have been set to 1, 1 and 2, respectively, after manual tuning.

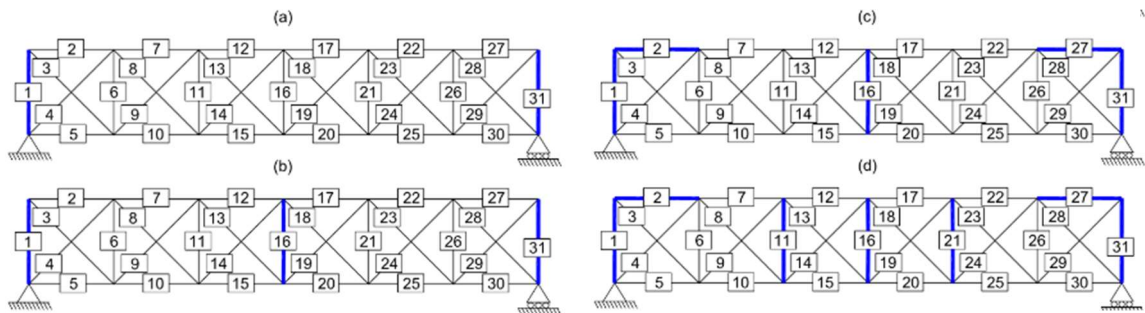


Figure 3. Class of Models. Model 1 corresponds to bars 1 and 31 (a); Model 2 corresponds to bars 1, 16 and 31 (b); Model 3 corresponds to bars 1, 2, 16, 27 and 31 (c); Model 4 corresponds to bars 1, 2, 11, 16, 21, 27 and 31 (d)

A dense set of synthetic experimental data has been generated to assess the effectiveness of the proposed approach. To do so, in every iteration, one of the four model classes is randomly selected, affecting the corresponding bars with reductions uniformly distributed in the range of 0 to 20% ($k_i \in [0.8, 1.0]$ see Table 1). On this basis, the proposed model selection approach is applied to all the simulated tests, extracting in every analysis the most plausible model explaining the simulated scenarios. Then, to determine whether the calibration indicates the appearance of damage, a simple two-class damage classification model (damaged or non-damaged) is proposed. Considering that the healthy condition of the truss structure is represented by the configuration of all the multipliers equal 1, the classification model considers the structure to be damaged if any of the bars experiences a reduction in stiffness larger than a certain threshold d . Finally, the effectiveness of the damage identification is assessed in terms of receiver operating characteristic (ROC) curves. These curves are popular machine learning tools used to appraise the accuracy of classification models. These curves present the True Positive Rates (TPR) versus the False Positive Rates (FPR) for a set of values for the classification threshold d . The overall accuracy of the classification model can be finally quantified through the area under the curve (AUC) of the ROC curves.

Table 1. Synthetic damage scenarios

Model Classes	Members	Damage
Model 1	1, 31	0 - 20% reduction in the elastic modulus
Model 2	1, 16, 31	0 - 20% reduction in the elastic modulus
Model 3	1, 2, 16, 27, 31	0 - 20% reduction in the elastic modulus
Model 4	1, 2, 11, 16, 21, 27, 31	0 - 20% reduction in the elastic modulus

The resulting ROC curves obtained for the four considered model classes are shown in Figs. 4 (a), (b) and (c) for the three considered noise levels. In these analyses, every ROC curve is extracted from 100 simulations considering classification thresholds ranging from 1 (healthy condition) to 0 (full stiffness loss) with steps of 0.1. Table 2 reports the AUC indicators extracted for all the model classes. Note in this table that, except for model 4 and the highest noise level, all the values are greater than 0.5, indicating that the probability of

obtaining the correct model is greater than 50%. Note in Fig. 4 that, in most cases, the ROC curves are way above the diagonal line dividing the ROC space (non-discrimination line), which highlights the accuracy of the proposed model selection approach. Only in the case of the largest noise level, the ROC curve of model 4 (the most complex one) is below the non-discrimination line, offering no classification potential. For all the studied noise levels, it can be observed that the classification results consistently improve as the number of parameters decreases. This is ascribed to the circumstance that the BIC penalizes the complexity of the model, which becomes dominant over the prediction error when the model parametrizations of the model classes are similar (nested models). Finally, the results in Table 4 indicates the role of noise contamination in the measurements, leading to decreases in the AUC values of all the model classes.

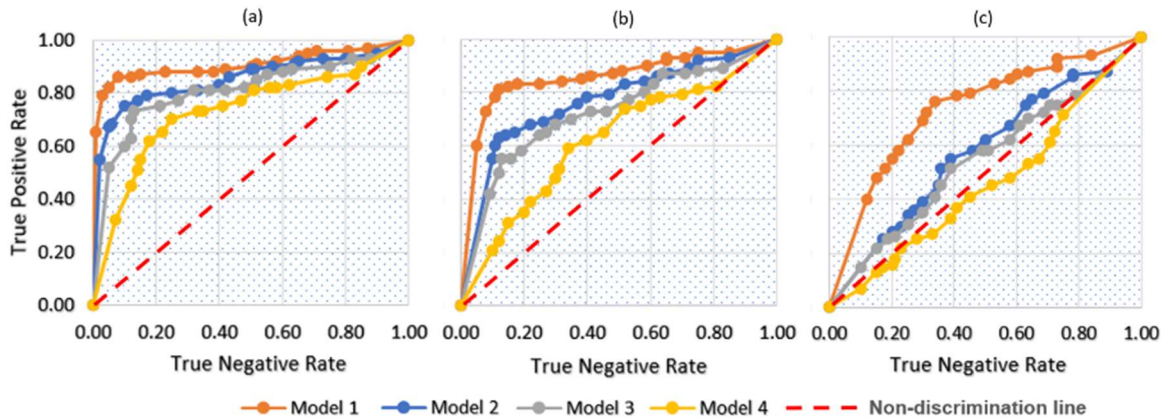


Figure 4. ROC Curves: Noise Level 1 (a), Noise Level 2 (b) and Noise Level 3 (c)

Table 2. AUC indicator.

Model	Noise Level		
	$\sigma_1 = 0.01$	$\sigma_2 = 0.05$	$\sigma_3 = 0.10$
1	0.91	0.85	0.73
2	0.85	0.77	0.57
3	0.81	0.72	0.54
4	0.73	0.62	0.73

4.2 Case Study II: Muhammad Tower

The second case study applies the developed model selection approach to one of the towers of the Alhambra fortress, the Muhammad tower (Fig. 5 (a)). The tower, erected in the 13th-century by Muhammad II for defensive purposes to control the access to the palaces, is inserted in the walls of the Alhambra Fortress between the Tower of the Cube and the Mexuar Palace. The structure has 1.3-1.9 m thick walls and rises 11.6 m high above the floor, and it has an approximately rectangular cross-section (6.6 x 9.0 m). The walls of the tower are mainly made of rammed earth and brick masonry, and the foundations lay on the rock formation known as the Alhambra Formation that outcrops in the area. The tower was instrumented within a research project devoted to the risk assessment of the tower after the seismic swarm occurred between February and August 2.21. The system comprised eight sensors labeled with A1 to A8 as sketched in Fig. 5 (b).

The tower was simulated using FE in the ABAQUS environment and calibrated using the dynamic identification results extracted experimentally (for further details, refer to García-Macías et al. (2022)). The tower has been meshed using solid C3D8 linear elements, with mean elements' dimension of about 50 cm (see Fig. 5 (c)). The connection between the tower and the adjacent walls was simulated by springs. Note that this numerical model is computationally intensive, requiring approximately 5 minutes to complete a linear modal analysis. Therefore, the use of computationally efficient surrogate models becomes imperative to solve the inverse model calibration problem in Eq. (3). In this work, this initial FE model has been used to generate different model classes accounting for different model parametrizations to represent distinct failure mechanisms. In particular, three different model classes with three fitting parameters each have been defined as reported in

Fig. 6. The first class is a general purpose parametrization, in which the main body of the tower is discretized through three macro-elements along its height. The second and third parametrizations are defined after two non-linear simulation analyses reproducing the earthquake-induced damage in the N-S direction of the tower and the differential settlement of the foundation as reported hereafter.

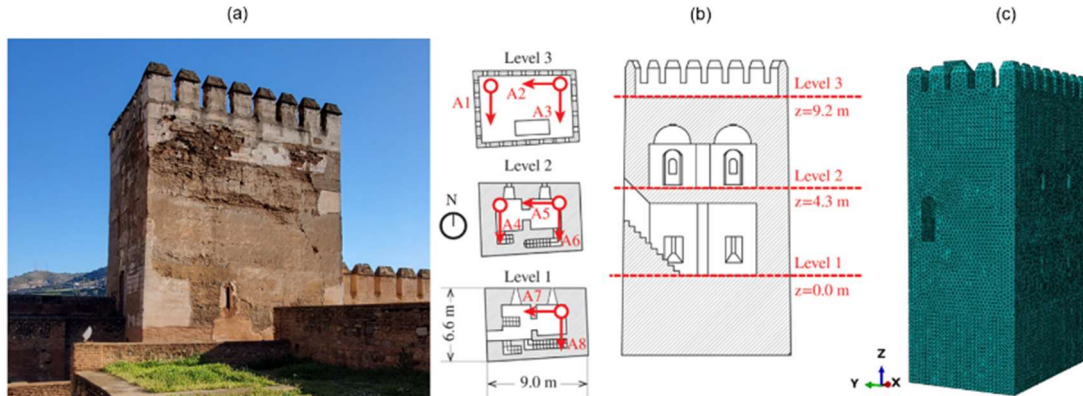


Figure 5. The Muhammad Tower (a). Sensors Layout (b) and finite element model (c)

Based on the three defined discretiations into macro-elements M_i , the fitting parameters have been defined as the stiffness multipliers (k_i , $i = 1, \dots, 3$) affecting the elastic moduli of macro-elements for each model class. Then, given their large computational costs, the FE models have been replaced by Kriging metamodels. The input and output variables of the Kriging metamodels are the stiffness multipliers k_i and the modal signatures (resonant frequencies and mode shapes) of the tower, respectively. The stiffness multipliers are assumed to be uniformly distributed within certain domains of variation (D) (see Fig. 6). Random samples have been drawn uniformly over domain variation using the quasi-random sequence of Sobol. Specifically, 160 samples have been drawn to train the meta-models after the convergence analysis previously carried out in García-Macías et al. (2022). In the calibrations, the first three mode shapes of the tower have been considered, including two global bending modes in the two orthogonal directions of the tower (Fx and Fy), and a global torsional mode (Tz).

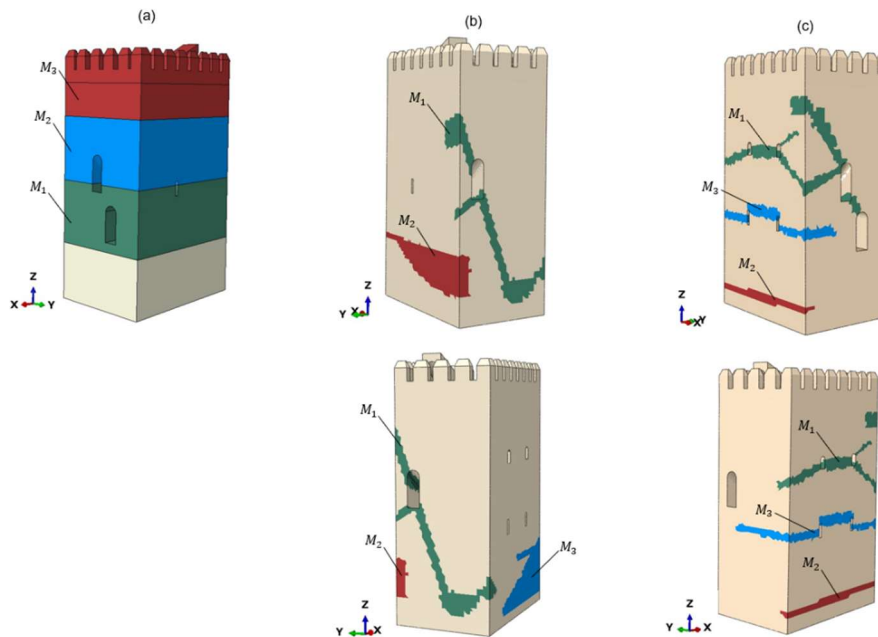


Figure 6. Partitioning of the FEM of the Muhammad Tower. Model Class 1 (a) $\rightarrow D = \{x \in R^3: 0.7 \leq k_i \leq 1.2\}$, Model Class 2 (b) $\rightarrow D = \{x \in R^3: 0.4 \leq k_i \leq 0.7\}$, and Model Class 3 (c) $\rightarrow D = \{x \in R^3: 0.1 \leq k_i \leq 0.4\}$

The comparison between the predictions of the surrogates models (Model Classes) and the forward FE models

is shown in Fig. 7. This figure depicts the forward evaluations of the first resonant frequencies by the 3D FE model versus the predictions of the surrogate model. The low scatter of the points around the diagonal line corroborates that the surrogate models are formed with accuracy, with coefficients of determination R^2 very close to 1 and root-mean-squared-errors (RMSE) in the order of 10^{-4} for all the model classes. In order to appraise the quality of the surrogates models to estimate the mode shapes of the tower, a metric $J_{MAC,r}$ accounting for the median value of the $1 - MAC$ values between the r -th exact mode shapes φ_r and the predictions by the surrogate models $\widehat{\varphi}_r$ in the validation set is introduced as:

$$J_{MAC,r} = med\{1 - MAC(\varphi_r, \widehat{\varphi}_r)\} \quad (8)$$

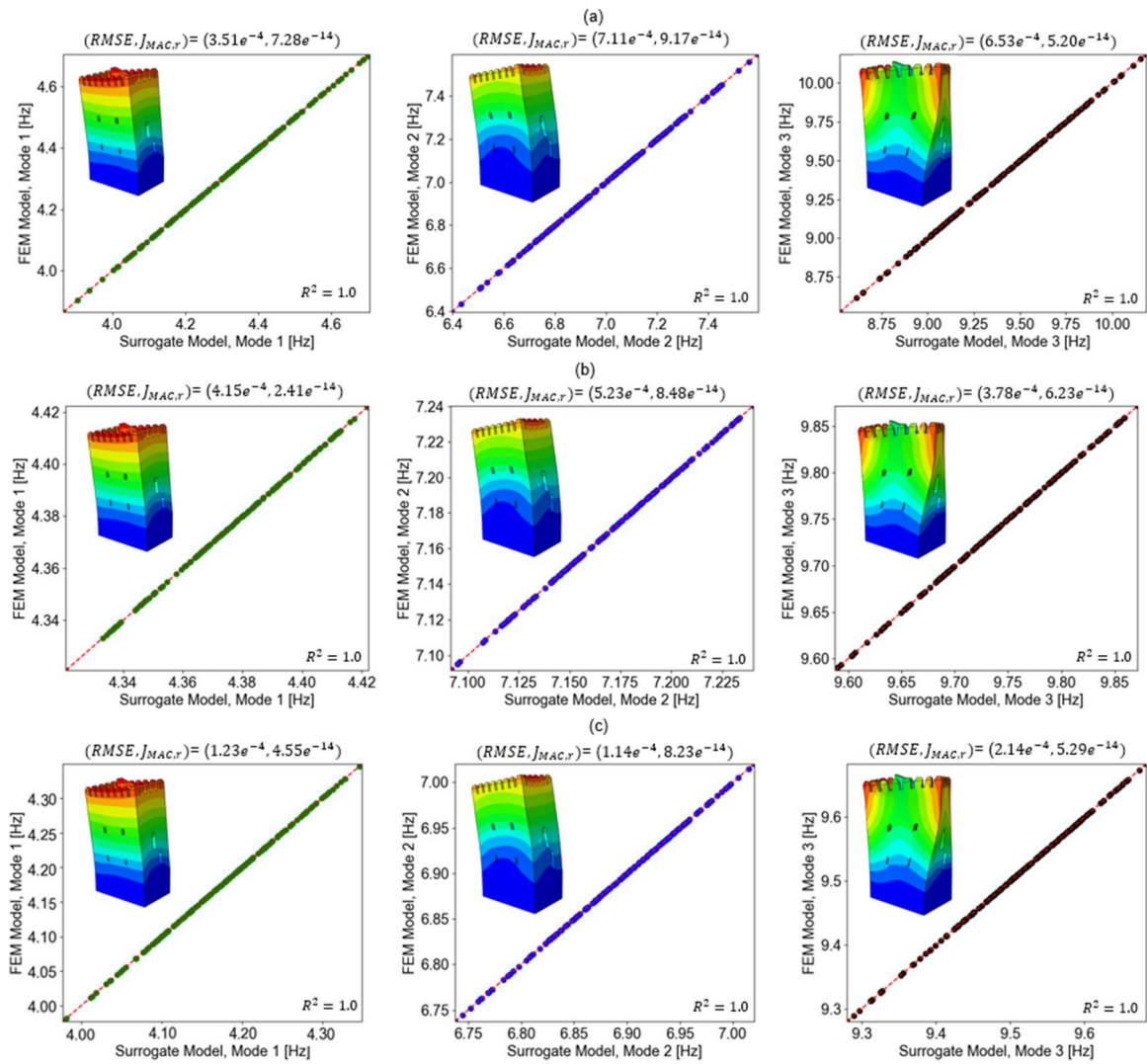


Figure 7. Comparison between the predictions of the forward FE model and the Kriging surrogate models: Model Class 1 (a), Model Class 2 (b) and Model Class 3 (c)

To test the effectiveness of the proposed damage identification approach, two different synthetic damage scenarios have been defined. These were determined from non-linear static analyses of the original FE model of the tower subjected to gravity loading and increasing displacements. Specifically, the first one considers imposed displacements along the NS direction, while the second one imposes a vertical displacement at the founding simulating a condition of differential settlement. To this aim, the non-linear properties of the rammed earth were taken from those reported in García-Macías et al. (2022) using the Concrete Damage Plasticity (CDP) model implemented in ABAQUS. This model allows reproducing the damage-induced loss of stiffness through a scalar field dt ($dt=0$ undamaged, and $dt=1$ fully damaged), as well as to reproduce the

damage-induced effects upon the modal properties of the tower through linear perturbation analysis. The crack patterns obtained for the two simulated scenarios are reported in Fig. 8 (a) and (b). Table 3 shows the frequency decays with respect to the initial FE (undamaged) model for each of the considered damage scenarios. It can be seen in Figs. 6 and 8 that Model Classes 2 and 3 have been constructed based on damage scenarios 1 and 2, respectively.

Table 3. frequency decays for each damage scenario with respect to the undamaged model (Initial FEM)

Mode	Frequency [Hz]					
	Experimental	Initial FEM	Scenario 1	Relative Diff.	Scenario 2	Relative Diff.
1	4.43	4.47	4.38	-1.89%	4.27	-4.35%
2	7.34	7.31	7.14	-2.27%	6.97	-4.61%
3	9.78	9.66	9.76	-2.31%	9.53	-4.65%
4	15.56	15.36	15.07	-1.89%	14.7	-3.98%
5	17.53	16.55	16.15	-2.45%	16.11	-2.65%

In the inverse model calibration, the coefficients α , β and η (weighting coefficients from Eq. 1) have been set to 2, 1 and 2, respectively, after manual tuning. Figure 8 (c) shows the BIC values for each of the updated model classes based on the damage scenarios. Table 4 shows the k_i values of estimated for all the model classes and the two considered damage scenarios. The reported results demonstrate the effectiveness of the proposed procedure, obtaining model classes 1 and 2 as the most plausible models for scenarios 1 and 2, respectively.

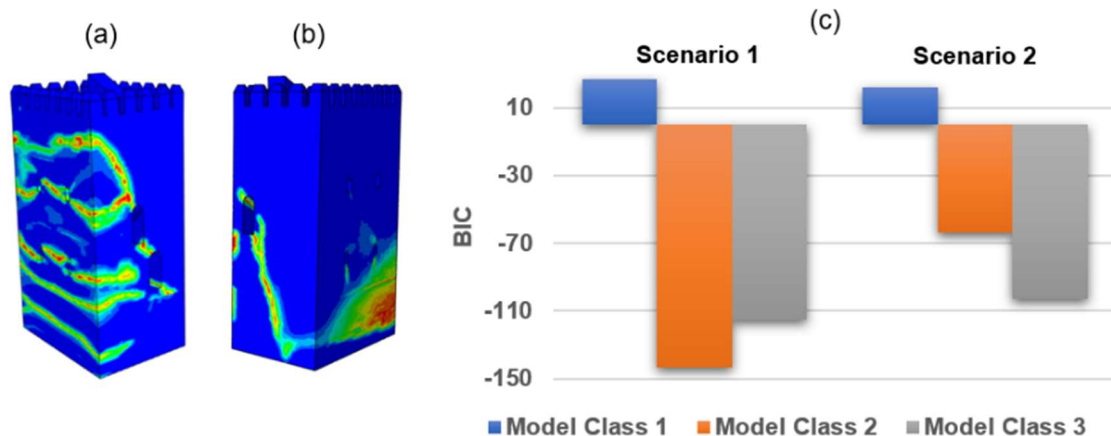


Figure 8. Crack patterns simulated by non-linear static analyses: pushover analysis in the N-S direction (a), and differential vertical settlement of the foundation (b). Results of the model selection approach (c)

Table 4. Updated stiffness multipliers (k_i)

Damage Scenario	Model Class 1			Model Class 2			Model Class 3		
	k_1	k_2	k_3	k_1	k_2	k_3	k_1	k_2	k_3
1	0.92	0.96	0.96	0.65	0.63	0.64	0.40	0.40	0.40
2	0.87	0.92	0.93	0.61	0.61	0.59	0.37	0.36	0.33

5. Conclusions

This work has presented a novel supervised damage identification approach exploiting the concept of populations of digital twins. Contrarily to classical single-model FE model updating, the proposed approach calibrates simultaneously several models reproducing different damage scenarios. Then, a simply model

selection approach analysing the BIC values of the calibrations allows identifying the most plausible model explaining the damage condition. The effectiveness of the proposed approach has been appraised through two different case studies, including a numerical benchmark case study and a real historical tower. In both case studies, the presented numerical results and discussion have evidenced that potential of the proposed methodology for identifying multiple damage pathologies. The first case study has been used to perform a sound assessment of the effectiveness and robustness to measurement noise of the proposed approach by means of ROC curves. The second case study has demonstrated the feasibility of the field implementation of the proposed methodology through the use of computationally efficient surrogate models. Through a set of synthetic damage scenarios generated through non-linear simulation approaches, the presented results and discussion has evidenced the potential of the proposed approach for conducting full damage identification (detection of damage pathology, localization, and quantification).

Acknowledgements

This work has been supported by the Spanish Ministry of Science and Innovation through the research project "BRIDGEEXT - Life-extension of ageing bridges: Towards a long-term sustainable Structural Health Monitoring" (Ref. PID2020-116644RB-I00).

References

- García-Macías, E., Hernández-González, I. A., Puertas, E., Gallego, R., Castro-Triguero, R., & Ubertini, F. (2022). Meta-Model Assisted Continuous Vibration-Based Damage Identification of a Historical Rammed Earth Tower in the Alhambra Complex. *International Journal of Architectural Heritage*, 1–27.
- Messina, A., Williams, E. J., & Contursi, T. (1998). Structural damage detection by a sensitivity and statistical-based method. *Journal of Sound and Vibration*, 216(5), 791–808.
- Neath, A. A., & Cavanaugh, J. E. (2012). The Bayesian information criterion: background, derivation, and applications. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 4(2), 199–203.
- Nobahari, M., & Seyedpoor, S. M. (2013). An efficient method for structural damage localization based on the concepts of flexibility matrix and strain energy of a structure. *Structural Engineering and Mechanics*, 46(2), 231–244.
- Seyedpoor, S. (2012). A two stage method for structural damage detection using a modal strain energy based index and particle swarm optimization. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 47(1), 1–8.
- Teughels, A., Maeck, J., & De Roeck, G. (2002). Damage assessment by FE model updating using damage functions. *Computers & Structures*, 80(25), 1869–1879.
- Tran-Ngoc, H., Khatir, S., De Roeck, G., Bui-Tien, T., Nguyen-Ngoc, L., & Abdel Wahab, M. (2018). Model updating for Nam O bridge using particle swarm optimization algorithm and genetic algorithm. *Sensors*, 18(12), 4131.
- Walsh, D. (1979). Occam's razor: A principle of intellectual elegance. *American Philosophical Quarterly*, 16(3), 241–244.
- Wit, E., Heuvel, E. van den, & Romeijn, J.-W. (2012). 'All models are wrong...': an introduction to model uncertainty. *Statistica Neerlandica*, 66(3), 217–236.
- Xia, Z., Li, A., Li, J., Shi, H., Duan, M., & Zhou, G. (2020). Model updating of an existing bridge with high-dimensional variables using modified particle swarm optimization and ambient excitation data. *Measurement*, 159, 107754.

Combining research and final degree project: Improvement of the fire behaviour of bamboo

Study in the species *Guadua Angustifolia* and *Phyllostachys Pubescens*

Bedoya Beltrán, Erika Viviana^a, Haurie Ibarra, Laia^a y Avellaneda Lopez, Alina^a

^a Universitat Politècnica de Catalunya · BarcelonaTech (UPC). Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona. Avda. Doctor Marañón, 44, 08028 Barcelona, Spain.

erika.viviana.bedoya@estudiantat.upc.edu, laia.haurie@upc.edu, alina.avellaneda@upc.edu

Abstract

The field of construction is facing the challenge of reducing the environmental impact of its activity. The academic programmes also need to update their curricula to prepare the students for this threat. Besides the introduction of sustainability on the different bachelor courses, the final degree project is another opportunity to work on transversal competences. In this case, the final project has combined a focus on environmentally friendly building materials, together with an introduction to research on the field of building engineering.

Bamboo is a fast-growing renewable resource that has been widely used in the vernacular architecture of several countries of America and Asia. In the last years, there has been an increasing interest to expand the use of bamboo to European countries and to develop engineered bamboo products. In this project, it has been investigated the fire behaviour of two bamboo species: *Guadua angustifolia* usually abbreviated as *Guadua* from central and south America and *Phyllostachys pubescens* popularly known as *Moso* from Asia.

In order to improve the fire reaction of bamboo samples there have been used two types of flame retardants, one of them based on boron salts and the other on phosphate compounds. The experimental procedure included the impregnation of bamboo samples by autoclave and the following characterization of their fire reaction.

The results showed a significant improvement of the fire behaviour for both bamboo species and flame retardants. Further works could include a study of different flame-retardant concentrations and also if the flame retardants have an impact on mechanical properties of bamboo.

Keywords: Fire reaction, Flammability, Bamboo, *Guadua angustifolia*, *Phyllostachys pubescens*, *Moso*.

1 Aims and objectives

The motivation behind undertaking this research corresponds to a global necessity, wherein the construction and architecture industry strives to increase the utilization of materials that are less detrimental to the environment. In this case, we propose the use of bamboo, a material renowned for its sustainable characteristics and environmental advantages.

The overall objective of this study was to prepare and characterize bamboo samples, assessing the effectiveness of commercially available fire retardants in improving its fire reaction. Through meticulous analysis and interpretation of the results, this research aimed to gain insights and propose potential strategies for enhancing and optimizing the use of bamboo in the construction industry.

2 Introduction

2.1 Bamboo

Bamboo is a giant grass belonging to the family *Gramineae* or *Poaceae*, specifically the subfamily *Bambusoideae* (Liese & Köhl, 2015; Mena et al., 2012; Soler Soler, 2017).

Bamboo is classified into three major tribes: *Arundinarieae* (woody tribe commonly found in temperate climates, characterized by lengthy culms), *Bambuseae* (woody tribe predominantly found in tropical climates), and *Olyrae* (herbaceous tribe with leafless and lightly lignified culms, exhibiting seasonal flowering). (Fei et al., 2016; Huang, 2018; Liese & Köhl, 2015) For the purpose of this study, we will focus on the woody bamboo species.

Bamboo growth and development depend on three key elements: the root system, rhizome, and culm leaves. The root system provides support and facilitates nutrient uptake. The rhizome aids in propagation and stores energy. Culm leaves contribute to photosynthesis, converting sunlight into energy. (Liese & Köhl, 2015; Mercedes, 2006; Zaragoza Hernández et al., 2014)

In this research, our focus is on the culm, which is commonly used in construction. The bamboo culm has a cylindrical shape and various colors, depending on the species. It has a segmented structure with nodes that define the hollow internodal regions. (Liese, 1987; Zaragoza Hernández et al., 2014)

The bamboo culm contains chemical compounds like cellulose, hemicelluloses, lignin, soluble polysaccharides, proteins, resins, tannins, waxes, and a small amount of ash. (Liese & Köhl, 2015; Zaragoza Hernández et al., 2014). The culm of bamboo is composed of parenchyma tissue, fibers, and vascular bundles. (Liese & Köhl, 2015; Londoño et al., 2002; Mercedes, 2006; Zaragoza Hernández et al., 2014).

The bamboo bark or epidermis consists of intertwined long and small cells, including stomata. These cells, rich in silica, contribute to the plant's hardness. The silica content varies among bamboo species. Similarly, the parenchyma tissue, like the bark, is made up of elongated and small cells that undergo lignification during early stages of growth. (Londoño et al., 2002; Zaragoza Hernández et al., 2014)

Bamboo plants, such as *Guadua angustifolia* (Guadua) and *Phyllostachys pubescens* (Moso), require initial processing for usability. The drying process, conducted outdoors, is essential, with culms strategically positioned for efficient airflow. Guadua bamboo also undergoes additional chemical treatments for durability and insect protection, commonly using immersion in a boron salt solution. (Minke, 2016; Prasad & Pandey, 2012; Reeb & Milota, 1999)

2.2 Fire behavior

Bamboo undergoes decomposition and thermal degradation processes. Initially, an energy source causes dehydration by removing structural water molecules. The moisture content varies among bamboo species. (Chakkour et al., 2023; Wilkie & Morgan, 2012; Zakikhani et al., 2016)

After dehydration, increasing temperatures trigger active pyrolysis. Hemicellulose, cellulose, and lignin, the carbon compounds in bamboo, thermally decompose (Zakikhani et al., 2016)

Hemicellulose, with lower molecular weight than cellulose, readily degrades at lower temperatures (around 200°C - 320°C). Cellulose, more thermally stable, degrades at higher temperatures (around 300°C - 420°C). Lignin, rich in aromatic compounds and abundant in cell walls, undergoes complex decomposition over a wide temperature range (around 200°C - 800°C). (Chakkour et al., 2023; Wilkie & Morgan, 2012; Zakikhani et al., 2016)

Hemicellulose degradation primarily occurs during bamboo fiber breakdown. At approximately 350°C, thermal degradation of lignin and cellulose commences, resulting in significant weight loss (around 50%). (Wilkie & Morgan, 2012; Zakikhani et al., 2016)

This stage releases highly combustible volatile gases. If ignition has not occurred, these gases can initiate it. If ignition has already taken place, the combustible gases sustain and extend the flame, further promoting combustion. (Wilkie & Morgan, 2012)

The aim of this research is to investigate the effectiveness of commercially available flame retardants in mitigating or delaying the combustion process. Various methods were employed and thoroughly described in the testing methodology section.

3 Methodology

3.1 Treatments

3.1.1 Pretreatment with boron salts

In this study, we aimed to replicate the pre-treatment method used on Guadua bamboo and apply it to Moso bamboo. The goal was to investigate whether the observed results in Guadua bamboo were solely due to its characteristics or if the pre-treatment process played a significant role. To achieve this, we utilized boric acid and borax as chemical agents for the pre-treatment, using a concentration of 5% and a 1:1 ratio between the compounds. (Hardy et al., 2010) By replicating the pre-treatment, we sought to determine the influence of this specific process on the properties and characteristics of Moso bamboo, in addition to assessing any differences between the two bamboo species.

3.1.2 Treatments with commercial flame retardants

The second and primary method evaluated in this study involved treating bamboo with commercial fire-retardant agents. Two specific products were used: Ignimad L-33®, a water-based liquid formulation provided by Quide S.A.™, containing a 30% concentration of a phosphorus-rich compound, and Solubor®, a powdered agent composed of boron salts with a concentration of 20%, supplied by Rio Tinto Borates™ and solubilized in the laboratory.

To perform the impregnation of the bamboo samples, after they were thoroughly dried and their moisture content was removed, they were submerged in the respective solution. Subsequently, they were placed inside the autoclave for approximately 48 hours to ensure a more efficient impregnation.

3.2 Bamboo samples

As shown in the Figure 1, two types of samples were utilized to conduct two distinct tests. The specimens for determining the Limit Oxygen Index (LOI) were prepared following the Spanish standard UNE-EN ISO 4589-2 (Comité técnico CTN 53 Plásticos y caucho. ANAIP-COFACO, 2017), which provides precise guidelines for this measurement. According to the standard, the specimens were required to have a length within the range of 80 to 150 mm, a width of 10 ± 0.5 mm, and a thickness of 4 ± 0.5 mm. The necessary cuts, measurements, and weighing procedures were meticulously performed, resulting in a total of 20 specimens per sample.

For the second type of samples, they were prepared in accordance with the UNE-23752.90 (Secretaría del CTN AESPI-TECNIFUEGO, 1990) standard. These specimens were square-shaped, measuring 70 mm on each side, and had a minimum weight of 2 g. Each sample comprised a minimum of four specimens, given that the study encompassed the evaluation of both the outer surface (bark or cuticle) and the inner surface (hollow zone)

of the bamboo, a total of eight specimens were prepared for each sample, with four specimens allocated to each surface.

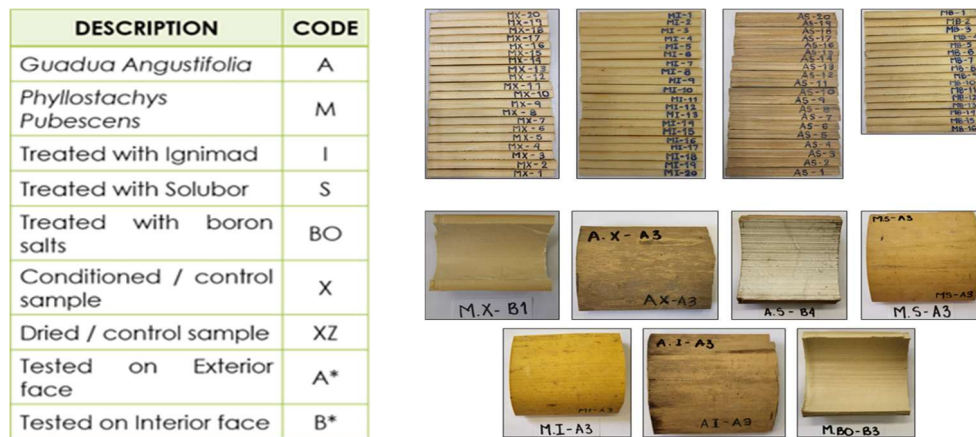


Figure 1. Some examples of bamboo samples for the tests and coding
Source: Own elaboration (2023)

3.3 Samples protocol

To ensure consistent methodology across all samples, a specific and standardized protocol was developed for conducting the experiments. However, due to the inherent differences among the samples, it was necessary to establish specific entry and exit points. The Figure 2, and the following section provides a detailed description of the general protocol utilized in this study.

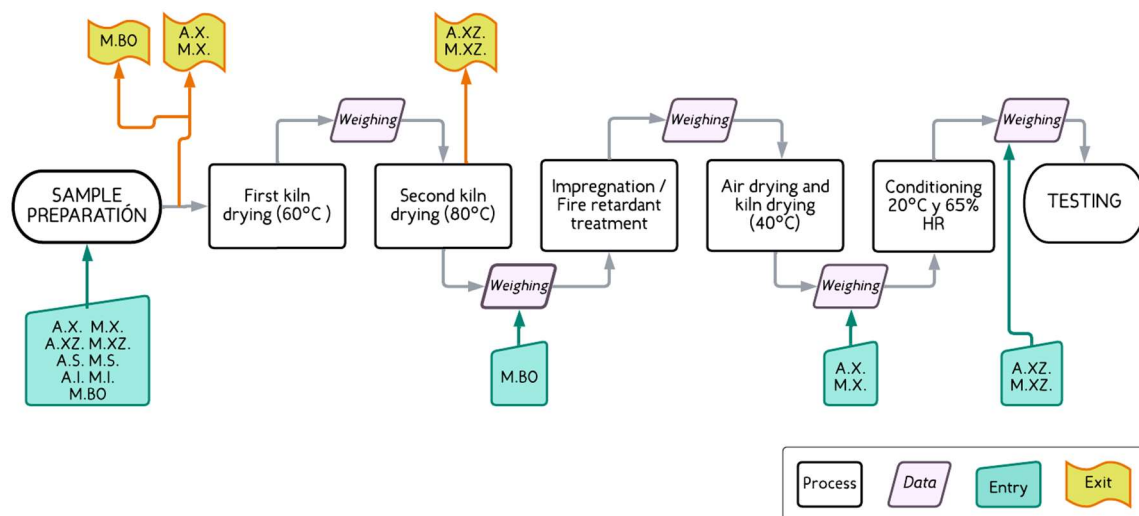


Figure 2. Diagram of bamboo sample test protocol
Source: Own elaboration (2023)

After all the specimens from the samples were prepared (undergoing the process of cutting, measuring, weighing, and coding as mentioned in Figure 1), the samples of the Moso species, pre-treated with boron salts (M.BO), and the control specimens without drying from both species (A.X. - M.X.) are removed from the process before starting the initial drying.

The remaining samples of both species, including those to be impregnated (A.S. - M.S. - A.I. - M.I.), as well as the control specimens that undergo drying (A.XZ. - M.XZ.), are placed in a constant temperature oven, where they reach the point of losing their internal moisture content.

At this point, the dried control samples are removed from the process and are ready to be tested, so they are reintroduced at the end of the protocol.

Simultaneously, the sample of Moso species (M.BO), which had been removed from the process, is reintroduced. The distinction between this sample and the others undergoing fire retardant treatments lies in its purpose as a pre-treatment, intended to replicate the traditional method employed in Guadua.

From this stage onwards, all samples intended for treatment with commercial fire retardants follow a standardized set of procedures. They undergo immersion in specific chemical solutions for impregnation, followed by a controlled drying process to remove any moisture absorbed from the products. Conditioning is uniformly applied to all samples continuing within the protocol, also including the untreated control samples without prior drying (A.X. - M.X.).

The final step involves conducting comprehensive testing on all samples, encompassing the entirety of the specimens within the protocol. This crucial phase ensures that each sample undergoes meticulous evaluation, adhering to the rigorous scientific standards set forth.

3.4 Characterization and testing

3.4.1 Scanning Electron Microscope (SEM)

Observations of both Moso and Guadua species were conducted using a scanning electron microscope (SEM), specifically the Jeol JSM 6510 model, coupled with an energy-dispersive X-ray detector. Through SEM analysis, we were able to identify distinctive characteristics and differences between the two species. Furthermore, the SEM played a crucial role in determining the chemical composition of the samples, providing valuable insights into their respective chemical profiles.

3.4.2 Determination of Limiting Oxygen Index (LOI)

The applicable standard for "Methods for determining the minimum volumetric fraction of oxygen, in mixture with nitrogen, that will support the combustion of small specimens" is UNE-EN ISO 4589-2.

The objective of the test is to evaluate the fire behavior of a material by determining its oxygen index. Combustion requires an oxidizer such as oxygen, and for this purpose, a mixture of oxygen and nitrogen is used. A higher concentration of oxygen is indicative of better fire performance.

Given that this standard has been primarily developed for plastic and rubber materials, we have had to modify and customize the acceptance criteria to accommodate our study on cellulose-based materials. Cellulosic materials can exhibit unique combustion phenomena, necessitating the inclusion of specific parameters.

In our investigation, we considered the criteria listed in Table 1, the burn length criterion, combustion duration, and introduced an additional criterion associated with the afterglow phenomenon.

Table 1. Acceptance criteria for the determination of limit oxygen index "LOI"

Burning period	After glow* period	Burned length
≤ 180s	≤ 180s	≤ 50mm

3.4.3 Epiradiator test

The epiradiator test, as specified by the UNE-EN 23-725-90 standard, serves as a method for evaluating the fire reaction of materials. This procedure entails subjecting the specimens to a consistent heat source, which prompts the potential ignition of combustible gases, ultimately initiating a flame reaction.

The primary objective of this test is to thoroughly assess the fire performance of a material. This includes analyzing key parameters such as ignition duration, time of initial ignition, number of ignitions, and making detailed observations during the test.

The time of first ignition provides valuable insights into the material's ability to resist the spread of flames. It indicates how effectively the material can delay flame propagation. Furthermore, the occurrence and duration of ignitions within the 5-minute test period help determine whether the material can self-extinguish the flame.

Detailed observations during the test provide essential information about the material's behavior in the presence of fire. This includes factors such as flame spread, smoke generation, and other relevant phenomena that contribute to assessing the material's overall fire response.

4 Analysis and results

4.1 Scanning Electron Microscope (SEM)

Based on the visual observations conducted using Scanning Electron Microscopy (SEM), significant disparities can be discerned in the vascular bundles between the Moso and Guadua species. In the Figure 3, the Guadua vascular bundles exhibit a larger size and higher compactness, potentially contributing to a higher material density. Moreover, the metaxylem and metaphloem appear to possess a greater diameter in Guadua, which may impact the impregnation capacity. Additionally, a diminished presence of parenchyma tissue is evident in Guadua. Conversely, Moso bamboo displays a structural composition characterized by a greater abundance of fibrous and parenchymatous tissue, accompanied by smaller vascular bundles.

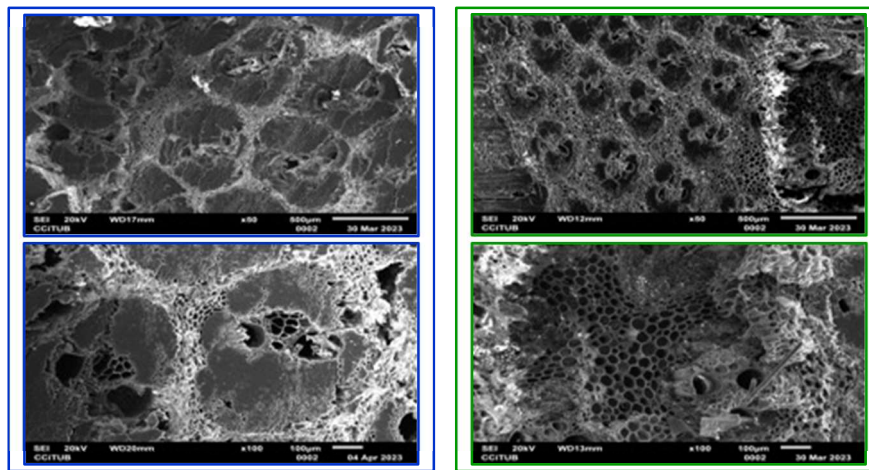


Figure 3. Comparison between both species (Guadua At the left, Moso at the right)
Source: Own elaboration (2023)

Regarding the chemical composition, our primary objective was to ascertain the elemental constituents of the plant structure in both species, with special emphasis on the silica content. This is particularly significant due to the existence of flame retardants that incorporate silicon as a key component in their formulation. In the case of bamboo, the varying quantity of silicon present in the samples may potentially exert an influence on the outcomes of the conducted tests.

Upon analyzing the graphs depicted in Figure 4, it is evident that there are differences in the silica composition between the two species. In the case of Guadua, both the inner and outer surfaces exhibit higher silica percentages compared to Moso. Interestingly, the inner culm surface of Moso bamboo shows a significantly lower silica content. However, it is worth noting that both species demonstrate an increase in silica content on the outer surface. These findings suggest that silica distribution within the bamboo culm may vary between species and have implications for fire reaction tests.

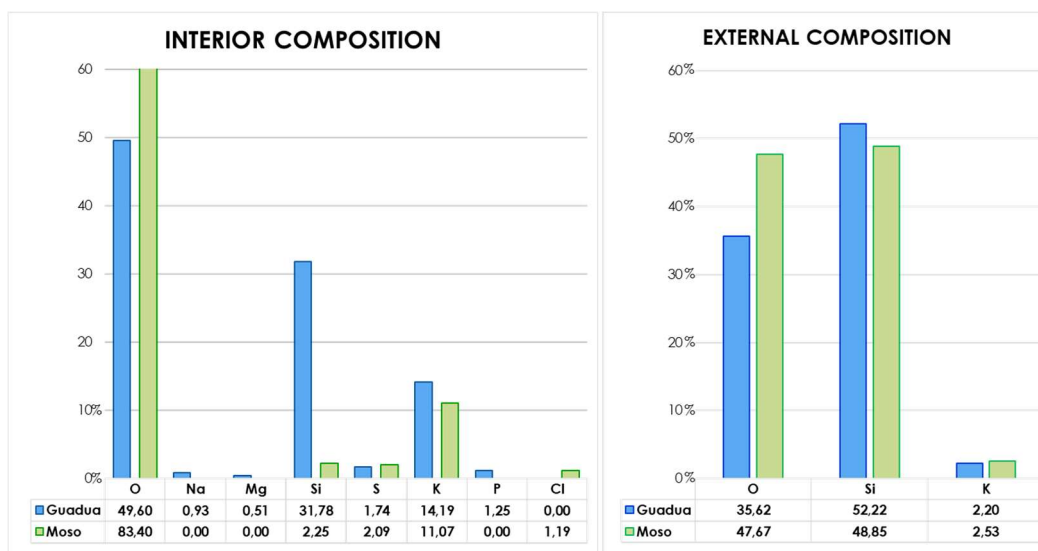


Figure 4. Chemical composition of *Guadua Angustifolia* and *Phyllostachys*
Source: Own elaboration (2023)

4.2 Determination of Limit Oxygen Index (LOI)

As previously mentioned, the objective of this test is to determine the minimum oxygen requirement for specimen combustion. Figure 5 shows the LOI obtained for the different samples.

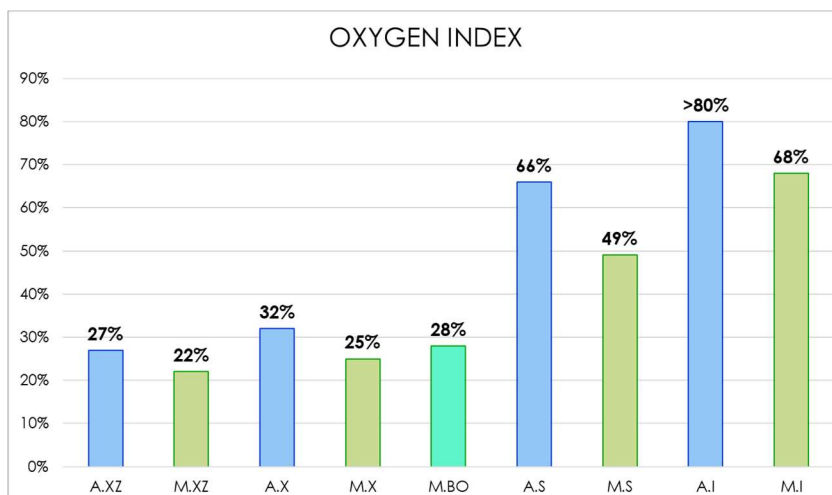


Figure 5. Results of the determination of Limit Oxygen Index
Source: Own elaboration (2023)

When comparing the results of the two control samples, both the dried (A.X.Z – M.X.Z) and the undried (A.X – M.X), we have observed that the inherent moisture content of the plant contributes to its fire performance, resulting in improved test outcomes. Building upon this analysis, we can also identify that the Moso species pretreated with boron salts (M.BO), demonstrates better fire behavior compared to the control samples of the same species. However, *Guadua* exhibited better performance compared to Moso in all cases.

The fire reaction of bamboo samples treated with fire retardant agents showed significant improvement. When examining the samples treated with Solubor®, the most notable enhancement was observed in *Guadua* (A.S.), which exhibited a 106% improvement compared to the control sample (A.X.). Similarly, the Moso sample (M.S.) showed a remarkable 96% improvement compared to its control sample (M.X.).

The best overall result was obtained by using the Ignimad mixture with both *Guadua* and Moso. However, the Limiting Oxygen Index (LOI) could not be accurately determined for *Guadua* impregnated with Ignimad (A.I.) due to equipment safety limitations. Nonetheless, it is established that combustion in *Guadua* treated with

Ignimad requires an oxygen percentage exceeding 80%. Moso treated with Ignimad (M.I.) exhibited favorable outcomes but required a lower oxygen percentage, indicating comparatively less optimal performance compared to Guadua.

4.3 Epiradiator test

The results of the epiradiator test allow comparison of the control samples with the boron treated Moso samples shown in Figure 6 and a complete analysis of all samples tested demonstrated in Figure 7.

In Figure 6, we can observe that the trend of the results for both species remains consistent. Guadua demonstrates superior performance in terms of average burning time, both on the outer and inner surfaces, indicating a higher self-extinguishing capacity. However, it is worth noting that Moso exhibits better flame-retardant properties, as the initial ignition occurs later compared to Guadua. Furthermore, when considering Moso treated with boron salts (M.BO), the results show even greater improvements in terms of the average ignition time. This suggests that the pretreatment applied to enhance durability also enhances fire behavior by delaying the material's ignition.

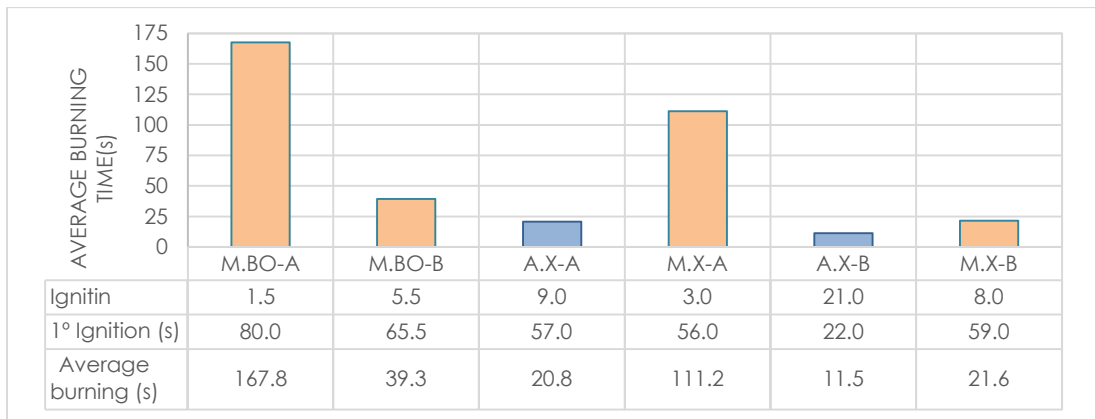


Figure 6. Results on the control samples compared to the pretreated sample
Source: Own elaboration (2023)

Now, presented below is the Figure 7, depicting the overall results, obtained from the Epiradiator test. Like previous cases, Guadua continues to exhibit superior performance in terms of average combustion duration. It is worth noting that the inner surface of both species demonstrates the shortest average duration, with better results observed in the treated samples, particularly Guadua treated with Ignimad.

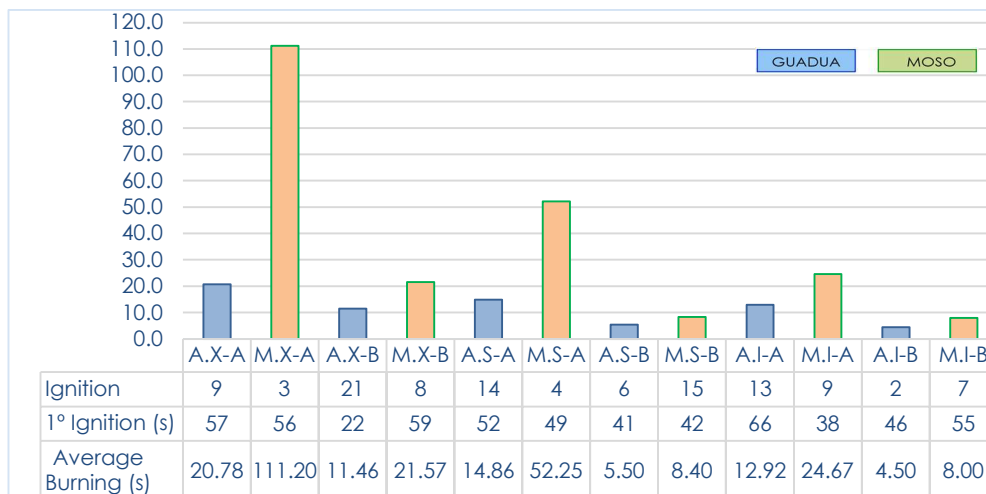


Figure 7. General results of the epiraditor test
Source: Own elaboration (2023)

Regarding the fire-retardant capacity, we have observed that the best results are obtained on the outer surface of the samples, which could be attributed to a higher silica content. It is also important to clarify that the sample that achieved the highest fire-retardant capacity was Guadua treated with Ignimad on its outer surface.

It is also important to clarify that the Guadua species was able to achieve 0 ignitions in some of the samples tested on the inner surface, both with Ignimad and Solubor treatments. This indicates that the treatment with fire retardant agents not only enhances the self-extinguishing capacity of the samples but also improves their ability to retard the flame.

5 Conclusions

The species Guadua exhibits a larger internal and external structure, resulting in greater vascular bundle dimensions, which positively impacts the impregnation capacity of the samples and potentially contributes to achieving a higher impregnation percentage, particularly when treated with Ignimad.

Although both species contain silica, with a higher concentration found on the outer surface, Guadua consistently exhibits a higher silica content in both cases, which likely influences the superior performance observed in the tests.

The Moso sample treated with boron salts (M.BO) demonstrated notable improvement in the limiting oxygen index compared to the control samples of the same species, indicating that the pre-treatment not only enhances durability but also enhances the fire performance.

Regarding the Limiting Oxygen Index, the Guadua sample treated with Ignimad (A.I.) exhibited the best performance, surpassing the 80% threshold.

During the epiradiator test, it was evident that Moso, treated with artisanal boron salt pre-treatment, exhibited enhanced fire behavior, effectively delaying the onset of combustion.

Lastly, the parameter of average flame duration consistently showed lower values for Guadua, with the most favorable outcome observed when treated with Ignimad, highlighting its self-extinguishing capabilities.

Finally, this work has allowed me to venture into the field of research, expanding my knowledge and providing me with more tools for my academic and professional growth.

Acknowledgment

We would like to thank Bambusa S.A.™ for supplying the bamboo used in our study, and the companies Quide S.A. and Rio Tinto Borates for providing the flame retardants. Additionally, we would also like to acknowledge the funding support received under the grant MCIN/AEI/10.13039/501100011033 PID2020-117530RB-I00.

References

- Chakkour, M., Ould Moussa, M., Khay, I., Balli, M., & Ben Zineb, T. (2023). Effects of humidity conditions on the physical, morphological and mechanical properties of bamboo fibers composites. *Industrial Crops and Products*, 192. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116085>
- Comité técnico CTN 53 Plásticos y caucho. ANAIP-COFACO. (2017). Norma Española UNE-EN ISO 4589-2 Determinación del comportamiento al fuego mediante el índice de oxígeno.
- Fei, B., Gao, Z., Wang, J., & Liu, Z. (2016). Biological, Anatomical, and Chemical Characteristics of Bamboo. In *Secondary Xylem Biology: Origins, Functions, and Applications* (pp. 283–306). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802185-9.00014-0>
- Hardy, O., Farrugia, M., & Goutham, S. (2010). Todo lo que necesitas saber sobre el tratamiento de Bambú con bórax. <https://construccionesuce.wordpress.com/2022/12/16/tratamiento-de-bambu-con-borax/>, last accessed 2023/07/10
- Huang, Z. (2018). Application of Bamboo in Building Envelope. <http://www.springer.com/series/8059>

- Liese, W. (1987). Research on Bamboo. In Wood Sci. Technol (Vol. 21). Springer-Verlag.
- Liese, W., & Köhl, M. (2015). Bamboo, The plant and its uses (W. Liese & M. Köhl, Eds.; Springer). <http://www.springer.com/series/5439>
- Londoño, X., Camayo, G., Riaño, N., & López, Y. (2002). Characterization of the anatomy of *Guadua angustifolia*. The Journal of the American Bamboo Society, 16(1), 18–31.
- Mena, J., Vera, S., Correal, J. F., & Lopez, M. (2012). Assessment of fire reaction and fire resistance of *Guadua angustifolia* kunth bamboo. Construction and Building Materials, 27(1), 60–65. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.028>
- Mercedes, J. R. (2006). Guía técnica cultivo del bambú. CEDAF.
- Minke, G. (2016). Building with Bamboo (Vol. 2).
- Prasad, B. E., & Pandey, K. K. (2012). Microwave drying of bamboo. European Journal of Wood and Wood Products, 70(1–3), 353–355. <https://doi.org/10.1007/s00107-010-0496-9>
- Reeb, J., & Milota, M. (1999). Moisture content by the oven-dry method for industrial testing.
- Secretaría del CTN AESPI-TECNIFUEGO. (1990). Norma española UNE 23-725-90 Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción.
- Soler Soler, P. (2017). Uso del bambú en la arquitectura contemporánea. Universitat Politècnica de Valencia.
- Wilkie, C., & Morgan, A. (2012). Fire Retardancy of Polymeric Materials Second Edition.
- Zakikhani, P., Zahari, R., H Sultan, M. T., & Majid, D. L. (2016). Thermal studies of bamboo. In BioResources (Vol. 11, Issue 1).
- Zaragoza Hernández, I., Borja de la Rosa, A., Zamudio Sánchez, F. J., Ordóñez Candelaria, V. R., & Bárcenas Pazos, G. M. (2014). Anatomía del culmo bambú. 20(3): 87-96).

Real-time monitoring of green roofs in Barcelona

Alva, Aleix^a, Lacasta, Ana M.^b, Bosch, Montserrat^b, Berigüete, Fanny^b y Cantalapiedra, Inmaculada R.^b

^aUniversitat Politècnica de Catalunya, ETSAB-Avda Diagonal 649, Barcelona, alex.alva@upc.edu

^bUniversitat Politècnica de Catalunya, EPSEB- Avda Doctor Marañón 44, Barcelona,
ana.maria.lacasta@upc.edu, montserrat.bosch@upc.edu, fanny.esther.beriguete@upc.edu,
inmaculada.rodriguez@upc.edu

Abstract

Green roofs are Nature-based solution (NbS) that have been gaining popularity in recent years due to the environmental, economic and social benefits attributed to them. In the framework of the "BCN - Verd de Proximitat" (Barcelona - Proximity Green) project, a continuous monitoring system has been implemented on 4 green roofs in that city. One of the goals of this monitoring is the evaluation of the influence of these solutions on aspects like the heat island effect, air quality, environmental noise or rainwater runoff.

Various types of sensors have been used. On the one hand, temperature and humidity probes have been installed in the substrate, while surface temperatures are recorded by infrared cameras. On the other hand, citizen-science kits have been used to determine environmental parameters such as noise or particulate matter (PM) concentrations. Weather stations have also been installed to record air temperature and humidity, wind speed and rainfall. Where possible, sensors have also been installed on neighbouring conventional roofs for comparison purposes.

One of the analysed cases has a water harvesting system to reduce irrigation-demand of supply. In order to assess the effect of vegetation on runoff control, sensors have been installed to monitor water levels in the tanks. The comparison between the time evolution of the rainwater recorded by the rain gauge and the corresponding curve of the water reaching the tanks shows a time lag that allows to quantify the water retention capacity of the vegetation.

Keywords: Green roof, Environmental monitoring, Runoff control

1 Introduction

The presence of vegetation plays a twofold role in urban zones. On the one hand, it enhances the healthiness, sustainability and pleasantness of the environment. On the other hand, it improves air quality and temperature control (De Carvalho & Szlafsztein, 2019; Leung et al., 2011). Contrarily to conventional waterproofed surfaces, which hamper water absorption, green areas favour water infiltration into the soil, replenishing aquifers, restraining flood severity and, in general, improving water management (Ferrini et al., 2020). They not only provide an increase of the urban vegetation surface, but also a potential habitat to a wide spectrum of animal species, helping to sustain local biodiversity (Threlfall et al., 2017). Added to these environmental benefits, urban vegetation has a positive impact on human well-being, since it provides an opportunity to find relaxing spaces that also stimulate physical activity and community interaction (Parsons & Ulrich, 1990). For all these reasons, not only the conservation but also the creation of green spaces should be a priority for every city, despite the tight spatial constraints suffered by densely-built areas. The scarceness of non-constructed land makes building-based green, mostly on roofs and façades, especially relevant.

Green roofs and façades have multiple benefits from both thermal and energy-saving viewpoints (Raji et al., 2015; Coma et al., 2016; Susca et al., 2011). They shield constructed surfaces from extreme temperature values and fluctuations in hot weather by improving the overall thermal inertia of the whole solution (Guattari et al., 2020). During low and medium-latitude summers, the vegetation-induced reduction of surface temperature is substantial (Baryla et al., 2019), and provides an enhanced thermal comfort to both regular users and occasional visitors. Regarding water management, green roofs noticeably hamper the effects of rainfall runoff by providing a substrate with the capacity to absorb and retain substantial amounts of water (Sims et al., 2016; Xing and Jones, 2021; Liu et al., 2021). Acting as temporary reservoirs, they regulate the draining flow, thus alleviating the load on the sewage system. In addition, and when possible, the implementation of a rainwater-harvesting circuit for local irrigation greatly relieves freshwater supply demands in drought-stricken regions. Additionally, green-based architecture has a great potential to host a wide range of species by providing a habitat for them. If properly managed, such habitats can significantly contribute to urban biodiversity (Mayrand & Clergeau, 2018; Wooster et al., 2022). From a social standpoint, they also bring opportunities to enhance the well-being of their users by providing spaces where people can interact in a Nature-friendly context (Ode Sang et al., 2022; Williams et al., 2019). Also worth mentioning is their capacity to absorb pollution and release oxygen, thus contributing to a cleaner and healthier urban air (Liu et al., 2021).

Despite common fears of potential water infiltration from these green solutions, it is important to emphasise that these are professionally executed systems with well-known long-term reliability, so these fears are unfounded. Statistics on humidity-related problems from green roof implementations don't show significant differences in the number of problematic cases with respect to other modern types of solutions (Carretero Ayuso, 2021). Additionally, the increase of thermal inertia provided by vegetation and its substrate reduces the ageing of the waterproofing layers, thus potentially increasing the lifespan of the overall system (Cascone, 2019; Korol et al., 2018; Vijayaraghavan, 2016).

In the last decade, Barcelona's City Council has actively promoted the implementation of green roofs via contest-based funding. This bold policy has allowed the appearance of an interesting network of green roofs and façades with not only ecological but primarily educational and exemplary value to inspire and spread an urban-greening wave. These new roofs are also great opportunities for real-case research, which is where the scope of our project lies. Our main goal is the design and the subsequent implementation of a monitoring system that allows the quantification of several physical and social impacts of green roofs on the city. The monitoring system encompasses six different roofs distributed across Barcelona, where we measure different variable in different locations, according to the idiosyncrasies of each case. In four of them we have implemented real-time environmental monitoring.

This work presents the methodology used to quantify several physical magnitudes in four green roofs and shows preliminary results obtained in the initial data-collection run. Although this project involves the measurement of a wide span of variables, we show here data from a selected set of them and only from one of the roofs, named as GR1. Specifically, we focus on the analysis of surface temperatures and rainfall retention.

2 Methodology

2.1 Real-time monitoring

In order to allow a citizen-friendly quantification of green-roof-based data, this project places its emphasis on the use of low-cost sensors. This approach gives preference to scalability over high-precision measurements, but without sacrificing the science-focused perspective. In fact, the accuracy offered by currently available low-budget equipment significantly lies within the relevance range of measured quantities. A good compromise between amateur-level knowledge and scientifically valuable data is crucial if green solutions are to be widely implemented. Also essential is the development of an extensive (and freely-available) documentation of the studied cases.

In particular, this project has experimented with a wide variety of sensors targeting different sets of magnitudes. On the one hand we have implemented several weather-based setups that include temperature, relative humidity, barometric pressure, noise levels, particulate matter, volatile organic compounds (VOC), rainfall, wind speed and wind direction. On the other hand, sensors for more specific variables have been tested. Specifically, we have measured soil temperature and moisture to analyse irrigation, surface temperatures to study heat-island effects and water-tank levels to monitor the rainfall harvesting circuit, always trying different sensor models and assessing their reliability and performance.

Each of these sensors are connected to a user-friendly microcontroller, either a Arduino Uno R3 or a BBC micro:bit V3. These two models are extensively used in educational programs and have affordable price, approachable documentation and thriving supporting communities, three important criteria from a citizen-science point of view. Additionally, these microcontrollers can easily store the data in SD cards, to be periodically retrieved by local neighbours. However, in this project we have implemented a more sophisticated system for data centralisation. We have used A20-OLinuxXino-LIME2 microprocessors to capture the data from the aforementioned microcontrollers via serial port and, through a WireGuard VPN, send the data via MQTT protocol to a central server. Crucially for an affordable and therefore scalable setup that every motivated citizen can implement, all software and hardware involved in this project is open-source, except the central server, which is an old Dell Inc. OptiPlex 3020 machine (recycled from an electronic waste container) running under Debian Linux. All data is processed under Bash scripts and ingested by a VictoriaMetrics database, which is then integrated into a custom instance of Grafana for real-time visualisation. On average, the server draws 16 W of power and each A20 board draws less than 2 W.

2.2. Surface temperatures

Surface temperatures are measured with Panasonic AMG8833 thermal infrared (IR) sensors. Being 8x8 px arrays, they can show simple thermal images that we later interpolate and plot with Gnuplot (see Figure 1). For time series IR data we take the average value of the 64 pixels. In order to protect the sensors from rain and to shield them from the Sun's radiation we have attached them into inexpensive dummy surveillance cameras. In Figure 2 we show three images of these implementations.



Figure 1. Snapshot of a Grafana dashboard from one of the studied green roofs. From top to bottom, the first row shows real-time gauges for weather data, including daily, monthly and yearly rainfall. The second row shows, on the top-left side, a 72 h time series for surface temperature of three different systems, conventional ceramic roof tiles (green), dry substrate without vegetation (yellow) and a vegetation-covered parterre (blue); and on the bottom-left side the ambient temperature. The right side of the second row shows real-time (8x8 px) thermographic images of the three aforementioned surfaces, in the same order from left to right. The third row shows real-time gauges for soil temperature (left) and moisture (right) at four different locations, all of them buried in periodically irrigated substrate. The fourth row shows time series for all these eight gauges. The fifth row shows time series for the ambient humidity (left) and for the water tank levels where rainfall is harvested (right). This is only a part of the dashboard, where other gauges and time series have been omitted for the sake of simplicity.



Figure 2. Location of IR sensors in two of the studied green roofs. The two left images are from GR1 roof and the right image is from GR2 (another green roof for which we don't show results here). The top-left image shows the visual field of the IR sensor measuring the temperature of a parterre with vegetation. The bottom-left image shows two IR sensors, one pointing at a vegetation surface and the other at a neighbouring roof with ceramic roof tiles, the same system that GR1 had before the green solution was implemented. In GR2 we have set up 3 IR cameras, one pointing at high vegetation (right), another at low vegetation (left) and another at a bare-substrate zone (centre).

2.3. Rainwater and runoff collection

Roof GR1 features a rainfall harvesting circuit for irrigation purposes. The system is composed of six mutually-connected (and therefore levelled) water tanks, each with a capacity of approximately 240 L. In order to monitor their levels, we have placed a Gravity industrial stainless steel submersible pressure level sensor at the bottom of one of the tanks. Additionally, we have placed a Sparkfun weather meter kit, which includes a self-emptying bucket-type rain gauge that allows us to read rainfall volume and rate with a reasonable accuracy. We have extensively calibrated this gauge to read accurate readings of both light and intense rain, and shared the whole calibration data and the final micro:bit code in a public Codeberg repository (Codeberg repository, s.f.) so that every interested citizen can directly use the whole weather kit with maximum performance. At the end of this project, all code and schematics will be publicly available in similar repositories.

3 Results

3.1. Surface temperature

Here we analyse some preliminary results from thermographic readings in GR1. Figure 3 shows a week-spanning time series for the average temperature given by sensors pointing at a parterre with vegetation (green) and at a conventional ceramic tile solution (orange). We observe how daily temperature variations are less pronounced on the green-roof case, being significantly ($\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) lower at noon and appreciably higher ($\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) at dawn. During morning, if sunny, ceramic roof tiles easily reach high temperatures, while during night they progressively cool down. The vegetation surface, however, shows less extreme variations, not only improving the comfort of the users living under the roof, but also alleviating the expansion-contraction stresses on the waterproofing materials. We further illustrate the contrasting behaviour between these two solutions in Figure 4, where we show two sets of thermal maps at the most relevant hours (08:00 and 15:00 CEST) for a given day.

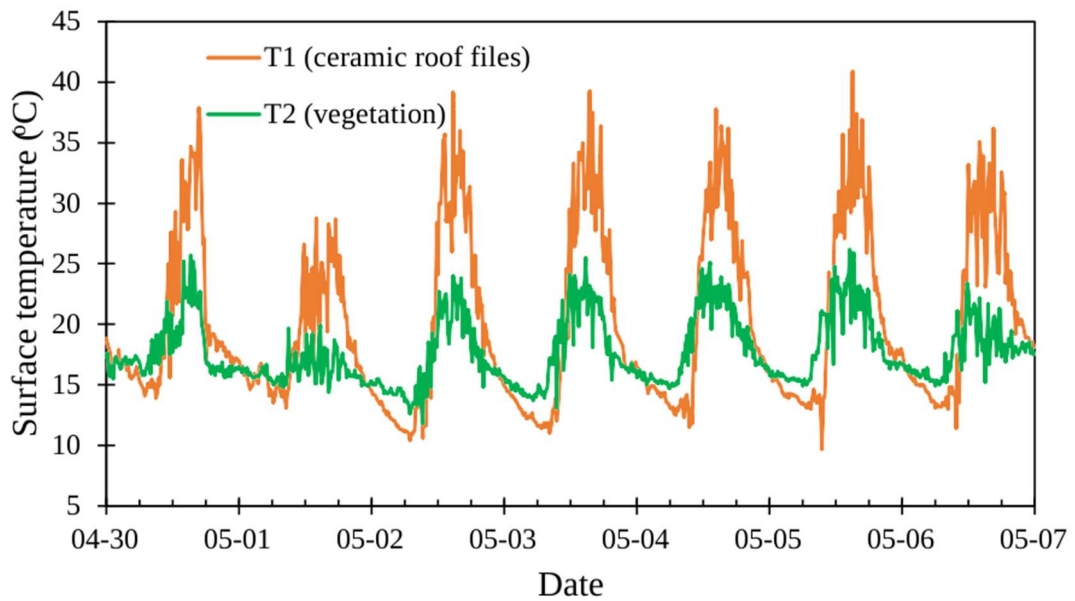


Figure 3. Surface temperature time series, taken from 2023-04-30 to 2023-05-07 in GR1 for two different solutions. In orange we show the readings from a ceramic roof tile solution. In green we can see the readings from a vegetation parterre. Each data point is an average from the 64 pixels of an AMG8833 sensor. The reading frequency for almost all sensors in this project is 1 data point per minute. Notice how on 2023-05-01 the sky was partially clouded.

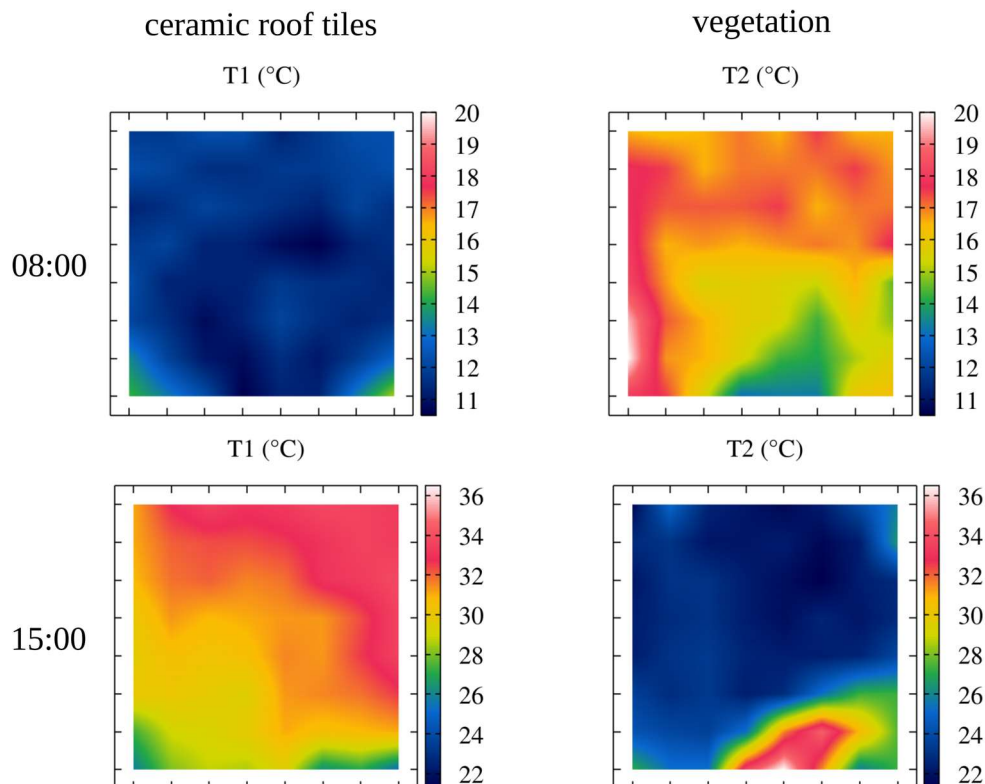


Figure 4. Thermographic images from the IR sensors at GR1 at 08:00 (top row) and 15:00 (bottom row) on 2023-05-03, taken from a ceramic roof tile surface (T1, left column) and from a green roof surface (T2, right column). The right-bottom image shows a small region where the parterre has a metallic edge at ground level, which is partially covered by vegetation. The average values are, from left to right, (T1, T2) = (11.8, 16.4) °C at 08:00 (top row), and (31.0, 24.3) °C at 15:00 (bottom row). All times are CEST.

This week-spanning data can be plotted in histogram form for a deeper analysis. In Figure 5 we show the results as normalised spectra, green for vegetation, orange for conventional ceramic roof tiles. The left graph, containing all the aggregated data from that week, shows two distinct curves for the two different solutions. The ceramic distribution is fat tailed on its right side, reaching temperatures around 10 °C higher than the green distribution. Such tail comes from the presence of two opposed phenomena that gives the curve a bimodal character. In order to separate the two contributions, we show two additional graphs, first for only daylight hours (centre) and then for the rest of the day (left). The ceramic solution shows, during daylight, a wider distribution, according to its smaller thermal inertia, and is shifted towards higher temperatures. Specifically, both peaks have an 8 °C gap. For the rest of the day this shift is inverted, with a less pronounced shift of 2 °C.

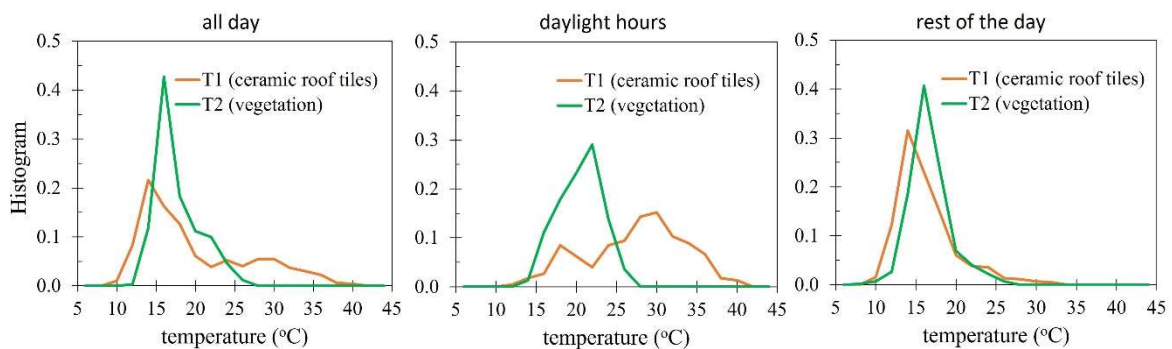


Figure 5. Normalised histograms of accumulated surface temperature data from the week shown in Figure 3. The left graph shows the normalised spectra of measured surface temperatures where all data has been taken into account. By contrast, the central graph only registers daylight hours (10:00-18:00), and the right graph shows the histogram for the remaining parts of the day. Vegetation and ceramic tile surfaces are plotted in green and orange, respectively.

3.2. Rainwater and runoff control

During a rain episode, the substrate of the green roof has the potential to store significant amounts of water. If the substrate has been recently irrigated or if a recent rain episode has occurred, this potential is then lowered. When the soil reaches a certain level of moisture, it begins to allow water into the harvesting circuit that leads to the storage tanks, although for light episodes, with less than 1 mm of rainfall, the filtration threshold is not reached and no water is harvested in the tanks. Both the rainfall and the tank-level time series are relevant to evaluate the runoff effect, so the time evolution of both need to be compared. It is expected for a rain episode to feature a time-delayed behaviour between the rain gauge readings and the distribution for the water volume rate in the tanks.

This is exactly what we observe. Figure 6 shows readings from two almost consecutive rain episodes, the first one on 2023-04-29T22:00 being light but with a mostly dry soil, and the second one (21 hours later on 2023-04-30T18:00) with more volume but starting with a moister substrate. The total rainfall of these events are 3.39 and 17.31 L per m², respectively. Since the roof has 79 m² of water harvesting area, these episodes approximately collected 265 and 1370 L, respectively.

The water tanks don't have a perfectly well-defined geometry, but their horizontal sections are approximately rectangular, so applying Cavalieri's principle we can integrate the total water volume at any time. In Figure 6, data from the rain gauge are already multiplied by the collecting area and data from the tanks are integrated so that both time series give either total volume (top graph) or its time rate (bottom graph). The bottom graph only shows a short time span corresponding to the second episode's rainfall duration, bounded in the top graph by two green dashed vertical lines.

It can be seen how the response curve from the tank shows a substantial hampering of the water flow. The long tail shown by the rate (bottom) graph indicates how the green roof slowly evacuates the rainfall, strongly regulating the runoff effect. In addition to that, the absolute volumes of water reaching the tanks do not correspond to the rainfall volumes, indicating that the substrate has a notable retention capacity. Readings of

soil moisture for these episodes (not shown) reveal that even after the second episode, such retention is not yet at full capacity.

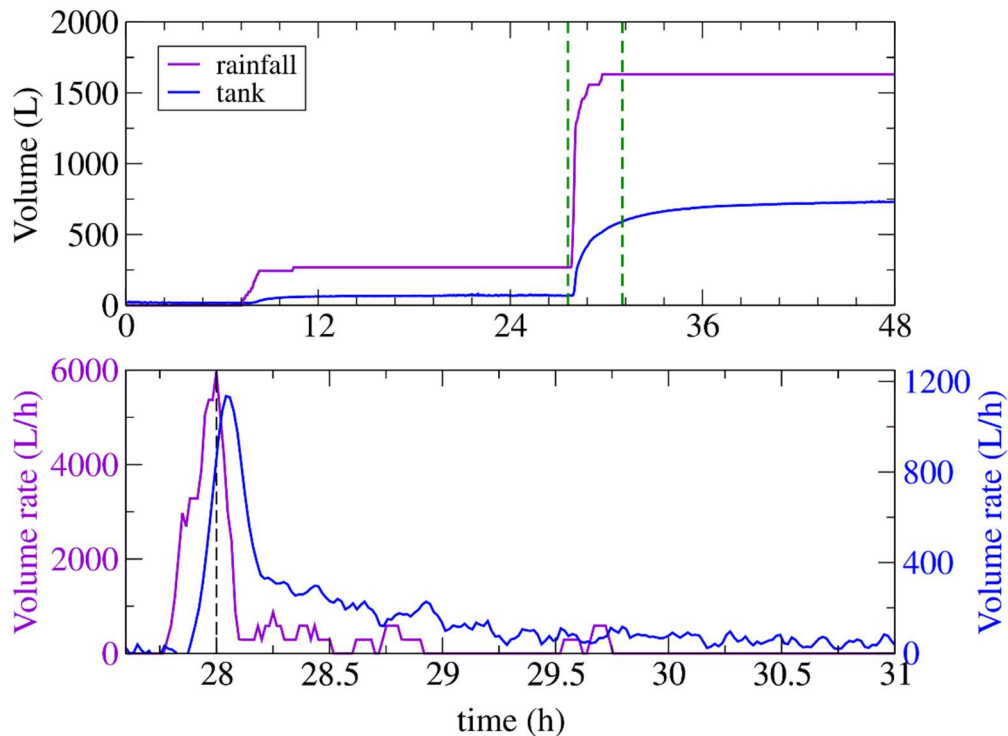


Figure 6. Readings from two rain episodes (2023-04-29T22:00 and 2023-04-30T18:00). The top graph shows the time series for rainfall (blue) and tank (violet) volume. The bottom graph shows the time derivative of the top graph but restricted to the time span bounded by the two green dashed vertical lines. It also features two different vertical states, to emphasise the relevant long tail measured at the tank. This tail is the most important aspect of the runoff management's quantification.

4 Conclusions

Green roofs are key players in urban areas in order to address the increasingly hard conditions associated with the climate emergency and the loss of biodiversity. Extreme temperatures, droughts and weather events are a call for urban architecture to be more resilient against these challenges and also to be kinder to Nature and all its inhabitants, human or not. However, all these claims need to be scientifically supported by data, without which policies favouring them would be hard to achieve. The green character of a solution does not only come from its colour but mainly from its ecological value, and this demands a thorough quantification of a wide variety of variables.

Consequently, quantitative data is needed from a large set of real-life cases, which makes the citizen-science approach indispensable. Expensive and difficult scientific equipment is not scalable neither economically nor practically. Our project aims to help closing this gap by developing simple monitoring approaches that provide fairly accurate data with only high-school-grade equipment. For this approach to work, extensive and user-friendly documentation is vital, and so is a set of social skills to motivate citizens to do science. In our experience, the latter is far more challenging than the former.

In this work we have presented preliminary results of two key aspects: surface temperatures and water management. Buildings in Mediterranean cities like Barcelona are exposed to increasingly high temperatures that reduce their thermal comfort and stress some of their constructive materials like the waterproofing layers on their roofs. Our results confirm that the presence of vegetation strongly reduces the daily temperature fluctuations of these materials, especially during daylight hours.

Also concerning is the increasing hydric stress due to severe drought episodes. We have studied a case of rainfall harvesting that alleviates the demand on the running water supply. In addition to this, the presence of a large volume of vegetation substrate strongly regulates the runoff effect that also alleviates the stress on the city's sewage system during torrential events.

There are many remaining challenges when monitoring green solutions, especially when assessing their true ecological value. For example, biodiversity indicators are not easily quantified, let alone automated. Furthermore, social and ethical questions, like whether green solutions are only accessible to the wealthy or whether the benefits and the comfort are just for humans at the expense of the ecosystem, are indispensable as well, and they can and should be quantified.

Acknowledgements

The "Verd de Proximitat BCN" project has received the funding support of Barcelona City Council and the "la Caixa" Foundation in the framework of the Barcelona Science Plan 2020-2023. The authors want to thank the contribution of the other members of the consortium, from IT4S Research Group (Universitat de Lleida), Verdical, Eixverd and TEBverd. The authors would also like to thank the Generalitat de Catalunya for the quality accreditation given to the GICITED Research Group (2021 SGR 01405).

References

- Baryła, A., Gnatowski, T., Karczmarczyk, A., & Szatyłowicz, J. (2019). Changes in temperature and moisture content of an extensive-type green roof. *Sustainability*, 11(9), 2498.
- Carretero Ayuso, M. J. (2021). Estudio de daños en cubiertas planas. In Estudio sectorizado de daños constructivos en España. https://fundacionmusaat.musaat.es/media/pdf/publicaciones/Memoria_resumen_cubiertas_planas.pdf
- Cascone, S. (2019). Green Roof Design: State of the Art on Technology and Materials. *Sustainability*, 11(11), 3020. <https://doi.org/10.3390/su11113020>
- Codeberg repository, https://codeberg.org/aleix_alva/weather_station, last accessed 2023/06/11.
- Coma, J., Pérez, G., Solé, C., Castell, A., & Cabeza, L. F. (2016). Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. *Renewable energy*, 85, 1106-1115.
- De Carvalho, R. M., & Szlafsztein, C. F. (2019). Urban vegetation loss and ecosystem services: The influence on climate regulation and noise and air pollution. *Environmental Pollution*, 245, 844–852. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.114>
- Ferrini, F., Fini, A., Mori, J., & Gori, A. (2020). Role of vegetation as a mitigating factor in the urban context. *Sustainability (Switzerland)*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/su12104247>
- Guattari, C., Evangelisti, L., Asdrubali, F., & De Lieto Vollaro, R. (2020). Experimental evaluation and numerical simulation of the thermal performance of a green roof. *Applied Sciences*, 10(5), 1767.
- Korol, S., Shushunova, N., & Shushunova, T. (2018). Innovation technologies in Green Roof systems. *MATEC Web of Conferences*, 193, 1–8. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819304009>
- Leung, D. Y. C., Tsui, J. K. Y., Chen, F., Yip, W.-K., Vrijmoed, L. L. P., & Liu, C.-H. (2011). Effects of Urban Vegetation on Urban Air Quality. *Landscape Research*, 36(2), 173–188. <https://doi.org/10.1080/01426397.2010.547570>
- Liu, H., Kong, F., Yin, H., Middel, A., Zheng, X., Huang, J., Xu, H., Wang, D., & Wen, Z. (2021). Impacts of green roofs on water, temperature, and air quality: A bibliometric review. *Building and Environment*, 196(December 2020), 107794. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107794>
- Mayrand, F., & Clergeau, P. (2018). Green roofs and green walls for biodiversity conservation: A contribution to urban connectivity? *Sustainability*, 10(4), 985. <https://doi.org/10.3390/su10040985>
- Ode Sang, Å., Thorpert, P., & Fransson, A. M. (2022). Planning, Designing, and Managing Green Roofs and Green Walls for Public Health – An Ecosystem Services Approach. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10(April), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.804500>

- Parsons, R., & Ulrich, R. (1990). Influences of experiences with plants on well-being and health. *The Role of Horticulture in Human Well-Being and Social Development*, August, 93–105.
- Raji, B., Tenpierik, M. J., & Van Den Dobbelsteen, A. (2015). The impact of greening systems on building energy performance: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 610-623.
- Sims, A. W., Robinson, C. E., Smart, C. C., Voogt, J. A., Hay, G. J., Lundholm, J. T. and O'Carroll, D. M. (2016). Retention performance of green roofs in three different climate regions. *Journal of Hydrology*, 542, 115-124.
- Susca, T., Gaffin, S. R., & Dell'Osso, G. R. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution*, 159(8–9), 2119–2126. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007>
- Threlfall, C. G., Mata, L., Mackie, J. A., Hahs, A. K., Stork, N. E., Williams, N. S. G., & Livesley, S. J. (2017). Increasing biodiversity in urban green spaces through simple vegetation interventions. *Journal of Applied Ecology*, 54(6), 1874–1883. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12876>
- Vijayaraghavan, K. (2016). Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 740–752. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.119>
- Williams, K. J. H., Lee, K. E., Sargent, L., Johnson, K. A., Rayner, J., Farrell, C., Miller, R. E., & Williams, N. S. G. (2019). Appraising the psychological benefits of green roofs for city residents and workers. *Urban Forestry and Urban Greening*, 44(May), 126399. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126399>
- Wooster, E. I. F., Fleck, R., Torpy, F., Ramp, D., & Irga, P. J. (2022). Urban green roofs promote metropolitan biodiversity: A comparative case study. *Building and Environment*, 207, 108458. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108458>
- Xing, Y., & Jones, P. (2021). In-situ monitoring of energetic and hydrological performance of a semi-intensive green roof and a white roof during a heatwave event in the UK. *Indoor and Built Environment*, 30(1), 56-69.

Potential of bio-based pozzolanic additions for cementitious materials

Arias Cárdenas, Brenda^a, Navarro Ezquerra, Antonia^a, Lacasta Palacio, Ana^a y Haurie Ibarra, Laia^a

^a Universitat Politècnica de Catalunya · BarcelonaTech (UPC). Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona. Avda. Doctor Marañón, 44, 08028 Barcelona, Spain.

brenda.arias@upc.edu, antonia.navarro@upc.edu, laia.haurie@upc.edu, ana.maria.lacasta@upc.edu

Abstract

Pozzolanic additions are siliceous or aluminous materials that in the presence of water react with calcium hydroxide and form compounds with cementitious abilities. Despite pozzolans take their name from the volcanic scoria from Pozzuoli, they can have different origins. Industrial by-products like fly ash or blast furnace slag show pozzolanic activity and are incorporated in cement formulations.

Forest, agricultural and other plant-based residues that are used as biomass leave ashes as a residue. If the amount of ashes is significant and the composition of these ashes is rich in silica it could be an interesting source of pozzolans from a natural and renewable origin. In this abstract it is presented a preliminary study to evaluate the feasibility of different ashes from bio-based origin as pozzolanic material.

In this work, there have been obtained and characterized ashes from different plant residues: sun flower rind and pith, corn rind and pith, rice husk, *Posidonia oceanica*, olive pit, olive tree branches. In order to evaluate the influence of the temperature on the properties of the ashes different calcination methods were used to obtain the ashes. The chemical composition was evaluated by means of X ray fluorescence, the crystalline phases were determined by X ray diffraction and Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy was used to identify the molecules. This step helped us to select the ashes with potential as pozzolan additions for a further investigation.

The results show that the use of biomass as a source of pozzolanic additions is possible if some requirements regarding the characteristics of the ashes are achieved.

Keywords: Bio-based residues, Ash, Pozzolans, Additions.

1. Introduction

Waste management and reduction is a concern in all productive sectors for its impact on the environment. In the agricultural and forestall industries these residues are widely used to produce biomass, a renewable source of energy. Nevertheless, in the incineration process is produced a new residue, the ashes.

In Spain, every year around 0,44Mt of incineration bottom ashes are produced. The lack of legislation and regulations in many countries, among others factors, lead most countries to depositing the ash in dumps. In the region of Catalonia exist a regulation for the reutilization of the minerals of the incineration of the bottom ashes, “Ordre 15 de febrer de 1996, sobre valorització d’escòries” (Blasenbauer, Huber, Lederer, Quina, Blanc-Biscarat, Bogush, Bontempi, Blondeau, Chimenos, Dahlbo, Fagerqvist, Giro-Paloma, Hjelmar, Hyks, Keaney, Lupsea-Toader, O’Caollai, Orupöld, Pająk, Simon, Svecova, Šyc, Ulvang, Vaajasaari, Van Caneghem, van Zomeren, Vasarevičius, Wégner, Fellner 2020). However, this legislation only affects the mineral part of the ashes that is reused in road subbase, levelling of terrain and embankments, filling and restoration of degradable areas from extractive activities and others.

The chemical composition of the ashes depends on the nature of the waste material burned in the incineration plant. There are two types of incineration plants in Catalonia depending on the origin of the waste, biomass residues coming from the agricultural, forestry and livestock sector or municipal solid waste (MSW) from the urban residues or a mix of both, urban and biomass. The ashes coming from the MSW are a mixture of slag, metals and non-incineration materials (Maldonado-Alameda, Giro-Paloma, Alfocea-Roig, Formosa, Chimenos 2020). In different researches it has been investigated the composition of the bottom ashes produced in the MSW and used in various construction materials, such as clay bricks or cements (Cho, Nam, An, Youn 2020; Saleh, Rahmat 2019; Pitak, Baltušnikas, Kalpokaitė-Dičkuvienė, Kriukiene, Denafas 2022; Zanoletti, Ciacci 2022). On the other hand, the ashes coming from just biomass residues present a different composition, a complex inorganic-organic mixture with polycomponents, heterogeneous and variable composition (Vassilev, Baxter, Andersen, Vassileva 2013). Biomass ashes are a potential source of a pozzolanic addition for cements or mortars of bio-based origin (Setina, Gabrene, Juhnevica 2013). Nonetheless in many studies, as the biomass ashes are obtained from a mixture of residues, it is not possible to know the influence of each waste on the chemical composition of the ashes, only a few of them studied one or more than one residue specifically. In one of these studies it has been demonstrated that the ashes of rice husk have a high percentage of silica, and it has been used as a pozzolanic addition for cement (Hakeem, Agwa, Tayeh, Abd-Elrahman 2022; Siddika, Mamun, Alyousef, Mohammadhosseini 2021). Therefore, in the present study there have been evaluated the composition and characteristics of the ashes from different plant residues in order to analyse their potential as pozzolanic addition.

2. Objectives

The aim of this research is the characterization of different plant residues in the form of ashes to know the possible uses of these materials as additions in cements with the objective of finding new pozzolanic materials. The amount of silicon and aluminium oxides is related to the possible pozzolanic activity of the studied materials. Furthermore, the presence of calcium oxide can also be of interest because it can promote latent hydraulicity, which means that the ashes would react adding water. Another aim of this study is the development of a characterization method that helps to evaluate if a material has potential as pozzolanic addition before mixing it with cement. The characterization was done by X ray fluorescence, X ray diffraction and FTIR.

3. Materials and methodology

3.1 Materials

In order to evaluate the potential of different plants, there have been selected samples from different bio-based residues. Initially 8 bio-based materials were considered: rice husk (CA), olive tree branches (BO), shredded olive pit from Jaén (ÓO), *Posidonia oceanica* (Po), mix of corn rind and pith (BBM), corn pith (MBM), mix of sunflower rind and pith (BG) and sunflower rind (EG). In addition, a sample of diatoms (Di) was characterized in order to compare the results of the biomass ashes with a material already known to have pozzolanic activity. The sample of MBM was discarded due to the big loss of material in the incineration. The ashes have been obtained from calcination at two temperatures, 600°C and 900°C. Before the incineration process the samples have been dried in a stove at 80°C for 24h. The samples incinerated have followed the next procedure: first the raw materials were dried in the stove, afterwards they have been calcined with a heating rate of 4.8 °C/min from 25°C to the set temperature (600 or 900°C) and kept for 4 hours before cooling down.



Figure 1. Raw samples in the oven



Figure 2. Incinerated samples

3.2 Methodology

The obtained ashes were characterized using the following techniques:

3.2.1 X Ray Fluorescence.

The chemical characterization was assessed by X ray fluorescence (XRF) analysis with a sequential X-ray spectrophotometer by wavelength dispersion (WDXRF) Panalytical, Axios PW 4400/40 with the software Ardius II desolvator sample introduction system, at the CCiTUB laboratories of the Universitat de Barcelona.

3.2.2 X Ray Diffraction.

The X Ray Diffraction (XRD) is a technique for analysing the atomic or molecular structure of materials. This analysis has been realised at the CCiTUB laboratories of the Universitat de Barcelona with a PANalytical X'Pert PRO MPD alpha1 powder diffractometer in Bragg-Brentano $\theta/2\theta$ geometry of 240 millimetres of radius Cu K α radiation ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$). Work power: 45 kV – 40 mA. Focalizing Ge (111) primary monochromator Variable automatic divergence slit to get an illuminated length in the beam direction of 10 millimetres. Mask defining a length of the beam over the sample in the axial direction of 12 millimetres Diffracted beam 0.04 radians Soller slits PIXcel Detector: Active length = 3.347 o. $\theta/2\theta$ scan from 4 to 100 o 2θ with step size of 0.026 o and measuring time of 200 seconds.

3.2.3 FTIR Spectroscopy

Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy analysis is used to identify different molecules and also crystalline or amorphous compounds, as well as to gather mineralogical information. The spectral zone is comprehended in three regions: near-infrared (12500 cm^{-1} – 4000 cm^{-1}), mid-infrared (4000 cm^{-1} – 200 cm^{-1}) and far-infrared (200 cm^{-1} – 10 cm^{-1}). In this study the analysed region is the mid-infrared, especially in the area between 1500 cm^{-1} and 450 cm^{-1} , called fingerprint region (Ramírez-Hernández, Aguilar-Flores, Aparicio-Saguilán 2019). In this region each compound has a unique molecular vibration and it can be very useful to characterize chemical compounds, despite being a difficult area to analyse.

The FTIR used in this research is a Spectrum Two 93428 with the software NIOS2 Main 00.02.0009, at the Faculty of Chemistry of the Universitat de Barcelona. The samples were analysed from powder using the ATR accessory.

4. Results and discussion

4.1. XRF

The pozzolanic effect in the materials is determined by the quantity of silicon and aluminium oxides, due to the reaction of these compounds with calcium hydroxide to produce hydraulic compounds. The bio-based ashes analysed were obtained at 600°C , except for the ÓO sample, where the ashes at 900°C were used. The ashes of ÓO obtained at 600°C gave problems during the glass bead preparation, probably due to an excess of organic matter still remaining at 600°C . It is expected that the incineration temperature does not affect significantly the XRD results as long as the organic matter is removed. The results of XRF are shown in Table 1 and figure 3. CA presents a great amount of SiO_2 (91,96%) followed by BBM (39,93%) and ÓO (35,57%). The sample of diatoms have as well a large percentage of silica 85,54% as it was expected.

Table 1. Oxide Composition XRF analysis

	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O
Po	0,52	0,02	0,04	15,49	1,50	0,17	4,68	0,88	8,80	26,48
BG	0,95	0,03	0,14	20,03	26,06	1,74	10,79	2,47	6,91	1,79
BBM	2,92	0,08	0,38	15,09	14,32	4,26	39,93	6,97	4,25	0,84
EG	0,90	0,03	0,13	18,68	27,61	1,84	10,24	2,41	6,76	1,59
CA	0,07	0,27	0,01	1,27	3,83	0,82	91,96	0,07	0,59	0,12
ÓO	1,65	0,10	0,17	35,95	3,23	4,22	35,57	6,07	10,96	1,44
Di	0,36	0,00	0,05	11,23	0,15	0,11	85,54	1,01	0,40	1,46
BO	2,40	0,06	0,31	36,48	3,56	1,09	19,52	5,45	3,59	0,23

The presence of significant amounts of CaO, in the materials that already have a high percentage of Si or Al, is very interesting because calcium oxide can lead to latent hydraulicity. The results of XRF show that the ashes with a promising balance between CaO and SiO_2 , are the next ones: ÓO because it is the material with more percentage of CaO (36,48%) and SiO_2 (35,57%), followed by BO with 36,48% and 19,52% of SiO_2 , BBM with CaO 15,09% and SiO_2 39,93%, BG 20,03% of CaO and 10,79% of SiO_2 and EG with CaO 18,68% and 10,24% of SiO_2 .

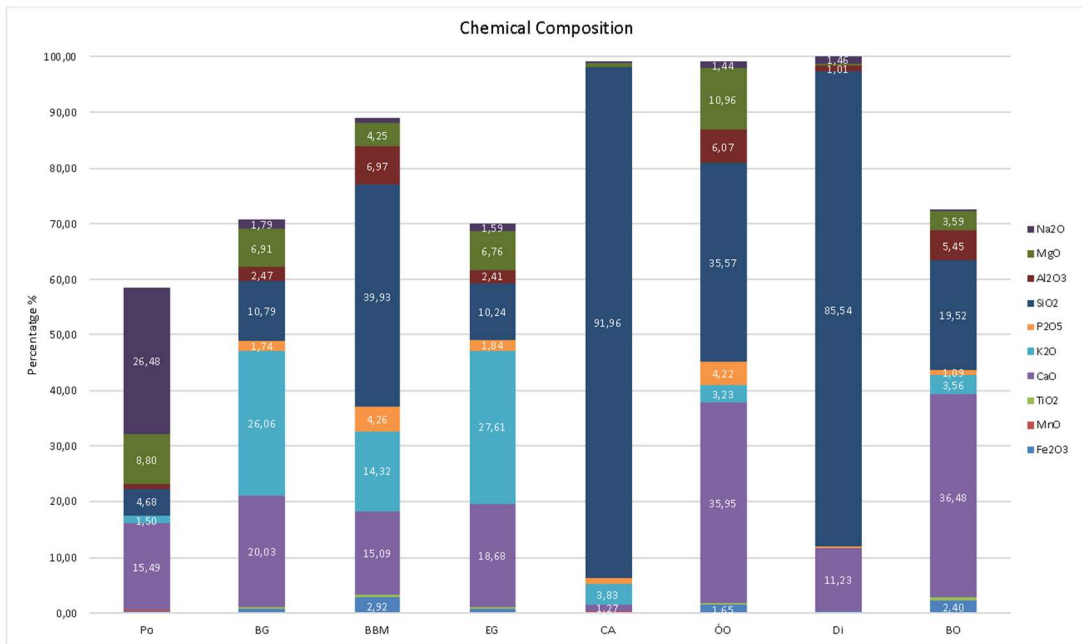


Figure 3. Oxide Composition XRF analysis

The materials with a high content of CaO could be interesting for other applications due to the stabilisation properties of calcium in expansive soils, which can improve the bearing capacity of the soils. Another property of the mixture of calcium oxide with silicon, aluminium and iron compounds as cement additions is the improvement of the mechanical behaviour, increasing the compressive strength and modulus of elasticity (Cabrera, Díaz-lópez, Agrela, Rosales 2020).

Two of the materials with a high content of CaO and SiO₂ have as well a promising combination of CaO with silicon, aluminium and iron, opening a new use for those one. The BBM presents 2,92% of Fe₂O₃, 15,09% of CaO, 39,93% SiO₂ and 6,97% of Al₂O₃, as well as BO with 2,40% of Fe₂O₃, 36,48% of CaO, 19,52% SiO₂ and 5,45% of Al₂O₃. In further research, the addition of these ashes could be studied to evaluate their effect on the mechanical behaviour of the cement.

4.2. XRD

Only the materials with a high content of SiO₂ or with a promising combination of CaO and SiO₂ have been analysed by X-ray diffraction. In total are 4 samples, BO, BBM, CA and OO. The main minerals and crystalline phases of each sample are shown in Table 2. It can be observed that the composition of the samples is variable and depends on the temperature of incineration.

In the case of BO at 600°C, the main crystalline phase is rich in calcite (CaCO₃), quartz (SiO₂), dehydroxylated muscovite (KAlSi₃O₁₁) and dolomite (CaMg(CO₃)₂), otherwise, the same material but with a different temperature of incineration, 900°C presents a very different composition with calcium oxide (CaO) as the main phase of crystallization followed for periclase (MgO), quartz (SiO₂) and with larnite (Ca₂SiO₄), grossite (CaAl₄O₇) and potassium aluminium silicate (KAlSiO₄) also identified as a minor crystalline phases. This change in the composition is produced by the decomposition of dolomite at 750°C approximately and the calcite at 850°C forming calcium oxide and periclase. The other two components that appear in the 900°C samples, larnite and grossite (hydraulic compounds) are formed by the decomposition of dehydroxylated muscovite at 900°C and the mix with the carbonates (CaO₃ and CaMg(CO₃)₂). Quartz (SiO₂), reminds stable in both cases.

The observations for BBM sample are very similar to the case already exposed, in the 600°C sample the main crystalline phases are calcite, quartz, and dehydroxylated muscovite, but in this case the

last mineral is albite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) instead of dolomite. BBM at 900°C also presents similarities to BO 900°C, the main crystalline phases are the same minerals, calcium oxide, periclase and quartz, but unlike the previous one the new minerals are parawollastonite (CaSiO_3), potassium oxide (K_2O) and calcium iron oxide ($\text{Ca}_4\text{Fe}_{14}\text{O}_{25}$). The parawollastonite (CaSiO_3) is a hydraulic neoformation of the decomposition of the dehydroxylated muscovite ($\text{KAlSi}_3\text{O}_{11}$) and the reaction with the calcium oxide.

Table 2. Mineral Composition XRD analysis

MINERALS		SAMPLE							
		BO		BBM		CA		ÓO	
		600°C	900°C	600°C	900°C	600°C	900°C	600°C	900°C
CALCIA	CaO	-	X	-	X	-	-	-	X
PERICLASE	MgO	-	X	-	X	-	-	-	X
QUARTZ	SiO ₂	X	X	X	X	-	-	-	-
CALCITE	CaCO ₃	X	-	X	-	-	-	X	-
LARNITE	Ca ₂ SiO ₄	-	X	-	-	-	-	-	-
GROSSITE	CaAl ₄ O ₇	-	X	-	-	-	-	-	-
POTASSIUM ALUMINUM SILICATE	KAlSiO ₄	-	X	-	-	-	-	-	-
DOLIMITE	CaMg(CO ₃) ₂	X	-	-	-	-	-	-	-
DEHYDROXYLATED MUSCOVITE	KAl ₃ Si ₃ O ₁₁	X	-	X	-	-	-	-	-
ALBITE	NaAlSi ₃ O ₈	-	-	X	-	-	-	-	-
PARAWOLLASTONITE	CaSiO ₃	-	-	-	X	-	-	-	-
POTASSIUM OXIDE	K ₂ O	-	-	-	X	-	-	-	-
CALCIUM IRON OXIDE	Ca ₄ Fe ₁₄ O ₂₅	-	-	-	X	-	-	-	-
SILICE	SiO ₂	-	-	-	-	X	-	-	-
CRISTOBALITE	SiO ₂	-	-	-	-	-	X	-	-
TRIDYMITE/ITM/RG	SiO ₂	-	-	-	-	-	X	-	-
FAIRCHILDITE	K ₂ Ca(CO ₃) ₂	-	-	-	-	-	-	X	X
TALC-2/ITM/RG	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	-	-	-	-	-	-	X	-
ANORTHITE	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	-	-	-	-	-	-	X	-
MAGNESIUM PHOSPHATE	Mg ₃ (PO ₄) ₂	-	-	-	-	-	-	-	X
ALUMINIUM OXIDE	Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	X
PIGEONITE	(Fe, Mg, Ca) SiO ₃	-	-	-	-	-	-	-	X

CA sample at 600°C presents an amorphous phase of the quartz in form of silica, but this form changed as the temperature increased up to 900°C because the silica reorganizes into the form of cristobalite and tridymite, these minerals are quartz at high temperatures in a crystalline phase.

The last analysed sample, ÓO, shows a similar process between 600°C and 900°C, as observed in the previous cases. The sample at 600°C presents calcite that decomposes at 900°C to form the calcium oxide and periclase. The difference in the XRD is that in this case appeared new components as fairchildite ($\text{K}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$), talc-2/ITM/RG ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) and anorthite ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$).

The fairchildite appears in zones of fusion of ashes in contact with the remains of trees, which explains why it appeared in this case, because the ÓO sample is the olive pit and it is possible that it contains remains of trees. This mineral remains in the two temperatures of incineration. Another difference between this sample and BO and BBM, is that ÓO does not present neoformations like larnite, grossite and parawollastonite, because the sample does not have dehydroxylated muscovite ($\text{KAlSi}_3\text{O}_{11}$) which is the mineral that produces these neoformations. For that reason, the olive pit (ÓO) probably will probably not exhibit pozzolanic activity.

The different spectra of each sample are shown in the next figures. The first one (Figure 4) presents the XRD results of BO at 600°C and 900°C. Figure 5 shows the difference between the spectra of BBM 600°C and 900°C, as well as figure 6 with CA samples. ÓO spectra are shown in figure 7. Finally, figures 8 and 9, present the four spectra of samples at 600°C and the four ones for samples at 900°C, respectively.

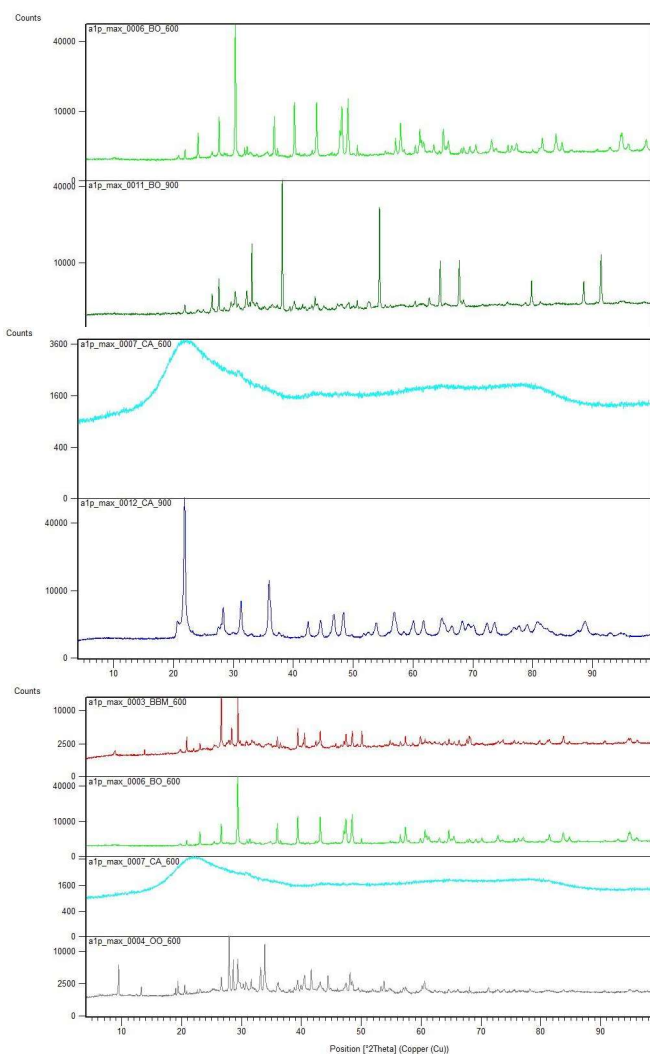


Figure 4. XRD Spectrum BO 600-900

Figure 6. XRD Spectrum CA 600-900

Figure 8. XRD Spectrum 600 samples

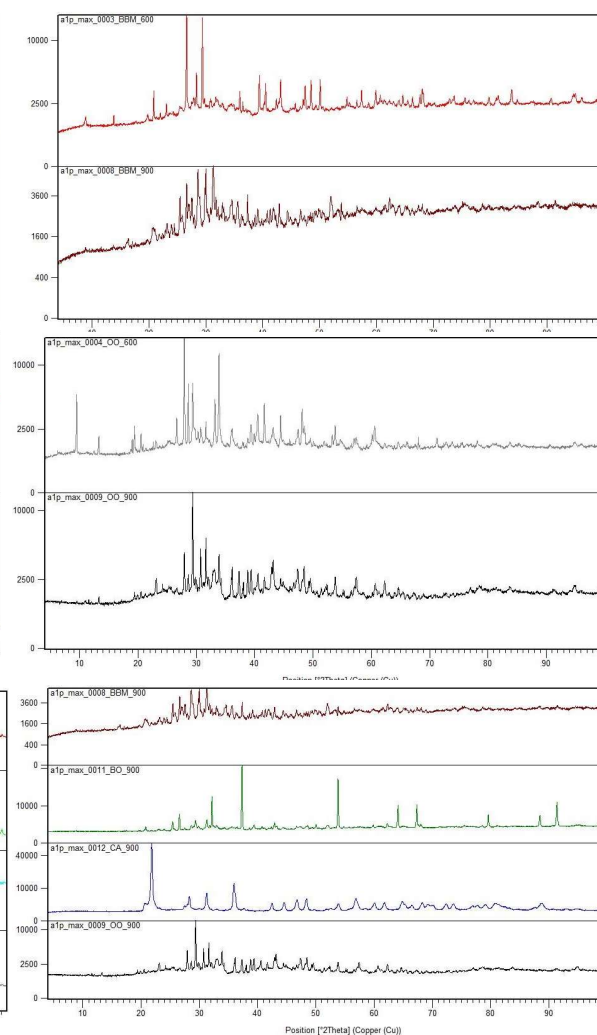


Figure 5. XRD Spectrum BBM 600-900

Figure 7. XRD Spectrum ÓO 600-900

Figure 9. XRD Spectrum 900 samples

4.3. FTIR

The FTIR spectroscopy of the samples shows how all the peaks are in the fingerprint area, each peak indicates a different bonding depending on the wavelength where it occurs. According to previous studies the peaks at 1430 cm^{-1} and 876 cm^{-1} ($\pm 20\text{ cm}^{-1}$) correspond to the C-O bonding of CaCO_3 , the peak in the 1035 cm^{-1} region indicate Si-O bonding. The Al-OH-Al it could be found in the 920 cm^{-1} vibration peaks, meanwhile Si-O and Si-O-Al vibrations were detected in the 790 cm^{-1} and 690 cm^{-1} respectively, also the Si-O-Al it could be found as well close to 530 and 460 cm^{-1} area (Pitak, Baltušnikas, Kalpokaitė-Dičkuvienė, Kriukiene, Denafas 2022).

The analysis of the spectra has been done with the information found in the literature together with the results of XRF. Figure 10 shows the identified FTIR spectra at 600 and 900°C. It can be observed that some of the peaks that appear at 600°C disappear at 900°C.

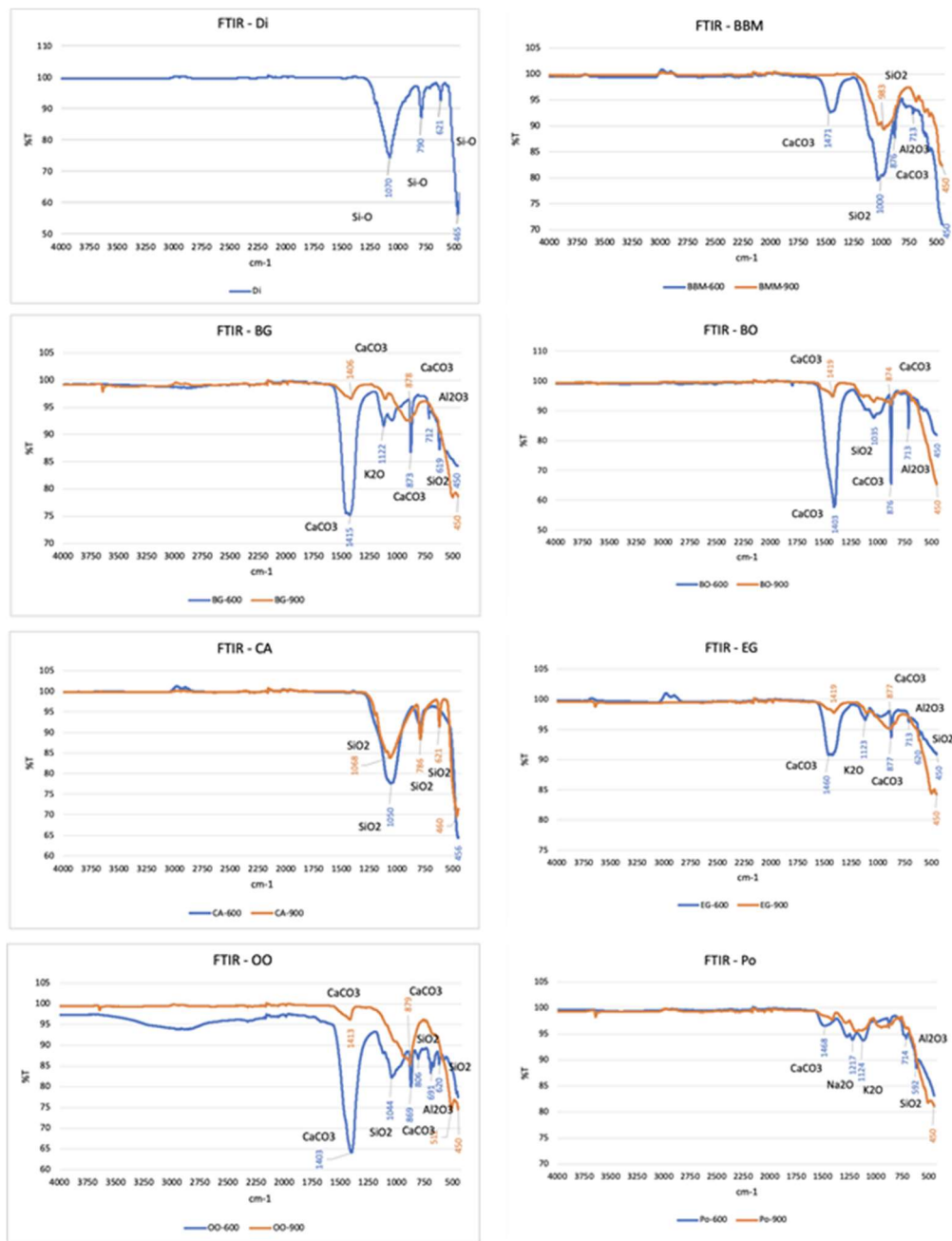


Figure 10. FT-IR graphic analysis with the chemical components

Some of the peaks have not been found in previous articles and they have been assigned according with the XRF results. The peak at 1217 cm^{-1} in Po sample, could correspond with the Na_2O molecule because Po has a significant amount of sodium as it can be observed in XRF.

All the materials with a significant percentage of K_2O , as BG, EG and Po show the same peak around 1120 cm^{-1} that could indicate that this peak corresponds to the K_2O molecule. Following the same logic and knowing that the 690 cm^{-1} peak is for Si-O-Al bonding it has been defined that the peak around 710 cm^{-1} corresponds to the Al_2O_3 molecule, as well as the peak at 600 cm^{-1} could be caused by SiO_2 .

5. Conclusions

Based on the experimental characterization work performed on the ashes of different waste materials from agricultural, forestry and vegetal origin, specifically sun flower stalk, corn stalk, rice husk, *Posidonia oceanica*, olive pit, olive tree branches, the following conclusions can be drawn:

- Some of the studied materials present a significant amount of SiO₂ which means that they have potential as pozzolanic additions for cements. The ashes with higher percentage of SiO₂ are rice husk (CA) with 91,96%, the mix of corn rind and pith (BBM) with 39,93% and olive pit (ÓO) with 35,57%.
- The combination of CaO with silicon or aluminium compounds in the composition of the ashes is very interesting for the pozzolanic reaction because the content of CaO can produce the effect of latent hydraulicity. This means that once added to the cement the ashes would only need the presence of water to start the cement setting process. The results of XRF show that the ashes obtained from olive pit, olive tree branches, corn rind and pith, and sunflower residues have a promising balance between CaO and SiO₂.
- The ashes with high content of CaO could have other application as an expansive soils' stabilization and in the presence of silicon, aluminium and iron compounds, they could also be a good addition to improve the mechanical behaviour of cements. The BBM and BO ashes present a promising combination of these elements as well as BO, and it could be a new possible application of the ashes, opening a new line of research.
- The behaviour of the chemical structure of the ashes varies according to the incineration temperature of the oven. The main crystalline phases of each material change substantially depending on the incineration temperature.
- The ashes that present the best conditions in the three experiments carried out and that therefore may be candidates to present a better performance as pozzolanic additions are the ashes of CA at 600°C, BO at 900°C and BMM at 900°C, these last ones have also the advantage of a possible latent hydraulicity.

This study opens new lines to investigate the additions of biomass ashes to cementitious materials.

Acknowledgment

The authors would like to acknowledge the funding support received under the grant MCIN/AEI/10.13039/501100011033 PID2020-117530RB-I00.

References

- BLASENBAUER, Dominik, HUBER, Florian, LEDERER, Jakob, QUINA, Margarida J., BLANC-BISCARAT, Denise, BOGUSH, Anna, BONTEMPI, Elza, BLONDEAU, Julien, CHIMENOS, Josep Maria, DAHLBO, Helena, FAGERQVIST, Johan, GIRO-PALOMA, Jessica, HJELMAR, Ole, HYKS, Jiri, KEANEY, Jackie, LUPSEA-TOADER, Maria, O'CAOLLAI, Catherine Joyce, ORUPÖLD, Kaja, PAJAŁ, Tadeusz, SIMON, Franz Georg, SVECOVA, Lenka, ŠYC, Michal, ULVANG, Roy, VAAJASAARI, Kati, VAN CANEGHEM, Jo, VAN ZOMEREN, Andre, VASAREVIČIUS, Saulius, WÉGNER, Krisztina and FELLNER, Johann, 2020. Legal situation and current practice of waste incineration bottom ash utilisation in Europe. *Waste Management*. 1 February 2020. Vol. 102, p. 868–883. DOI 10.1016/j.wasman.2019.11.031.
- CABRERA, Manuel, DÍAZ-LÓPEZ, José Luis, AGRELA, Francisco and ROSALES, Julia, 2020. Eco-efficient cement-based materials using biomass bottom ash: A review. 2 November 2020. MDPI AG.
- CHO, Byoung Hooi, NAM, Boo Hyun, AN, Jinwoo and YOUN, Heejung, 2020. Municipal solid waste incineration (MSWI) ashes as construction materials-a review. 1 July 2020. MDPI AG.

- HAKHEEM, Ibrahim Y., AGWA, Ibrahim Saad, TAYEH, Bassam A. and ABD-ELRAHMAN, Mahmoud H., 2022. Effect of using a combination of rice husk and olive waste ashes on high-strength concrete properties. *Case Studies in Construction Materials*. 1 December 2022. Vol. 17. DOI 10.1016/j.cscm.2022.e01486.
- MALDONADO-ALAMEDA, Àlex, GIRO-PALOMA, Jessica, ALFOCEA-ROIG, Anna, FORMOSA, Joan and CHIMENOS, Josep Maria, 2020. Municipal solid waste incineration bottom ash as sole precursor in the alkali-activated binder formulation. *Applied Sciences (Switzerland)*. 1 June 2020. Vol. 10, no. 12. DOI 10.3390/APP10124129.
- PITAK, Inna, BALTUŠNIKAS, Arūnas, KALPOKAITĖ-DIČKUVIENĖ, Regina, KRIUKIENE, Rita and DENAFAS, Gintaras, 2022. Experimental study effect of bottom ash and temperature of firing on the properties, microstructure and pore size distribution of clay bricks: A Lithuania point of view. *Case Studies in Construction Materials*. 1 December 2022. Vol. 17. DOI 10.1016/j.cscm.2022.e01230.
- RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, Aurelio, AGUILAR-FLORES, Celia and APARICIO-SAGUILÁN, Alejandro, 2019. Fingerprint analysis of ftir spectra of polymers containing vinyl acetate. *DYNA (Colombia)*. 1 April 2019. Vol. 86, no. 209, p. 198–205. DOI 10.15446/dyna.v86n209.77513.
- SALEH, Ani Maslina and RAHMAT, Mohamad Nidzam, 2019. Potential Use of Municipal Solid Waste Ash (MSWA) As Sustainable Construction Bricks. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Institute of Physics Publishing. 19 November 2019. DOI 10.1088/1757-899X/620/1/012073.
- SETINA, Janina, GABRENE, Alona and JUHNEVICA, Inna, 2013. Effect of pozzolanic additives on structure and chemical durability of concrete. In: *Procedia Engineering*. Elsevier Ltd. 2013. p. 1005–1012. DOI 10.1016/j.proeng.2013.04.127.
- SIDDIKA, Ayesha, MAMUN, Md Abdullah Al, ALYOUSEF, Rayed and MOHAMMADHOSSEINI, Hossein, 2021. State-of-the-art-review on rice husk ash: A supplementary cementitious material in concrete. 1 July 2021. King Saud University.
- VASSILEV, Stanislav V., BAXTER, David, ANDERSEN, Lars K. and VASSILEVA, Christina G., 2013. An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase-mineral and chemical composition and classification. March 2013.
- ZANOLETTI, Alessandra and CIACCI, Luca, 2022. The Reuse of Municipal Solid Waste Fly Ash as Flame Retardant Filler: A Preliminary Study. *Sustainability (Switzerland)*. 1

Análisis de la vulnerabilidad sísmica de edificios de obra de fábrica mediante un modelo de macroelementos no lineales

Figuroa Martín, María del Carmen^a y Gallego Sevilla, Rafael^b

^a SDS design engineers, c/ San Pablo 25, 04738 Vicar (Almería), mfiguroamartin@gmail.com, ^b E.T.S. Ingeniería de Caminos, C. y P., Universidad de Granada, Avda Fuentenueva s/n, 18071 Granada, gallego@ugr.es

Abstract

This work focuses on the analysis of the seismic vulnerability of the Hotel Colón building (Granada), chosen because it is considered an outstanding example of 20th century architecture in the city, based on unreinforced masonry.

The methodology used for this purpose is based, to a large extent, on that established in the ATC-40 and FEMA-440, although without neglecting the European (Eurocode 8) and national (NCSE-02) standards. Based on the procedure proposed in both documents, the capacity curve of the building is obtained after the definition of the elastic design spectrum from a nonlinear analysis, which, subsequently, must be transformed into a capacity spectrum. For this first phase of analysis, use is made of the *3Muri*TM software, which is based on the modeling of buildings by means of equivalent frames that includes several macro-element for the simulation of masonry and non-masonry structural elements. Once the capacity spectrum is known, it will be possible to define the different damage thresholds of the building through the equations proposed in Risk-EU and, later, the composition of each of the fragility curves associated to each damage state. Finally, the expected seismic damage is obtained using the probability matrices, which indicate the probability of occurrence of one damage state or another for a given seismic demand.

From the point of view of the numerical results obtained, these show a moderate seismic vulnerability of the building. Nevertheless, and as it is shown during the development of the work, there are several factors that are outside the scope of this analysis but that, nevertheless, must be considered, such as the possible action of the adjacent buildings or the type of failures considered by the software used.

Keywords: Masonry buildings, Macro-element analysis, Equivalent frames, Seismic vulnerability, Capacity spectrum

1. Introducción

Las construcciones de fábrica, ya sean mediante piedra, ladrillo o adobe, surgieron con los primeros asentamientos permanentes, la agricultura, la fundación de ciudades y, en definitiva, con la propia civilización. Estas técnicas constructivas fueron evolucionando en cuanto a sus materiales y ejecución se refiere, combinándose con nuevos elementos como los pilares de fundición (Huerta, 2004).

Sin embargo, la llegada de la *arquitectura moderna*, es decir, aquella ejecutada a base de estructuras porticadas, desplazó en gran medida el interés por estas construcciones, su uso, su historia, el estudio de su comportamiento ante ciertas situaciones límite, etc.

Este desinterés comenzó a revertirse durante la última década del siglo pasado, iniciándose y llevándose a cabo numerosas investigaciones, estudios y análisis desde enfoques diversos pero con un objetivo común, es decir, la ampliación del conocimiento de las estructuras de obra de fábrica como puede verse en Caicedo et al., (1994), Fajfar (1999), Bonett (2003) y Lagomarsino y Giovinazzi (2006). Con respecto a los estudios centrados exclusivamente en el estudio de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras de fábrica, destacan especialmente las investigaciones llevadas a cabo por Abrams (2000), Bruneau (1994) y Park y otros (2009).

Todos estos esfuerzos por analizar y estudiar la respuesta sísmica de las estructuras a través de distintas metodologías están enfocados, en gran medida, a la elaboración posterior de los conocidos como *Escenarios de Daño Sísmico*, donde se establece, entre otros aspectos fundamentales, las principales vías de evacuación de una ciudad, lo cual resulta imprescindible para intentar minimizar las pérdidas humanas así como materiales.

En este sentido y centrando la atención en la zona de estudio analizada, es decir, la ciudad de Granada, es posible observar fácilmente que, uno de esos

En la ciudad de Granada de los 56 edificios que conforman la Gran Vía de Colón, 50 de ellos, es decir, cerca del 90%, poseen estructuras de fábrica de ladrillo (Martínez-Ramos, 2016).

El edificio Hotel Colón resulta una acertada elección de estudio no solo por su configuración estructural mediante muros de fábrica, sino también por las numerosas transformaciones que ha sufrido, especialmente su planta baja, con intervenciones que acabaron por modificar por completo, su esquema estructural en dicho nivel.

Este trabajo tiene como objetivo fundamental, aportar cuántos resultados y conclusiones sean extraídos de cara a poder contribuir en esa ardua labor que es, la de conocer con la mayor exactitud posible, el patrimonio inmueble construido mediante estructuras de obra de fábrica usando para ello, un modelo de macroelementos no lineales modelado a través del software *3Muri™*, cuyos fundamentos se desarrollarán más adelante.

2. El caso de estudio: el edificio Hotel Colón

2.1. Construcción y alteraciones del edificio

El edificio Hotel Colón fue proyectado por los arquitectos Juan Montserrat Vergés y Francisco Giménez Arévalo, para la Sociedad Constructora y Propietaria del Hotel Colón, en el año 1906, encontrándose éste en un enclave privilegiado puesto que, junto al edificio del Banco Central, conforman el acceso a la Gran Vía de Colón desde la zona centro de la ciudad, abriéndose, igualmente, a las calles Reyes Católicos y Zacatín.

El expediente de licencia asociado al mencionado edificio, permite conocer que, el edificio en su origen, poseía un único acceso principal a través de la calle Reyes Católicos, el cual, mediante un escalinata, daba paso al patio central cubierto y ovalado que conectaba con el resto de estancias de la planta baja, así como con las habitaciones distribuidas en las plantas superiores a través de la escalera central.

No obstante, el elemento posiblemente más destacado del conjunto sea, el pabellón circular localizado en el vértice de unión entre la calle Reyes Católicos y la Gran Vía de Colón presente además, en todos los niveles y con una decoración en fachada similar a la del resto del conjunto (Figura 1).

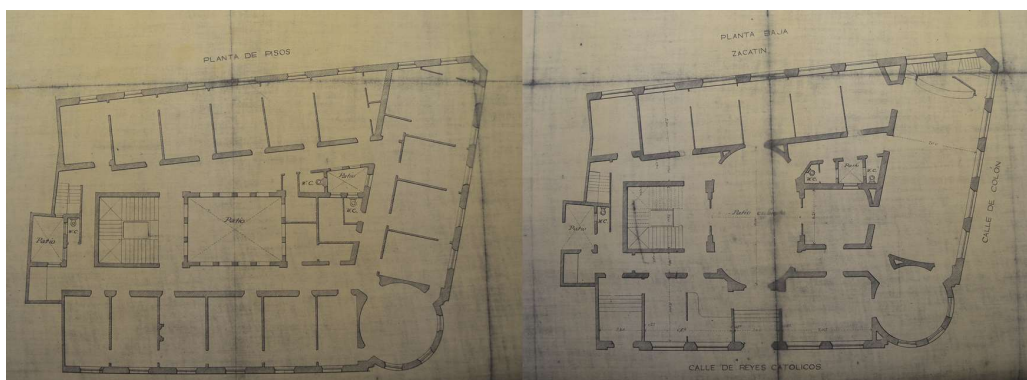


Figura 1. Planimetría presentada junto a la solicitud de licencia de 1905

Fuente: Archivo Histórico Municipal de Granada

Sin embargo, y a pesar de todos los esfuerzos volcados en la construcción del nuevo hotel que pretendía prestar su amplia gama de servicios a gran parte de los viajeros que visitaran la ciudad, no resultó realmente, un negocio rentable, por lo que poco tiempo después de su inauguración, fue sometido a un importante proceso de transformación.

De esta forma, su corta etapa como hotel llegaba a su fin y daba paso a una obra integral del edificio que transformaba, por un lado, sus niveles superiores en inmuebles de renta y, por otro, su planta baja en un comercio de gran superficie, los conocidos como Almacenes La Paz, para lo cual, fue necesario sustituir la existente y pesada estructura a base de muros de fábrica de ladrillo macizo por una estructura de acero laminado, apeando así la estructura a base de muros de cargas de los niveles superiores, dando como resultado un local totalmente diáfano.

Sin duda alguna, esta fue la intervención más invasiva a la que se viera sometido el edificio a lo largo de su historia, aunque se sucedieron otras, puesto que, a pesar de la prosperidad del comercio instalado en planta baja y la rentabilidad de los inmuebles, el edificio fue adquirido por la Caja de Ahorros y Monte de Piedad.

Por tanto, un nuevo proceso de compartimentación se llevo a cabo en las plantas superiores, en este caso, para alojar las oficinas de la entidad e instalándose en planta baja, la nueva firma textil que aún sigue ejerciendo su actividad, aunque de una manera menos destructiva puesto que la intervención se limitó, en gran medida, a una tarea de decoración, distribución, organización y circulación propios de un negocio de estas características.

El ciclo de intervenciones se cerraría con las llevadas a cabo por el arquitecto Pedro Salmerón Escobar en 1991, sobre sus fachadas y cubiertas, debido al mal estado de conservación en el que se encontraban ambos elementos (Figura 2).

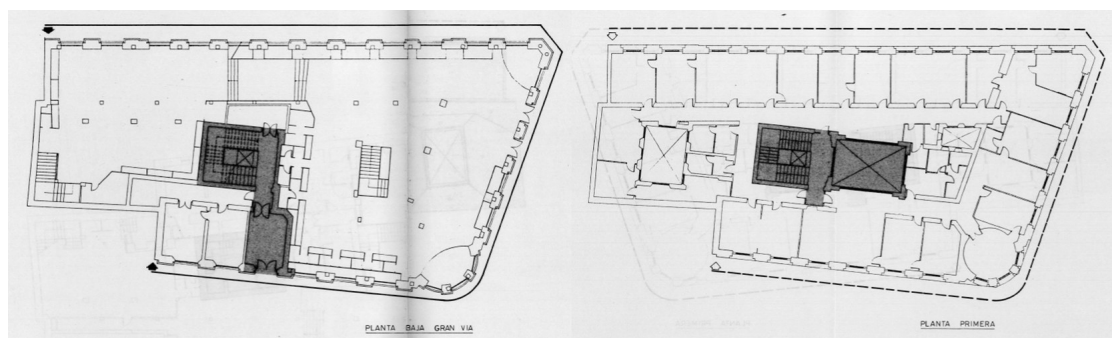


Figura 2. Planimetría presentada por Pedro Salmerón en el proyecto de rehabilitación de 1991

Fuente: Archivo del Colegio Oficial de Arquitectos de Granada

2.2. Caracterización constructiva y estructural del edificio

El estudio de las intervenciones posee una importancia relevante puesto que, a pesar de contar con la documentación gráfica y memoria descriptiva del proyecto presentado en 1905, el estudio de cada una de ellas

pone de manifiesto la configuración actual del inmueble tras las mismas, y más concretamente, su comportamiento estructural. A continuación, se detalla la caracterización constructiva y estructural del edificio:

Cimentación: como así figura en la memoria presentada en 1905, la única referencia en relación a la cimentación se basa en que ésta debía ser ejecutada con hormigones hidráulicos. No obstante, Martínez-Ramos (Martínez-Ramos, 2015) hace mención a este elemento describiendo su ejecución mediante zapatas de bolos, hormigón bastardo y cal grasa.

Estructura vertical: aunque en su origen se componía íntegramente de muros de carga de ladrillos macizos, tras las intervenciones llevadas a cabo para su adaptación a los nuevos usos, se incorporaron columnas y vigas de acero laminado en su planta baja y sótano, apeando así la estructura de los niveles superiores.

Estructura horizontal: la memoria descriptiva del proyecto de rehabilitación llevado a cabo en la década de los 90, ha permitido conocer su configuración constructiva a base de viguetas de acero laminado y bovedillas ejecutadas in situ mediante rasillas volteadas entre las viguetas.

Cubiertas:

Cubierta inclinada: la cubierta inclinada posee la siguiente configuración; sobre los muros de carga, se disponen de manera sucesiva, cerchas de madera apoyadas sobre durmientes de madera, sobre las que se coloca un tablero hidrófugo y el aislante térmico. Sobre ambos, se dispone de manera fijan los listones que permiten el anclaje de las chapas de zinc siguiendo el despiece original. En el caso del pabellón circular, la chapa de zinc se dispone a modo de escamas del mismo tamaño y respetando igualmente, la disposición original.

Cubierta planta: la cubierta plana original fue totalmente retirada y remplaza por la que actualmente se conserva y cuya configuración es; sobre la cara superior del forjado, se dispuso una imprimación de oxiasfalto y posteriormente, ejecutadas las pendientes necesarias para la evacuación del agua de lluvia mediante hormigón aligerado con perlita, sobre el que se dispuso una capa de mortero de regularización de 2 cm. Posteriormente, se dispusieron tanto el impermeabilizante como el aislante *styrofoam* el cual además, sirve de base para los soportes graduables en altura sobre los cuales, se dispusieron placas prefabricadas.

3. El modelo de macroelementos no lineales

3.1. Fundamentos del programa 3Muri™

La incipiente necesidad de conocer el estado y nivel de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones construidas durante las décadas pasadas mediante estructuras de fábrica no reforzada, ha provocado el desarrollo de metodología diversas para su análisis, así como el avance en softwares especializados en su estudio, entre los que destaca especialmente, el programa 3Muri™ (S.T.A. DATA, 2013).

El programa 3Muri™, diseñado con el objetivo de otorgar una solución integral y modular para el análisis de estructuras de mampostería y mixtas, es un software basado en un modelo no lineal de macroelementos, propuesto por Lagomarsino y Gambarotta (1997). Partiendo de dicho modelo, es posible ejecutar un análisis incremental no lineal con control de fuerza o análisis pushover.

Estos macroelementos finitos bidimensionales, los cuales representan los distintos muros de mampostería del edificio, se subdividen a su vez, en varias zonas: los extremos, con un espesor infinitesimal donde se concentran las deformaciones axiales (efectos axiales y de vuelvo) y, por otro lado, la zona central donde se localizan las deformaciones tangenciales, correspondientes prácticamente en su totalidad, a la altura del panel.

Las partes resistentes del muro se consideran nodos bidimensionales rígidos con dimensiones finitas, a los que se conectan los macroelementos, los cuales transfieren las acciones a lo largo de los tres grados de libertad del nivel en cada nodo incidente. En la descripción de cada muro individual, los nodos se identifican mediante un par de coordenadas (x, z) en el nivel del muro. A través de la división de los elementos en nodos y macroelementos es posible equiparar el modelo del muro al de un plano de armazón (Figura 3).

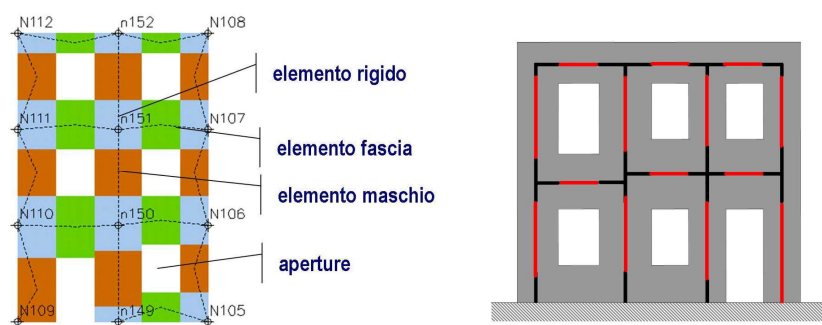


Figura 3. Esquema de los fundamentos del software 3Muri™ (S.T.A. DATA)

En relación a la definición de los macroelementos, es importante tener en cuenta que no basta únicamente con definir sus características geométricas sino también el módulo de cortante, la rigidez axial, la resistencia a cortante de la obra de fábrica, el coeficiente adimensional que controla la deformación inelástica, el coeficiente global de fricción, así como el factor que define y controla la fase de ablandamiento (Galasco y otros, 2004).

Con todo ello, el modelo permite representar cada uno de los principales mecanismos de fallo en el plano de la estructura de fábrica, es decir, el vuelco por flexión y el deslizamiento por cortante por fricción. El primero de ellos, es modelado a través de un contacto elástico monolateral en los extremos del macroelemento. El desplazamiento por cortante, sin embargo, es descrito mediante una componente de deformación inelástica la cual considera tanto los efectos de daño como de fricción. El modelo considera, a través de ciertas variables internas, la evolución del daño por desplazamiento, el cual, por otro lado, controla el deterioro tanto de la resistencia como de la degradación de la rigidez (Gambarotta y Lagomarsino, 1997).

3.2. Modelización del edificio

El modelado del edificio mediante el programa 3Muri™ se inicia con la definición de la normativa a tener en cuenta durante todo el proceso de modelización y análisis. Definida ésta, es posible iniciar el proceso de modelización de todos los elementos que conforman la estructura del edificio desde los distintos paneles y opciones que ofrece el software, comenzando por los muros y pilares que conforman la estructura vertical del edificio, posteriormente, los huecos tanto interiores como exteriores del mismo, así como los balcones de cada planta.

Modelada la estructura vertical se deberá proceder, de la misma manera, al modelado de la estructura horizontal, donde se definen todos los paños de forjado, interiores y exteriores (cubiertas planta) y, finalmente, se concluiría el proceso con la modelización de las cubiertas inclinadas.

No obstante, aunque puede parecer un proceso de modelización sencillo, es importante tener en cuenta que éste no solo se basa en la definición geométrica del edificio, sino también de las características mecánicas de cada uno de los elementos introducidos en el modelo. En este sentido, es necesario definir los parámetros asociados a cada material, es decir, durante el modelado se debe conformar una biblioteca de materiales que componen el edificio, con sus respectivos parámetros.

En cuanto a los forjados y cubiertas, incluyendo los balcones, no solo será preciso definir su configuración constructiva de igual modo que se hace con la estructura vertical, sino que además, se deben definir otros factores especialmente relevantes, como las cargas permanentes y variables, la combinación de éstas según la normativa de aplicación y su contacto con la estructura vertical.

Se trata, por tanto, de un proceso complejo, donde se requiere de una fase previa destinada a conocer el edificio y su estructura con la mayor precisión posible, ya que esos datos introducidos en el software influyen de manera directa en los resultados obtenidos tras la fase de análisis.

En el caso del edificio Hotel Colón, muchos de sus propiedades mecánicas han sido estimadas ya que no existen estudios rigurosos sobre el mismo que permitan su definición con exactitud, por lo que los valores empleados proceden, en gran medida, de estudios llevados a cabo sobre edificios con una configuración constructiva y estructural similar (Moreno-González 2006), estudios patológicos de otros edificios de la Gran Vía de Colón y estudios sobre caracterización constructiva de los inmuebles de este gran eje de la ciudad

(Martínez-Ramos, 2016), siendo las propiedades mecánicas empleadas en el análisis, las que aparecen en la Tablas 01 (paneles de fábrica y perfiles metálicos).

Tabla 1. Propiedades mecánicas de los materiales empleados

Parámetro	Valor Asignado	Parámetro	Pilar Metálico	Viga Metálica
Módulo elástico (MPa)	1800	Perfil metálico	IPE 400	IPE 400
Módulo cortante (MPa)	300	Módulo Elástico (MPa)	2.1 E5	2.1 E5
Resistencia a cortante (MPa)	0.06	Área (m ²)	6.446 E-3	6.446 E-3
Resistencia a compresión (MPa)	1.8	Momento de Inercia I _x (m ⁴)	13.18 E-6	13.18 E-6
Peso específico (kg/m ³)	1800	Momento de Inercia I _y (m ⁴)	23.13 E-5	23.13 E-5

Finalizado el proceso de modelización del modelo de macroelementos, el resultado es el que se muestra en la siguiente figura (Figura 4):

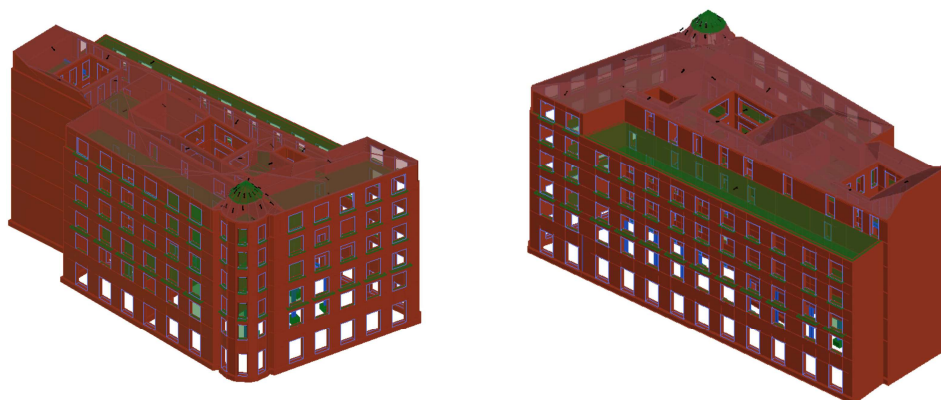


Figura 4. Modelo final extraído de 3Muri™

Fuente: (Elaboración propia)

3.3. Análisis modal y análisis estático no lineal: la obtención de la curva de capacidad

Una vez definido el edificio desde el punto de vista geométrico y sus propiedades mecánicas, es momento de realizar el mallado del mismo, es decir, el programa ya es capaz, con la información introducida, de realizar la esquematización de cada uno de los elementos en elementos rígidos (nodos) y elementos deformables (macroelementos).

Finalizado el mallado, es posible ejecutar el análisis modal para, de esta forma, conocer las propiedades modales del edificio, en función del número de modos de vibración introducido. En el caso del edificio Hotel Colón, el porcentaje de masa del edificio movilizado fue del 95.45%.

Conocidas las propiedades modales, el siguiente y último paso, consistirá en llevar a cabo un análisis estático no lineal cuyo resultado será, entre otros, la curva de capacidad del edificio. Para ello, se deben definir las direcciones en las que se desea realizar el cálculo, el nodo de control, la tolerancia admitida y el desplazamiento máximo, entre otros parámetros.

En el caso del edificio Hotel Colón, el nodo de control seleccionado es el 151, correspondiente al nivel 5, con un cálculo en ambas direcciones, una tolerancia de 0.0050 y un desplazamiento máximo de 24 centímetros. Conocida esta curva de capacidad, es posible aplicar la metodología descrita en el siguiente apartado.

4. Metodología empleada en el análisis

Aunque son varias las posibles metodologías que pueden emplearse en el análisis de la vulnerabilidad sísmica de edificios, en este caso se ha decidido hacer uso de un procedimiento simplificado expuesto y desarrollado en el ATC-40, junto al FEMA 440, e igualmente, en el proyecto Risk-UE.

Este método simplificado parte del uso de un modelo del edificio, el cual es sometido a un análisis estático no lineal que proporciona, entre otros datos de interés, la curva de capacidad del edificio, es decir, la resistencia estructural del edificio, representándose gráficamente a través del cortante en la base (eje de ordenadas) y el desplazamiento en su último nivel (eje de abscisas).

No obstante, y con el objetivo de hacer más fácil el manejo de la curva de capacidad obtenida, ésta es transformada, por medio de las propiedades modales, en un espectro de capacidad. De esta forma, será posible representar, en un mismo gráfico, tanto la capacidad estructural, así como la demanda sísmica.

Sin embargo, no será esta representación del espectro de capacidad el empleado en el resto del proceso de análisis, sino que éste se verá nuevamente simplificado en un espectro de capacidad bilineal definido por medio de dos puntos principales; por un lado, el punto de capacidad de cedencia (D_y, A_y), el cual representa el punto a partir del cual el comportamiento del edificio comienza a ser no lineal y, por otro lado, el punto de capacidad última (D_u, A_u), es decir, el momento en el que la estructura alcanza el punto de colapso.

Esta transformación del espectro de capacidad en espectro de capacidad bilineal se lleva a cabo por medio de un balance de energía, de tal manera que el espectro de capacidad bilineal es capaz de absorber la misma energía que el espectro de capacidad real del edificio, teniendo en cuenta que ambas representaciones deben tener en común el punto de capacidad máxima del edificio.

Una vez obtenido este nuevo espectro de capacidad bilineal, es momento de definir la acción sísmica por medio del espectro de proyecto elástico con 5% de amortiguamiento, el cual varía en función de la zona en la que se lleva a cabo el análisis. Igualmente, será necesario determinar el desplazamiento máximo espectral que va a sufrir el edificio para, de esta forma, poder estimar el daño esperado del mismo. Este desplazamiento máximo se conoce como punto de desempeño o punto de capacidad por demanda.

Ambos parámetros, espectro de capacidad y punto de desempeño serán calculados por medio de las expresiones expuestas en el ATC-40. El punto de desempeño, sin embargo, será obtenido por medio de la intersección entre el espectro de capacidad y el espectro de demanda. Obtenido su valor, será posible determinar los distintos umbrales de daño, mediante las expresiones dadas por Lagomarsino y Penna en el proyecto Risk-UE y, posteriormente, las curvas de fragilidad del edificio (Figura 5).

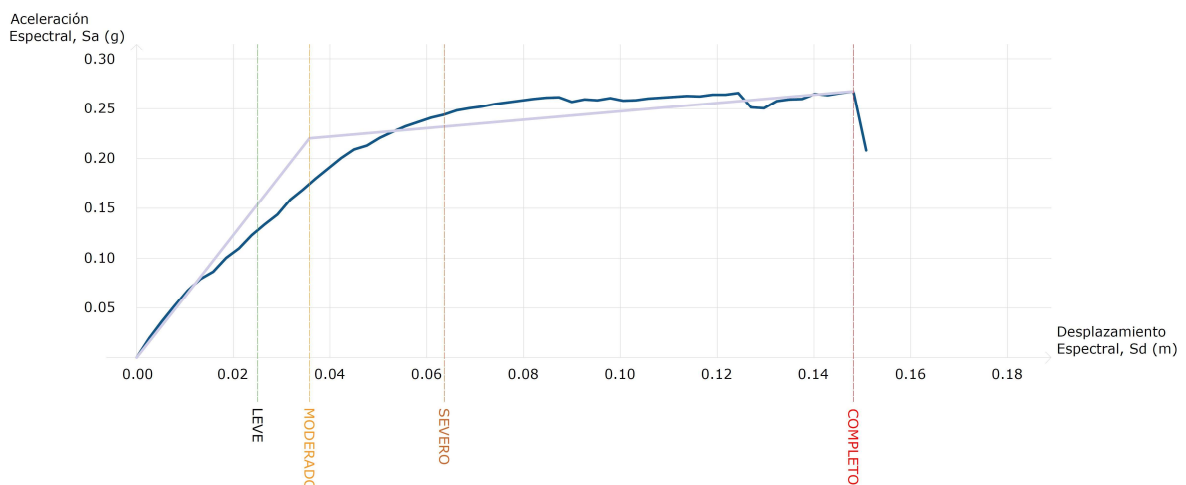


Figura 5. Representación del espectro de capacidad (azul oscuro), espectro de capacidad bilineal (azul claro) y umbrales de daños

Fuente: (Elaboración propia)

Estas curvas de fragilidad definen la probabilidad de alcanzar, o incluso superar, un determinado estado de daño ante una acción sísmica concreta, siguiendo una distribución de probabilidad log-normal, la cual se

construye con respecto a una variable que caracteriza la acción sísmica, en este caso, el desplazamiento espectral, por medio de la siguiente expresión:

$$P(ED \geq ED_i) = \Phi \left[\frac{1}{\beta_{ED}} \ln \left(\frac{S_d}{S_{dED}} \right) \right] \quad (1)$$

donde S_{dED} representa el desplazamiento espectral medio para el cual la probabilidad de excedencia es del 50%, β_{ED} es la desviación estándar del logaritmo natural del desplazamiento espectral para el estado límite de daño cuyo valor es posible obtener de la tabla 5-10 del FEMA-440, Φ define la función de distribución normal estándar acumulada, S_d es el desplazamiento espectral y, finalmente, ED que indica el estado de daño, definiéndose como: (1) para el estado de daño leve, (2) estado de daño modelado, (3) estado de daño severo y (4) estado de daño completo, es decir, justo el instante antes de producirse el colapso de la estructura.

Para el edificio Hotel Colón, las curvas de fragilidad obtenidas son las representadas en la Figura 6.

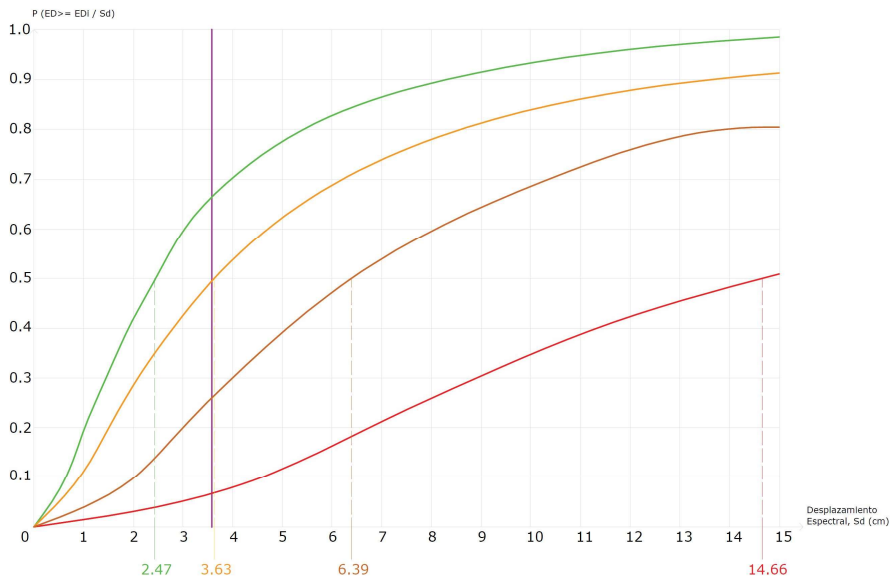


Figura 6. Superposición de las curvas de fragilidad del edificio y el punto de cedencia

Fuente: (Elaboración propia)

Finalmente, se procede al cálculo de la matriz de probabilidad de daño, definida a partir de las curvas de fragilidad y su intersección con el punto de cedencia, dando como resultado, la probabilidad de ocurrencia de cada estado de daño considerado. No obstante, y con el objetivo de cuantificar los resultados, es común usar el parámetro de daño medio, el cual se define como:

$$D_M = \sum_{i=0}^{i=4} ED_i \cdot P(ED_i) \quad (2)$$

donde i corresponde a cada estado de daño considerado y $P(ED_i)$, la probabilidad de ocurrencia del estado de daño i analizado, dado un desplazamiento espectral. Es importante tener en cuenta que, este parámetro del daño medio cuenta con intervalos de variación para cada estado de daño. En este caso y en función del valor de daño medio obtenido ($D_M = 1.486$), el estado de daño esperado es moderado (Tabla 2).

Tabla 2. Intervalos de variación de los estados de daño en función del parámetro de daño medio

Estado de daño	Intervalo de variación
No daño	$0 \leq D_M < 0.5$
Leve	$0.5 \leq D_M < 1.5$
Moderado	$1.5 \leq D_M < 2.5$
Severo	$2.5 \leq D_M < 3.5$
Completo	$3.5 \leq D_M < 4.0$

5. Conclusiones

Tras el análisis llevado a cabo del emblemático edificio Hotel Colón mediante el proceso simplificado expuesto durante el transcurso del trabajo, y el uso además, del programa *3Muri*TM, son varias las conclusiones extraídas:

Con respecto a la metodología, es posible afirmar que se trata de un proceso extenso, ya que además de necesitar recopilar una gran cantidad de información acerca del edificio y su posterior modelización, no se debe perder de vista que se trata de un proceso iterativo que no concluye hasta alcanzar valores que se encuentren dentro de los límites de tolerancia admitidos. No obstante, se trata de un método, en gran medida, fiable y asequible desde el punto de vista de recursos computacionales, para el cálculo de la vulnerabilidad sísmica.

En cuanto a los resultados obtenidos, estos reflejan un cierto nivel de vulnerabilidad sísmica, puesto que el parámetro de daño medio señala un estado de daño moderado ante un escenario sísmico severo, lo cual se traduciría, posiblemente, en la presencia de grietas diagonales en la mayoría de las superficies de fábrica de ladrillo, es decir, sería factible que se produjera una respuesta frágil de las piezas de fábrica que componen la estructura portante del edificio, lo cual se vería agravado, por otro lado, por la indudable debilidad que introducen las juntas de mortero.

Finalmente, y en relación al programa *3Muri*TM y el uso de modelos de macroelementos no lineales, la conclusión que se extrae es que se trata, indudablemente, de una potente herramienta para el estudio de la vulnerabilidad sísmica, cuya entrada de datos, aunque extensa por el volumen de datos necesarios, manejo de la interface y herramientas, e igualmente, proceso de análisis y extracción de resultados, resulta plenamente sencilla y asequible, lo cual tiene mucho que ver con el hecho de que la práctica totalidad de herramientas y opciones que ofrecen estén adaptadas a diferentes normativas internacionales y al propio manual de uso del software, lo cual permite consultar en cualquier momento, el significado o procedencia de cualquier parámetro o aspecto solicitado por el programa.

No obstante, es necesario mencionar algunos de los inconvenientes o limitaciones que aún sigue presentando, como por ejemplo, la imperiosa necesidad de simplificación en muchos casos de la geometría del edificio para, de esta forma, evitar la no convergencia durante el proceso de cálculo, la limitación del análisis únicamente, a los fallos en el plano de los paneles de fábrica, descartando por completo el estudio de los fallos fuera del plano de la fábrica y, por último, la falta de consideración de las edificaciones colindantes, las cuales pueden provocar que los resultados varíen sustancialmente.

Referencias

- Abrams, D. P. (2000). Seismic response patterns for URM buildings. *TMS Journal*, pp. 71-78.
- Applied Technology Council, ATC-40 (1996), *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*. Vol. 1.
- Archivo General Administrativo (1986), Proyecto de remodelación y decoración de un centro comercial en Granada Cortefiel. Expediente 1986 15174. 178/86.
- Asociación Española de Normalización (2009). Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes. Parte 1: Reglas generales, acciones sísmicas y reglas para edificación UNE-EN 1998-1).
- Ayuntamiento de Granada (1906), Licencia para construir el Hotel Colón en las calles Reyes Católicos, Gran Vía de Colón y Zacatín. C. 01986.0084.

- Bruneau, M. (1994). State-of-the-Art report on seismic performance of unreinforced masonry buildings. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 120, nº 1, pp. 230-251.
- Bonett Díaz, R.L., 2003. Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Caicedo, C., Barbat, A., Canas, J., Aguiar, R. (1994). Vulnerabilidad sísmica de edificios. Monografías de Ingeniería Sísmica (CIMNE IS-6).
- Fajfar, P. (1999). Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra. *Earthquake Engineering Structural Dynamics*, vol. 29, pp. 921-1067.
- FEMA 440 Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures. (2005). Applied Technology Council (ATC-55 Project).
- Galasco, A., Lagomarsino, A., Penna, A., Resemini, S., (2004). Non-linear seismic analysis of masonry buildings. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canadá, paper 843.
- Gambarotta, L., Lagomarsino, S., (1997). Damage model for the seismic response of brick masonry shear Walls. Part II: the continuum model and its applications, *Earthquake Eng. Struct. Dyn.* nº 26, pp. 441-462.
- Huerta Fernández, S. (2004). Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica. Instituto Juan de Herrera. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- Lagomarsino, S., Giovinazzi, S. (2006). Macro seismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, nº 4, pp. 415-443.
- Martínez-Ramos e Iruela, R. (2015), Memoria de la construcción de la Gran Vía de Granada. Tesis doctoral, Universidad de Granada.
- Martínez-Ramos e Iruela, R. (2016). Análisis gráfico de los criterios de proyección de la Gran Vía de Colón de Granada y de su evolución constructiva. *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*, vol. 21, nº 28, pp. 206-215.
- Moreno González, R. (2006). Evaluación del riesgo sísmico en edificios mediante análisis estático no lineal: Aplicación a diversos escenarios sísmicos de Barcelona. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Park, J., Towashiraporn, P., Craig, J.I., Goodno, B.J. (2009). Seismic fragility analysis of low-rise unreinforced masonry structures. *Engineering Structures*, vol. 33, pp. 12.137.
- Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, por el que se aprueba la norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación (NCSR-02). *Boletín Oficial del Estado*, 244, de 11 de octubre de 2002.
- UNDP/UNESCO/UNDRO working group C (1982), Seismic risk assessment and development of model code for seismic design –. Project for Earthquake Risk Reduction in the Balkan Region, Sofia.
- Salmerón Escobar, Pedro (1990). Proyecto Básico y Rehabilitación del edificio La Paz – Fase II: Restauración de fachadas y cubiertas. Pedro Salmerón Escobar, Arquitecto.
- S.T.A. DATA srl (2023a) 3Muri software, (Italy), <https://www.servizi.stadata.com/download/default.aspx?lang=en&sw=3muri+project>
- S.T.A. DATA srl (2023b) 3Muri user manual (Italy)

Compression behaviour of pre-collapsed concrete specimens confined with FRP fabrics bonded externally with epoxy resins

Leal Matilla, Alberto, Prieto Barrio, Isabel y Cobo Escamilla, Alfonso

Dpto. Tecnología de la Edificación. Universidad Politécnica de Madrid. alberto.leal.matilla@upm.es; mariaisabel.prieto@upm.es; alfonso.cobo@upm.es

Abstract

The confinement of concrete in compression can be carried out, among other systems, by wrapping it with fibre fabrics bonded externally with epoxy resins. This type of confinement has been extensively studied at laboratory level on perfectly executed concrete, but in the rehabilitation operations of existing structures, there are practically no studies on the subject, in many cases the existing concrete is of poor quality or shows deterioration, so the use of carbon and glass fibres bonded with epoxy resins can help to improve the behaviour of these structures.

In this work, a series of specimens have been cured for a certain period of time and the effect of confinement has been analysed on concrete specimens that have been previously tested to failure and then confined with carbon fibre and glass fibre fabrics. High-strength unidirectional carbon fibres MAPE WRAP C UNI-AX and glass fibres MAPE WRAP G UNI-AX manufactured by MAPEI have been used.

The results of this study show that:

- i) The reinforced specimens reach or exceed the strengths of the initial specimens, with a much higher ductility,
- ii) The use of glass fibres provides lower strengths than the carbon fibre reinforced specimens
- iii) With both types of fibres there is a huge increase in the ductility of the specimens.
- iv) The carbon fibre confined specimens have higher maximum stress and absorbed energy than glass fibre confined specimens.
- v) The ACI expression for estimating the strength of confined concrete specimens cannot be used because it is too conservative for this type of work.

Keywords: Concrete, Confinement, Glass fibre, Carbon fibre, Rehabilitation.

1. Introducción

Desde el siglo pasado se estudia que el confinamiento proporciona al hormigón sometido a compresión mayores resistencias y capacidad de deformación [1].

El confinamiento del hormigón puede lograrse de diversas maneras: con tubos metálicos, aumentando el diámetro de los estribos y reduciendo su separación, aprovechando la retracción del hormigón o envolviendo el hormigón con tejidos de fibras pegados exteriormente con resinas epoxi [2,5]. El confinamiento del hormigón incrementa de forma notable su resistencia a compresión y su ductilidad respecto del hormigón sin confinar [6].

La técnica del confinamiento mediante el pegado exterior de tejidos de fibras con resinas epoxi ha sido ampliamente estudiada a nivel de laboratorio y se han realizado numerosas ejecuciones con éxito a escala de obra. Al mismo tiempo, se han desarrollado normas, documentos y reglamentos a nivel internacional que contemplan su análisis y puesta en obra [7-10].

El empleo de fibras distintas a las de carbono como material para reforzar estructuras de hormigón no es habitual y existen muy pocos trabajos publicados al respecto [11-13]. En el caso del empleo de fibras de vidrio, actualmente se está estudiando como adición en matrices de morteros, con los cuales confinar el elemento estructural o bien reforzar el pilar, con tubos de fibra de vidrio manufacturados [14]. El empleo de estos materiales, es una alternativa interesante respecto a la fibra de carbono, debido a la sustancial diferencia en los costes.

Sin embargo, después de una extensa revisión bibliográfica sobre el tema, no se han encontrado estudios donde se evalúe el comportamiento de probetas de hormigón muy deterioradas y reforzadas posteriormente mediante confinamiento. En la práctica, esta situación se puede dar en elementos comprimidos que han sufrido en alguna zona daños muy severos debido a alguna acción accidental o algún tipo de patología.

El objetivo de este trabajo ha sido la evaluación del comportamiento de probetas de hormigón que se han ensayado a compresión hasta rotura y posteriormente se han confinado mediante tejidos de fibra de carbono y de vidrio pegados exteriormente con resinas epoxi. Los resultados obtenidos permiten comprobar i) el comportamiento a compresión de las probetas confinadas y ii) la diferencia existente entre la respuesta de las probetas reforzadas con fibra de carbono y con fibra de vidrio.

2. Materiales y técnicas empleadas

Se han ensayado 12 probetas cilíndricas de hormigón de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura. Las probetas se han fabricado según la norma UNE-EN 12390-2 [15]. Se han curado en cámara húmeda a 22 °C y 95 % de humedad durante 28 días. Posteriormente se han sacado de la cámara húmeda y se han mantenido durante 7 días en ambiente de laboratorio a 22 °C y 60 % de humedad. Se han pulido las superficies de las caras de las probetas para asegurar que durante la realización del ensayo a compresión la prensa actúe sobre planos perpendiculares a la dirección del esfuerzo. Posteriormente se han ensayado a compresión hasta rotura en una prensa de ensayos Ibertest MIB de 1200 kN de capacidad de carga. Los ensayos se han realizado controlando la deformación, a una velocidad de $6,9 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, hasta rotura según la norma UNE-EN 12390-3 [16]. El registro de los desplazamientos verticales se realizó mediante dos transductores de desplazamiento LVDT. Con los resultados obtenidos se han elaborado las gráficas tensión deformación longitudinal. Las resistencias a compresión alcanzadas están comprendidas entre 20 y 30 MPa para las probetas no confinadas.

Tabla 1. Dosificaciones empleadas en el hormigón

Cemento (Kg/m ³)	Grava (Kg/m ³)	Arena (Kg/m ³)	Relación agua/cemento w/c
300	930	845	0,60

Ninguna de las roturas de las probetas no confinadas durante el ensayo a compresión se produjo de forma explosiva, con estallido del hormigón. Después del ensayo a compresión, 11 probetas presentaban un agrietamiento longitudinal generalizado, pero sin desprendimientos del hormigón, por lo que se mantenía

prácticamente intacta su geometría inicial (Figura 1). Por el contrario, en una probeta se produjo el desprendimiento de parte del hormigón que no pudo volver a colocarse en su totalidad para reconstruir la geometría inicial de la probeta.



Figura 1. Probetas de hormigón después del ensayo a compresión y antes de ser confinadas

Fuente: Elaboración propia (2022)

Después de ensayar a compresión las probetas sin confinar, se procedió a la limpieza de sus superficies, eliminando el polvo y la lechada superficial que quedó suelta. Al conjunto de las probetas se les ha aplicado un imprimador con el objetivo de mejorar las condiciones de resistencia superficiales, cerrar los poros y las fisuras superficiales e incrementar la adhesión con el tejido de fibras. Después de 24 horas se ha procedido al pegado con resinas epoxi de los tejidos de fibra de carbono y de vidrio sobre todas las probetas a reforzar. El pegado se ha realizado aplicando una primera capa de adhesivo a base de resina epoxi y pegando el tejido a la probeta (densidad de aplicación 400 g/m²), dejando un solape de 15 cm para evitar el despegue del tejido cuando éste entra en carga. Posteriormente con un rodillo se han eliminado las bolsas de aire e imperfecciones de la ejecución. Transcurridos 15 minutos y con la superficie seca al tacto se ha procedido a aplicar una capa de terminación con la misma resina. Las láminas de fibra se cortaron 4 mm más cortas en cada extremo de la probeta para evitar que el tejido entrase en carga longitudinalmente durante el ensayo. Después de efectuado el refuerzo, las probetas han permanecido durante 15 días en el ambiente de laboratorio (t=22 °C, HR=60 %) para completar el proceso de polimerización de la resina. Se utilizaron tejidos de fibra de vidrio con una densidad de 450 g/m² y de carbono con una densidad de 300 g/m².

Tabla 2. Propiedades mecánicas de las fibras y de la resina epoxi utilizadas.

	Espesor (mm)	Tensión última (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)
Fibra de carbono	0,166	4830	2,300
Fibra de vidrio	0,240	2560	0,810
Resina epoxi	0,315	40	0,002

3. Resultados

El proceso de rotura de las probetas de hormigón confinadas con fibras fue gradual y finalizó con un ruido repentino y explosivo. En el caso del confinamiento con fibra de vidrio, la fractura es menos explosiva que

cuando la probeta se refuerza con fibra de carbono. El fallo se produjo en todos los casos por rotura a tracción de la fibra. En ningún caso se produjo el despegue del tejido en la zona de solape (figura 2).



Figura 2. Rotura de algunas probetas confinadas

Fuente: Elaboración propia (2022)

La Figura 3 muestra el comportamiento tensión deformación de las probetas sin reforzar (SC) y de las probetas posteriormente confinadas con tejidos de fibra de vidrio (GFRP) o de carbono (CFRP) y ensayadas de nuevo a compresión.

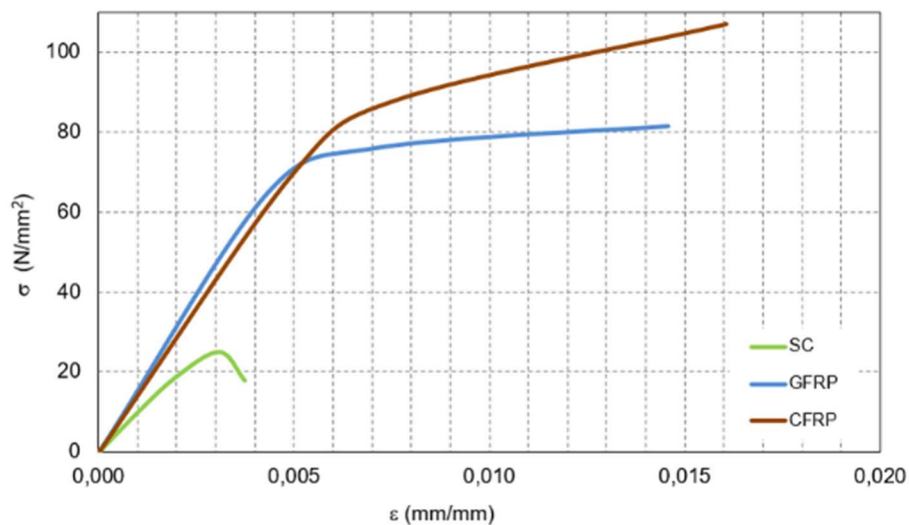


Figura 3. Curva de tensión-deformación bajo compresión uniaxial sobre probetas sin confinar (SC), confinadas con Fibra de Vidrio (GFRP) y confinadas con Fibra de Carbono (CFRP)

Fuente: Elaboración propia (2022)

En las tablas 3 y 4 se muestran, para las probetas ensayadas, los valores de tensión máxima (σ_{max}) densidad de energía de deformación absorbida durante el ensayo (E_u), medida como el área encerrada bajo la curva tensión deformación hasta rotura y los valores de tensión última (σ_u). Se ha dividido la energía absorbida en dos: Energía E1, correspondiente al tramo ascendente que se inicia en el origen de coordenadas y antes del cambio de pendiente en la curva tensión deformación; Energía E2: correspondiente a la porción de la curva ascendente o descendente desde donde se produce el cambio de pendiente inicial y llega hasta la rotura de la fibra. En cada fila de la tabla se muestran los valores obtenidos para las probetas sin confinar y para las probetas confinadas con GFRP o CFRP.

Tabla 3. Resultados del ensayo a compresión para probetas sin confinar y confinadas con Fibra de Vidrio

	Probetas sin confinar			Probetas confinadas GFRP (FV)				
	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)	Eu (MPa)	Σu (mm/mm)	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)	E1 (MPa)	E2 (MPa)	Eu (MPa)	Σu (mm/mm)
P1-FV	27,00	4,99E-2	3,987E-3	78,65	21,13E-2	51,50E-2	72,63E-2	19,74E-3
P2-FV	27,42	2,99E-2	3,444E-3	84,45	11,22E-2	43,75E-2	54,97E-2	10,72E-3
P3-FV	25,77	4,87E-2	3,261E-3	81,67	21,67E-2	40,51E-2	62,18E-2	14,35E-3
P4-FV	25,95	4,87E-2	3,324E-3	84,72	25,52E-2	42,16E-2	67,68E-2	13,38E-3
P5-FV	24,36	4,72E-2	3,049E-3	81,65	22,12E-2	63,52E-2	85,64E-2	15,87E-3
P6-FV	20,11	3,12E-2	3,187E-3	77,55	32,75E-2	72,52E-2	105,27E-2	13,36E-3
Media	25,10	4,26E-2	3,375E-3	81,44	22,40E-2	52,32E-2	74,73E-2	14,57E-3

Tabla 4. Resultados del ensayo a compresión para probetas sin confinar y confinadas con Fibra de Carbono

	Probetas sin confinar			Probetas confinadas CFRP (FC)				
	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)	Eu (MPa)	Σu (mm/mm)	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)	E1 (MPa)	E2 (MPa)	Eu (MPa)	Σu (mm/mm)
P1-FC	27,00	4,99E-2	3,987E-3	117,15	50,48E-2	227,91E-2	278,39E-2	18,74E-3
P2-FC	27,42	2,99E-2	3,444E-3	116,44	22,15E-2	77,53E-2	99,68E-2	18,65E-3
P3-FC	25,77	4,87E-2	3,261E-3	98,27	25,13E-2	60,70E-2	85,83E-2	14,35E-3
P4-FC	25,95	4,87E-2	3,324E-3	108,50	17,14E-2	115,23E-2	132,37E-2	14,83E-3
P5-FC	24,36	4,72E-2	3,049E-3	95,97	27,26E-2	50,48E-2	77,74E-2	13,93E-3
P6-FC	20,11	3,12E-2	3,187E-3	106,25	28,15E-2	105,48E-2	133,63E-2	15,86E-3
Media	25,10	4,26E-2	3,375E-3	107,09	28,38E-2	106,22E-2	134,60E-2	16,06E-3

4. Análisis y resultados

El análisis de la figura 3 y de la tabla 3 permite comprobar la enorme diferencia existente entre el comportamiento a compresión de las probetas iniciales (probetas patrón) y de las probetas confinadas con GFRP. Las probetas patrón poseen un comportamiento habitual, después de un primer tramo muy aproximadamente lineal, se producen deformaciones mayores para incrementos sucesivos de carga hasta alcanzar la máxima carga de ensayo. A partir de ese momento la carga necesaria para seguir deformando la probeta es cada vez menor hasta la rotura. Las probetas confinadas con GFRP tienen un comportamiento que muy aproximadamente se puede modelizar como lineal en un primer tramo hasta alcanzar la máxima carga de ensayo, este valor de carga se mantiene hasta la rotura, la cual sucede con grandes deformaciones.

En el caso del confinamiento con CFRP (tabla 4), después del primer tramo lineal, se produce otro segundo tramo también lineal con menor rigidez que el primero, lo que se traduce en una pendiente inferior en la línea correspondiente del diagrama tensión deformación. Las deformaciones de rotura de las probetas confinadas con fibra de carbono alcanzan un valor mayor al de las probetas confinadas con fibra de vidrio para valores de resistencia a compresión de probetas confinadas en el rango de 20 a 30 MPa. Las probetas confinadas con tejidos de fibra de carbono alcanzan valores mayores de tensión de rotura que las probetas confinadas con fibra de vidrio. Se puede apreciar que en todos los casos, el confinamiento incrementa los valores de las resistencias y deformaciones máximas respecto de los valores alcanzados por las probetas sin confinar. En el caso del refuerzo con fibra de vidrio, los incrementos de resistencia alcanzan un 324,46 %, mientras que cuando el confinamiento se efectúa con fibra de carbono los incrementos de resistencia llegan al 426,65 %. La relación entre el incremento de resistencia alcanzado por las probetas reforzadas con fibra de carbono y las probetas reforzadas con fibra de vidrio es de 1,31, mientras que la relación entre la capacidad mecánica a tracción de la fibra de carbono y la fibra de vidrio es de 1,27, lo que parece indicar que las resistencias finales alcanzadas guardan una buena relación con la capacidad mecánica de los refuerzos.

En el caso de las deformaciones últimas, los valores alcanzados por las probetas confinadas con fibra de vidrio respecto a las probetas sin confinar son superiores en un 431,7 %, mientras que cuando se comparan las deformaciones alcanzadas en probetas confinadas con fibra de carbono respecto a las probetas sin confinar se encuentra que difieren en 475,85 %. La relación entre el incremento de deformación alcanzado por las probetas reforzadas con fibra de carbono y las probetas reforzadas con fibra de vidrio es de 1,10, mientras que la relación entre la rigidez a tracción de la fibra de carbono y la fibra de vidrio es de 2,0, lo que parece indicar que las deformaciones finales alcanzadas no guardan ninguna relación con la rigidez de los refuerzos.

Se ha estimado la tensión de rotura de las probetas reforzadas a partir del modelo de Lam y Teng [17,18] adaptado por ACI [7].

$$f_{cc} = f_c + 6.6\Psi_f \frac{E_r \cdot n \cdot t_{fe} \cdot k_e \cdot \epsilon_{fu}}{D} \quad (1)$$

Siendo

f_{cc} Tensión de rotura a compresión del hormigón confinado

f_c Tensión de rotura a compresión del hormigón sin confinar

E_r Módulo de Young del material de refuerzo

n Número de capas del material de refuerzo

t_{fe} Espesor del material de refuerzo

D Diámetro de la probeta

ϵ_{fu} Deformación última del material de refuerzo

ψ_f , k_e Coeficientes

Se ha empleado el valor de 0,95 para el coeficiente ψ_f , que fue introducido por el Comité redactor del documento de ACI [7]. El coeficiente k_e tiene en cuenta que el material de refuerzo no llega a alcanzar su deformación última debido al estado de tensión multiaxial en el que se encuentra el material del refuerzo y la concentración de tensiones que se produce en algunos puntos causado por el agrietamiento del hormigón, así como por sus dilataciones [19].

Experimentalmente se han obtenido valores para k_e que oscilan entre 0,58 y 0,61 [17, 18, 20, 21]. ACI [7] ha adoptado el valor de 0,55, que es el valor que se ha empleado en este estudio.

Se ha utilizado la ecuación (1) para predecir analíticamente el valor de la tensión de rotura de las probetas reforzadas con CFRP y GFRP. Para ello se ha empleado como tensión del hormigón sin confinar el valor cero debido a que el hormigón ya se ha ensayado previamente hasta rotura y como valores de los tejidos se han utilizado los indicados en la tabla 2. Con estos datos se obtiene como tensiones de rotura al sustituir en la ecuación (1) los valores de 18,40 MPa para el CFRP y 14,11 MPa para el GFRP. Estos valores están muy por debajo de los obtenidos experimentalmente que son 107,09 MPa y 81,44 MPa para el CFRP y GFRP, respectivamente. Se deduce de lo anterior que la expresión aportada por ACI para estimar la resistencia del hormigón confinado es excesivamente conservadora, cuando se utiliza para el caso de que las probetas confinadas están previamente ensayadas hasta rotura.

5. Conclusiones

Las siguientes conclusiones se deducen de los resultados de los ensayos y análisis realizados:

En todas las probetas objeto de este estudio, la resistencia a compresión de probetas previamente ensayadas a compresión hasta rotura y posteriormente confinadas con tejidos de fibras de carbono o de vidrio es muy superior a la resistencia de las probetas iniciales sin confinar.

La resistencia a compresión de las probetas de hormigón confinadas con fibra de carbono es mayor que la resistencia a compresión de las probetas de hormigón confinadas con fibra de vidrio.

Los valores de deformación última de las probetas confinadas con CFRP y GFRP son muy similares y aumentan considerablemente respecto de los valores de las probetas sin confinar.

La curva tensión-deformación para probetas confinadas con fibra de vidrio se comporta como una curva bilineal. La primera parte de la curva tensión-deformación sigue la curva de tensión –deformación de la probeta sin confinar hasta que las fibras se activan. En este punto la curva asciende más lentamente, por efecto del confinamiento que le da la fibra.

La eficiencia de confinamiento es mayor para las probetas confinadas con fibra de carbono que para las probetas confinadas con fibra de vidrio; por tanto, una rama de valores altos (endurecimiento) de la curva tensión-deformación se desarrolla en las curvas tensión deformación de las probetas de hormigón confinadas con fibra de carbono. Mientras que en las curvas tensión-deformación de las probetas de hormigón confinadas con fibra de vidrio se desarrolla una rama suave de valores de tensión-deformación.

Las energías absorbidas de los especímenes dañados y vueltos a confinar con fibra de carbono y de vidrio superan a las energías absorbidas de las piezas sin confinar.

La tensión máxima ($\sigma_{m\acute{a}x}$) y la energía absorbida (E_u) de las piezas confinadas con CFRP es mayor que en las piezas confinadas con GFRP.

Los valores analíticos aportados por la expresión de ACI para estimar la resistencia de probetas de hormigón confinadas no son válidos por ser excesivamente conservadores para las condiciones de ensayo de este trabajo.

En las condiciones de este trabajo, el valor de la tensión de rotura de las probetas confinadas depende de la carga de rotura de los tejidos que las confinan, independientemente del valor del módulo de elasticidad de los tejidos.

Los resultados obtenidos en este trabajo son esperanzadores en el sentido de existir la posibilidad de restaurar, al menos temporalmente, de una forma rápida la resistencia a compresión de un elemento parcialmente dañado por una acción accidental. Efectivamente, el confinamiento con fibra de vidrio o de carbono proporciona resistencias más altas que las del elemento original y una ductilidad sustancialmente más elevada. La fibra de vidrio posee el atractivo adicional de su menor coste respecto a la fibra de carbono.

Referencias

- COURBON J., *Resistance des Matériaux*, Tomo I, Ed. Dunod, Paris, 1954.
- GUOQIANG L., "Experimental study of FRP confined concrete cylinders", *Engineering Structures*, Vol. 28, 2006, pp.1001-1008.
- LAM, L., TENG, J., "Ultimate condition of fiber reinforced polymer confined concrete", *Journal Composite Construction*, Vol. 8, No 6, 2004; pp. 539-48.
- SUN Z., ZOU Y., WANG C., PAN J., WANG L., CHEN M., "Study on confinement mechanism of core concrete in steel tubular-corrugated steel plate confined concrete columns", *Journal of Building Engineering*, Vol. 52, 104497, 2022.
- NAGHIPOUR M., AHMADI M., NEMATZADEH M., "Effect of concrete confinement level on load-bearing capacity of steel-reinforced concrete (SRC) columns under eccentric loading: Experiment and FEA model", *Structures*, Vol. 35, 2022, pp, 202-213.
- HUSSEIN M.E., YOUSEF A.A., SALEH H.A., RIZWAN A.I., "Experimental and numerical investigation of size effects in FRP-wrapped", *Construction and Building Materials*, Vol. 29, 2012, pp. 56–72.
- ACI PRC-440.2-17., *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*, American Concrete Institute, 2017.
- FIB., *Externally bonded FRP reinforcement for RC structures*. International federation for Structural Concrete, Lausanne, 2001.
- JSCE Japan Society of Civil Engineers., *Recommendations for upgrading of concrete structures with use of continuous fiber sheets*, In: Maruyama K. editor. *Concrete Engineering Series 41*, 2001.
- DT 200 R1/2013., *Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures*, Rome (Italy), Italian Council of Research (CNR), 2013.
- WU G., GU D.S., WU Z.S., JIANG J.B., HU X.Q., "Comparative study on seismic performance of circular concrete columns strengthened with BFRP and CFRP composites". In: *Proceedings of the Asia-Pacific conference on FRP in structures (APFIS 2007)*, Vol. 1. Hong Kong, China; 2007, pp. 199–204.
- LOPRESTO V., LEONE C., DE IORIO I, "Mechanical characterization of basalt fiber reinforced plastic", *Composites: Part B*, Vol. 42, 2011, pp. 7171-723.
- KHALOO A., TABATABAEIAN, M., KHALOO H., "The axial and lateral behavior of low strength concrete confined by GFRP wraps: An experimental investigation", *Structures*, Vol. 27, 2020, pp. 747-766.
- CUN H., YONGGANG L., ZHONGYI Z., RAN H., "Behavior of concrete-filled GFRP tube columns under cyclic axial compression", *Construction and Building Materials*, Vol. 294, 2021.
- UNE-EN 12390-2:2020., *Ensayos de hormigón endurecido. Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia*, España, 2020.
- UNE-EN 12390-3:2020., *Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas*. España, 2020.
- LAM L., TENG J., "Design oriented stress-strain model for FRP-confined concrete", *Construction and Building Materials*, Vol. 17, 2003, pp.471-89.
- LAM L., TENG J., "Design oriented stress-strain model for FRP-confined concrete in rectangular columns", *Journal of Reinforced Plastics and Composites* , Vol. 13, No 22, 2003, pp. 1149-86.

PESSIKI S., HARRIES K.A., KESTNER J., SAUSE R., RICLES J.M., "The axial behavior of concrete confined with fiber reinforced composite jackets", *Journal of Composites in Construction*, ASCE , Vol. 4, No 5, 2001; pp. 237-45.

HARRIES K.A., CAREY S.A., "Shape and gaps effects on the behavior of variably confined concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol. 6, No 33, 2003, pp. 881-90.

CAREY S.A., HARRIES K.A., "Axial behavior and modeling of small-medium and large-scale circular sections confined with CFRP jackets", *ACI Structural Journal*, Vol. 4, No 102, 2005, pp. 596-604.

Elaboración y caracterización de compuestos de tierra mediante la incorporación de residuos agrícolas

Cervilla-Maldonado, Ana, Valverde-Palacios, Ignacio, Fuentes-García, Raquel, Martín-Villegas, Francisco y Valverde-Espinosa, Ignacio

Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Granada, Campo del Príncipe, 18071 Granada, España, anaecervilla@correo.ugr.es, nachoval@ugr.es, fuentes@ugr.es, fracimartin@correo.ugr.es, valverde@ugr.es

Resumen

Se estudia la viabilidad de materiales de construcción ligeros mediante la incorporación de un residuo difícil de reciclar, basado en residuos procedentes de la agricultura intensiva: fibras vegetales y de polipropileno. Las fibras de polipropileno suelen aparecer mezcladas con fibras vegetales, ya que la rafia de polipropileno se utiliza para guiar el crecimiento vertical de las plantas. El material innovador a desarrollar es una mezcla de tierra Formación Alhambra reforzada con fibras vegetales de berenjena, pepino, pimiento, calabacín, tomate y fibras de polipropileno. Las fibras se utilizaron en la mezcla en una proporción del 2,5%, 5,0%, 7,5% y 10,0%. Estos valores se compararon con las probetas de control sin residuos.

Adicionalmente, se evalúa la compatibilidad de las fibras con la tierra Formación Alhambra a través de las propiedades físico-mecánicas de compresión y deformación longitudinal. Debido a la naturaleza altamente higroscópica de las fibras vegetales se midió su absorción de agua durante 24 horas. Considerando estos resultados, se analizaron las técnicas de premojado y no premojado de las fibras antes de mezclarlas con la tierra Formación Alhambra.

Los resultados de los ensayos de compresión muestran que el aumento del volumen de fibras conlleva una disminución significativa de la resistencia a la compresión. La mayor resistencia a la compresión, a partir de una mezcla con proporción de residuo $\geq 7,5\%$, se alcanzó con el residuo de pepino y con la técnica de no premojado con un valor medio de 1,82 MPa.

A pesar de la disminución de la resistencia mecánica con mayores cantidades de residuo, el compuesto de tierra de Formación Alhambra mezclado con una proporción de pepino del 7,5% puede considerarse un candidato prometedor para su uso en tierra proyectada. Se están realizando ensayos específicos en esta línea para analizar en el futuro los resultados obtenidos.

Palabras clave: Residuos agrícolas, Residuos de fibras vegetales, Construcción con tierra, Técnica de tierra proyectada.

1. Introducción

El proceso de extracción, transformación y desarrollo de los materiales de construcción convencionales contribuye a la contaminación. Los materiales de construcción alternativos (como la tierra) pueden extraerse, procesarse y reutilizarse con un menor consumo de energía. Además, si estos materiales se mezclan con fibras vegetales, representan ventajas en términos ecológicos y económicos frente a los materiales de construcción convencionales.

Actualmente, los materiales de construcción reforzados con fibras vegetales despiertan un gran interés con unas características térmicas y mecánicas aceptables. Debido a su capacidad para sustituir a otras fibras sintéticas, las fibras vegetales en la construcción presentan ventajas importantes como: una menor dependencia de recursos energéticos no renovables, la biodegradabilidad y un comportamiento mecánico muy interesante (Guimaraes et al. 2009; Hamza et al. 2013).

Además de las ventajas mencionadas, los materiales reforzados con fibras vegetales pueden presentar inconvenientes como la degradación. Esta está asociada al debilitamiento de las fibras debido al ataque alcalino y a la mineralización de las mismas (Okino et al., 2004). La naturaleza hidrófila de las fibras vegetales puede provocar el ataque de hongos, lo que conlleva una disminución de las propiedades físicas y mecánicas.

La elevada capacidad de absorción de agua de las fibras vegetales también puede causar problemas de mezclado debido a una peor trabajabilidad, lo que se traduce en una menor relación agua/tierra (a/t) en la pasta y una menor resistencia a la compresión. Por lo tanto, muchos estudios han comparado hormigones que contienen áridos reciclados (que tienen una mayor capacidad de absorción que los áridos naturales) con diferentes niveles de humedad (González et al. 2013) y han desarrollado métodos de dosificación que han tenido un efecto positivo en las propiedades mecánicas.

En este caso práctico, al mezclar las fibras vegetales con tierra, se debe calcular la humedad óptima y la densidad seca con el ensayo Proctor (Fuentes-García, 2010) según la Norma Europea UNE 103501:1994 (Ensayo de compactación geotécnica). Adicionalmente, se aplicaron las técnicas de premojado y no premojado previo de las fibras vegetales antes de mezclarlas con la tierra.

Hasta donde sabemos, no se ha publicado ningún trabajo previo sobre el uso de fibras procedentes de plantas hortícolas como la berenjena, el pepino, el pimiento, el calabacín, el tomate y fibras de polipropileno para mejorar las propiedades específicas de los materiales de construcción tradicionales. Por lo tanto, este estudio se centra en el análisis de la viabilidad de un material innovador compuesto por tierra Formación Alhambra reforzada con fibras vegetales y fibras de polipropileno procedentes de las plantas de reciclaje.

El objetivo de esta investigación es estudiar el potencial y el rendimiento de los residuos mencionados como aditivos de refuerzo en mezclas de tierra, con el fin de ofrecer una solución a un problema medioambiental. Las fibras se utilizaron en la mezcla en proporciones de 2,5%, 5,0%, 7,5% y 10,0%, y el tamaño de las fibras utilizadas era inferior a 10 mm de longitud. Se llevaron a cabo experimentos para analizar las propiedades de las probetas secas, incluida la resistencia a la compresión y la deformación.

2. Materiales y pruebas experimentales

2.1 Materiales

La agricultura intensiva produce anualmente 2.013.210t de residuo fresco vegetal, lo que supone 269.770t de residuo seco (López, Pérez, y Acien 2016). La producción de residuos está ligado a los ciclos de los cultivos hortícolas (Céspedes et al. 2009).

La tierra Formación Alhambra se recogió en la zona noreste de Granada, conocida como El Fargue, donde existen zonas adecuadas y de fácil acceso para la extracción de tierra. Este yacimiento se encuentra en una zona caracterizada por conglomerados y arenas, o Formación Alhambra, cubiertos por suelos coluviales.

Se añadieron a la mezcla fibras ≤ 10 mm de cada tipo de residuo en proporciones de 2,5%, 5,0%, 7,5% y 10,0% en peso de suelo y agua, respectivamente. Estos valores se compararon con probetas de control sin residuos, compuestas únicamente por tierra Formación Alhambra y agua.

Las muestras se prepararon siguiendo dos protocolos de mezclado diferentes en función de si se aplicaba la técnica de no premojado o premojado previo de las fibras antes de mezclarlas con la tierra.

Las fibras vegetales utilizadas tienen una elevada capacidad de absorción de agua, con un valor medio de 404,2% (y un rango entre 350% y 461%). Tras el proceso de mezclado, todas las muestras se compactaron bien y se curaron durante 30 días a temperatura ambiente a 22 ± 2 °C y 38% de humedad relativa hasta alcanzar peso constante. En el caso de las muestras con mayor contenido de agua (según los valores de humedad óptima obtenidos del ensayo Proctor de la tabla 1), el periodo de secado se prolongó un máximo de 15 días, en función de cada probeta para alcanzar una masa constante. La baja temperatura de secado impidió la aparición de microfisuras en las muestras.

Tabla 1. Resultados del ensayo Proctor estándar.

Material o mezcla	Densidad máxima (g/cm ³)	Humedad óptima (%)
Tierra	2.02	8.5
Berenjena + Polipropileno	1.63	12.8
Berenjena + Polipropileno (<i>premojado</i>)	1.71	7.7
Pepino + Polipropileno	1.74	14.3
Pepino + Polipropileno (<i>premojado</i>)	1.70	14.8
Pimiento + Polipropileno	1.71	14.4
Pimiento + Polipropileno (<i>premojado</i>)	1.63	15.5
Calabacín + Polipropileno	1.76	11.1
Calabacín + Polipropileno (<i>premojado</i>)	1.67	15.2
Tomate + Polipropileno	1.60	16.0/11.0
Tomate + Polipropileno (<i>premojado</i>)	1.64	14.2

Para medir las propiedades de las probetas, se prepararon probetas cilíndricas con un tamaño de 100 x 120 mm, con el objetivo de realizar ensayos de resistencia a la compresión y analizar la deformación.

2.2 Pruebas experimentales

Una vez preparadas las dosificaciones, con el tratamiento previo del suelo y la preparación de los residuos, las probetas se conformaron de acuerdo con la norma UNE 103500: 1994 ("UNE 103500:1994 Geotecnia. Proctorni..." s. f.).

El peso unitario seco de cada probeta se determinó a partir de las dimensiones y el peso de las mismas. Los ensayos de resistencia a compresión se realizaron según la norma europea UNE-EN ISO 17892-7:2019 (Normas s. f.), siendo el objeto de este ensayo la determinación de la resistencia a compresión uniaxial de una muestra de tierra.

El procedimiento de ensayo consiste básicamente en ejercer, a través de los platos de la prensa multiprueba *Controls* de la empresa *Controls S.A.* de 10 T de capacidad, una fuerza a una velocidad constante de 1mm/min hasta la rotura. En algunas probetas se colocaron galgas extensométricas, conectadas al equipo de recepción de datos *QuantumX de HBM* dispuestas en dirección paralela y perpendicular a la carga axial para obtener el Módulo de Elasticidad (E) y el Coeficiente de Poisson (ν), respectivamente.

Los Módulos de Elasticidad (E) en la dirección longitudinal se calcularon en el intervalo de valores en el que la deformación permanece lineal. En este caso, se tomaron valores comprendidos entre el 60% y el 30% de la resistencia máxima a la tracción y la deformación máxima. Por ejemplo, para la tierra, la ecuación matemática de cálculo sería la siguiente:

$$E = \frac{\sigma_{60\%} - \sigma_{30\%}}{\epsilon_{60\%} - \epsilon_{30\%}}$$

donde se calculan los parámetros de la tensión (σ) y la deformación longitudinal o transversal (ϵ) antes de alcanzar el valor máximo de rotura. Por ejemplo, para la muestra de tierra se procedió a calcular su Módulo de Elasticidad en el rango de valores donde la deformación permanece lineal.

3. Resultados experimentales

3.1 Coeficiente de resistencia a la compresión en función del tiempo y de la deformación longitudinal

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en relación a la resistencia a la compresión en función del tiempo, es decir, la capacidad de carga que soporta cada tipo de probeta hasta que se rompe, comenzando a disminuir su resistencia. También se muestra la relación del tiempo frente a la deformación longitudinal, obtenida mediante el uso de la galga extensométrica colocada en el sentido longitudinal de la carga aplicada a la misma, que comprueba el comportamiento y la deformación de las probetas en función del tiempo.

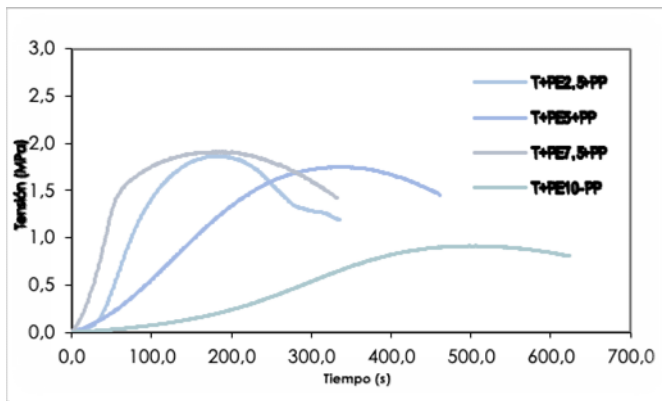


Figura 1.a: Comparación de la curva tensión-tiempo de las probetas de tierra y pepino.

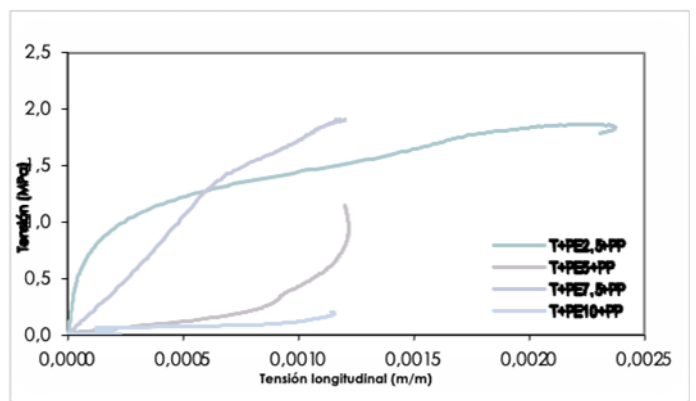


Figura 1.b: Curva tensión-deformación de las probetas.

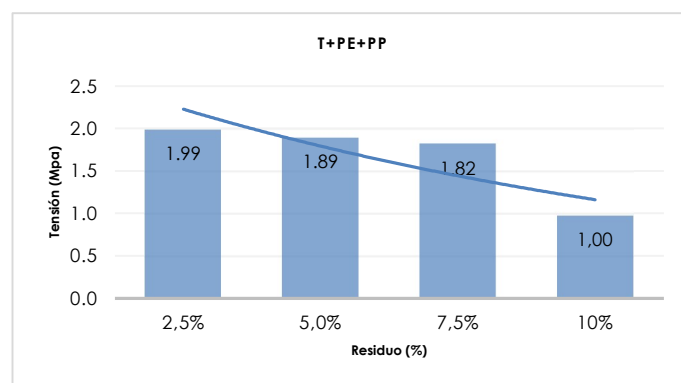


Figura 1.c: Comparación de los valores de resistencia a la compresión según ratio de residuo.

Humedad Óptima del Ensayo Proctor: 14,3%.

Fuente: A. Cervilla-Maldonado (2022/2023)

Como se muestra en la figura 1.a y 1.c, las resistencias a la compresión obtenidas en el caso de las probetas de tierra y pepino alcanzan un valor medio máximo con el 2,5% de residuo, que es de 1,99 MPa. Además, se observa que el valor máximo de la resistencia a la compresión disminuye al aumentar el volumen de residuo.

Se observa un comportamiento lineal al inicio de la deformación hasta alcanzar los puntos de máxima tensión de cada probeta, momento en el que se inicia el estado plástico de la probeta y disminuye la resistencia a la compresión provocada por el colapso del material. También se observa que la deformación de las muestras es lineal a medida que se ejerce y aumenta la tensión.

La reducción de la resistencia a la compresión entre las proporciones de residuos del 2,5% y el 10% fue del 50%. Esto puede relacionarse esencialmente con las propiedades físicas de las fibras, ya que tienen una densidad menor que los materiales arenosos con alto contenido en finos. El hecho de que la muestra sea más ligera está relacionado con una elevada porosidad en la matriz. También hay que señalar que, para obtener una consistencia óptima en la mezcla fresca, la cantidad de agua necesaria en estas dosificaciones es superior a la utilizada para la muestra de control (sólo tierra y agua); un 14,3% frente a un 8,5% de agua con respecto al peso de la tierra.

Según la tabla 2, se observa que la adición de fibras reduce la resistencia a la compresión entre un 50% y un 51% cuando el volumen de fibras varía entre el 2,5% y el 10% del peso del suelo con las técnicas de no premojado y premojado, respectivamente. Sin embargo, la disminución de la resistencia a la compresión no es proporcional al contenido de fibras.

El efecto negativo sobre la resistencia a la compresión se debe a la baja rigidez de las fibras hortícolas en comparación con los materiales arenosos con alto contenido en finos. Este puede ser el factor limitante que afecte a las propiedades mecánicas.

3.2 Análisis de probetas según la proporción de fibra utilizada

El comportamiento mecánico de las probetas reforzadas con fibras de berenjena, pepino, pimiento, calabacín, tomate y polipropileno cuando se sometieron al ensayo de compresión, se analizó a partir de las curvas de tensión-deformación. Los mejores resultados se obtuvieron con el residuo de pepino y con la técnica no premojado previo de las fibras vegetales. En la tabla 2, se muestran los valores medios de la tensión máxima, la deformación última y el Módulo de Elasticidad de todas las probetas.

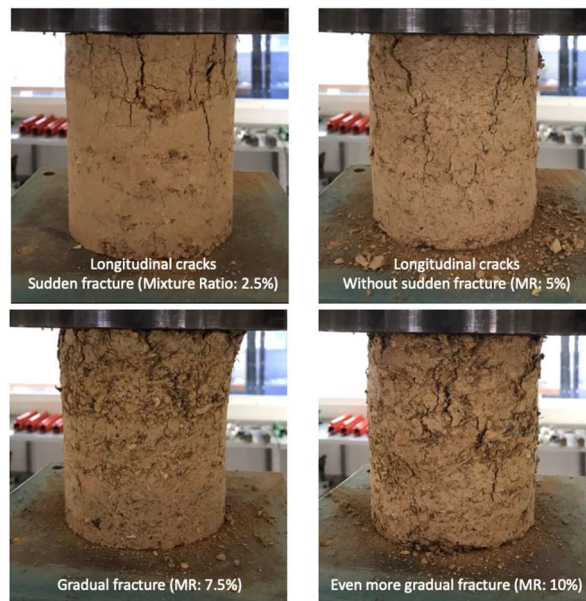
Tabla 2. Detalle de los resultados de resistencia y Módulo de Elasticidad. Ejemplo: pepino.

Dosificaciones de las probetas	Resistencia a la compresión (MPa)	Módulo de Elasticidad longitudinal
Pepino + Polipropileno		
2,5%	1,99	789
5%	1,89	883
7,5%	1,82	905
10%	1,00	2906
Pepino + Polipropileno (premojado)		
2,5%	1,24	669
5%	1,17	365
7,5%	0,93	2630
10%	0,63	195

Se observan tres comportamientos en las probetas con fibras añadidas: las probetas con menor porcentaje de fibras (relación de mezcla 2,5%), las probetas con porcentaje medio de fibras (relación de mezcla 5,0%) y las probetas con mayor porcentaje de fibras (relación de mezcla 7,5% y 10%):

- Grietas longitudinales con una rotura más repentina
- Grietas inclinadas sin roturas repentinas visibles
- Fracturas graduales

Figura 2. Detalle de la deformación y formación de grietas en las probetas según la proporción de fibras (MR: Mixture ratio). Ejemplo: pepino.



Las probetas con menor porcentaje de fibras y relación de mezcla 2,5% se caracterizan por una tendencia lineal (con una región de deformación más elástica) seguida de un comportamiento más frágil. En estas probetas con bajo porcentaje de fibras, la rotura es más repentina e instantánea. En las probetas con una proporción de mezcla del 5%, se observan grietas inclinadas y no se aprecia ninguna rotura repentina.

El comportamiento de las probetas con mayor porcentaje de fibras (proporción de mezcla 7,5% y 10%) se caracteriza por ser lineal, seguido de un comportamiento dúctil y flexible.

Los resultados muestran el fallo dúctil de los materiales compuestos con mayor porcentaje de fibras: primero con una fase plástica elevada y después con un desplazamiento significativo de las fibras antes de la fractura (de tipo cizalladura gradual y poco fisurada). Esto se debe a la presencia de fibras, ya que amortiguan las tensiones ejercidas en su periferia.

La figura 2 muestra la forma de la probeta reforzada con fibras después de la rotura, la probeta con una proporción de residuos del 10% mantuvo su estructura inicial con un ligero empaquetamiento en la zona cargada. Este estado caracteriza un comportamiento dúctil para la probeta con mayor proporción de residuo y un comportamiento más frágil para las probetas con menor proporción de residuo.

4. Conclusiones

El análisis presentado trata de la viabilidad de los materiales compuestos con tierra Formación Alhambra y fibras procedentes de la agricultura industrial. El objetivo es utilizar estos materiales compuestos en el diseño de materiales de construcción ligeros.

Las propiedades físico-mecánicas de estos materiales compuestos se midieron para proporciones de mezcla específicas, aplicando las técnicas de premojado y no premojado de las fibras antes de mezclarlas con la tierra. Estas propiedades se compararon con las de las probetas de control sin residuos, compuestas únicamente por tierra y agua. También se compararon los resultados de las probetas con menor y mayor proporción de residuos entre sí.

Según los resultados, la densidad de la probeta que contenía un 10% de fibras de pepino se redujo aproximadamente un 71% en comparación con las probetas de control sin residuos. La sustitución de tierra por fibras, así como un aumento en la proporción de las mismas, influyó negativamente en los resultados de resistencia a la compresión.

Aunque la resistencia a la compresión se redujo de 1,99 MPa a 1,00 MPa y la densidad de 1.624 kg/m³ a 1.316 kg/m³, para una proporción de fibra del 10%, la probeta presenta una gran flexibilidad caracterizada por la capacidad de sufrir grandes deformaciones antes de la rotura (comportamiento dúctil).

El aumento de la deformación y de la capacidad de absorción de energía se traduce en una limitación de la propagación de las grietas y del ensanchamiento de las mismas. Por tanto, esto contribuye a reducir el fallo catastrófico que suele producirse cuando los materiales se rompen en pedazos inmediatamente después de la fase de agrietamiento.

En el futuro, se estudiará el efecto de otros parámetros, como el uso de aditivos, con el fin de mejorar las propiedades mecánicas para su uso en el sistema de tierra proyectada.

Agradecimientos

Esta investigación fue parcialmente financiada por el Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de Granada (UGR), así como por el Karlsruhe Institute of Technology (KIT). Adicionalmente, nos gustaría agradecer a los trabajadores de Ejido Medio Ambiente S.A. por proporcionar los residuos agrícolas, así como a los LIDEM Construcciones Mecánicas S.L. por el picado de éstos.

Bibliografía

- Céspedes, A. J., M. C. García, J. J. Pérez, y I. M. Cuadrado. 2009. «Caracterización de la explotación hortícola protegida de Almería». Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería. Huércal de Almería.
- Chang, Jie, Xu Wu, Yan Wang, Laura A. Meyerson, Baojing Gu, Yong Min, Hui Xue, Changhui Peng, y Ying Ge. 2013. «Does growing vegetables in plastic greenhouses enhance regional ecosystem services beyond the food supply?» *Frontiers in Ecology and the Environment* 11 (1): 43-49.
- García, Raquel Fuentes. 2010. «Construcciones de tierra. El tapial. Nuevo sistema para construcción y restauración mediante la técnica de " tierra proyectada"». PhD Thesis, Universidad de Granada.
- González, Julia García, Desirée Rodríguez Robles, Andrés Juan Valdés, Julia M. Morán del Pozo, y M. Ignacio Guerra Romero. 2013. «Influence of moisture states of recycled coarse aggregates on the slump test». *Advanced Materials Research* 742: 379-83.
- Guimaraes, Jose Luiz, Elisabete Frollini, C. G. Da Silva, F. Wypych, y K. G. Satyanarayana. 2009. «Characterization of banana, sugarcane bagasse and sponge gourd fibers of Brazil». *Industrial Crops and Products* 30 (3): 407-15.
- Hamza, Sabrine, Houda Saad, Bertrand Charrier, Naceur Ayed, y Fatima Charrier-El Bouhtoury. 2013. «Physico-chemical characterization of Tunisian plant fibers and its utilization as reinforcement for plaster based composites». *Industrial Crops and Products* 49: 357-65.
- López, J. C., C. Pérez, y F. G. Acien. 2016. «Residuos vegetales procedentes de los invernaderos de almería». Fundación CAJAMAR-Grupo.
- Okino, E.Y.A., M.R. De Souza, M.A.E. Santana, M.V.D.S. Alves, M.E. De Sousa, y D.E. Teixeira. 2004. «Cement-Bonded Wood Particleboard with a Mixture of Eucalypt and Rubberwood». *Cement and Concrete Composites* 26 (6): 729-34. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(03\)00061-1](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(03)00061-1).
- Omrani, H., L. Hassini, A. Benazzouk, H. Beji, y A. ELcfsi. 2020. «Elaboration and characterization of clay-sand composite based on *Juncus acutus* fibers». *Construction and Building Materials* 238: 117712.
- Standards, European. s. f. «UNE EN ISO 17892-7:2019 Geotechnical Investigation and Testing - Laboratory Testing of Soil - Part 7: Unconfined Compression Test (ISO 17892-7:2017)». <https://www.en-standard.eu>. Accedido 29 de abril de 2023. <https://www.en-standard.eu/une-en-iso-17892-7-2019-geotechnical-investigation-and-testing-laboratory-testing-of-soil-part-7-unconfined-compression-test-iso-17892-7-2017/>.
- «UNE 103500:1994 Geotecnia. Modified Proctor Proctor nor...» s.f. Accedido 29 de abril de 2023. <https://en.tienda.aenor.com/norma-une-103500-1994-n0007850>.

EDIFICAT^E2023

**II NATIONAL CONGRESS AND
I INTERNATIONAL CONGRESS OF ADVANCED SCHOOLS BUILDING ENGINEERING
AND TECHNICAL ARCHITECTURE**

GRANADA, November, 9-10, 2023
Advanced Technical School for Building Engineering
University of Granada

TOPIC 4.

Innovation and digital transformation of teaching

Teaching-learning strategy applied to heritage rehabilitation: collaborative models in a real environment

Gutiérrez-Carrillo, M^a Lourdes^a, Romero Sánchez, Guadalupe^b y Marcos Cobaleda, María^c

^a Dpto. Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Granada, Campus de Fuentenueva, 18071, Granada, mlgutier@ugr.es; ^b Dpto. Didáctica de las Ciencias Sociales, Universidad de Granada, Campus de Cartuja, 18071, Granada, guadalupers@ugr.es; ^c Dpto. Historia del Arte, Universidad de Málaga, Campus de Teatinos, 29010, Málaga. mmcobaleda@uma.es

Abstract

The acquisition of heritage conservation skills requires a holistic view of the exercise of expertise. The interaction in the process of different disciplines requires a full and coordinated knowledge of the actions that, separately and jointly, must be developed by each of them.

Attention to heritage assets as a resource in the teaching-learning processes in the areas of Engineering, Humanities and Social Sciences has been quite widespread, although its treatment in teaching practice has traditionally been carried out in an anecdotal manner from an accentuated disciplinary perspective.

In order to mitigate the deficiencies that traditional teaching has shown and from the new role that students have to play in the current teaching-learning models, the objectives, methods and part of the results of two Teaching Innovation Projects led by the UGR and the UMA are presented. These projects have been developed within the framework of several subjects of different degrees -Degree in Edification, Degree in Art History, Degree in Education and Degree in Tourism-, and built on a common purpose: to consider in a transversal way the state of conservation of certain milestones of the architectural heritage and to formulate mechanisms for improvement that are developed in the technical field but also have an impact on the social and cultural sphere.

Established on a collaborative teaching model based on the methodologies of Project-Based Learning and Problem-Based Learning, it resulted, among other initiatives, in the design of workshops and collaborative didactic itineraries. In these, the students, guided by the teaching staff, have been proposing and responding to situations and problems by applying the techniques, resources and research methodologies specific to each area of knowledge, always based on active cooperation. The main results obtained are presented in this paper.

Keywords: Conservation, Heritage, Multidisciplinary

1. Introducción

La observación directa de la experiencia es un elemento fundamental para desarrollar capacidades profesionales en el ámbito universitario. La indagación y el conocimiento in situ y en tiempo real se consolidan como recursos básicos para introducir y desarrollar nuevos contenidos de aprendizaje. De ahí que, en este contexto de observación directa y de trabajo de campo, adquieran un papel cardinal los denominados "itinerarios didácticos", al constituirse como instrumentos que posibilitan la integración del estudiante en una realización práctica y activa a través de los cuales adquiere el conocimiento por experimentación (Galindo, 2016: 84-85; Jaén Milla et al., 2022). Este hecho se favorece al modificar el rol que el estudiante tradicionalmente ha tenido en el proceso enseñanza-aprendizaje, al pasar de la consideración de elemento pasivo a constituirse como elemento activo, adquiriendo un mayor sentimiento de protagonismo en el desarrollo gracias a este tipo de enseñanza (Fidalgo, 2011).

Los citados itinerarios actúan como valiosa herramienta de motivación ya que con este modelo de actividad se logra comprender la realidad más tangible al existir un contacto directo con el entorno, instalaciones, obras y agentes del proceso, y por tanto, con la realidad social. Además, desde la correcta orientación, a través de ellos se puede procurar la adquisición de métodos de trabajo mediante el contraste experimental de sucesos y hechos teóricos. De ahí que resulten esenciales en asignaturas de tipo reflexivo, experimental y técnico.

El empleo del Patrimonio Cultural como recurso en los procesos de enseñanza-aprendizaje en las ramas de las Ciencias Sociales, las Humanidades y las Ingenierías no es algo nuevo, si bien, su tratamiento en el currículo y en la práctica de la enseñanza se ha llevado a cabo tradicionalmente de forma anecdótica desde una perspectiva marcadamente disciplinar. Este procedimiento, durante la fase de formación universitaria de los futuros agentes implicados, ha supuesto la adquisición de las competencias por cada uno de ellos de un modo particularizado, respondiendo a las exigencias curriculares de cada materia que no revierte en el conocimiento holístico que precisa su estudio, diagnóstico, evaluación y diseño de propuestas de intervención.

En los últimos años, se han multiplicado los estudios dedicados al análisis crítico de los estados de conservación de los hitos que componen el Patrimonio Cultural, así como de experiencias llevadas a cabo relacionadas con su puesta en valor. En este sentido, y atendiendo al patrimonio fortificado en particular, se ha profundizado acerca de los criterios conceptuales de la intervención, así como de los materiales y medios técnicos a emplear (Gurriarán Daza, 2020). Sin embargo, estos trabajos precisan de otros que estén enfocados hacia la eficaz planificación de medidas de actuación compatibles que impliquen el diagnóstico de su estado de conservación y un mayor compromiso de protección y conservación de este patrimonio desde una perspectiva multidisciplinar (Gutiérrez et al, 2018) (Gutiérrez et al, 2020). Según esto, cualquier actuación debe considerar el análisis previo de los valores patrimoniales y el reconocimiento de las condiciones inmateriales y materiales de la obra, formando parte de la metodología aceptada como garante de la correcta intervención patrimonial. Toda acción contemporánea se debe cimentar en la coordinación de saberes gracias a un riguroso proceso de investigación continuado y transdisciplinar como soporte del mantenimiento y del legado al futuro de la información y valores que contiene. De ahí que el proceso de actuación requiera de numerosas disciplinas garantizando no solo la permanencia o protección de los valores que tienen soporte directo en la realidad física de los bienes, sino que además debe preservar aquellos otros, como los históricos, simbólicos o afectivos, de gran trascendencia a la hora de considerarlos como bienes de la colectividad.

Pero aun hoy, hay un gran desconocimiento del conjunto de valores patrimoniales de esta singular tipología, el patrimonio fortificado, categorizada por una elevada protección legal (Jefatura del Estado, 1985) a pesar de la cual su nivel de abandono y deterioro es muy preocupante (MECD, 2006). La falta de valores identitarios por parte de la sociedad con este específico patrimonio de proximidad ha sido factor clave que ha repercutido en su exiguuo conocimiento y en el deficitario estado de conservación que presentan estas estructuras (MECD, 2011). Si además esta situación se contrasta con la idea que el estudiantado universitario tiene, como futuros actores principales de su recuperación, de este patrimonio desde las capacidades y competencias que adquieren en cada uno de los grados -diversidad tipológica, condiciones materiales, proceso de deterioro y/o los métodos de intervención y conservación-, se detecta como problema fundamental la falta de acercamiento a experiencias reales relacionadas con su conocimiento integral, diagnóstico y conservación (Bestué, 2019).

Identificadas las problemáticas de base, la estrategia docente seguida en dos Proyectos de Innovación Docente (PID) liderado por la Universidad de Granada¹ y la Universidad de Málaga², se fundamenta en la conjunción entre el método del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), el desarrollo de un Itinerario Cultural de temática patrimonial, ya experimentado positivamente (García de la Vega, 2012) y la implementación de innovaciones tecnológicas aplicadas a la enseñanza-aprendizaje. La unión de estas metodologías, así como la interdisciplinariedad que requiere el análisis integral del objeto de estudio, el patrimonio fortificado, entendido como integración de saberes heterogéneos donde se combinan acción, pensamiento divergente y discurso crítico, trascendiendo los límites de las disciplinas involucradas y proporcionando un enfoque holístico, se constituye como la base de la innovación docente que planteamos, que tiene como finalidad propiciar una adecuada educación patrimonial y un entendimiento particularizado y a la vez amplio de las funciones que han de realizar el resto de agentes que interaccionan en su puesta en valor.

2. Objetivos

El objetivo general es crear en el alumnado de los distintos grados participantes -grado en Edificación (GE), grado en Historia del Arte (GHA) y Grado de Maestro en Educación Infantil (GEI)-, una sensibilidad apta acerca de la situación actual de las estructuras fortificadas de la provincia de Granada y de Ceuta, a través del diagnóstico multidisciplinar y coordinado de cada realidad según la metodología ABP y del diseño de itinerarios culturales didácticos, que han contribuido a su conocimiento integral con el propósito de definir y plantear soluciones coordinadas a sus demandas de conservación y puesta en valor.

Entre los objetivos específicos destacan:

- 1.- Diseñar una estrategia de educación interdisciplinar innovadora capaz de potenciar los resultados académicos y la adquisición de competencias básicas, generales y específicas.
- 2.- Crear una serie de itinerarios didácticos colaborativos y cooperativos que conectaran diversas competencias para la creación de proyectos más reales de cara a la sociedad.
- 3.- Capacitar al estudiantado para colaborar en grupos interdisciplinares asumiendo una actitud crítica ante la sociedad, tomando decisiones y defendiendo sus posturas.
- 4.- Elaborar una exposición virtual crítica en la que se expongan los resultados apoyados en el empleo de nuevas tecnologías.

3. Metodología

La metodología propuesta fomenta el aprendizaje crítico, colaborativo y cooperativo desde una perspectiva de intercambio en el proceso de enseñanza, contribuyendo al enriquecimiento de los contenidos de la materia y haciendo al alumnado protagonista de su propio aprendizaje.

De un modo genérico, si bien han tenido que considerarse metodológicamente las particularidades propias de cada disciplina, se han atendido a las siguientes fases:

- 1.- Confección del banco de conocimiento del patrimonio en estudio a través de material bibliográfico, documental y gráfico. Esta información ha sido estructurada en torno a las carencias detectadas facilitando el acceso a nueva información al estudiantado, para que supla al menos parcialmente las dificultades mostradas en el proceso de enseñanza-aprendizaje.
- 2.- Diseño y desarrollo de la estrategia metodológica del ABP, mediante la selección de los casos de estudio, identificación del problema según cada disciplina, planteamiento de la hipótesis de resolución, búsqueda y

¹ Plataforma virtual interdisciplinar de educación para el desarrollo de competencias generales y específicas: la metodología ABP combinada con el itinerario cultural como estrategia didáctica para la educación patrimonial. Financiado por la Unidad de Calidad, Innovación y Prospectiva. Universidad de Granada y coordinado por Guadalupe Romero Sánchez y M^a Lourdes Gutiérrez Carrillo.

² Estrategias STEAM-H aplicadas al ámbito patrimonial: el proyecto Patrimonio Herido. Financiado por el Servicio de Formación en Innovación. Universidad de Málaga y dirigido por Nuria Rodríguez Ortega.

análisis de información complementaria, discusión en grupo específico y multidisciplinar y resolución del problema.

3.- Elaboración y realización de itinerarios didácticos culturales por el patrimonio defensivo seleccionado. Se ha desarrollado desde la planificación interpretativa territorial y teniendo como base los objetivos didácticos de cada una de las materias implicadas en los grados asociados al PID. De forma específica se han trazado desde la diversidad histórico-artística, tipológica, material, constructiva, patológica y/o funcional (GE y GHA); desde el enfoque didáctico y educativo (GEI) y desde el desarrollo local en base al turismo. Con ello será visualizado cada problema corroborando la situación real de conservación de este patrimonio y de su entorno desde las distintas perspectivas que convergen.

4.- Exposición didáctica de los itinerarios culturales desarrollados. Su finalidad ha sido visibilizar el patrimonio defensivo, su realidad, acercándolo a la sociedad en general.

4. Resultados

Atendiendo a las características y objetivos particulares, desarrollo, y resultados obtenidos, señalamos:

4.1.- Itinerarios Culturales del Patrimonio Defensivo (ICP)

Realizados por el alumnado de la asignatura Arte Islámico, Andalús y Mudéjar del Grado en Historia del Arte de la Universidad de Málaga, los Itinerarios Culturales del patrimonio defensivo se han elaborado a partir de dos visitas de campo al patrimonio defensivo de la Granada andalusí, focalizadas en el conjunto defensivo de la Alhambra y las defensas urbanas del Albayzín. A pesar de su proximidad geográfica y de su importancia en el conjunto del patrimonio andalusí, este tipo de bienes resultan muy desconocidos para la mayoría de los estudiantes del grado en Historia del Arte de la Universidad de Málaga.

Entre los planeamientos específicos de este itinerario se han considerado:

- Ofrecer al alumnado una experiencia directa del patrimonio defensivo andalusí que les permitiera un mejor conocimiento de estos bienes patrimoniales.
- Desarrollar la identidad patrimonial del estudiantado vinculada al pasado andalusí, que permitiera valorar este patrimonio en su justa medida para contribuir a su mejor conservación y puesta en valor.
- Fomentar las competencias en investigación patrimonial del alumnado.
- Potenciar el aprendizaje crítico a través del trabajo autónomo y cooperativo del alumnado partiendo de la metodología del ABP y mediante la utilización de las TIC.
- Desarrollar itinerarios culturales didácticos como resultado del ABP, como herramienta para contribuir a la difusión de este tipo de patrimonio.

La metodología empleada en las acciones formativas se ha basado principalmente en el ABP, planteando en un nivel inicial una serie de cuestiones a las que el alumnado debía dar respuesta en sus itinerarios culturales. Estas cuestiones se han centrado en aspectos relativos a cómo garantizar la conservación del patrimonio defensivo de la ciudad de Granada y cómo los itinerarios culturales didácticos pueden contribuir a esta conservación.

Su desarrollo se ha materializado en las siguientes fases:

A. Trabajo de campo: se han llevado a cabo dos visitas con el alumnado, estando dedicada la primera de ellas al patrimonio defensivo de la Alhambra (Alcazaba, torres, puertas y murallas) y la segunda a las defensas urbanas del Albayzín (muralla y puerta de la Alhacaba, muralla de la Alberzana y Cerca de Don Gonzalo). Con las visitas se pretendía que el alumnado tuviera una primera toma de contacto con los bienes a estudiar.

B. Labores de investigación patrimonial: durante esta fase, el alumnado ha procedido de forma autónoma y colaborativa a la búsqueda de información sobre los diferentes bienes patrimoniales a tratar, para poder reunir los principales datos histórico-artísticos de los componentes específicos que integran cada uno de los itinerarios culturales. En el proceso de recogida de datos se hizo hincapié en las cuestiones relativas a la conservación de este patrimonio y las principales intervenciones históricas llevadas a cabo en el mismo.

C. Elaboración de itinerarios culturales: en esta última fase, el estudiantado ha elaborado sus itinerarios culturales de forma colaborativa, presentados en un póster según una plantilla proporcionada por la profesora, previamente elaborada por el equipo docente participante en el PID. En este póster se recogen los principales datos recopilados durante la fase de investigación patrimonial, incluyendo los objetivos y la metodología del itinerario, así como el material gráfico tomado durante el trabajo de campo, terminando con unas pequeñas conclusiones y un breve apartado dedicado a la bibliografía y webgrafía consultada (Figura 1).



Figura 1. Ejemplo de itinerarios culturales realizados por los estudiantes del GHA
Fuente: Elaboración propia (2021)

4.2. Itinerarios Técnicos de Conservación del Patrimonio Defensivo (ITC)

Liderado por el alumnado de la asignatura Construcción VI: Sistemas Integrados de Tecnología Avanzada del grado en Edificación, fueron realizados los correspondientes Itinerarios Técnicos de Conservación de las comarcas de frontera Íllora-Moclín y del litoral granadino. Los bienes objeto de estudio fueron: Torre de la Mesa, Torre de Jorvas, Torre de Clementino, Torre de la Encantada, Torre de Charcón, Torre de la Gallina Torre de Tózar, Torre de Migoandrés, Torre de la Solana, en la primera comarca y la Torre Doblada, Torre del Zambullón, Torre de Cambriles, Torre de la Herradura, Torre de Cerro Gordo, Torre de Jate, Torre del Cambrón, Torre de Melicena, Torre de Punta Negra, en el caso de la segunda.

Entre los planeamientos específicos de este itinerario se han considerado:

- Diseñar un modelo enseñanza-aprendizaje que incida en el conocimiento y puesta en valor de este patrimonio mediante parámetros sistematizados de caracterización multidisciplinar que complemente la información existente de acuerdo con las necesidades reflejadas en los documentos programáticos de gestión del patrimonio defensivo.
- Sistematizar un protocolo de diagnóstico de estas estructuras y de sus características particulares que permita establecer un sistema de catalogación específico y sostenible del patrimonio defensivo de la provincia de Granada.
- Generar mapas de daños asociados a cada familia de riesgo que incidan en las estructuras de los distintos bienes.
- Proponer estrategias básicas de actuación para conservar, mantener y fortalecer el patrimonio defensivo desde la componente material/ estructural y desde la perspectiva de elementos que son base de la cultura local con el fin de que su mejora implique beneficios económicos y la calidad de vida de las comarcas donde se integran.

La metodología empleada con relación al diseño y desarrollo del itinerario técnico de conservación incide en el reconocimiento y visibilidad del patrimonio fortificado desde criterios de actualización e innovación, con el fin de que el estudiantado del grado en Edificación desarrolle capacidades que permitan adquirir competencias en materia de conservación del Patrimonio Cultural. Este aprendizaje se ha planteado desde la práctica directa sobre el objeto de estudio, incitando a cada estudiante a plantearse preguntas y evaluar necesidades categorizadas que permitan crear respuestas armonizadas y compatibles. El desarrollo se ha materializado en tres fases diferenciadas:

A.- Fase previa de conocimiento y vaciado de información: basado en el estudio de los modelos de análisis y catalogación surgidos desde los Planes Nacionales de Arquitectura Defensiva y de Conservación Preventiva del Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE), adaptándolos a las necesidades de un aprendizaje práctico e interactivo donde el estudiante se convierte en el principal actor, tutorizado por la docente, el cual va promoviendo interrogantes a los que hay que dar respuesta para lograr la adecuada diagnosis valorativa y material de las estructuras.

B.- Trabajo de campo: desarrollado en exclusiva por el alumnado realizando un ejercicio de toma de datos durante la visita de campo que ha consistido en la georreferenciación de cada hito tras su localización, inspección visual y toma de información gráfica de alta calidad. Tras ello, los estudiantes han expuesto y debatido en talleres cada caso de estudio específico centrandose en él su análisis, readaptando y unificando el protocolo de trabajo. La ficha final diseñada con apoyo del profesorado recoge todos los ítems que caracterizan multidisciplinariamente el bien –documental y gráfica-, estableciendo una catalogación en función de su identificación, emplazamiento, caracterización material y constructiva, factores de riesgo que inciden y la potencial vulnerabilidad que se manifiesta en el bien.

C- Trabajo de análisis y elaboración de propuestas: realizado de forma grupal y cumplimentando la citada ficha que sistematiza la información cartográfica de examen territorial, documental y analítica de cada conjunto patrimonial, resultado de la observación directa in situ, del planteamiento de cuestiones y de necesidades a las que se ha de dar respuesta, y del trabajo conjunto estudiante-docente. La generación de las fichas de inventario finales ha constituido un primer paso en el proceso de aprendizaje de los sistemas materiales y constructivos de la arquitectura fortificada y de sus procesos de deterioro.

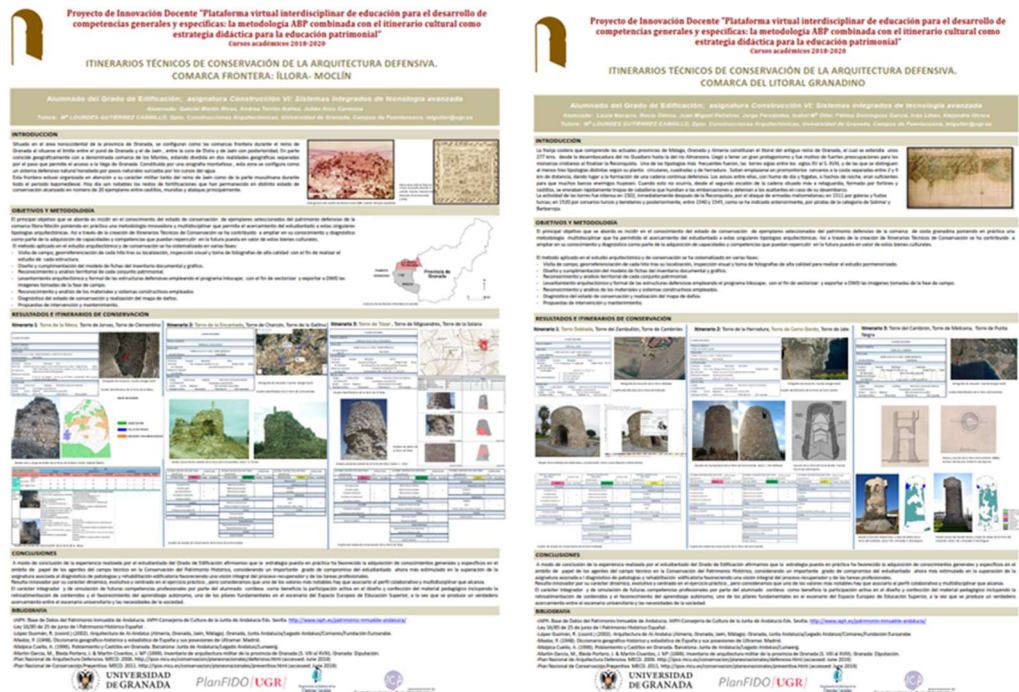


Figura 2. Ejemplo de itinerarios culturales realizados por los estudiantes del GE
Fuente: Elaboración propia (2021)

El paso siguiente en la capacitación del estudiantado del grado de Edificación en este ámbito ha consistido en la cumplimentación de fichas de caracterización de daños y patologías mucho más exhaustivas para cada bien. Este protocolo ha implicado una mayor exigencia de conocimiento y de desarrollo del proceso que ha supuesto la formalización de mapas de daño mediante el levantamiento arquitectónico y formal de las estructuras defensivas empleando el programa Inkscape con el fin de vectorizar y exportar a formato DWG las imágenes tomadas de la fase de campo.

Por último y a raíz de los diagnósticos realizados, se ha alentado a los grupos de estudiantes hacia un mayor grado de profundización en el análisis, capacitándolo para la elaboración de propuestas de intervención y mantenimiento.

A modo de ilustración de los resultados obtenidos y apoyados en la práctica directa, se ha realizado un corpus de inventario novedoso de materiales, técnicas constructivas y elementos constituyentes de la arquitectura fortificada, junto a la consecución del objetivo de establecimiento de un catálogo de las patologías más comunes en este tipo de arquitectura. Todo el resultado ha adoptado forma de itinerario de conservación (Figura 2).

4.3. Itinerarios Didácticos para educar en Patrimonio (IDP)

Desarrollados por los/as estudiantes de la asignatura Conocimiento del entorno social y cultural y su didáctica del grado en Maestro en Educación Infantil, fueron realizados los itinerarios de perfil didáctico y educativo centrados en Ceuta, ciudad cuyo campus universitario pertenece a la Universidad de Granada siendo parte integrante del proyecto docente. El objeto principal de estudio en este caso fueron las Murallas Merinies y su entorno, conjunto levantado en el siglo XIV en la zona conocida como Campo Exterior y desde el que se dominaba la Medina Ceutí y los límites de la ciudad. Las características de su construcción, la importancia de los restos arqueológicos conservados (algo más de 400 metros de lienzo), los materiales constructivos y sus numerosos problemas de conservación, la escasa valoración y cuidado hacia el bien por parte del vecindario limítrofe y el escaso conocimiento de la población en general de sus valores e importancia, hicieron de este espacio el idóneo para desarrollar los itinerarios didácticos en educación infantil.

Debemos tener en cuenta que con esta actividad se trabajan también dos de las competencias generales del título como son: 7. Elaborar propuestas didácticas en relación con la interacción ciencia, técnica, sociedad y desarrollo sostenible y 8. Promover el interés y el respeto por el medio natural, social y cultural a través de proyectos didácticos adecuados.

Entre los planeamientos específicos de este itinerario se han considerado:

- Introducir elementos de educación patrimonial en el aula de infantil a través de la implementación de contenidos relacionados con el Patrimonio Cultural, su cuidado y conservación; del fomento de la formación de los futuros docentes en el valor social, cultural, económico e identitario de los bienes culturales y de la mejora de los materiales y acciones educativas en pro de una mejor capacitación del alumnado; propiciando con todo ello una mayor capacitación profesional del alumnado.
- Desarrollar una estrategia que permita conectar los retos de la sociedad actual en relación a la conservación del patrimonio cultural con el currículum educativo de infantil, en el que el que los conceptos de espacio y de tiempo cobran una especial importancia.
- Acercar la escuela al entorno social y cultural, favoreciendo acciones que permitan desarrollar la observación directa del alumnado y la experimentación personal.
- Valorar el bien patrimonial como fuente para el conocimiento de las Ciencias Sociales, en particular de la Geografía, la Historia, la Antropología Cultural y la Historia del Arte, a través de su vinculación con los bloques de contenidos Medio físico: elementos, relaciones y medida, y Cultura y vida en sociedad.
- Conocer las posibilidades didácticas del itinerario como estrategia metodológica, así como sus características y elementos para su construcción.

Su desarrollo se ha realizado en las siguientes fases:

A.- Fase previa de conocimiento y análisis de la información: a través de la plataforma moodle desarrollada en el marco de la Universidad de Granada y denominada PRADO, se facilitó al alumnado una unidad con

materiales específicos seleccionados o preparados ex profeso para su capacitación previa. En él se incluían tres bloques temáticos:

- Publicaciones y materiales relacionados con la actividad humana y elementos sociales y culturales que forman parte del entorno, así como los enlaces al currículum educativo en educación infantil, en el que consultar objetivos, contenidos y competencias.
- Dossier sobre el itinerario como estrategia metodológica en educación. En él se incluían publicaciones científicas y experiencias docentes desarrolladas por otros docentes que sirvieran como modelo para el conocimiento de su construcción y posibilidades de actuación con relación al patrimonio y su didáctica.
- Carpeta temática sobre las murallas merinidas de Ceuta: enlaces web, publicaciones, declaratoria como Bien de Interés Cultural, artículos de periódicos locales en los que se pone de manifiesto sus problemas de conservación y cuidado, fotografías históricas...

B.- Trabajo de campo: se realizó una visita conjunta al bien patrimonial y a su entorno, a través de la cual los/as estudiantes pudieron desarrollar actividades de observación cuyos resultados quedaron plasmados en fichas de registro (previamente elaboradas por la profesora). El alumnado tuvo oportunidad de recorrer el espacio tomando datos, sacando fotografías y analizando el entorno sirviéndose de herramientas como Google Maps. Organizados por grupos de trabajo, y ya en el aula, realizamos una puesta en común y debate que sirvió para compartir impresiones y establecer un mismo punto de partida con relación a los contenidos, posibilidades educativas del bien y el trabajo a desarrollar.

C.- Trabajo de gabinete: el alumnado, organizado por grupos, confeccionó un itinerario basado en los dictados de la educación patrimonial que daba respuesta a los problemas de conservación del bien y que conectaba con el currículum educativo de la etapa de infantil. El recorrido se organizó con paradas preestablecidas, adecuadas para alumnos y alumnas de 3 a 5 años. Diseñaron una secuencia educativa antes, durante y después de la visita, preparando al alumnado para realizar el itinerario y previendo actividades de refuerzo, repaso y/o ampliación a la vuelta al aula. Los resultados, de manera esquemática, se volcaron en una plantilla de póster previamente elaborada por las profesoras implicadas en el PID, para la cual se contaba con las instrucciones pertinentes para su cumplimentación.

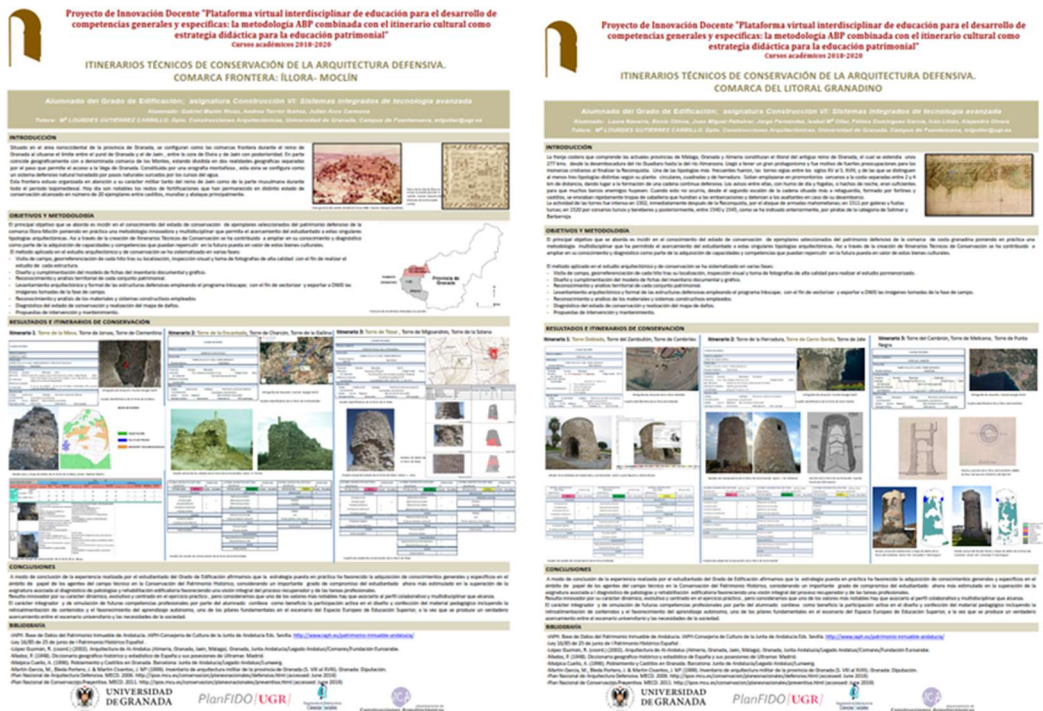


Figura 3. Ejemplo de itinerarios culturales realizados por los estudiantes del GE Fuente: Elaboración propia (2021)

5. Discusión

El método de aprendizaje establecido ha permitido el desarrollo de estrategias para la educación interdisciplinar del patrimonio histórico que han favorecido su conocimiento, conservación y difusión.

De forma particular, dado el escaso conocimiento que a priori manifiesta el estudiantado del grado en Edificación acerca de la arquitectura defensiva y del proceso patológico que con más frecuencia muestran, ha facilitado el acercamiento a esta tipología arquitectónica permitiendo al estudiantado establecer una interacción directa con el bien, con la identificación física de daños y con el territorio en el que se enclavan determinantes en la configuración de su estado de conservación. Además, este aprendizaje se ha vinculado en su procedimiento a las últimas tendencias en el campo de la conservación preventiva. Esta escasez de conocimiento sobre el patrimonio defensivo se hace extensible también al alumnado del grado en Historia del Arte de la Universidad de Málaga, para quienes el contacto directo con los bienes a estudiar ha resultado determinante de cara a despertar el interés de los/as estudiantes en el proceso de investigación sobre cada bien patrimonial visitado, aumentando de forma considerable su valoración sobre éste y fortaleciendo en última instancia el carácter identitario que posee este patrimonio.

Volviendo al GE, junto a lo anterior se ha constatado la sistematización de los procesos de análisis, dotando al estudiantado de herramientas que facilitan su aprendizaje y eliminando el factor aleatorio en el proceso de definición de daños en el bien patrimonial; y la valoración de los modelos de análisis actuales avalados por los organismos oficiales responsables de la tutela del patrimonio, capacitando al estudiantado para su inmersión en el mundo laboral.

En el caso del GEI, el proyecto ha servido para acercar al alumnado a la educación patrimonial y al análisis del entorno social y cultural, haciéndoles más competentes. El desconocimiento sobre el propio concepto de patrimonio y sus tipologías, con especial énfasis en la arquitectura defensiva de la que Ceuta es muy rica en bienes protegidos, así como de sus valores y sus problemas de conservación, ha supuesto un aliciente para conocer otros bienes de la ciudad y un elemento de motivación importante para el desarrollo de la práctica. La metodología empleada ha sido valorada positivamente, así como la utilización del itinerario para los objetivos propuestos.

Además de lo comentado hasta el momento, en el caso concreto del GHA, esta práctica ha contribuido a que el alumnado adquiera un conocimiento más profundo sobre el patrimonio andalusí en sus diferentes tipologías, destacando su vertiente defensiva, así como el aprendizaje de metodologías directamente orientadas a la investigación patrimonial. Éstas les han ayudado a mejorar sus competencias orientadas a la difusión del patrimonio en general y andalusí en particular, además de despertar el interés de los/as estudiantes en las cuestiones relativas a la conservación patrimonial, tomando conciencia de la importancia de la labor de difusión del patrimonio a la sociedad para garantizar su correcta conservación.

6. Conclusiones

A modo de conclusión de la experiencia realizada por el estudiantado de los distintos grados participantes afirmamos que la estrategia diseñada ha favorecido la adquisición de conocimientos generales y específicos en el ámbito de las funciones a desarrollar por los agentes implicados en la Conservación del Patrimonio Cultural, considerando un importante grado de compromiso del estudiantado con las disciplinas de conocimiento, difusión y rehabilitación del patrimonio defensivo y la adopción de una visión integral del proceso recuperador y de las tareas profesionales.

Ha resultado una estrategia innovadora por su carácter dinámico, evolutivo y centrado en el ejercicio práctico, poniendo el foco en el papel actor del alumnado para su realización, pero consideramos que uno de los valores más notables hay que asociarlo al perfil colaborativo y multidisciplinar que alcanza.

El carácter integrador y de simulación de futuras competencias profesionales por parte del alumnado conlleva como beneficio la participación en el diseño y confección del material pedagógico incluyendo la retroalimentación de contenidos y el favorecimiento del aprendizaje autónomo, uno de los pilares fundamentales en el escenario del Espacio Europeo de Educación Superior, a la vez que se produce un verdadero acercamiento entre el escenario universitario y las necesidades de la sociedad.

Referencias

- Bestué Cardiel, I. 2019. El aprendizaje de los modelos de conservación preventiva y de análisis. En: Egea González et al (eds): *Innovación docente e Investigación en Ciencias, Ingeniería y Arquitectura*. pp. 139-145 Madrid: Dykinson S.L. ISBN: 978-84-1324-559-1
- Fidalgo, Á. 2011. La innovación docente y los estudiantes. *La Cuestión Universitaria*, 7, 84-91.
- Galindo, R. 2016. Enseñar y aprender Ciencias Sociales en Educación Primaria. Modelo didáctico y estrategias metodológicas. En Licerias, A. y Romero, G. (Coords.). *Didáctica de las Ciencias Sociales. Fundamentos, contextos y propuestas*, Ed. Pirámide, Madrid, 73-93.
- García de la Vega, A. 2012. El aprendizaje basado en problemas en los itinerarios didácticos vinculados al patrimonio. *Educación y futuro*, 27: 155-175.
- Gurriarán Daza, P. 2020. Las técnicas constructivas en las murallas medievales de Almería. In *Defensive Architecture of the Mediterranean*, Navarro Palazón, J., Luis José García-Pulido Eds. Universidad de Granada, Universitat Politècnica de València, Patronato de la Alhambra y Generalife, Granada (Spain), 61-70.
- Gutiérrez-Carrillo, M.L., Bestué Cardiel, I., Molina Gaitán, J.C., Martínez López, J.A. 2018. PREFORTI Project: Preventive Conservation in Fortified Heritage in Rammed Earth. In *Vernacular and Earthen Architecture. Conservation and Sustainability*; Mileto, C., Vegas López-Manzanares, F., García Soriano, L., Cristini, V., Eds.; CRC Press/Balkema, Taylor & Francis: London, UK, 447-452
- Gutiérrez-Carrillo M.L., Bestué Cardiel I, Molero Melgarejo E, Marcos Cobaleda M. 2020. Pathological and risk analysis of the Lojuela Castle (Granada-Spain): methodology and preventive conservation for medieval earthen fortifications. *Appl Sci* 10:6491. <https://doi.org/10.3390/app10186491>
- Jaén Milla, S., De la Cruz Redondo, A., Díez Bedmar, C., García Luque, A. 2022. Itinerarios didácticos por el patrimonio de la Guerra Civil en Jaén. *Educación patrimonial y conciencia histórica*. En: Bel Martínez, J.C.; Colomer Rubio, J.C. y de Alba Fernández, N. *Repensar el currículum de Ciencias Sociales: prácticas educativas para una ciudadanía crítica*. Tomo 1. Valencia: Tirant Humanidades, 401-413.
- Jefatura del Estado, 1985. Ley 16/85 de 25 de junio del Patrimonio Histórico Español. BOE núm. 155 de 29 de junio de 1985. Referencia: BOE-A-1985-12534.
- MECD, 2006. Plan Nacional de Arquitectura Defensiva. <http://ipce.mcu.es/conservacion/planesnacionales/defensiva.html> (accessed: June 2022)
- MECD, 2011. Plan Nacional de Conservación Preventiva. <http://ipce.mcu.es/conservacion/planesnacionales/preventiva.html> (accessed: June 2022)

Exploring built heritage through an interdisciplinary and cross-cutting approach: applying HBIM systems for the conservation-rehabilitation, management and maintenance of domestic architecture in Tetuan.

Calvo Serrano, Julio^a, Malagón Luesma, Carlos^a, Gámez Montalvo, M.^a Dolores^b, Martín Martín, Adelaida^b

^a Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería, 18071, Granada. julocal@ugr.es, carlosmalagon@ugr.es, ^b Departamento de Construcciones Arquitectónicas, 18071, Granada. mdgamez@ugr.es, emiliog@ugr.es, adelaida@ugr.es.

Abstract

The applied research project to development cooperation entitled "Selection and foundations for the application of HBIM systems in the assessment, restitution and documentation of built heritage as a methodological basis for future conservation-rehabilitation, management and maintenance actions. Application to the domestic architecture of patrimonial value and in danger of disappearance, of the city of Tetuan (H-BIMAROC)" is framed in an interdisciplinary and transversal research that seeks to advance the implementation of HBIM systems to serve as a methodological basis for future conservation-rehabilitation, management and maintenance actions of the domestic architecture of the city of Tetuan, in particular in the Jewish neighborhood of Mellah al-Jadid and other representative buildings of the medina. To meet the objectives of the project, an interdisciplinary team has been formed composed of teachers from the ETSIE, students of Curricular Practices and Final Degree Project of the Building School, students of the Masters of Architectural Rehabilitation and Science and Technology in Rehabilitation of the University of Granada, as well as research personnel from Morocco and Tetuan, students from the National School of Architecture of Tetuan and the National School of Applied Sciences of the Abdelmalik Essaadi University, also from Tetuan. The project seeks to improve teaching and research capabilities, both of students and faculty, in the use of digital tools applied to building, in a BIM environment, in order to transfer these skills for the study and intervention in the "Built Heritage" through a collaborative and multidisciplinary work between the participating universities. To this end, a methodological sequence is established that involves the approach between the research groups, academics and students, telematic tutoring, collaborative work and joint practices, as well as the incorporation of advanced analysis and virtual restitution techniques to BIM models to create a platform with a catalog of housing and a historical, constructive and HBIM process knowledge that guarantees the social and economic profitability of the built heritage.

Keywords: HBIM, Built Heritage, Tetuán, Rehabilitation, Interdisciplinary

1. Introducción

El proyecto "*Iniciativas para la protección, recuperación y rehabilitación funcional de la medina de Tetuán, Marruecos*" se presentó en 2011 como resultado de la colaboración entre la Universidad de Granada, el CICODE (Centro de Iniciativas de Cooperación y Desarrollo), la Universidad Abdelmalek Essadi de Marruecos, la Asociación Tétouan Asmir Maroc y el Ayuntamiento de Tetuán. Aunque este nuevo proyecto, que presentamos en este congreso, comparte la preocupación por el patrimonio edificado en la medina de Tetuán, difiere en sus objetivos específicos, ubicación, metodología propuesta y actores involucrados.

La experiencia del grupo de investigadores en Marruecos se remonta al año 2003. Desde entonces, han llevado a cabo diversas actividades docentes e investigaciones que les han permitido comprender el valor patrimonial de la arquitectura tradicional marroquí, profundizar en el estudio de los barrios judíos y los desafíos que enfrentan en términos de conservación física y preservación de la memoria, así como reconocer la importancia de preservar la identidad de los territorios y las comunidades.

El primer contacto se estableció a través de la participación de profesores y alumnos de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Granada en el Taller Internacional sobre la Arquitectura de Tierra "*Learning from Tamnougalt*" en 2003. Este taller tuvo lugar en el Ksar de Tamnougalt, en el Valle del Drâa, Marruecos, y contó con la colaboración de otras instituciones académicas italianas.

A lo largo de los años, los investigadores de la Universidad de Granada realizaron estancias adicionales en Marruecos, ampliando su conocimiento y difusión del patrimonio cultural de los valles pre-saharianos. En 2010, organizaron el "*II Taller de Arquitectura de Tierra en Tamnougalt*" en colaboración con la Universidad de Marrakech, la Oficina de Inspección de Monumentos y el Centro de Restauración y Rehabilitación de zonas atlasiques et Sub-atlasiques (CERKAS) en Ouarzazate.

En 2012, los profesores y alumnos de la recién creada Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación de la Universidad de Granada participaron en un programa de cooperación interuniversitaria e investigación científica en el sur de Marruecos, centrado en el desarrollo de modelos de turismo sostenible en el valle del M'goum. Esta iniciativa recibió apoyo del Ministerio de Asuntos Culturales de Marruecos y tuvo como objetivo fortalecer las relaciones institucionales y la comunicación científica entre diferentes instituciones académicas.

En 2012 y 2013, los profesores coordinaron el I y II "*Taller para el Estudio, Conservación y Rehabilitación de la medina de Tetuán*". Estos talleres involucraron el estudio, catalogación y realización de proyectos de intervenciones de urgencia para la rehabilitación de viviendas en mal estado. También se llevó a cabo la toma de datos para la rehabilitación y adaptación de "*Dar Ben Marzouk*" como Centro de Recepción Turística y de Interpretación de la Navegación en el Mediterráneo, vinculado a las Mazmorras de la Ciudad de Tetuán.

En los años siguientes, los talleres continuaron en colaboración con la Red Mediterránea de medinas (RMM) y la participación de varias ciudades marroquíes. Los proyectos fin de grado realizados en estos talleres fueron entregados a la RMM para su posterior traslado a las entidades locales que realizaron los encargos.

En 2016, uno de los profesores presentó su tesis sobre la judería en la medina de Tetuán (Calvo, 2017), examinando la ciudad islámica, la integración del barrio judío, las interacciones comunitarias y el papel del Mellah en la medina, así como una aproximación tipológica a la vivienda en la ciudad antigua de Tetuán.

Durante los cursos 2017-18, 2018-2019 y 2019-20, los talleres continuaron con la participación del ayuntamiento de Río Martil y la Agencia Urbana de Tetuán. Se sumaron el apoyo institucional del Centro de Iniciativas de Cooperación al Desarrollo de la UGR (CICODE) y la participación de la Escuela Nacional de Arquitectura de Tetuán (ENAT). Esta colaboración ha permitido avanzar en investigación, cooperación interuniversitaria y transferencia de conocimiento para el desarrollo.

En el año 2022, se presentó a la Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo un nuevo proyecto titulado "***Selección y fundamentos para la aplicación de sistemas HBIM en el levantamiento, restitución y documentación del patrimonio edificado como base metodológica para futuras acciones de conservación-rehabilitación, gestión y mantenimiento***". Este proyecto recibió una subvención de 72.700 euros y tiene un plazo de realización de 24 meses.

El proyecto presentado, que exponemos en este congreso, se enmarca en una investigación aplicada a la cooperación internacional para el desarrollo, y es liderado por el Dr. Julio Calvo Serrano y un equipo de

investigadores de la Universidad de Granada. Este equipo está compuesto por profesores de diferentes departamentos, así como estudiantes de prácticas y programas de máster relacionados con la arquitectura y la rehabilitación.

En colaboración con la CODENAF (Cooperación y Desarrollo en el Norte de África), una organización con experiencia en cooperación al desarrollo se ha formado un equipo de investigadores en Marruecos. Este equipo incluye a la directora de la Escuela de Arquitectura de Tetuán, el arquitecto jefe de la Agencia Urbana de Tetuán, profesores de la Escuela de Arquitectura de Tetuán y la Escuela Nacional de Ciencias Aplicadas, representantes del Ministerio de Asuntos Culturales y el director del Instituto Nacional de Bellas Artes de Tetuán. Además, participan estudiantes de las universidades locales.

La ejecución del proyecto se llevará a cabo en la Medina de Tetuán, Marruecos, que es un país prioritario en el III Plan Andaluz de Cooperación para el Desarrollo.

La contraparte del proyecto está compuesta por la Universidad ENAT (Escuela Nacional de Arquitectura de Tetuán) y la Universidad Abdelmalek Essaadi, específicamente la Escuela Nacional de Ciencias Aplicadas, ambas ubicadas en Marruecos.

El público objetivo y los participantes del proyecto son los estudiantes de los últimos cursos de ENAT y ENSA, procedentes de todas las regiones de Marruecos, con un 10% procedente del África Subsahariana. Aproximadamente, dos tercios de los participantes son mujeres y el tercio restante son hombres.

2. Objetivos

El proyecto de cooperación pretende alcanzar los siguientes objetivos:

1. Conservar, rehabilitar y proteger el patrimonio edificado en la Medina de Tetuán a través de la formación cualificada. Esto impulsará la regeneración del tejido urbano protegido que se encuentra en proceso de degradación. Además, se busca utilizar esta iniciativa como herramienta para combatir la pobreza y la desigualdad, mejorando así las condiciones de vida de los residentes.
2. Seleccionar, fundamentar e implementar en el ámbito educativo universitario los sistemas H-BIM y fotogrametría para documentar, levantar y restituir el patrimonio edificado. Estos sistemas servirán como base metodológica para futuras acciones de conservación, rehabilitación, mantenimiento y gestión en Mellah al-Jadid, el barrio judío de la medina de Tetuán.

Para lograr una adecuada gestión del conocimiento en los participantes del proyecto, se plantean las siguientes acciones:

- Identificar, recopilar y organizar el conocimiento existente en el área de sistemas BIM aplicados a la intervención en edificios patrimoniales. Esto se llevará a cabo mediante cursos y seminarios impartidos por la UGR, ENSA y ENAT, que capacitarán a los participantes en el uso de estas herramientas de documentación y gestión. La docencia virtual será utilizada para facilitar la formación y desarrollo de competencias necesarias.
- Poner en práctica la capacitación adquirida a través del levantamiento y modelado de edificios por parte de estudiantes y profesores de ENSA, ENAT y UGR. Se incluirá información histórica, constructiva y sobre patologías para crear modelos virtuales. La distribución de tareas se realizará por manzanas de viviendas y se empleará una plataforma digital para gestionar y compartir el trabajo. La revisión y análisis de los resultados sentarán las bases para la siguiente etapa del proyecto.
- Coordinar y distribuir los trabajos mediante reuniones presenciales y virtuales con los agentes involucrados. Se realizarán reuniones mensuales de seguimiento general, así como reuniones sectoriales para informar sobre los resultados obtenidos.

Estas acciones permitirán generar nuevo conocimiento, plasmado en una guía metodológica de intervención, la creación de bibliotecas de objetos y un catálogo detallado de viviendas. Estos recursos serán compartidos con la Agencia Urbana de Tetuán y estarán disponibles para futuras acciones de rehabilitación en el barrio de Mellah al-Jadid. Los resultados del proyecto también se compartirán en plataformas accesibles para interesados y profesionales.

Durante todo el proceso de investigación, se mantendrá un flujo constante de información entre los participantes de cada sección, y se generarán informes mensuales para mantener al resto de los participantes informados. Además, se requerirá la participación de todos los agentes en acciones puntuales de urgencia.



Figura 1. Seminario Cyclone Register. Análisis de resultados

Fuente: Gámez, M.D. (2023)

3. Metodología

La metodología del proyecto se basará en el conocimiento previo de la situación y el diagnóstico realizado en los últimos 10 años, actualizado por todos los agentes involucrados. Se llevarán a cabo diversas acciones, como informar a los residentes de la Medina y en particular de Mellah al-Jadid sobre el proyecto, brindar formación interuniversitaria en sistemas avanzados de trabajo, crear herramientas y protocolos de trabajo conjunto, realizar el modelado de viviendas

Este proyecto de cooperación se basa en una secuencia metodológica que se enfoca en la colaboración entre grupos de investigación, académicos y estudiantes. Se busca fomentar el enfoque multidisciplinario y el trabajo conjunto de diferentes campos de conocimiento en relación con el patrimonio cultural y la aplicación de los sistemas BIM en el estudio del patrimonio histórico de Tetuán.

La metodología del proyecto incluye los siguientes objetivos específicos:

- Fomentar el enfoque multidisciplinario y el trabajo conjunto en aspectos relacionados con el conocimiento y la valoración del patrimonio cultural.
- Mejorar las habilidades de los estudiantes en el manejo de los sistemas BIM, centrándose en el modelado, documentación y presentación de edificios patrimoniales. Se utilizará una combinación de trabajo autónomo, actividades presenciales, trabajo colaborativo en grupo, tutoría telemática y prácticas en la Medina de Tetuán.
- Investigar la historia de la ciudad, identificando los eventos urbanos más relevantes y su influencia en el desarrollo de Tetuán. Se prestará especial atención a la relación e influencia de la comunidad judía en estos eventos.

- Realizar un análisis detallado de la arquitectura producida por la comunidad judía en Tetuán, enfocándose en la estructura y forma del barrio judío. Se realizará un análisis tipológico de las casas en Mellah al-Jadid y se compararán con las casas de otros barrios de la medina. (Bernal, 2013 y Benaboud y Torres, 2002).
- Documentar la arquitectura de la Medina de Tetuán, incluyendo las técnicas constructivas originales y las causas de su deterioro y destrucción. Se utilizará un estudio metodológico y una valoración sintomatológica de las huellas dejadas por las edificaciones existentes.
- Establecer una base metodológica para el levantamiento y la restitución virtual de edificaciones destruidas o alteradas, utilizando técnicas avanzadas de documentación y su incorporación en modelos BIM. El objetivo es recopilar la máxima información posible sobre los edificios.
- Aplicar técnicas avanzadas de análisis y restitución virtual de edificaciones para interpretar y proyectar de manera fundamentada la apariencia original y la evolución del patrimonio edificado. En caso necesario, se propondrán diferentes tipos de intervención de acuerdo con las normas y teorías de conservación-restauración vigentes.
- Recopilar, organizar y analizar información sobre los edificios históricos, así como su interpretación para la creación de modelos virtuales. Se integrará esta información en un modelo HBIM que permita la creación de una plataforma con un catálogo de viviendas, incluyendo detalles sobre su estado actual, aspectos tipológicos, constructivos y patologías presentes. Además, se generarán resultados que ayuden a comprender el estado original de los edificios, su restitución virtual y posibles intervenciones de rehabilitación.



Figura 2. Trabajos de escaneado. Madraza Lukach

Fuente: Gámez, M.D. (2023)

4. Justificación

La inclusión de la Medina de Tetuán en la Lista de Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO en 1997 le otorgó la responsabilidad de conservar su carácter histórico y significado como valiosa memoria del pasado (Duclos y Campos, 2003). Sin embargo, es importante reconocer que el carácter vivo y en constante evolución de la ciudad es fundamental para su esencia. Tratar la Medina como un monumento inmutable podría eliminar su capacidad de adaptación y desarrollo.

En este contexto, la intervención de conservación y rehabilitación en el barrio judío de Mellah al-Jadid se enfrenta al desafío de establecer un diálogo con el pasado sin traicionar su carácter único. Este barrio es considerado anómalo y no representativo desde una perspectiva cultural y arquitectónica, pero es crucial superar esta percepción errónea y comprender su importancia dentro de la Medina. (De Teran, 2003)

Este diálogo entre el pasado y el futuro se vuelve imprescindible debido a la creciente pérdida de la identidad cultural de Mellah al-Jadid y su carácter original, que está desapareciendo de la memoria colectiva. Los residentes originales, los marroquíes-judíos, ya no están presentes en el barrio, y ha sido ocupado por nuevos habitantes musulmanes que llegaron desde las montañas. Esta transformación ha llevado a una situación marginal y precaria, con viviendas sobrepobladas y en condiciones deplorables. (Bravo, 2000)

La falta de intervenciones efectivas por parte de las entidades públicas y las limitadas acciones de restauración y sostenibilidad realizadas por particulares y ONG han contribuido al deterioro progresivo del patrimonio cultural de Mellah al-Jadid. Ante esta situación, es evidente la necesidad de un proyecto de cooperación internacional para el desarrollo que aborde estos desafíos de manera integral y urgente.

La justificación para realizar un proyecto de cooperación internacional en Tetuán radica en la pérdida progresiva de su patrimonio cultural y la necesidad de preservar su identidad y memoria histórica. Este proyecto permite implementar medidas urgentes de conservación, rehabilitación y sostenibilidad para evitar la homogeneización cultural y asegurar la protección a largo plazo de la Medina de Tetuán y sus barrios como un valioso legado para las generaciones futuras.

5. Resultados del proyecto.

Los resultados esperados de este proyecto de cooperación multidisciplinar son los siguientes:

R1: Conocimiento y valoración de sistemas H-BIM y sistemas complementarios, para la documentación levantamiento y restitución del patrimonio edificado, como base para su conservación y gestión, entre el alumnado de ENAT y ENSA.

R2: Creación de una base de datos metodológica, el levantamiento y restitución virtual de edificaciones destruidas o alteradas, y de soluciones tradicionales, utilizando las técnicas básicas y avanzadas de documentación y su incorporación a modelos BIM, en base a parámetros testados y homologables, reuniendo la máxima información posible sobre el edificio, atendiendo a su entorno específico.

R3: Creación y uso de un Modelo protocolizado de documentación y gestión, abarcando toda la información computable posible, necesaria para la optimización de las herramientas y aplicaciones BIM en la gestión, diseño, ejecución y mantenimiento de proyectos e intervenciones de rehabilitación de la arquitectura tradicional, de la medina de Tetuán particularmente, y del Norte de Marruecos, en general.

R4: Investigación y transferencia del conocimiento histórico, constructivo y del modelo de diagnóstico, en procesos H-BIM, que posibiliten la rentabilidad de recursos encaminada, por un lado, a producir y regularizar las intervenciones de rehabilitación, aceptables desde el punto de vista arquitectónico y tecnológico, y por otro, desde su valoración cultural, posibiliten la conversión del patrimonio edificado en un recurso activo garantizando su sostenibilidad en términos sociales, económicos y culturales.

Los resultados incluyen:

- Capacitación en sistemas HBIM para 60 alumnos (30 cada año).
- Elaboración de un protocolo de trabajo para la aplicación de sistemas HBIM en la arquitectura tradicional del norte de Marruecos, que se publicará como guía de intervención.
- Creación de una biblioteca de familias de objetos paramétricos y no paramétricos (40 objetos).
- Elaboración de un catálogo de viviendas de Mellah al-Jadid, abarcando el 60% (305 viviendas).
- Elaboración de un catálogo de viviendas-palacio con propuestas de rehabilitación virtual.
- Elaboración de un informe diagnóstico para intervenciones de rehabilitación (1 informe diagnóstico).
- Publicación de resultados de investigación en aspectos de seguridad, funcionalidad y habitabilidad (3 unidades).



Figura 3. Trabajos de escaneado en Dar Bem Marzouk

Fuente: Márquez, M.J. (2023)

6. Conclusiones

El presente proyecto ha sido un importante esfuerzo de colaboración y estudio en torno a la arquitectura tradicional y el patrimonio edificado en Marruecos. A lo largo de los años, se han realizado diversas actividades docentes, investigaciones y talleres que han permitido profundizar en el valor patrimonial de la arquitectura tradicional, especialmente enfocándose en los barrios judíos y los desafíos que enfrentan en términos de supervivencia física y preservación de la memoria.

A través de los talleres y estancias de investigación, se ha logrado una mayor comprensión de la importancia de conservar la identidad de los territorios y las comunidades, así como de la necesidad de encontrar soluciones para preservar y rehabilitar el patrimonio edificado en diversas ciudades de Marruecos.

2023, Universidad de Granada

La colaboración interuniversitaria ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de este proyecto. La participación de profesores, estudiantes y representantes de diferentes instituciones ha fortalecido las relaciones institucionales y ha fomentado la comunicación científica, permitiendo el intercambio de conocimientos y experiencias en el ámbito de la conservación del patrimonio.

La presentación de una tesis sobre la judería en la medina de Tetuán ha enriquecido aún más el estudio, al investigar la interacción comunitaria, el papel del Mellah y los espacios habitacionales en la ciudad antigua. Estos estudios han aportado una comprensión más profunda de la importancia histórica y cultural de estos lugares.

El proyecto presentado en el año 2022, centrado en la aplicación de sistemas HBIM en el levantamiento, restitución y documentación del patrimonio edificado, representa un paso significativo hacia la preservación y gestión sostenible de estos tesoros arquitectónicos. El uso de tecnologías avanzadas en la recopilación de datos y la creación de modelos HBIM permitirá obtener información precisa y detallada, lo que facilitará la toma de decisiones informadas en cuanto a intervenciones, restauraciones y mantenimiento.

Se espera que este proyecto no solo contribuya a la preservación del patrimonio edificado en Marruecos, sino también a la promoción del turismo sostenible y al fortalecimiento de las capacidades locales en cuanto a conservación y gestión del patrimonio. La transferencia de conocimiento y la cooperación interuniversitaria son aspectos clave para lograr estos objetivos, ya que permiten compartir buenas prácticas y experiencias entre las instituciones participantes.

El presente proyecto ha generado un valioso conocimiento sobre la arquitectura tradicional y el patrimonio edificado en Marruecos, al tiempo que ha establecido sólidas colaboraciones y ha promovido la aplicación de tecnologías avanzadas para la preservación y gestión sostenible de estos tesoros arquitectónicos. Este esfuerzo continuo y dedicado es fundamental para garantizar que las generaciones futuras puedan apreciar y disfrutar de la riqueza cultural y patrimonial de Marruecos.



Figura 4. Nube de puntos. Madraza Lukach

Fuente: Márquez, M.J. (2023)



Figura 5. Nube de puntos. Madraza Lukach

Fuente: Márquez, M.J. (2023)

Referencias

- Benaboud M. y de Torres R. 2002. Catálogo sucinto de arquitectura y urbanismo de la Medina de Tetuán. La Medina de Tetuán; Guía de Arquitectura. Coord. De Torres, R. Sevilla, Tetuán: Consejería de Obras Públicas y Transportes, Consejo Municipal de Tetuán Sidi Mandri.
- Bernal J. 2013. Catálogo de edificios del conjunto patrimonial de la medina de Tetuán. Trabajo Fin de Carrera, dirigido por Calvo J. y García F. Depositado en la Biblioteca de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación de la Universidad de Granada.
- Bravo A. 2000. Arquitectura y urbanismo español en el norte de Marruecos. Sevilla: Consejería de Obras Públicas y Transportes. Ed. Dirección General de arquitectura y vivienda.
- Calvo, J. 2017. La incertidumbre del límite: La judería de Tetuán. Granada: Universidad de Granada, 2017. [<http://hdl.handle.net/10481/45903>]
- De Teran F. 2003. RESURGAM. Innovación para recuperar el urbanismo y continuar el planeamiento. En: Colección Mediterráneo económico: ciudades, arquitectura y espacio urbano, N.º. 3. Cajamar.
- Duclos G. y Campos P. 2003. Evolución urbana de la medina de Tetuán. Sevilla: Junta de Andalucía. Consejería de Obras Públicas y Vivienda.

Teaching construction through 3D models

Santa Cruz Astorqui, Jaime^a, del Río Merino, Mercedes^b y Vidales Barriguete, Alejandra^c

Universidad Politécnica de Madrid, av. Juan de Herrera 6, Madrid - jaime.santacruz@upm.es^a,
mercedes.delrio@upm.es^b, alejandra.vidales@upm.es^c

Abstract

Construction teaching has traditionally been based on plans and two-dimensional details, which reflect the constructive solutions of specific sections of a building. This format is the most used work medium both in the elaboration of a Project and of the work plans.

2D plans do not faithfully represent the complexity involved in the execution of a work. The process of elaboration of a project implies the synthesis of a 3D idea in different 2D projections, to later restore said information to its true 3D magnitude on site. It is evident that the use of 3D tools requires a much more detailed study, but the result is more complete and faithful to reality.

The visualization of 3D models supposes a great advance in the understanding of the execution of a building, both for the profusion of information and for introducing the time factor, so important in the execution process.

Our teaching model of the Final Degree Project is based on the team development of a building construction project, understanding as such the set of plans for its execution on site.

The use of 3D models makes it easier for students to understand this execution process and the complex interrelationship between all the work units. For this, a library of 3D construction details is offered that covers all the existing disciplines in a building, and that are part of the teachings of the Degree in Building (structure, envelope, partitions, installations, etc.).

This library is freely accessible to download both the 3D models (in SketchUp format) and a brief explanation of its content and the execution phases (in PDF format):

https://www.edificacion.upm.es/sites/default/files/tema/investigacion_5.html

The use of this resource as a support for teaching in the FDP during the tutorials with the students is very helpful and represents a realistic vision of the problems analyzed.

Keywords: Edification; Construction; 3D Models; Constructive details.

1. Introducción

La docencia en las materias relacionadas con la realización de un proyecto de construcción, se ha apoyado desde siempre en planos y detalles bidimensionales, que expresan tanto las soluciones constructivas como los procedimientos de su puesta en obra.

El trabajo en un entorno bidimensional tiene sin embargo una serie de limitaciones:

Los planos y detalles 2D constituyen una visión simplificada del edificio (que es tridimensional), y por lo tanto, no representan fielmente su realidad constructiva, sobre todo cuando se trata de elementos de cierta complejidad. La realidad es que muchos elementos constructivos no se entienden bien únicamente por su proyección en planos (sistema diédrico), haciéndose necesario complementarlos con otro tipo de proyección (véase la tradicional isométrica del trazado de una red de distribución de agua).

Los planos y detalles 2D únicamente muestran información de la parte del edificio que ha sido seccionada y/o proyectada para elaborar dichos planos. Inevitablemente, este sistema deja en el tintero muchas zonas que quedan sin estudiar. Normalmente, estos vacíos de información suelen ser el origen de muchos de los problemas que suceden en la fase de ejecución en obra.

Una de las grandes limitaciones de un entorno 2D, es la coordinación entre las unidades de obra pertenecientes a diferentes oficios, cuyo análisis es fundamental en la comprensión de la construcción de un edificio. La necesaria transversalidad entre todas las disciplinas que componen los estudios del Grado en Edificación, se debe a la fuerte interdependencia que existe entre todas las unidades de obra que forman un edificio, y el análisis de dichas interdependencias es la base de un buen diseño de cada parte, que asegure una correcta puesta en obra. El trabajo en un entorno 2D dificulta enormemente el estudio y análisis de dichas interrelaciones, dado que estas generalmente se producen en las 3 dimensiones.

Y por último, la representación 2D de un mismo elemento constructivo en sistema diédrico (por ejemplo, una escalera en planta y en sección), genera diferentes planos y/o detalles independientes, de tal forma que la modificación de dicho elemento en uno de los planos, obliga a la actualización del resto de planos en los que está representado. Esto no siempre suele hacerse, y los diferentes planos muestran diferentes versiones del elemento constructivo, lo cual es ciertamente problemático en la fase de ejecución en obra.

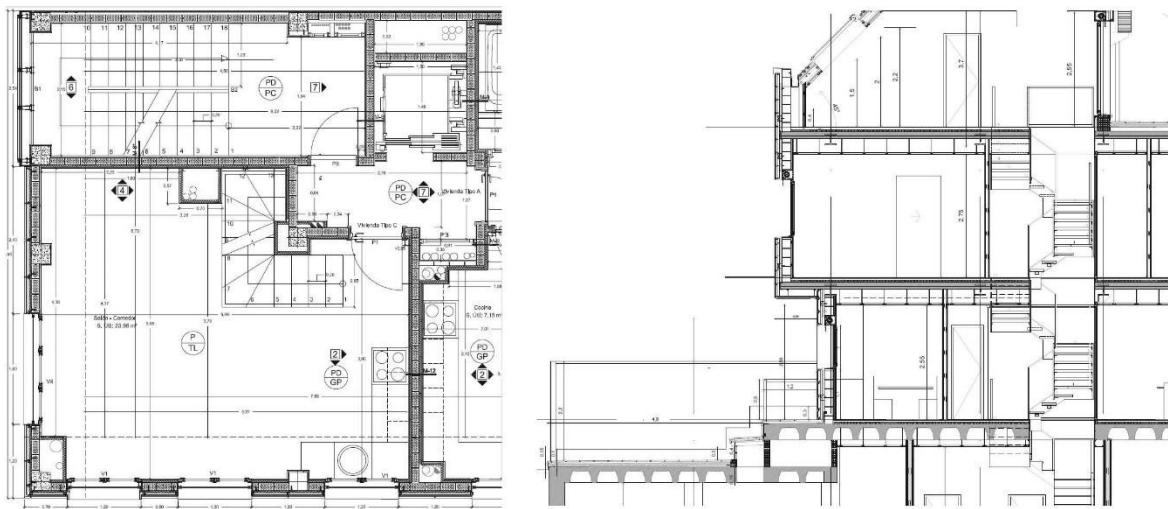


Figura 1. Ejemplo de planos 2D en un proyecto de ejecución (archivo digital PFG)

En la actualidad, existen multitud de aplicaciones que facilitan el trabajo en un entorno tridimensional y que, en teoría, deberían resolver los inconvenientes antes mencionados. En realidad, esto es así desde hace muchos años en los sectores de producción industrial, en los que la fase de diseño se conecta directamente con la de producción sin salir de dicho entorno 3D (Fig. 2).

Sin embargo, en el sector de la edificación esta revolución no acaba de instalarse, básicamente debido al bajo grado de industrialización, y a todo lo que ello comporta. De hecho, una gran parte del trabajo que en las oficinas de proyectos se hace en entornos 3D (BIM), tiene como objetivo la obtención de infografías hiperrealistas para la venta de la promoción, siendo los planos 2D el formato que se sigue utilizando para la documentación técnica requerida en obra. Y esto es así desde hace muchos años, ya que las primeras aplicaciones 3D específicas para Arquitectura ya se utilizaban a finales de los años 80 (CadStar).

Parece un contrasentido que el proceso de diseño y análisis de un objeto tridimensional, se realice sobre un modelo digital 3D, y que posteriormente se proyecte dicho modelo en planos para generar la documentación de proyecto, que es la que en última instancia se utilizará para fabricar el objeto en su realidad 3D (Fig. 3).



Figura 2: Fabricación de un automóvil por control numérico de un robot de montaje, que recibe los datos directamente desde el modelo digital 3D

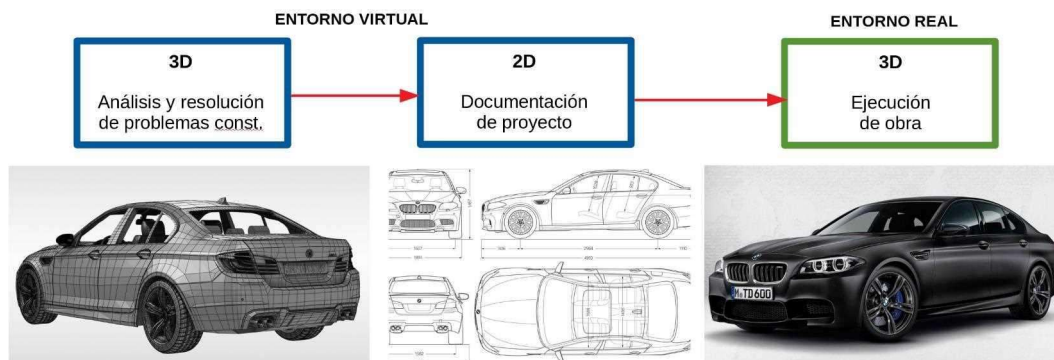


Figura 3. Cambios de entorno 2D/3D en un proceso de diseño/fabricación

Cuando lo lógico (ya que poseemos las herramientas necesarias) sería no salir del entorno 3D digital, lo que impediría la aparición de errores de interpretación tanto en proceso 3D \rightarrow 2D como en el de 2D \rightarrow 3D.

En el mundo de la edificación, este fenómeno se debe fundamentalmente a dos causas:

En primer lugar, un edificio es en gran medida un objeto fabricado a medida, por lo que un mismo proyecto no sirve para realizar multitud de edificios (salvo casos aislados en grandes promociones, o en la construcción industrializada). En opinión de muchos, la utilización de un sistema BIM requiere una cantidad extra de trabajo (en relación al sistema convencional CAD-2D) que difícilmente se rentabiliza por los bajos honorarios asignados a este tipo de tareas.

Y en segundo lugar, el sector de la construcción es ciertamente reacio a las innovaciones, y en consecuencia, se decanta por metodologías de trabajo convencionales. A esto hay que añadir la recurrente falta de coordinación entre los gremios que operan en el proyecto y ejecución de un edificio, lo que dificulta enormemente la utilización de estándares digitales.

La consecuencia más directa es que no existe una demanda suficiente de profesionales expertos en estas técnicas, y la Universidad (salvo honrosas excepciones) no prioriza su enseñanza en los planes de estudio, creándose un círculo vicioso del que es difícil salir.

Por ello, desde la Universidad debemos ser pioneros en la adopción de estas nuevas tecnologías, tanto por las ventajas que reportan en la propia docencia, como por habituar a los alumnos en su uso, y facilitar así su entrada como profesionales en esa nueva etapa que se avecina en el mundo de la edificación, en la que previsiblemente todo el trabajo se realizará en un entorno digital 3D (tanto en el proyecto como en la ejecución en obra).

Y esta aspiración es la que motivó la creación de la biblioteca de detalles constructivos en 3D que se presenta en esta comunicación, con el objetivo de servir de apoyo a la docencia, tanto en el ámbito de las tutorías del PFG, como en el del estudio personal de los alumnos.

La colección consta de una serie de ejemplos de construcción que abarcan la gran mayoría de las disciplinas que podemos encontrar en la construcción de un edificio, aunando así en la transversalidad que deben tener dichas disciplinas.

El acceso a la misma es libre y gratuito, permitiendo tanto la descarga de cada modelo para su visualización/edición a través de la aplicación SketchUp, como la visualización directa de los modelos desde una aplicación web, o bien, la descarga del documento PDF que acompaña a cada modelo con una descripción del mismo. La elección de este software se hace en base a su facilidad de manejo, la calidad de imagen y su facilidad para producir y manejar modelos detallados de mucha información. El acceso a la biblioteca se realiza desde el siguiente enlace, dentro de la web corporativa del grupo TEMA (UPM):

https://www.edificacion.upm.es/sites/default/files/tema/investigacion_5.html

2. Descripción de la biblioteca

Actualmente, la biblioteca comprende 41 modelos divididos en 4 bloques:

- Obra nueva (21 ejemplos)
- Rehabilitación (5 ejemplos)
- Construcción industrializada (7 ejemplos)
- Instalaciones (8 ejemplos)

Los modelos de "Obra nueva" son muy variados, pues muestran soluciones constructivas habituales de estructuras, escaleras, fachadas, cubiertas, particiones, baños y cocinas, así como algún proceso de ejecución de sótanos.

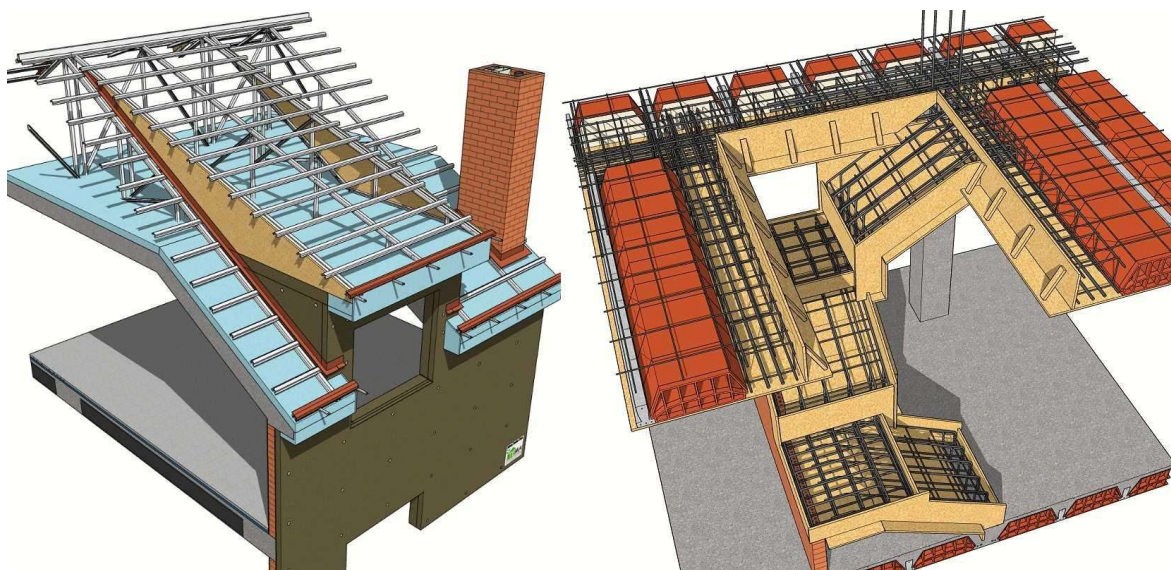


Figura 4. Ejemplos de modelos de obra nueva

Los modelos en el apartado de “Rehabilitación” son pocos (por ahora), y muestran una serie de soluciones de recalces de muros de fábrica, que fueron desarrollados para la asignatura de 4º curso “*Patología y Rehabilitación*”. Además, se incluye un ejemplo de construcción descendente, y un ejemplo de rehabilitación de un forjado.

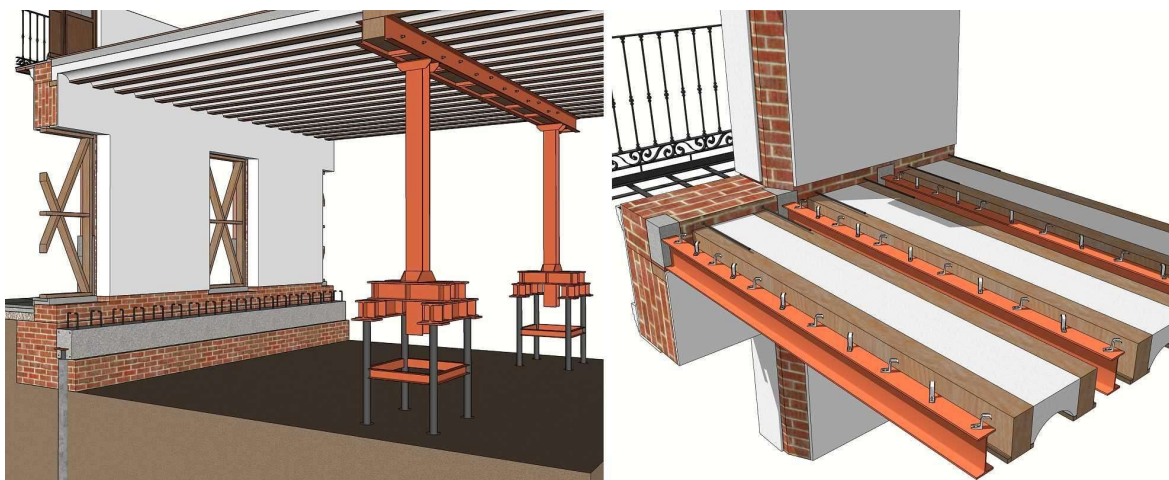


Figura 5. Ejemplos de modelos de rehabilitación

Los modelos de “Construcción industrializada”, fueron desarrollados como apoyo docente en el PFG, cuando se ha tratado de este sistema de construcción. Los diferentes ejemplos muestran soluciones de estructuras prefabricadas, paneles de fachada industrializados y módulos (PODs) industrializados de baños. También se ha modelado un ejemplo de edificio realizado con las técnicas expuestas.

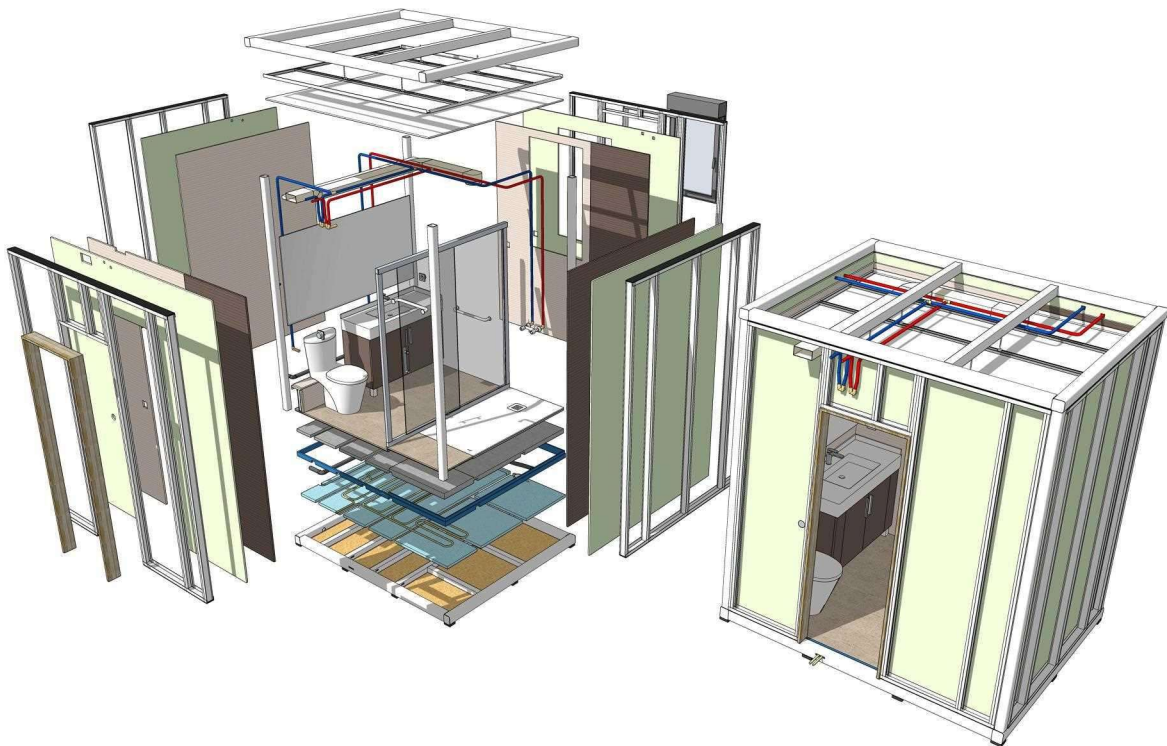


Figura 6. Ejemplo de POD de baño industrializado

El apartado de modelos de “Instalaciones” es significativamente diferente al resto, pues contiene ejemplos de instalaciones de producción de ACS y calefacción/refrigeración que normalmente encontramos en un edificio residencial, pero en los que no se ha modelado el entorno del edificio, sino únicamente los equipos, depósitos, conductos y valvulería de cada instalación, cuyos esquemas de principio se proporcionan debidamente explicados en el documento PDF incluido con cada modelo.

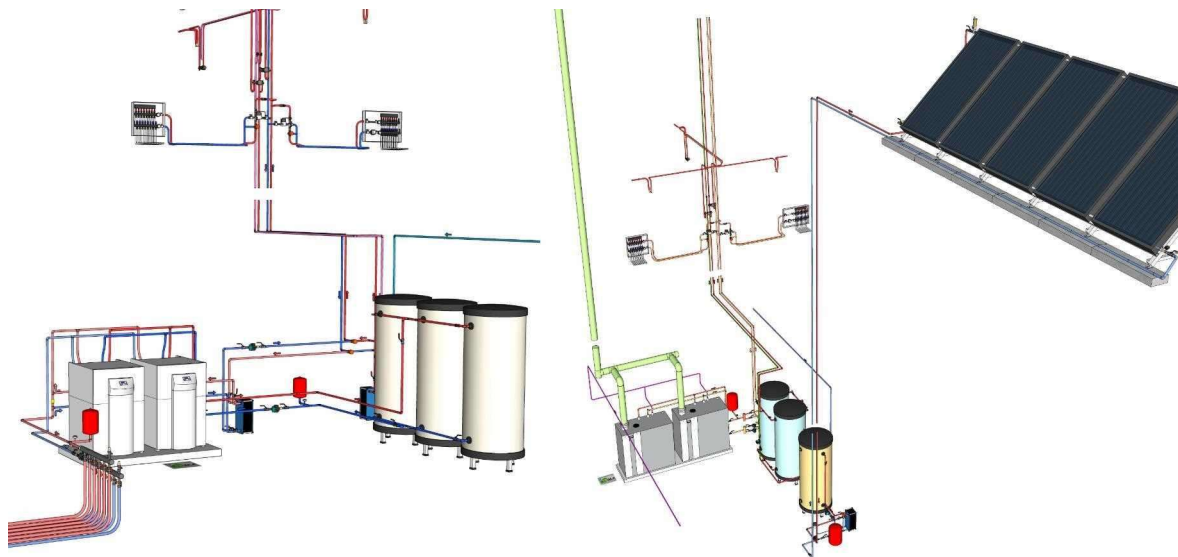


Figura 7. Ejemplos de modelos de instalaciones

No obstante, también se han incluido dos modelos que representan las instalaciones individuales de una vivienda (en un bloque en altura), en varias de las tipologías más usuales. En estos casos, las instalaciones se han modelado sobre el modelo 3D de la vivienda, para que el alumno tenga una mejor comprensión del

problema que surge de la coordinación espacial entre las distintas instalaciones y la estructura y particiones del edificio.

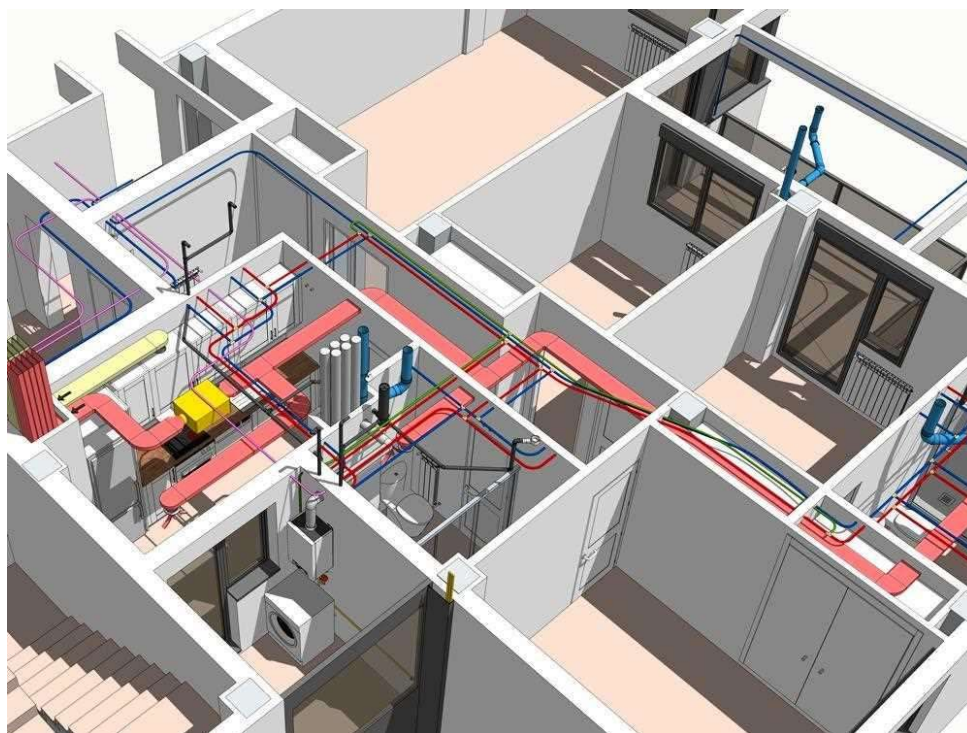


Figura 8. Modelo de instalaciones integradas en una vivienda

Cada uno de los modelos 3D que comprende la colección, describe con un alto nivel de detalle todos y cada uno de los elementos que componen la construcción de una parte concreta de un edificio. Todos los modelos pueden descargarse y visionarse de forma totalmente gratuita, siendo necesaria su debida referencia cuando se utilicen para la elaboración de cualquier documento.

Toda la información está ordenada por fases de ejecución, de tal forma que es posible visionar el modelo desde el comienzo de su construcción hasta que queda totalmente terminado, mostrando en algunos casos aquellos elementos auxiliares necesarios en el proceso (encofrados, apeos, etc).

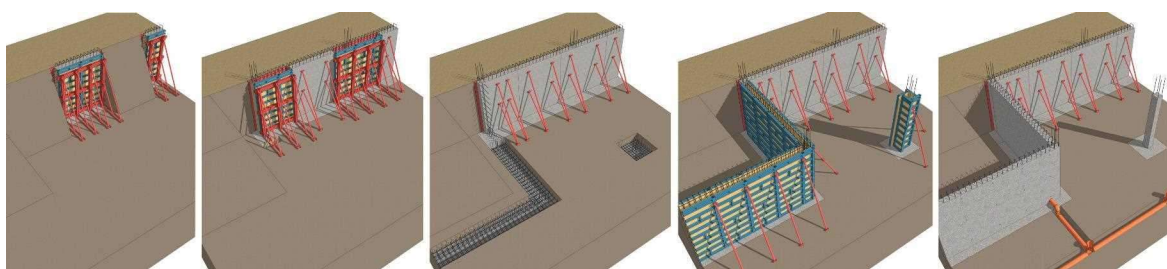


Figura 9. Fases de ejecución de un muro de contención en sótano

Cada modelo aporta también un documento PDF con la descripción de su contenido (explicado en sus fases), que permite realizar una consulta rápida sin necesidad de abrir el modelo.

En todos los modelos, se ha pretendido incluir la totalidad de los elementos constructivos que componen cada ejemplo. Tomando como ejemplo el modelo "CocinaEscalera-01" (en el apartado de "Obra Nueva") (Fig. 10), podemos ver que se representa el típico bloque residencial, detallando la zona que comprende la escalera y ascensor, vestíbulo de entrada a las viviendas, y el vestíbulo, cocina y pasillo de una de ellas.

En dicho modelo se representa la estructura, la fachada y carpintería exterior, las particiones y carpintería interior (puertas de paso y armarios), los falsos techos, solados, mobiliario de cocina y las instalaciones de

agua fría, ACS, calefacción por suelo radiante, ventilación (de doble flujo) y saneamiento, incluyendo las conexiones de la instalación privativa de la vivienda con los patinillos de distribución (en este ejemplo, la producción de ACS y calefacción es centralizada).

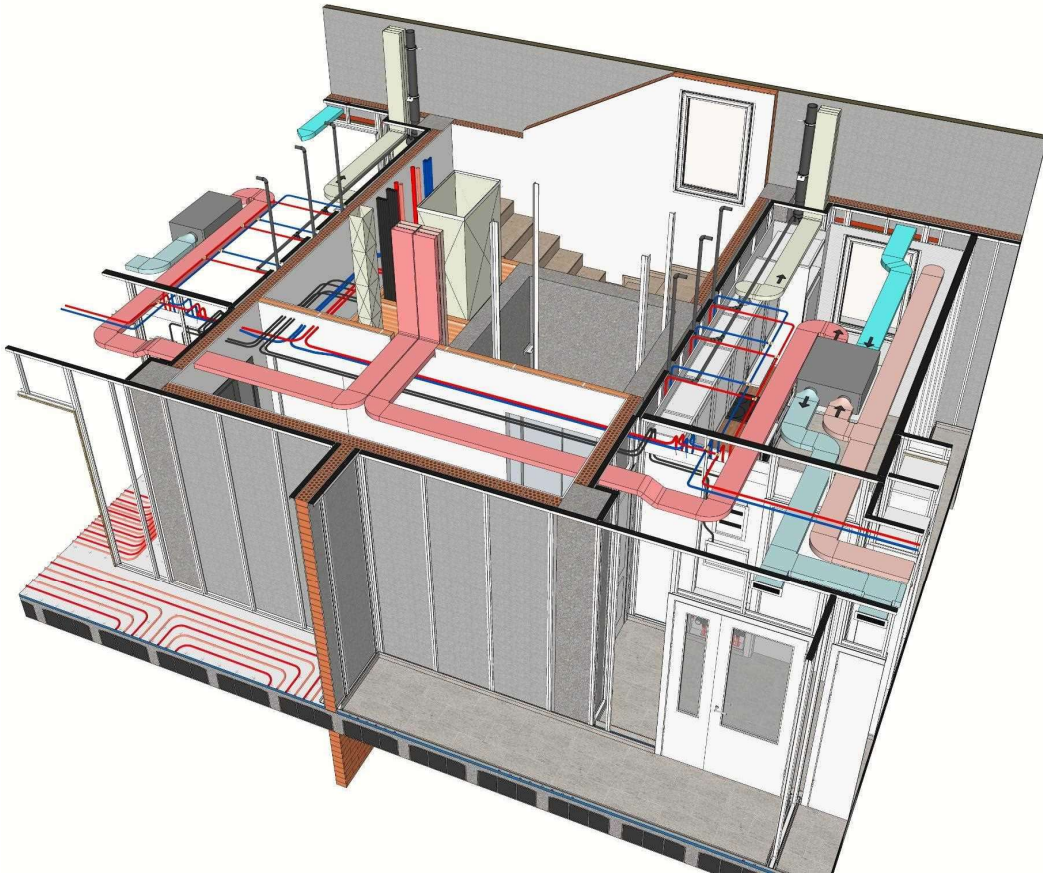


Figura 10. Ejemplo de modelo constructivo 3D

Las pestañas de las “escenas”, permiten visualizar el modelo en sus diferentes etapas de su construcción, tomando como punto de partida la fase de estructura terminada, a la que siguen diferentes escenas que representan los elementos constructivos que se van añadiendo de forma secuencial en la obra. El orden no siempre sigue una planificación real, con el objeto de simplificar aquellos casos en los que una unidad de obra se ejecuta en diferentes momentos, y no de forma continuada.

En algunos modelos, existen unas “escenas” que permiten visualizar el modelo seccionado por planos previamente definidos, aunque el usuario avezado en el uso del programa, podrá cambiar dichos planos a su elección. Dichas secciones resultan necesarias para visualizar el modelo por su interior.

Dado que toda la información modelada está organizada en capas (llamadas “etiquetas” en SketchUp), es posible visualizar cada elemento de forma aislada activando y desactivando las capas correspondientes, o bien combinar diferentes capas, para obtener un modelo que represente determinadas unidades de obra.

3. Resultados: utilización de la biblioteca

Como ya se introdujo, esta biblioteca se está utilizando en las siguientes situaciones, tanto en el ámbito de la docencia como en el profesional:

3.1 Apoyo a las tutorías de PFG

En la E.T.S. de Edificación de Madrid (UPM), el desarrollo del PFG se basa en la tutela continuada de los trabajos, que se realizan en equipos de 4-5 alumnos. Las tutorías son semanales, y en ellas se utilizan

diferentes recursos didácticos, entre los cuales está la biblioteca de detalles 3D, consultada a través de un ordenador situado en la mesa de tutoría. El profesor puede en todo momento visualizar su contenido para explicar (y solucionar) a sus alumnos los diferentes problemas de índole constructiva que normalmente se dan en la construcción de un edificio. Dadas las características de estos modelos, su visionado por fases permite emular de alguna forma una visita a obra.

La posibilidad de visualizar los detalles de forma tridimensional (ver el modelo desde cualquier punto de vista), y el proceso de construcción en el tiempo, aporta sin duda un nivel de comprensión muy por encima del conseguido con los planos y detalles en 2D.

3.2 Consulta por parte de los alumnos

Desde el inicio de curso, los alumnos cuentan con la posibilidad de consultar esta biblioteca como apoyo a su trabajo. Una de las ventajas que aportan estos modelos es la mejor comprensión de cómo se coordinan e interrelacionan las diferentes unidades de obra en un caso concreto de construcción.

En definitiva, esta biblioteca se ofrece como una fuente más de conocimiento, que anima al alumno a la utilización de los sistemas 3D para la realización de su PFG.

3.3 Apoyo a las clases

Fuera del entorno del PFG, en la E.T.S. de Edificación de Madrid se están utilizando algunos de los modelos incluidos en esta biblioteca por profesores de la asignatura de “*Construcción de Cerramientos de Fachadas y Cubiertas*”, por las ventajas que reporta el sistema.

3.4 Entorno profesional

La biblioteca empieza a visualizarse a través de su anuncio en la web del Consejo General de la Arquitectura Técnica (<https://www.cgate.es/>), y en una web abierta exprofeso para los profesionales del sector (<https://arquidetalles.com/>), cuya vocación es la de crecer a través de sus aportaciones.

4. Conclusiones: futuras líneas de trabajo

A medida que se vaya reuniendo información sobre la utilización de la biblioteca en diferentes ámbitos, la previsión es seguir aumentando el número de modelos, profundizando en aquellos temas en los que exista más demanda, y en aquellos que no hayan sido suficientemente tratados en los modelos existentes.

En paralelo, se proponen como nueva línea de trabajo, la realización de modelos 3D de zonas de edificios ya construidos, cuyo proceso de ejecución en obra y/o sus soluciones constructivas sean singulares y resulten de interés. En estos ejemplos, se enfatizará el proceso de ejecución, detallando tanto los procedimientos como los medios empleados. La información (planos, detalles, fotografías) se obtendrá directamente de las empresas constructoras.

Finalmente, se pretende aumentar la difusión de esta biblioteca en todas las escuelas de Edificación de España.

Referencias

Torroglosa Díaz J., Juan Vidal F. «Impacto del BIM en la gestión del proyecto y la obra de arquitectura. Un proyecto con Revit», Trabajo Fin de Grado, UPV, 2016.

Choclan Gámez F., Soler Severino M., González Márquez R., «Introducción a la metodología BIM», 2014.

Cárdenas Menéndez M., «Incorporación de Metodologías BIM en la Gestión Integrada de Proyectos», Trabajo Fin de Máster, Univ. Europea, 2016

Pacheco Borja R., «Comparación del sistema tradicional vs la implementación del bim (building information management) en la etapa de diseño y seguimiento en ejecución. análisis de un caso de estudio», Trabajo Fin de Grado, UCSG, 2017

- Czmoch I., Pękala A., «Diseño tradicional versus diseño basado en BIM», *Procedia Engineering*, vol.91, 2014.
Doi: 10.1016/j.proeng.2014.12.048.
- Oliver Faubel I., «Integración de la metodología BIM en la programación curricular de los estudios de Grado en Arquitectura Técnica/Ingeniería de Edificación. Diseño de una propuesta», Tesis Doctoral, UPV, 2015.
- Meana V., Bello A., García R., «Análisis de la implantación de la metodología BIM en los grados de ingeniería industrial en España bajo la perspectiva de las competencias», *Revista Ingeniería de Construcción*. Pontificia Universidad Católica de Chile, 2019
- Agulló-deRueda J., Jurado-Egea J., Inglés-Gosalbez B., «Trabajos colaborativos BIM en enseñanza de Grado en Arquitectura de la UEM», *BIM International Conference*, UPV 2018
- Prieto Muriel A.P., Reyes Rodríguez A.M., «Implantación de la tecnología BIM en estudios universitarios de Arquitectura e Ingeniería», Tesis Doctoral, Univ. de Extremadura, 2017
- Villoria Sáez P., Rodríguez Sánchez A., Santa Cruz Astorqui J., Sepulcre Aguilar A., Izquierdo Gracia L.C., del Solar Serrano P., González Cortina M., «Generación de recursos educativos digitales basados en modelos 3d de proyectos de edificación para el fomento del aprendizaje y motivación de los alumnos», *Ciclo de Jornadas de Innovación Educativa en la UPM* 2019.
- Villoria Sáez P., Rodríguez Sánchez A., Santa Cruz Astorqui J., Sepulcre Aguilar A., Izquierdo Gracia L.C., del Solar Serrano P., González Cortina M., «Three dimensional building models for construction teaching in higher education», *CINIE* 2020
- Villena Manzanares F., García Segura T., Ballesteros-Pérez P., Pellicer P., «Influencia del BIM en la innovación de empresas del sector de la construcción», *23rd International Congress on Project Management and Engineering*, Málaga 2019
- Avilés Jiménez O.M., «BIM, el futuro del trabajo profesional», *Journal Boliviano de Ciencias*, vol.13 N°40, 2017

The Coordination between first year courses in the Technical Architecture degree: a practice for learning improvement

Martín Domínguez, Beatriz^a, Villarroja Gaudó, Juan^b y Adé Beltrán, Rafael^c

^a Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia, Calle Mayor, 5, La Almunia de Doña Godina (Zaragoza). beamardo@unizar.es, ^b Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia, Calle Mayor, 5, La Almunia de Doña Godina (Zaragoza). juanvi@unizar.es, ^c Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia, Calle Mayor, 5, La Almunia de Doña Godina (Zaragoza). rade@unizar.es

Abstract

One of the specific competences to be achieved in the Construction History course is the knowledge of the traditional construction systems used in building and the physical and mechanical characteristics that define them, for which the understanding of the geometry of the elements that compose them is essential, particularly if they are vaulted, as well as the identification of their materials.

In order to bring the geometric analysis of complex vaulted elements and the identification of their materials closer to students, we have proposed the coordination of this course with those of Descriptive Geometry and Materials I, taught in the first year of the Technical Architecture degree in Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia, associated to the University of Zaragoza. In particular, this contribution intends to show the methodology used, which consists of coordinating the development of several assessable course practices, so that in the Descriptive Geometry course, we deal with the geometry of some of the vaults studied in the History of Construction course in the 3D Sketchup modelling software and, in Materials I, with the identification of the materials involved in the different solutions, which makes it easier for students to understand these construction elements in which knowledge of their shape and materials is essential for the interpretation of their mechanical operation.

The coordinated work in these courses is highly beneficial for the subject learning process since the limited number of teaching hours does not allow to go deep into the use of certain working tools for the analysis of the historical constructive elements, which is compensated with their approach as case studies in the Descriptive Geometry and Materials I courses, which provides students with a more positive perception of the usefulness of the time spent on learning.

Keywords: Course coordination, Construction history, Descriptive geometry, Materials, Geometric analysis.

1. Introducción

La transversalidad es uno de los objetivos prioritarios a lograr en el diseño curricular del contexto universitario y la coordinación de asignaturas es una metodología orientada a su consecución, ya implantada en muchos grados con resultados muy positivos (León, 2021).

En el primer curso del grado de Arquitectura Técnica, el alumnado desconoce cuestiones técnicas, tales como el reconocimiento y comprensión de los sistemas constructivos y sus materiales, o los recursos de representación gráfica para el análisis y la comprensión de los elementos arquitectónicos. Por lo que, con el objetivo de trabajar estas cuestiones de una forma transversal, se plantea coordinar los aprendizajes de las asignaturas de Historia de la Construcción, Materiales I y Geometría Descriptiva, que coinciden temporalmente en su desarrollo, durante el segundo semestre del curso, en el grado que se imparte en la Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia, centro adscrito a la Universidad de Zaragoza, de forma que se aprovechen de forma óptima los recursos y el tiempo del periodo docente.

La propuesta de llevar a cabo esta práctica conjunta pretende trabajar y fomentar el desarrollo de las competencias transversales (Rubio, Vilà y Berlanga, 2014) del alumnado. En concreto, esta práctica permitirá al alumnado, entre otras cosas:

- Ser más autónomo o autónoma
- Tener más autocrítica
- Ser más reflexivo o reflexiva
- Ver puntos de vista diferentes
- Trabajar colaborativamente
- Organizarse mejor el tiempo
- Planificar mejor el trabajo
- Tener más creatividad
- Ser más consciente y expresar la vivencia del proceso de aprendizaje

Esta iniciativa se ha arrancado ya durante el curso 2022-2023 con la coordinación de las asignaturas de Historia de la Construcción y de Geometría Descriptiva, arrojando ya los primeros resultados, y se pretende darle continuidad en los próximos cursos, incorporando la asignatura de Materiales I en la coordinación, consolidando así la coordinación entre asignaturas.

2. Objetivo

El objetivo de la comunicación es mostrar la metodología que se propone para coordinar las asignaturas de Historia de la Construcción, Materiales I y Geometría Descriptiva, del primer curso del grado de Arquitectura Técnica, además de los primeros resultados y conclusiones obtenidos de la coordinación de Historia de la Construcción con Geometría Descriptiva durante el curso 2022-2023.

3. Metodología

Una de las competencias específicas a alcanzar en la asignatura de Historia de la construcción es el conocimiento de los sistemas constructivos tradicionales empleados en la edificación y las características físicas y mecánicas que los definen, para lo que es fundamental la comprensión de la geometría de los elementos que los componen, en especial si son complejos, así como la identificación de sus materiales.

Por lo que la metodología propuesta se basa en la coordinación de varias prácticas a lo largo del semestre, planteadas desde la asignatura de Historia de la construcción, en las que los alumnos tienen que analizar elementos constructivos de distintos edificios históricos, para lo que deben estudiar su geometría y sus materiales, aspectos que se tratan en las asignaturas de Geometría Descriptiva y Materiales I.

En concreto, en la asignatura de Historia de la Construcción se propone el estudio de varios elementos abovedados característicos de los estilos arquitectónicos que se trabajan en la asignatura, a través de la modalidad de prácticas cortas, propuestas a partir de la mitad del semestre, cuya duración se plantea entre

una y dos sesiones, y una práctica de curso semiautónoma en la que el alumnado debe analizar una construcción que forme parte de su patrimonio arquitectónico cercano en grupos de dos o tres estudiantes.

Se propone la coordinación de las prácticas cortas de análisis de elementos abovedados con la asignatura de Geometría descriptiva, en la que se trabaja en el software de modelado 3D SketchUp la geometría de estas bóvedas (Figuras 1 y 2). Por otro lado, se plantea la coordinación de la práctica de curso semiautónoma tanto con la asignatura de Geometría descriptiva, en la que cada estudiante trabaja la geometría de uno de los elementos constructivos destacados del edificio analizado, como con la asignatura de Materiales I, en la que se lleva a cabo la identificación de los materiales intervinientes en las distintas soluciones, lo que facilita al estudiantado la comprensión de estos elementos constructivos en los que el conocimiento de su forma y materiales es imprescindible para la interpretación de su funcionamiento mecánico.

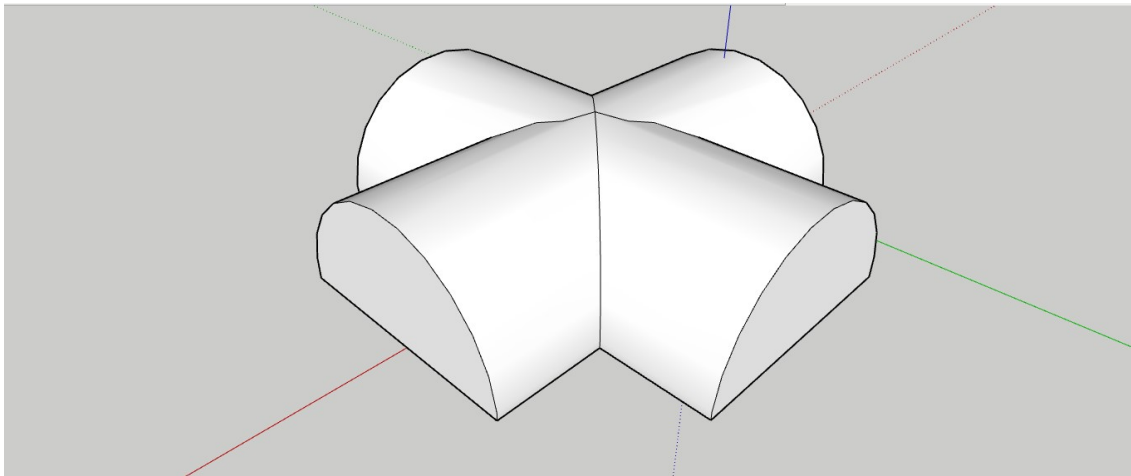


Figura 1. Modelado de la intersección de dos bóvedas de cañón para la visualización la geometría de la bóveda de arista en la asignatura de Geometría descriptiva

Fuente: Elaboración por Juan Villarroya Gaudó (2023)

Esta es una metodología de aprendizaje activa, colaborativa y transversal basada en la resolución de prácticas que integra la adquisición de conocimientos con habilidades técnicas y se vincula estrechamente con la experiencia profesional, lo que incrementa el grado de implicación del alumnado.

El desarrollo y modelado en 3D de los diferentes modelos arquitectónicos, así como de los elementos constructivos singulares estudiados en Historia de la Construcción, permite al alumnado asimilar el comportamiento de los elementos constructivos, así como la geometría y el espacio que se genera, pudiéndolo trabajar de manera manipulativa, mediante el empleo de una herramienta informática de modelado, concretamente de SketchUp (Calle, 2014).

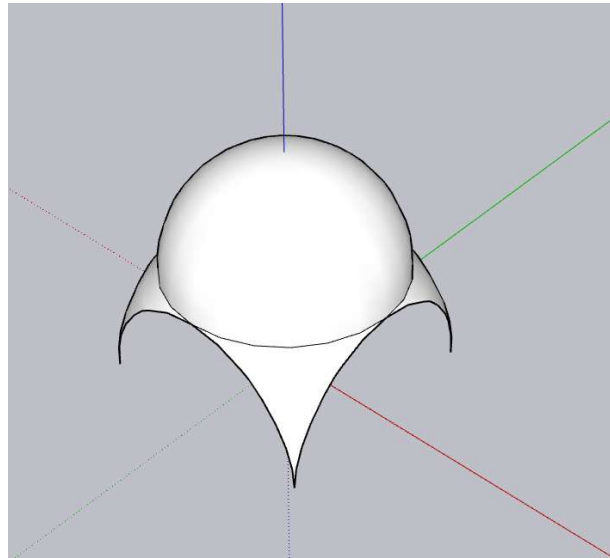


Figura 2. Modelado de una cúpula sobre pechinas en la asignatura de Geometría Descriptiva

Fuente: Elaboración por Juan Villarroya Gaudó (2023)

Debido a que el seguimiento de las prácticas es tutorizado por los profesores de las tres asignaturas, se debe coordinar el programa de las asignaturas, previamente a su diseño.

La propuesta metodológica de esta iniciativa se lanza en primer curso del grado, para el alumnado matriculado en todas las asignaturas que se imparten en el mismo. Este es el grupo mayoritario, pero existen casos con matrículas parciales, por motivos laborales, convalidaciones, segundas matrículas, etc. que deben ser estudiados de forma individualizada. Durante el curso 2022-2023, al alumnado que no estaba matriculado en la asignatura de Geometría Descriptiva se le ha permitido y animado a asistir a las sesiones en las que se trabaja la geometría de las bóvedas en SketchUp y el profesor de la asignatura se ha ofrecido a tutorizar las prácticas de los mismos. Sin embargo, un pequeño número de casos no han podido asistir a estas sesiones, por lo que estos solo han trabajado la geometría de las bóvedas en la asignatura de Historia de la Construcción y han realizado el análisis demandado en las prácticas de clase a través del dibujo de sus proyecciones ortogonales, a mano o en un programa de CAD, en lugar de a través del modelado 3D en SketchUp. Solución similar a la que se ha planteado para el trabajo de la geometría del elemento constructivo elegido para ser analizado en la práctica de curso semiautónoma. En estos casos la tutorización es realizada exclusivamente por la profesora de la asignatura de Historia de la Construcción.

4. Resultados

Debido a que, durante el curso 2022-2023, se ha implantado la coordinación de las asignaturas de Historia de la Construcción y de Geometría Descriptiva, se han obtenido ya los siguientes resultados:

Este tipo de trabajo transversal ha proporcionado una experiencia más cercana a la práctica profesional vinculada con el patrimonio construido. Se ha implementado el uso de metodologías y tecnologías adecuadas para el estudio de elementos constructivos complejos habituales en las construcciones históricas, de forma que el alumnado se ha enfrentado a las dificultades que aparecen en este tipo de análisis, necesario para cualquier investigación o intervención sobre ellos, lo que les ha ayudado a ser conscientes de lo útiles que son este tipo de metodologías gráficas para conseguir un conocimiento más profundo de los elementos analizados.

La mejora que esta experiencia ha supuesto respecto a los resultados de las prácticas de cursos pasados ha ido vinculada principalmente a la visualización y comprensión de estas geometrías complejas en volumen, lo que sin duda ha ayudado al entendimiento de su comportamiento mecánico, especialmente en las estructuras abovedadas. Sin embargo, no se puede obviar la importancia de la representación de estos elementos en sus proyecciones planas, ya que las planimetrías son el instrumento de conocimiento arquitectónico más eficaz del que disponemos (Almagro, 2019, 5). Por lo que, se propone que además de la representación volumétrica, se dibujen los elementos en planta, alzado y sección.

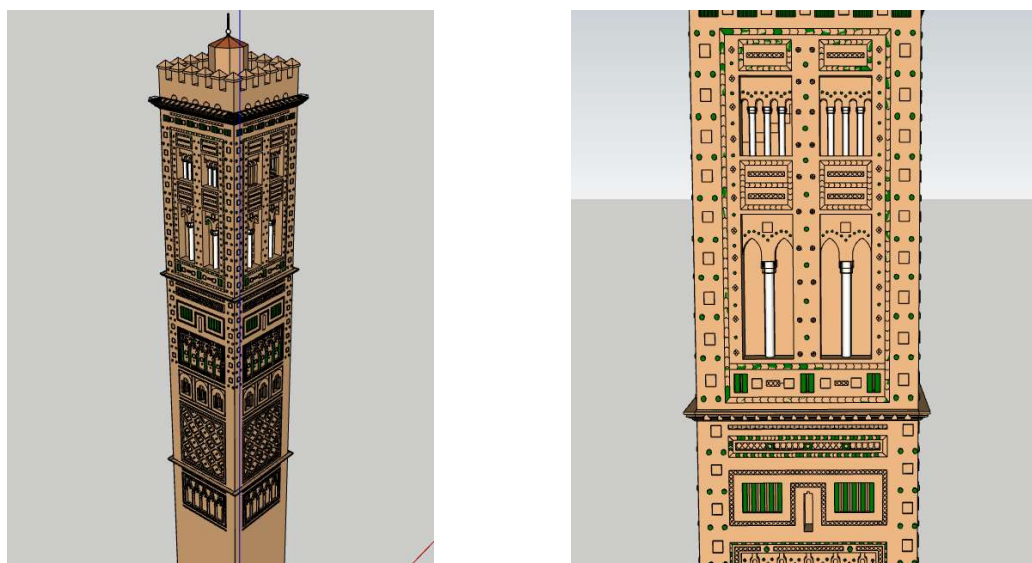


Figura 3. Análisis de la geometría de una torre mudéjar

Fuente: Elaboración por la alumna Laura Barrena Sancho (2023)

Además, el alumnado ha sido consciente de la aplicación práctica de las herramientas informáticas mostradas en la asignatura de Geometría descriptiva, en concreto, del programa informático SketchUp, que se ha mostrado como herramienta de análisis (Figuras 3 y 4), más allá de su uso habitual como herramienta de diseño, lo que supone una mejora del aprendizaje de estas tecnologías, así como una aproximación más completa al trabajo profesional.

Como consecuencia de ello, el alumnado ha logrado una mayor percepción de utilidad del tiempo empleado en el aprendizaje, al aportar una aplicación práctica de diferentes cuestiones en distintas materias.

Los principales problemas han sido consecuencia de la obtención de las licencias de los estudiantes, lo que ha generado algunos desajustes en las fechas de entrega de las prácticas, cuestión a resolver en los próximos cursos, haciendo una previsión con mayor antelación. Por otro lado, se ha observado que el conocimiento del SketchUp del alumnado en el momento de desarrollar la primera práctica no era todavía el suficiente, por lo que para próximas experiencias se propone que la primera práctica a desarrollar en la asignatura de Historia de la Construcción se plantee con al menos dos semanas de desfase respecto al inicio del aprendizaje del programa informático.

Con la incorporación, durante el curso académico 2023-2024, de la asignatura de Materiales I al proyecto de coordinación ya iniciado, se pretende conseguir un mayor acercamiento al proceso constructivo tradicional, a través de un estudio más profundo de la geometría, las técnicas y los materiales empleados, y, con ello, conseguir una mejora de la comprensión de la teoría de las diferentes asignaturas, enlazándola con la práctica de cada una de ellas. Como consecuencia, el resultado perseguido es la mayor optimización del esfuerzo del alumnado y su motivación.

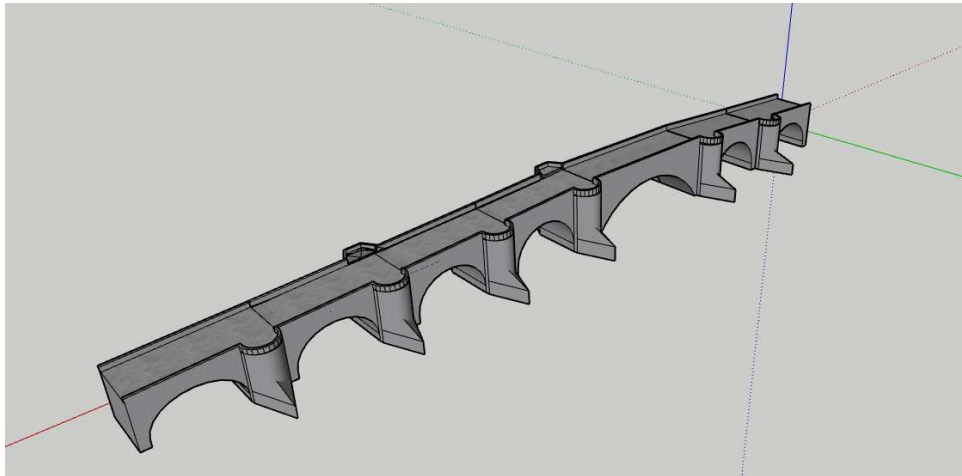


Figura 4. Análisis de la geometría del Puente de Piedra
Fuente: Elaboración por el alumno Gabriel Fernando Mena Lugo (2023)

5. Conclusiones

El trabajo coordinado resulta muy beneficioso para el proceso de aprendizaje de las materias, pues el limitado número de horas lectivas no permite que se profundice en el uso de determinadas herramientas de trabajo para el análisis de los elementos constructivos históricos que se estudian en la asignatura de Historia de la Construcción, lo que se pretende subsanar con el trabajo de estos, como casos de estudio en las asignaturas de Geometría descriptiva y Materiales I, lo que proporciona al estudiantado una mayor percepción de utilidad del tiempo empleado en el aprendizaje. Por otra parte, el uso de casos prácticos para el aprendizaje de las herramientas informáticas proporciona una aplicación práctica cercana a la experiencia profesional.

Tras la práctica coordinada entre las asignaturas ya iniciada, el alumnado ha conseguido trabajar y mejorar las competencias transversales, desarrollando su autonomía, capacidad de investigación, interpretación de datos y resolución de problemas.

Finalmente, se ha avanzado hacia la mejora del conocimiento del alumnado de cuestiones técnicas, en un mundo, lenguaje, sistema que les era desconocido hasta ahora.

Referencias

- Almagro Gorbea, A. 2019. Medio siglo documentando el patrimonio arquitectónico con fotogrametría. EGE Revista de Expresión Gráfica en la Edificación 11: 4–30.
- Calle Cabrero J. 2014. SketchUp Pro: manual básico : manual práctico de aprendizaje y referencia. Iscar Software de Arquitectura, S.L.
- León-Cascante I, Uranga-Santamaria EJ, Rodríguez-Oyardibe I y Alberdi-Sarraoa A. 2021. Implementación de la Metodología BIM en el Grado en Fundamentos de Arquitectura. En: Garcia Escudero D y Bardí Milà B, eds. IX Jornadas sobre Innovación Docente en Arquitectura (JIDA'21). Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid, 11 y 12 de Noviembre de 2021: libro de actas. UPC IDP; GILDA, Barcelona, 476-490.
- Rubio Hurtado MJ, Vilà Baños R y Berlanga Silvente V. 2014. La investigación formativa como metodología de aprendizaje en la mejora de competencias transversales; International Conference on University Teaching and Innovation, CIDUI, 2-4 July 2014, Tarragona.

Prevención, seguridad y salud laboral en Ingeniería de la Edificación a través de YouTube y Moodle

Martín Vales, Priscila, Teijón López-Zuazu, Evelio

^a Escuela Politécnica Superior de Ávila, Universidad de Salamanca, Calle Hornos Caleros, 50, 05003, Ávila ^b Escuela Politécnica Superior de Zamora, Universidad de Salamanca, Avda. Cardenal Cisneros, 34, 49029, Zamora

Abstract

Teaching innovation is not simply the introduction of technologies in the classroom, which, however, can be used as a means, but the introduction of changes to improve learning.

The subject occupational health and safety, or also called occupational risk prevention; prevention, safety, and health, among others, is a theoretical-practical subject. Said theoretical part is linked to labor legislation, which is more expensive for students to assimilate due to its eminently technical profile.

The teaching has been carried out by a multidisciplinary team of teachers, on the one hand, Priscila Martín Vales, Doctor of Law and, on the other hand, Evelio Teijón López-Zuazo, Doctor of Building Engineering. Which provides it with tools to transfer transversal skills to students.

The elaboration of audiovisual material and its diffusion in streaming would allow that this type of activities could reach the high number of enrolled students. In addition, the creation of a series of YouTube channels to upload edited videos would allow students to access the information they need at any time, which would favor learning. Likewise, the generation of this content in an entertaining way will increase the motivation of the students and the dissemination and promotion of the activities that are carried out both in this degree and in others.

These materials will be available on Youtube channels for all enrolled students and their content will be supervised by the components of the work team. The channels will be linked to the courses in Moodle where tasks for self-assessment will be included.

Keywords: Streaming, Moodle, Prevention, Occupational health and safety, YouTube, Interdisciplinarity

1. Introducción

La innovación docente no es simplemente la introducción de tecnologías en el aula, las cuales, sin embargo, pueden utilizarse como medio, sino la introducción de cambios para mejorar el aprendizaje. Cuestión no baladí a la hora de establecer y programar las asignaturas a impartir en un curso académico.

La asignatura seguridad y salud laboral, o también denominada prevención de riesgos laborales; prevención, seguridad y salud, entre otros, es una asignatura teórico-práctica. Dicha parte teórica está vinculada a la legislación laboral, la cual es más costosa de asimilar por el alumnado debido a su perfil eminentemente técnico. Debiendo adecuarse la misma a las diferentes ramas y, a su vez, especialidades de cada Ingeniería.

En la actualidad, la labor docente no solo ha de centrarse en el aprendizaje de unos conocimientos que tienen a tener una vigencia limitada y a los que podrá acceder el alumnado en cualquier momento (Vela Díaz 2019, p. 34), sino en guiarle en su aprendizaje autónomo, promoviendo su desarrollo cognitivo y personal mediante actividades y estrategias docentes que posibiliten un aprendizaje horizontal –dejando en segundo plano al aprendizaje vertical-, pensamiento activo e interdisciplinar. Debiendo adecuar, por ende, la metodología docente a la formación de profesionales polivalentes y, en la medida de lo posible, multidisciplinares.

Por otro lado, las distintas metodologías de aula invertida que se han ido utilizando con éxito en el marco de la educación universitaria son: Team Based Learning (TBL) (Michaelsen et al., 2002), Just-in-time Teaching (JITT) (Novak et al., 1999), Peer Instruction (PI) (Mazur, 1997) y PEPOLA (Preparación y estudio Previo por Evaluación On Line Autónoma) (Robles et al., 2010). En dichas metodologías se pone a disposición del alumnado, mediante el campus virtual -Moodle- de la asignatura, los recursos que éstos han de leer, visualizar y/o escuchar, y, en su caso, estudiar antes de la clase presencial. Con posterioridad, se evalúa a través de la resolución de la cuestión planteada en referencia a tal recurso. No obstante, con relación a la discusión de los resultados es donde encontramos diferencias en las metodologías anteriormente señaladas. Ya sea entre los mismos futuros egresados en equipos repitiendo la prueba con consenso que ellos han obtenido hacia las respuestas (TBL), ya sea por parte del docente rediseñando la clase en función de lo que conviene reforzar y explicar (JITT), o bien sea que por parejas, entre el alumnado, se expliquen los conceptos que no han entendido y el docente hace pequeñas intervenciones explicativas (PI), o bien dando el feedback en la clase por parte del docente, si el cuestionario se ha hecho online previo a la clase (Solanes, 2021, p. 40).

A través de la metodología de aula invertida, gran parte del rol del docente es el de guiar el proceso de aprendizaje mediante tutorías (Solanes, 2021).

2. Objetivos

El objetivo principal es que el alumno esté activo en el aula con una presencia simultánea de alumnado y profesorado, con lo cual se incentiva tanto el aprendizaje activo, como el aprendizaje cooperativo. En el aula es donde se impone el aprendizaje cooperativo, donde los docentes proceden a la resolución de supuestos prácticos basados en situaciones reales acaecidas en el ejercicio profesional. De manera que, si el alumnado participa de forma activa, se consigue su participación y cooperación, interviniendo en el proceso de aprendizaje más acciones cognitivas y, con ello, el alumnado reflexiona. No obstante, nos encontramos con la controversia dimanada de la realización del trabajo previo por parte del alumnado de llevar la lección aprendida a clase. Si el docente no ha conseguido esta premisa inicial, dicho método carecerá de eficacia. Por ello, se realiza una motivación basada en la orientación de metas, intentando el docente incentivar, a su vez, la motivación por competencia, por la cual, el alumnado tiene como objetivo la comprensión en profundidad del tema objeto de estudio, para, con ello, adquirir competencia en este. En función de lo cual, el docente llevará a cabo tal motivación a través del visionado previo del alumnado –no superiores a 10 minutos-, mediante dispositivos electrónicos. Esta estrategia del aula invertida se ve muy favorecida con la implantación en el aula de herramientas tecnológicas innovadoras –*nearpod*, *kahoot*-, y métodos innovadores como, por ejemplo, el aprendizaje basado en proyectos. El modelo de aula invertida se aplica con éxito en clases teóricas, en clases prácticas de laboratorio y como preparación del trabajo en equipo. Empero, esta no ha de sustituir a las clases magistrales

3. Metodología

En esta investigación nos centraremos en realizar cambios en la impartición de la asignatura seguridad y salud laboral en las Ingeniería de la Edificación. Todo ello desde una visión multidisciplinar de la misma, por un lado, desde una visión legal y, por otro lado, desde una visión técnica. Para lo cual contaremos con Priscila Martín Vales, Profesora Doctora en Derecho del Trabajo y de la Seguridad Social, y con Evelio Teijón López-Zuazo, Profesor Doctor en Ingeniería de Caminos.

La metodología por seguir, como «conjunto de decisiones globales que conforman la materia didáctica» (Monereo Atienza, 2019, p. 82), tendrá un carácter dinámico. De manera que, se podrá modificar levemente en función de la evolución del alumnado.

Para lo cual utilizaremos la técnica conocida como gamificación. Se le presentará al alumnado una serie de vídeos desde una perspectiva animada, de duración no superior a veinte minutos. Dicha duración obedece a dos fines claramente diferenciados, por un lado, la captación del interés del alumnado técnico y, por otro lado, el mantenimiento de la atención de estos en las lecciones de una materia repleta de normativa.

Se pretende realizar vídeos de explicaciones de los contenidos de cada una de las prácticas, debido a que se trata de contenidos en muchos casos exclusivos y a los que se tiene acceso en breves momentos de tiempo. A la vez, en las situaciones en las que resulte interesante, se llevarán a cabo retransmisiones en directo que faciliten al alumno la comprensión de estos contenidos, al mismo tiempo que podrán ser seguidas por el alumnado matriculado que no puedan acudir de forma presencial. Resulta muy útil en visitas de campo en las que el número de plazas de asistentes es bajo y limitado, al permitir que los futuros egresados, tanto de estas asignaturas como de otras que pudieran estar interesados, interaccionen en tiempo real con los presentadores de la retransmisión. Se elaborarán vídeos de herramientas clave, donde se explicarán procedimientos prácticos en situaciones reales que apoyen la formación continua del alumno y refuercen la teoría.

Posteriormente, todos los contenidos editados, serán subidos a un canal de *Youtube* asignatura, generando una biblioteca multimedia de lugares de interés, que resulta un gran avance como material didáctico. Los canales estarán enlazados a sus cursos en Moodle donde, además, se incluirán cuestionarios online para la autoevaluación. Los canales de *Youtube* se mostrarán de libre acceso para que esté a disposición de cualquier persona interesada, sirviendo de promoción y publicidad para las titulaciones indicadas.

Se ha utilizado el modelo de refuerzo en clase y el aprendizaje fuera del aula, por el cual, el docente refuerza los conceptos aprendidos durante la visualización de los vídeos a través de la resolución de las posibles dudas del alumnado y de la realización en el aula de un supuesto o estudio de caso en relación al video visionado. No obstante, dicho modelo lleva aparejada la vicisitud relativa a la explicación en clase del aprendizaje fuera del aula.

4. Resultados

Captar el interés del alumno por el tema de estudio es primordial en todo tipo de modalidad docente y, en concreto, en esta modalidad basada en la docencia a través de YouTube y de Moodle cobra una mayor importancia. Si el alumno no tiene interés, la mayor parte del esfuerzo que va a realizar para comprender y manejar el tema objeto de estudio resultará infructuoso. De manera que, si conseguimos crear interés del estudiante en la materia, daremos un giro de 180°, convirtiendo dicho esfuerzo en algo positivo y satisfactorio para el mismo.

En este punto, es de notoria relevancia traer a colación la importancia de incentivar en el alumno la resiliencia, entendiendo la misma como aquella capacidad para adaptarse a las situaciones adversas con resultados positivos.

Centrándonos en el interés individual, cuando una materia o tema objeto de estudio capta el interés del estudiante, el rendimiento de este aumentará en una proporción mayor. Esta afirmación trae su justificación en la promoción de conductas de exploración y razonamientos constructivos alrededor de ese tema de interés.

La motivación basada de la auto suficiencia, por su parte, podemos concebirla como una expectativa o juicio personal sobre la propia capacidad para realizar una determinada actividad o tarea. La gratificación del “trabajo bien hecho” y la consecuente sensación positiva obtenida por el alumno, conlleva un mayor grado de auto

eficiencia y motivación de cara al aprendizaje. Podremos gestionar la autoeficacia de una manera óptima potenciando los puntos fuertes del alumno y reforzando los débiles, promoviendo, asimismo, la superación personal.

En último lugar, la motivación basada en la orientación de las metas, determinan los motivos por los cuales el alumnado desarrollan el aprendizaje. No obstante, en dicho tipo de motivación se engloban, a su vez, tres metras distintas: rendimiento-aproximación, mediante la búsqueda por parte del alumno de la obtención de la mejor calificación del grupo; rendimiento-evitación, a través de la evitación por parte del alumno de no obtener las peores calificaciones del grupo o, por lo menos, evitar, en última instancia, el tan temido suspenso; y, competencia, los futuros egresados tienen como objetivo la comprensión en profundidad del tema objeto de estudio, para, con ello, adquirir competencia en este.

5. Conclusiones

Estas técnicas docentes, a diferentes de las clásicas, necesitan para su efectividad la participación del alumnado. Para lo cual, será necesario fomentar la misma.

Mediante esta actividad el alumnado podrá adquirir competencias en materia de seguridad y salud laboral de forma teórico-práctica, así como por su preparación a través de una visión multidisciplinar de la materia.

Con todo, se han buscado habilidades organizativas como la lectura, escritura, pensamiento crítico, además de la capacidad de retener información, comprender contenidos complejos y comunicar conocimientos de forma eficaz. El aumento del uso del lenguaje jurídico y su aplicación en supuestos prácticos se ha logrado creando mapas de ideas, mapas mentales, mapas conceptuales, organizadores gráficos, flujos de proceso para pensar, organizar y escribir, así como la visualización de las correspondientes píldoras audiovisuales.

Por lo cual, podemos concluir que la docencia de la asignatura de prevención, seguridad y salud laboral en Ingeniería de la Edificación a través de YouTube y Moodle los estudiantes adquirirán una serie de competencias, tanto específicas como transversales. Por lo cual, en cuanto a las competencias específicas estas serían de carácter disciplinar -conocimiento de la normativa de seguridad y salud laboral-; profesional -capacidad para transmitir y comunicarse por escrito y oralmente usando la terminología y las técnicas adecuadas, capacidad para seleccionar y gestionar la información y documentación laboral, capacidad para desarrollar proyectos de investigación en el ámbito laboral, capacidad para realizar análisis y diagnósticos, prestar apoyo y tomar decisiones en materia de estructura organizativa, organización del trabajo, estudios de métodos y estudios de tiempos de trabajo, capacidad para participar en la elaboración y diseño de estrategias organizativas, desarrollando la estrategia de recursos humanos de la organización, capacidad para aplicar técnicas y tomar decisiones en materia de gestión de recursos humanos (política retributiva, de selección), capacidad para dirigir grupos de personas, capacidad de planificación, diseño, asesoramiento y gestión de los sistemas de prevención de riesgos laborales, y, capacidad para aplicar las distintas técnicas de evaluación y auditoría sociolaboral-; académico - análisis crítico de las decisiones emanadas de los agentes que participan en las relaciones laborales; capacidad para interrelacionar las distintas disciplinas que configuran las relaciones laborales en el ámbito de la Ingeniería, comprender el carácter dinámico y cambiante de las relaciones laborales en el ámbito nacional e internacional; aplicar los conocimientos a la práctica; y capacidad para comprender la relación entre procesos sociales y la dinámica de las relaciones laborales en materia de seguridad y salud laboral.

Mientras que, en relación con las competencias transversales los estudiantes adquirirán competencias como la capacidad de análisis y síntesis; capacidad de organización y planificación; comunicación oral y escrita en lengua nativa; capacidad de gestión de la información; resolución de problemas; toma de decisiones; trabajo en equipo; trabajo en un equipo de carácter interdisciplinar; razonamiento crítico; compromiso ético; aprendizaje autónomo; adaptación a nuevas situaciones; creatividad; liderazgo; motivación por la calidad; y, sensibilidad hacia temas medioambientales.

Referencias

- Cortizo Pérez, J. C., Carrero García, F. M., Monsalve Piqueras, B., Velasco Collado, A., Díaz Del Dedo, L. I. y Pérez Martín, J. (2011). Gamificación y Docencia: Lo que la Universidad tiene que aprender de los Videojuegos. En VII Jornadas Internacionales de Innovación Universitaria.
- Martín Vales, P. (2021). Docencia de prevención, seguridad y salud laboral: gamificación mediante moodle. En I. Rovira Ferrer y B. Anglès Juanpere (coord.). Un nuevo impulso de las TIC en la docencia del Derecho (pp. 77-84). Huygens.
- Mazur, E. (1997). Peer Instruction: a user`s manual. Visión libro.
- Michaelsen, L.K, Knight, A.B., & Flink, L.D. (2002). Team-Based Learning: A Transformative Use os Small Groups in College. Visión libros.
- Monereo Atieza, G. (2019). Técnicas docentes para el fomento de las capacidades: desarrollo metodológico y estrategias de enseñanza sobre el profesor, el alumno y la enseñanza teórico práctica del derecho. En AA.VV., Monereo Pérez, J.L. (prólogo) (2019). Innovación docente en ciencias sociales y jurídicas. El reto de facilitar salidas profesionales desde el enfoque por competencia y capacidades (pp. 81-112). Murcia, España: Laborum Ediciones.
- Novak, G, Garvrin, A. Christina, W., & Patterson, E. (1999). Just-In-Times Teaching: Blending Active Learning with Web Techonology. Visión libro.
- Robles, G, González-Barahona, J.M. y Prieto, A. (2010). Fomentando la preparación de clase por parte de los alumnos mediante el Campus Virtual. Revista electrónica de ADA-Madrid 4(3), pp. 240-248.
- Solanes Giralte, M.M. (2021). Contribución de la herramienta de videoconferencia de Blackboard Collaborate para adaptar la docencia con la metodología de aula invertida de prevencia virtual, a causa de la pandemia. En I. Rovira Ferrer y B. Anglès Juanpere (coord.). Un nuevo impulso de las TIC en la docencia del Derecho (pp. 33-45). Huygens.
- Vela Díaz, R. (2019). Técnicas de desarrollo docente para la formación en competencias profesionales y fomento del trabajo autónomo. En AA.VV., Monereo Pérez, J.L. (prólogo) (2019). Innovación docente en ciencias sociales y jurídicas. El reto de facilitar salidas profesionales desde el enfoque por competencia y capacidades (pp. 19-36). Murcia, España: Laborum Ediciones.
- Solopova N. Dai pannelli alla città. 2002. Alcune tappe della prefabbricazione pesante in URSS. Storia Urbana 101: 106-125.

The Final Degree Project of the Building Engineer as an interdisciplinary experience

Diego Gómez, Soledad ^a, Segarra Cañamares, María ^b y Valverde Cantero, David ^c

^a Alumna Escuela Politécnica de Cuenca, Calle Mota del Cuervo, 14, 8º-1, 28043 Madrid. sdiego72@gmail.com, ^b Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n 16071, Cuenca. maria.segarr@uclm.es, ^c Escuela Politécnica de Cuenca, Campus Universitario s/n 16071, Cuenca. david.valverde@uclm.es

Abstract

The development of a building process is, by definition, an interdisciplinary process that involves several agents and phases, from the conception to the delivery of the building. Collaboration and proper management are essential to ensure the success of the project. Therefore, it's very important to introduce, at degree level, this interconnection concept so that future building engineers apply these collaborative principles in the development of their profession.

In the field of Health and Safety Coordination, this interrelation is evident in the symbiosis between occupational risk prevention and quality control of all the process. On the one hand, it is necessary to know at each stage of the process what are the conditions to be met in terms of health and safety. On the other hand, good quality management in the process implies the definition of clear and precise standards and procedures, the continuous control of the processes and the periodic evaluation of the results.

The proposal involves the realization of a Final Degree Project (TFG) that combines both concepts in the implementation of a quality management system based on the ISO 9001 Standard applied to a Health and Safety Coordination and that is tutored by professors of both subjects.

In the development of the TFG it has become clear the interconnection and dependence between both disciplines during the planning of the Health and Safety Coordination.

The result is a TFG with a strong interdisciplinary character that allows the student to interconnect the different subjects studied and that brings him/her closer to a deeper understanding of the complexity of the building process in general and of Health and Safety Coordination in particular.

Keywords: Health and safety, Quality, Building engineering

1. Introducción

El desarrollo de un proceso edificatorio es, por definición, un proceso interdisciplinario que involucra a varios agentes y fases, desde la concepción hasta la entrega del edificio. La colaboración y la gestión adecuada son esenciales para garantizar el éxito del proyecto. Por ello, resulta de gran importancia introducir este concepto de interconexión ya desde el ámbito universitario con el fin de que los futuros Ingenieros de la Edificación apliquen estos principios colaborativos en el desarrollo de su profesión.

Actualmente la tendencia en la mayoría de los ámbitos empresariales, debido sobre todo a la globalización y a la alta competencia en el mercado, está enfocada en la búsqueda de una excelencia en la calidad de su gestión.

Esto también sucede en el ámbito de la construcción, donde, además, se produce la concurrencia de numerosos recursos y procesos en un tiempo y espacio limitado que deben ser coordinados cuidadosamente con el fin de obtener un resultado final de calidad.

2. Objetivos

En el ámbito de la Coordinación de la Seguridad y Salud, esta interrelación se hace patente en la simbiosis existente entre la prevención de riesgos laborales y la calidad en del proceso edificatorio. Por un lado, resulta necesario conocer en cada etapa del proceso cuáles son los condicionantes a cumplir en lo que a seguridad y salud se refiere. Y por otro, una buena gestión de la calidad en el proceso implica la definición de estándares y procedimientos claros y precisos, el control continuo de los procesos y la evaluación periódica de los resultados (González, Parra y Roldán, 2016).

Lo anterior implica la realización de una adaptación simultánea de calidad y seguridad y salud orientada a implementar medidas y estrategias que aseguren, tanto la calidad de los productos o servicios, como la seguridad y salud de las personas involucradas en esos procesos.

Es precisamente desde ese enfoque de simultaneidad y convivencia de ambos conceptos de donde surge la idea de elaborar un Trabajo Fin de Grado (TFG) monográfico, como culminación de los estudios de Grado en Ingeniería de Edificación dentro de la Escuela Politécnica de Cuenca (Escuela Politécnica de Cuenca, 2023), en el que se proponga una planificación, control y seguimiento de un encargo de trabajo profesional de Coordinación de la Seguridad y Salud (CSS) dentro de un Modelo de Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) basado en la norma UNE-EN ISO 9001:2015 (UNE, 2023), cuya implantación pretende mejorar los resultados de los servicios prestados y aumentar la satisfacción del cliente.

Si bien el trabajo está enfocado en el desarrollo de la actividad del Coordinador de Seguridad y Salud en fase de Ejecución de Obra (CSSO), el esquema propuesto en cuanto a la implantación del SGC se podría trasladar a la fase de la elaboración del proyecto e incluso a la fase de uso y mantenimiento de la edificación.

3. Metodología

Así la realización de este TFG agrupa ambos conceptos en la implantación de un SGC aplicado a una CSS y está tutorizado por profesorado de ambas materias.

El TFG se estructura en base a un primer análisis que aborda las características generales a tener en cuenta dentro de la gestión, tanto de la calidad como de la seguridad y salud en las obras de construcción, de una manera individual. El siguiente paso consiste en unificar los contenidos básicos de cada una de las gestiones en una planificación genérica de la actividad, para dar paso a la aplicación concreta del SGC en la actividad de la CSSO.

El SGC planteado está basado en la norma ISO 9001:2015 por considerar que ésta se adapta, por su estructura y contenido, a los objetivos anteriormente planteados además de ser una norma de carácter internacional con eficacia reconocida y demostrada.

3.1. Gestión de la Calidad

La Gestión de la Calidad aplicada a organizaciones formadas por técnicos dedicados a la prestación de servicios en el proceso edificatorio, es un campo en el que todavía existe un bajo nivel de implantación de SGC.

Dentro de estos colectivos profesionales se encuentra el de los profesionales que ejercen la CSS.

Si bien es cierto que la tendencia actual en la edificación está orientada hacia la mejora de la calidad en todo el proceso constructivo, las características propias del mismo dificultan en muchas ocasiones la decisión de la implantación de un SGC.

Como factores a tener en cuenta en dicha dificultad podríamos considerar:

- La diversidad y heterogeneidad de agentes intervinientes en la obra.
- La diferencia de intereses de los distintos agentes.
- La diferencia entre unos proyectos y otros en cuanto a gestión se refiere: pública, privada, con o sin proyecto, etc.
- Carácter temporal de la obra.

3.1.1. Elección del sistema de gestión basado en la UNE-EN ISO 9001:2015

Centrándonos en el objeto del TFG, en concreto son los factores anteriormente señalados, los que llevan a la necesidad de implantación de un SGC en el servicio de la CSSO, considerando para ello todas las fases del proceso, desde el inicio al final.

A la hora de elegir la implantación del sistema de gestión de la calidad se opta, como se ha indicado anteriormente, en seguir el modelo planteado en la Norma UNE-EN ISO 9001:2015.

Se considera que este modelo resulta el más adecuado puesto que contempla las directrices a seguir en un proceso empresarial completo y engloba, tanto requisitos del producto como del servicio y de las partes interesadas, como los niveles de seguimiento y análisis de todos ellos, con el objetivo de alcanzar la calidad total mediante el análisis de la implantación del sistema y la mejora continua de la actividad.

3.1.2. Principios básicos de aplicación de la ISO 9001

Dentro de las primeras premisas que marca la norma ISO 9001, a tener en cuenta antes de la propia aplicación del SGC, está el comprender las cuestiones externas e internas que pueden afectar a la capacidad de una organización, en este caso, a un CSSO, para lograr los resultados previstos en su sistema de gestión de calidad.

Así tenemos que, tanto factores externos como por ejemplo económicos, sociales y políticos, como factores internos tales como la estrategia de dirección, los recursos disponibles, y la logística entre otros, pueden influir tanto positiva como negativamente.

La norma ISO 9001 exige que la organización identifique y comprenda las necesidades y expectativas de las partes interesadas, teniendo en cuenta tanto los requisitos legales y reglamentarios aplicables como los requisitos propios de la organización.

Al comprender las partes interesadas y sus necesidades y expectativas, la organización puede enfocar sus esfuerzos en satisfacerlas de manera efectiva, contribuyendo a mejorar el proceso de cara a la aproximación hacia la calidad total.

Por último, dentro de las directrices iniciales a tener en cuenta en base a lo indicado en la norma ISO 9001, la organización debe determinar los límites y condiciones de aplicabilidad del SGC.

Teniendo en cuenta que el alcance del SGC puede abarcar a toda la organización, a funciones o procesos concretos o áreas específicas, es necesario dejar claro los servicios y productos a los que resulta de aplicación el SGC, así como los centros donde se desarrollan.

3.2. Gestión la Seguridad y Salud en obras de construcción

El sector de la construcción resulta uno de los marcos empresariales con más alto nivel de siniestrabilidad. En ello influyen varios aspectos (Izquierdo, 2011):

- Concurrencia de una cantidad elevada de mano de obra.
- Características especiales del centro de trabajo donde un gran número de operaciones se realizan al aire libre.
- Ritmos de trabajo muy influenciados por los plazos de ejecución y solape con actividades concurrentes en el tiempo.
- Elevado nivel de subcontratación.
- Heterogeneidad en la formación y cualificación de los trabajadores.

Además de lo anterior, gran parte de los accidentes en el sector de la construcción son causados por errores de organización, planificación y control, por lo que surge la necesidad de realizar una gestión de la seguridad y salud en las obras con el fin de conseguir mejoras en las condiciones de ejecución de los trabajos y, consecuentemente, una disminución de las tasas de accidentes.

Dicha gestión de la seguridad requiere de unas bases que regulen las actuaciones y condiciones exigibles en todas las fases del proceso constructivo y unos agentes que sean los responsables de velar por el cumplimiento de aquellas (Fundación Musaat, 2016).

3.2.1. Marco normativo en la Seguridad y Salud en obras de construcción

Actualmente la gestión de la seguridad en las obras de construcción viene marcada por la existencia de una normativa claramente definida y regulada dentro del ámbito legal estatal. Entre las leyes y reglamentos de cabecera podemos señalar (Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el trabajo, 2013):

- Ley 31/1995 sobre Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Real Decreto 171/2004, de 30 de enero, por el que se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, en materia de coordinación de actividades empresariales.
- Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción.

3.2.2. Agentes intervinientes en la gestión de la Seguridad y Salud en obras de construcción

Además de la aplicación de la propia normativa, resulta fundamental para una correcta gestión de la seguridad y salud en obras de construcción, que los distintos agentes que intervienen tengan perfectamente definidas las obligaciones que en esta materia tienen cada uno.

En el artículo segundo del RD 1627/1997 se detallan las definiciones relativas a los agentes que intervienen en el proceso constructivo:

- Promotor.
- Proyectista.
- Coordinador en materia de seguridad y de salud durante la elaboración del proyecto.
- Coordinador en materia de seguridad y de salud durante la ejecución de la obra.
- Dirección Facultativa.
- Contratista.
- Subcontratista.
- Trabajador autónomo.

Cada uno de ellos por tanto deberá conocer el alcance de su actuación de modo que en cada fase exista un organigrama claro del proceso. De no ser así, no sería viable la implantación de un SGC efectivo.

Así, por ejemplo, con relación al Plan de Seguridad y Salud (PSS) en una obra de promoción privada, el esquema organizativo de los agentes que intervienen en ese momento podría resultar el mostrado en la siguiente ilustración (Figura 1).

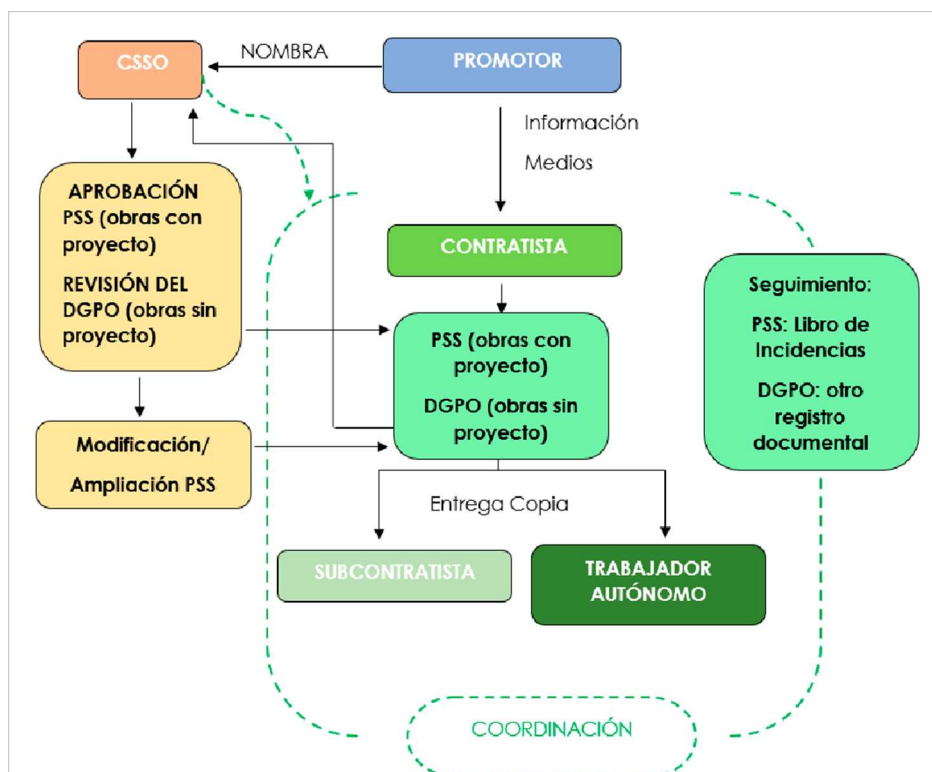


Figura 1. Esquema relación agentes/PSS Obra Promoción Privada

Fuente: Elaboración propia (2022)

Realizando un esquema similar para cada una de las fases de la CSS, quedarían claramente definidas las actuaciones de las distintas partes en todo momento del proceso.

3.3. Planificación genérica

Antes de definir el procedimiento concreto para la implantación del SGC es necesario adquirir una visión global de todo el proceso de la actuación de la CSSO. Sólo así se podrán ir analizando los distintos estadios, fases y subfases que se generan en total.

Por una parte, deberemos tener en cuenta los objetivos globales relativos a la propia gestión de la calidad. La implantación del SGC estará encaminada a:

- Obtener un sistema de gestión eficaz que garantice la mejora del proceso y el aseguramiento de la calidad tanto a nivel externo como interno.
- Aumentar la satisfacción del cliente en función de sus requisitos y de los requisitos que legalmente sean exigibles.

Por otra parte, desde el punto de vista de la gestión de la seguridad y salud, no podemos olvidar que la actividad de la CSS conlleva muchas etapas distintas a lo largo de la obra, generándose además una numerosa casuística en cuanto a niveles de intervención y contratación existiendo en función de ello diversidad de situaciones normativas y legales a cumplir en cada caso.

Una vez marcados los objetivos globales en los dos ámbitos, se establecerá una primera planificación genérica, en la que se marquen los hitos de intervención de la figura del CSSO en el proceso completo de ejecución, concretando en cada fase (contratación, inicial, ejecución y final) cuáles serían los puntos críticos y quiénes los agentes intervinientes.

Establecidos dichos puntos, se creará el procedimiento para poder solicitar y ordenar la documentación a recopilar y elaborar por el CSSO estableciendo un orden de actuación preciso.

Durante y al final del proceso, se realizará un seguimiento de control que permita detectar las posibles incidencias y poder así implementar las medidas correctoras necesarias para la mejora del sistema.

3.4. Planificación específica

En el caso concreto de la actuación del CSSO, el procedimiento a implantar constará de un sistema documentado en el que se reflejan las responsabilidades, actividades, controles, medios, etc., para su seguimiento y posterior análisis por el CSSO.

Se han estudiado las distintas fases de la intervención del CSSO, diseñado un modelo que consta de varios procedimientos, así como instrucciones de trabajo para cada uno de ellos que se materializan en la cumplimentación de varias fichas.

- Estas instrucciones de trabajo llevarán vinculadas un procedimiento basado fundamentalmente en:
- Control y registro de documentos.
- Control de no conformidades y acciones correctivas y preventivas durante la propia actividad.
- Control mediante auditoría interna de la documentación generada y los procesos llevados a cabo.

Con el sistema propuesto se pretende conseguir unos objetivos concretos:

- Determinar los requisitos especificados por el cliente, los requisitos legales y cualquier otro requisito que se considere oportuno.
- Determinar y planificar los procesos, así como la secuencia e interacción entre los mismos, métodos de seguimiento, fases del proceso, medidas correctoras, etc.
- Garantizar una comunicación adecuada con el cliente y con los demás agentes en todo lo relacionado con el servicio.
- Planificar y controlar el diseño y desarrollo de la actividad de coordinación.
- Realizar el seguimiento y control del servicio con el fin de comprobar que se cumplen los requisitos establecidos.

3.4.1. Modalidades de Obra y Contratación

Es necesario, antes de establecer las distintas fases del proceso, conocer que, dependiendo de la naturaleza del promotor y de la obra, así como de la naturaleza de los ejecutores de los trabajos (empresa o personal autónomo) surgen varias combinaciones en la forma de contratación de los trabajos lo que deriva en varias combinaciones de requerimientos legales.

Asimismo, también es necesario conocer que el tipo de obra, con o sin proyecto (Aparejadores Madrid, 2009), también influye en las obligaciones legales que el contratista tiene al respecto generándose un tipo u otro de documentación según el caso.

De ahí surgen dos planificaciones específicas, una para obras con proyecto y otra para obras sin proyecto.

3.4.2. Estudio de las fases del proceso.

En cada una de las dos planificaciones indicadas se plantean las distintas fases del proceso, considerando aquellos momentos claves en los que existe una diferenciación clara en lo que refiere a la intervención del CSS. En concreto se plantean cuatro fases:

- Fase de Contratación.
- Fase Previa al inicio de los trabajos.
- Fase Ejecución de los trabajos.
- Fase Final de los trabajos.

Para cada una de estas fases, tanto en obras con proyecto como sin él, se detallan todas las etapas clave en las que se produce intervención concreta del CSSO, bien por requisito legal (cumplimiento de alguna de las

obligaciones marcadas por ley), bien por tratarse de un momento clave en la obra (intervención de los distintos contratistas, subcontratistas, etc.), señalándose en cada una de ellas la documentación que se genera (licencias, dictámenes, actas, etc.).

Todo lo anterior se plasma de manera gráfica en los correspondientes diagramas de flujo (Figura 2) que marcan de manera inequívoca el itinerario a seguir y garantiza la trazabilidad del proceso.

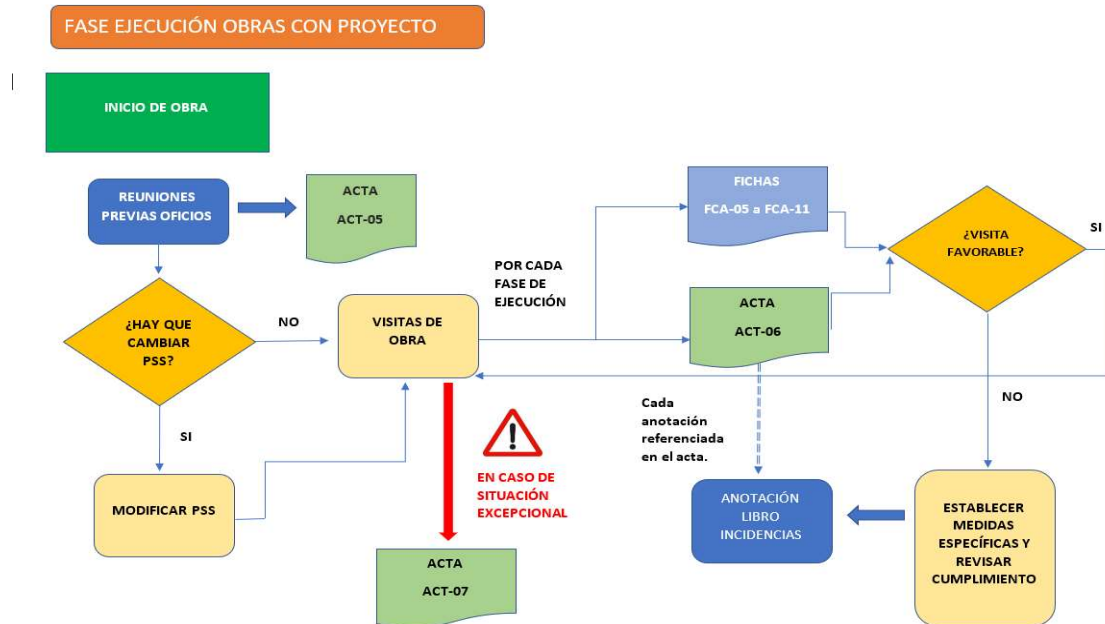


Figura 2. Diagrama de Flujo Fase Ejecución Obras con Proyecto
Fuente: Elaboración propia (2022)

3.4.3. Implantación de Sistema Documental

Dentro de la norma ISO 9001:2015, se hace referencia a la "información documentada" como un requisito clave para el sistema de gestión de calidad. Por ello, uno de los ejes fundamentales del SGC implantado lo constituye el archivo de la documentación y el codificado de la misma.

El objetivo a alcanzar sería el de poder gestionar y actualizar la documentación generada en el proceso adecuadamente, así como poder acceder a ella en cualquier momento en el que el proceso lo requiera. Para ello se realiza la implantación de una codificación a seguir en cada uno de los distintos niveles de archivo. Cada intervención del CSSO genera un código que tendrá una nomenclatura determinada (Figura 3).



Figura 3. Codificación de intervención
Fuente: Elaboración propia (2022)

Además, a la vista de las distintas etapas del proceso se generan en el SGC tres tipos de documentos:

- Fichas de Seguimiento Interno: fichas para llevar el seguimiento interno. No refieren a la obra en sí sino al registro de documentos contractuales, visados e incidencias.
- Fichas de Chequeo de la Actividad: fichas con un listado de puntos a comprobar tanto en la revisión de documentación inicial como en las visitas de obra.

- Actas: documento utilizado para recoger los acuerdos en reuniones o visitas de obra y dejar constancia de información relevante.

Cada uno de estos documentos están designados por una codificación concreta y presentan un color diferenciador.

1.-Fichas seguimiento interno del CSSO

FSI-01	Datos del presupuesto.
FSI-02	Contenido de contrato.
FSI-03	Nota de encargo-visado.
FSI-04	Aprobación del PSS.
FSI-04-SP	Revisión DGPO.
FSI-05	Datos inicio de obra.
FSI-06	Finalización de intervención CSSO.
FSI-07	Incidencias y medidas correctoras.

2.-Fichas chequeo documentación externa al CSSO

FCA-01	Licencia y proyecto.
FCA-01-SP	Licencia.
FCA-02	Chequeo PSS.
FCA-02-SP	Chequeo DGPO.
FCA-03	Documentación contratistas/subcontratistas.
FCA-04	Documentación instalaciones provisionales.
FCA-05	Visita obra fase movimiento de tierras.
FCA-06	Visita obra fase cimentación y saneamiento.
FCA-07	Visita obra fase estructuras.
FCA-08	Visita obra fase albañilería.
FCA-09	Visita obra fase cubiertas.
FCA-10	Visita obra fase revestimientos/acabados.
FCA-11	Visita obra fase instalaciones.

3.-Fichas actas reuniones con agentes intervinientes

ACT-01	Reunión promotor y dirección facultativa.
ACT-01-SP	Reunión promotor (caso obras sin proyecto).
ACT-02	Reunión contratistas/subcontratistas.
ACT-02-SP	Reunión contratistas/subcontratistas.
ACT-03	Entrega aprobación PSS y custodia libro incidencias.
ACT-03-SP	Custodia libro incidencias (caso obras sin proyecto)
ACT-04	Inicio obras.
ACT-05	Reunión previa al inicio de fases.
ACT-06	Visitas periódicas.
ACT-07	Reunión por causas excepcionales.
ACT-08	Acta final.

Figura 4. Listado de fichas del sistema documental implantado

Fuente: Elaboración propia (2022)

4. Resultados

En el desarrollo del TFG ha quedado patente la interconexión y dependencia existente entre ambas disciplinas durante la Coordinación de Seguridad y Salud en la fase de obra. Al planificar cada una de las etapas se ha ido viendo como cada fase influye y depende a las demás. Esto, junto con el hecho de gran número de etapas necesarias en la actividad, ha evidenciado la necesidad de la implantación del sistema de gestión de calidad desarrollado.

Los resultados obtenidos han permitido identificar claramente los recursos y requisitos de la actividad, así como detectar las incidencias que se pueden llegar a producir en cada fase y las medidas de mejora a implantar para su corrección. Al mismo tiempo se ha desarrollado un sistema de gestión documental que facilite y garantice el registro, así como el control efectivo del proceso en cualquier momento.

5. Conclusiones

El resultado final es un TFG con marcado carácter interdisciplinar que permite al alumno interconectar las diferentes materias estudiadas y que lo acerca a una comprensión más profunda de la complejidad del proceso edificatorio en general y de la Coordinación de Seguridad y Salud en particular.

Durante la realización del presente TFG, se ha podido comprobar cómo el CSSO se puede enfrentar a diferentes situaciones en función de si la obra dispone o no de proyecto, cual sea la modalidad de contratación, así como la propia naturaleza y condiciones de los trabajos a desarrollar.

Así mismo, se ha hecho patente que el hecho de que en una obra concurren varios agentes, cuyas obligaciones y responsabilidades legales son muy diferentes en función de su condición (promotor, contratista, subcontratista o profesional autónomo), hace que en el proceso surjan puntos críticos que puedan derivar en fallos no solo a nivel de gestión de la actividad sino a nivel de la propia seguridad y salud de la obra.

Por ello, la implantación del SGC no solo resulta recomendable de cara a la obtención de una mejora continua en el proceso, sino que resulta necesaria si lo que se pretende es la coordinación de todos los citados agentes y la trazabilidad de este, desde la fase previa a la contratación, hasta el final de la obra.

Por otra parte, la gestión documental ayudará a que la labor del CCSO se desarrolle con la máxima profesionalidad por lo que resulta imprescindible organizar los documentos de forma sistemática y lo más precisa posible.

La elección de basar el SGC en la norma UNE-EN ISO 9001 ha resultado favorable ya que se han podido trasladar las ideas principales de la norma a la propia estructura de la actividad de Coordinación de Seguridad y Salud en Obra en lo que refiere a partes interesadas, requisitos y gestión de la documentación, adaptándose los objetivos generales de la misma a los objetivos pretendidos.

Es importante señalar que, una vez implantado el SGC el trabajo no puede darse por concluido ya que el sistema no es algo estático, sino que, dentro del propio proceso de seguimiento y detección de las incidencias y del establecimiento de las acciones de mejora está la necesidad de que deba ser continuamente actualizado y adecuado a la realidad de la actividad del CSSO.

Como aspecto a tener en cuenta, de cara a una mejora del SGC desarrollado en el presente Trabajo Final de Grado, sería el de automatizar el proceso documental mediante el desarrollo y la aplicación de un software o aplicación informática que permitiese rellenar las distintas fichas de seguimiento, chequeo y actas directamente a través de un dispositivo móvil (smartphone o tablet) pudiéndose volcar la información directamente a una base de datos alojada en un servidor.

Referencias

- Anales de Edificación. 2015. Vol. 1 (Nº 3) p.p 54-58 y p.p 14-22. DOI: 10.20868/ade.2015.3138.UPM. http://polired.upm.es/index.php/anales_de_edificacion/article/view/3138, último acceso 2022/02.
- Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el trabajo (2013) "Aplicación del RD. 1627/97 a obras sin proyecto". https://www.insst.es/documents/94886/150112/CNSST_OBRAS+CONSTRUCCIONSINPROYECTOEMERGENCIA_29NOVIEMBRE2013.pdf/1b783bd9-b199-4069-a920-ed62523cae44, último acceso 2022/05
- Criterios para la Gestión del Coordinador en Materia de Seguridad y Salud durante la Ejecución de Obra. Fundación Musaat. https://fundacionmusaat.musaat.es/media/pdf/publicaciones/Criterios_gestion_coordinador_ss_1.pdf, último acceso 2022/05.
- Escuela Politécnica de Cuenca, Grado en Ingeniería de Edificación, Plan de estudios, <https://www.uclm.es/cuenca/epc/gradoedificacion/planestudios>, ultimo acceso 2023/05.
- González, Eloísa, Parra, M^a Concepción y Roldán, Juan. 2016. "La coordinación de seguridad y salud en fase de ejecución dentro de un modelo de sistema de gestión de calidad ISO 9001" CONTART 2016. La Convención de la Edificación. 2016. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Granada. Consejo General de la Arquitectura Técnica de España.
- Guía para la aplicación de la Norma UNE-EN ISO 9001:2015 en empresas constructoras. https://www.aenor.com/ebooks/Guia-ISO-9001_2015-empresas-constructoras.pdf, último acceso 2022/02.
- Guía Práctica para Coordinadores de Seguridad y Salud Obras con Proyecto. Asesoría de Seguridad y Salud del COATIEM para el Instituto Regional de Seguridad y Salud en el Trabajo de la Comunidad de Madrid. <https://www.aparejadoresmadrid.es/publicador/guias-seguridad-y-salud>, último acceso 2022/06.

- Guía Práctica para Coordinadores de Seguridad y Salud Obras sin Proyecto. Asesoría de Seguridad y Salud del COATIEM para el Instituto Regional de Seguridad y Salud en el Trabajo de la Comunidad de Madrid. <https://www.aparejadoresmadrid.es/publicador/guias-seguridad-y-salud>, último acceso 2022/06.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 2017. Seguridad laboral en obras de construcción menores sin proyecto. Madrid: INSHT. <https://www.insst.es/documents/94886/96076/seguridad+obras+menores/2c726697-f9a1-4d22-b63f-18476f212c73>, último acceso 2022/02.
- Izquierdo Velasco, Santiago. 2011. Gestión de la coordinación en materia de seguridad y salud en las obras de edificación: desarrollo teórico-práctico del artículo 9 del RD 1627/1997. Thesis (Master thesis), E.U. de Arquitectura Técnica (UPM). <https://oa.upm.es/9262/>, último acceso 2022/02.
- Seguridad Construcción. Blog sobre PRL en obras, especializado en Coordinación de Seguridad y Salud. <https://seguridadconstruccion.wordpress.com/2020/01/06/la-contratacion-de-una-obra-casistica-e-implicaciones-en-su-gestion-preventiva/>, último acceso 2022/04.
- UNE, UNE-EN ISO 9001:2015, <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0055469>, ultimo acceso 2023/05.

Virtual Reality applied to Construction subjects in the Bachelor's Degree in Technical Architecture at the ETSIE (UPV)

Gandía-Romero, José Manuel^{*a}, LListo-Ferrando, Josep Ramón^a, Llorca Sanchis, Adrian^b, Saadi, Jalal^b, Cos-Gayón López, Fernando^a y Iborra Lucas, Milagro^a

^a Universitat Politècnica de València, Depto. de Construcciones Arquitectónicas

^b Imhotep Studio

*corresponding author: joganro@csa.upv.es

Abstract

The objective of "Virtual Reality" is the visualization of a virtual space created from replicas of reality or new fictional spaces in which one can immerse oneself and interact.

Designing methodologies that incorporate these technologies facilitate the consolidation of learning related to the analysis of construction systems and elements. Virtual reality applied to education promotes student motivation and enhances students' spatial awareness by providing immersive experiences, opportunities for manipulation and experimentation, realistic simulations, immediate feedback, and customization. These characteristics help students develop and strengthen their ability to understand and work with spatial relationships more effectively, as a common problem is the difficulty, they have in interpreting the two-dimensional representations traditionally used.

This study presents the results of a pilot experience carried out with second-year students in the subject of Construction V (Construction of Reinforced and Prestressed Concrete Structures) in the Degree of Technical Architecture at the School of Building Engineering at the Polytechnic University of Valencia. The experience was conducted with 10 students in the Construction IV-V laboratory, using a scenario that recreated the process of executing a shallow foundation and a retaining wall.

The results of the experience have allowed us to verify the viability of the proposal and establish the organizational, technical, and spatial needs for its progressive implementation in future courses, based on the new recreation of scenarios and the additional teaching material that would be incorporated into each of them.

Keywords: Virtual Reality, Construction, Spatial Awareness, Teaching-Learning

1. Introduction

The digital transformation that has taken place in education over the past decade has significantly changed the way we teach, and, above all, the way students learn. The use of the internet and the proliferation of mobile devices allow access to a large amount of data, information, and digital resources. Teachers also have a multitude of online tools and educational programs where they can generate content, resources, and assess students' degree of learning.

The use of Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR) in university educational technologies is becoming increasingly common, despite their incorporation as a learning resource being more recent.

In 2011, there were already examples of implementations of these methodologies in the academic field, but it is since 2017 that their use has started to grow significantly, as evidenced by the number of scientific publications related to this topic (A.M. Al-Ansi et al., 2023). Virtual reality is of special interest in the field of construction knowledge, as it creates new opportunities to improve traditionally employed methods and resources for learning. In the field we are discussing, virtual environments make "Virtual Works" available to students and teachers. These resources allow simulating specific situations and specific scenarios that recreate real construction contexts, favoring the achievement of the learning outcomes defined in the subject. To carry out this type of activity, the use of specific equipment is necessary. Thus, from the creation of virtual scenarios or systems reviewed by the teacher, the user feels as if they are immersed in them. Students can intervene without risk, at certain times during the course, experiencing firsthand and without the limitations of an actual site visit.

There are numerous successful examples of the use of virtual reality in the university educational field of architectural construction. For example, in topics related to occupational safety in construction, students participate in simulations that recreate risky situations where decisions must be made considering the specific context and current regulations (X. Li, 2018; R. Sacks, 2013). It is also used in construction process management and material analysis to determine the correct execution of a specific system or element and the suitability of materials, among other aspects (S. Olbina, S. Glick, 2022). The general trend shows a growing interest and adoption of this technology in construction education.

2. Aims and objectives

The objective of this study is to showcase the experience conducted with "Virtual Reality" at UPV in the subjects of Construction IV and V of the third year of the Technical Architecture degree, aiming to identify the potential benefits that the implementation of virtual environments could have in the teaching-learning process. Additionally, it seeks to assess the technical and operational feasibility for future implementation.

To achieve these objectives, the following operational goals have been established:

- Identify the potential benefits of implementing virtual reality in the Construction subjects.
- Create a virtual construction scenario specifically designed for the teaching-learning process, incorporating additional support resources for students, and define the necessary resources for implementation in the laboratory for a small group of 10 students.
- Conduct a real classroom practice with a limited number of students to identify organizational, spatial, and technical needs in order to scale it up to a complete group in upcoming courses.

3. Implementation of a Virtual Reality-based activity in "Construction V" subject (Reinforced and Prestressed Concrete Structures).

After conducting a literature review and researching examples of virtual reality implementations in the teaching of construction of structures, the next step was to fulfill the operational objectives defined in the previous section and establish the necessary resources. In this regard, Inhotep, a company founded by former students of the subject, offered support in terms of hardware and software for the generation of the model and the practical implementation of the activity.

3.1 Identification of Needs

It was decided to work on the part of the program related to shallow foundations using footings. First, the potential benefits of implementing an activity of this kind in the subject were identified for the students. On one hand, the key concepts and skills that students need to acquire in the topic of foundations were identified. They should gain knowledge that enables them to intervene in the technical process of constructing foundations, considering aspects such as quality, cost-effectiveness, and safety. It is essential for students to be able to execute structural elements and foundation systems, taking into account regulations, material properties, working methods, various construction solutions, and, above all, defining the on-site implementation and execution techniques of reinforced concrete structures, as well as different functional and construction possibilities.

One of the main problems we observed among students is related to their ability to understand certain construction details, as they are often presented or studied based on 2D plans. This difficulty is linked to their spatial imagination. In this sense, the "immersive" environment of VR allows students to better understand the dimensions and spatial relationships of objects, which contributes to strengthening their spatial vision. Additionally, it enables them to interact with specific objects and resources, obtaining immediate feedback, thus facilitating comprehension. This "personalization" aspect allows for faster and more effective learning.

3.2 Required Resources

An important aspect that requires careful consideration is the model we want to employ. A common mistake is creating complex models that require extensive elaboration without aligning them with the desired learning outcomes and program content. Therefore, it is crucial to define the model precisely based on existing plans, sketches, or photographs of real constructions that can serve as references.

Similar to an illustrator in books, modelers have the ability to create any 3D demand with a realistic appearance. Furthermore, markers can be incorporated to provide the viewer with relevant information about their location within the model. These markers can include details (Figure 1), photographs, and technical specifications associated with specific elements of the model. These elements can be valuable additions to ensure meaningful learning experiences.

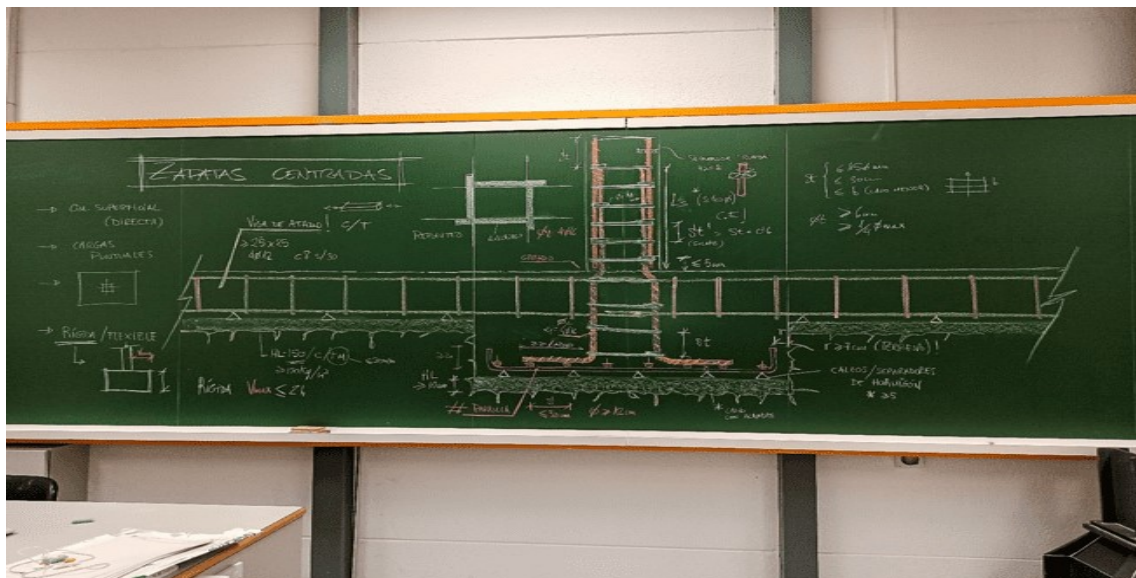


Figure 1. Detail of Construction V hand-drawn on the whiteboard during a presentation, included as a marker in the virtual construction site.

Source: J.M Gandía elaboration (2022)

The modelers work with BIM software such as Archicad or Revit for the modeling process. Afterwards, powerful graphic engines like Unreal Engine are used, where realistic textures are applied to the 3D model, allowing for VR visualization and programming if required, creating an interactive game-like experience.

Once the virtual environments have been created, a PC or laptop with sufficient graphics power for VR visualization (PC or laptops with graphics cards of 8 GB of RAM or higher) is required in the classroom, along with virtual reality devices such as VR headsets and controllers. Currently, there are many models of VR devices available. The most prominent brand in the market is Oculus, from Meta, which has released a new and more powerful wireless headset called Oculus Quest Pro. These headsets combine VR and AR capabilities, improve graphic quality, and address previous issues related to motion sickness. Moreover, they are working on the possibility of connecting multiple headsets to a single PC, which would greatly enhance the educational performance.



Figure 2. Oculus Quest 2 (left) and Google Cardboard VR goggles (right).

Additionally, the technology company Apple has announced the upcoming release of their own virtual reality headset called "Apple Vision Pro," which, according to Apple's CEO, Tim Cook, will be a technological revolution. Furthermore, there are currently multiple VR devices available, such as the Google Cardboard VR headsets, which cost less than 10 euros and allow students to visualize and interact with virtual spaces from anywhere (Figure 2). These types of headsets do not require connection to a PC or have any cables; they only need a mobile phone and an internet connection to function, enabling students to engage in virtual practices from their own homes. In such cases, what would be needed is a platform within the intranet, such as UPV's PoliformaT, where these virtual spaces can be stored.

In the model developed by Inhotep, different stages of constructing a foundation are recreated. Students can identify the layout phases, excavation of pits and trenches for tie beams, reinforcement of footings, assembly of column starters, concrete pouring for footings, reinforcement of columns, and concrete pouring for columns. There are markers within the model that provide images of construction details from books and drawn on the board, as well as photographs of actual construction and videos (Figure 3).

3.3 Pilot Experience in the Classroom

The pilot experience took place in the Construction IV-V Laboratory with 10 students (Figure 4).. To carry out the test, a seminar was conducted as a group tutoring activity. Since it was a pilot experience and there was only one set of equipment and one Oculus Quest 2 device available, the students took turns experimenting while the rest of the group toured the laboratory, where materials and some models related to shallow foundations had been prepared. Additionally, on the whiteboard, they could see the construction detail prepared by the professor. In terms of space, it was verified that at least 3m² of obstacle-free space is required.

One advantage of the activity is that while one student is conducting the virtual site visit, the rest of the students can observe what they are seeing on the computer screen. Throughout the virtual visits with different students, elements and construction procedures, materials, regulatory aspects, and "non-conformities" at various established checkpoints were analyzed in the model.

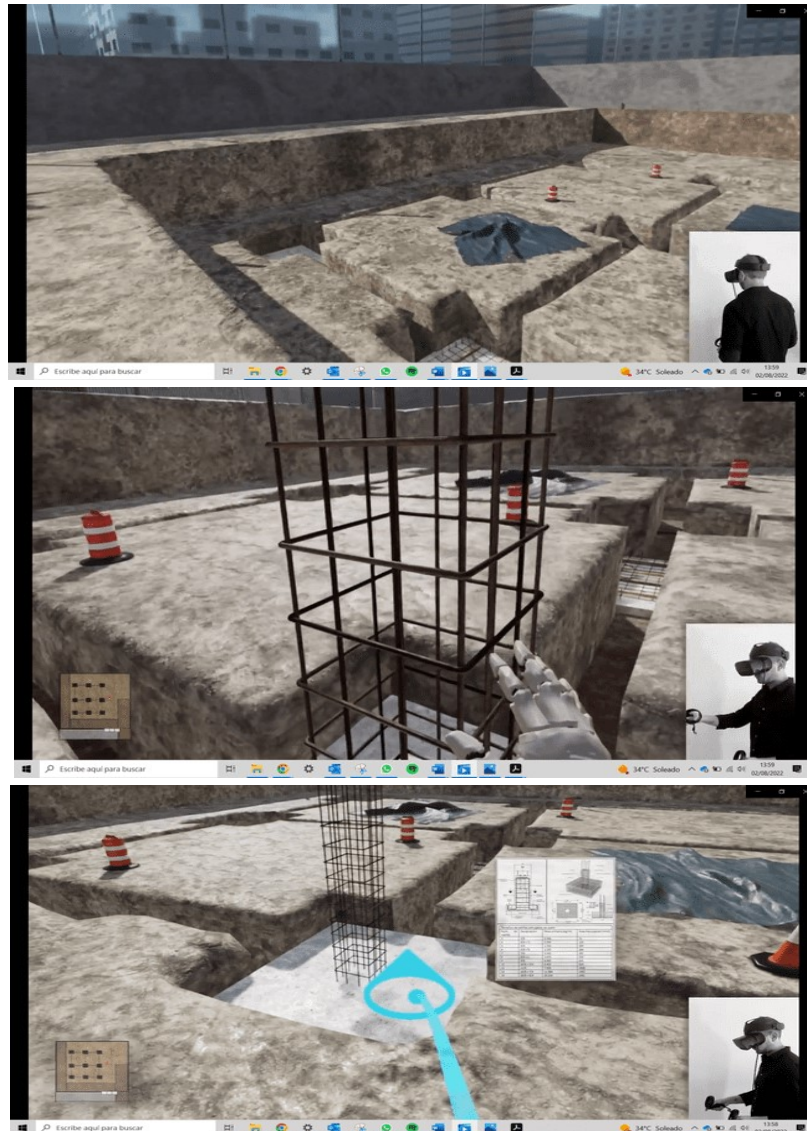


Figure 3. Virtual construction site recreated by former students of Construction IV-V
Source: Jalal Saadi and Adrián Llorca Sanchis (Imhotep Studio-2022).



Figure 4. On site VR activity in CIV-V Laboratory.

Source: Own elaboration.

4. Conclusions

The experience has been very positive and has demonstrated that the inclusion of VR has facilitated an interactive and engaging learning environment, allowing students to interact with learning materials and with their peers. It has been an enriching experience for the students, and the following points can be highlighted:

- Leveraging the benefits of virtual reality provides students with an immersive experience, making them feel like they are "in the place." This allows them to explore virtual environments, manipulate objects, and experiment with scenarios that would be impossible or costly to replicate in the real world.
- It brings the construction site to the classroom in terms of both time and space, allowing for the alignment of virtual visits with the specific content being covered in the curriculum. Additionally, it provides a safe environment for students, protecting their privacy and ensuring that personal data is not shared with third parties without their consent.
- It is scalable and easy to maintain, allowing for the addition of content and functionalities over time.
- It facilitates cross-curricular integration, not only within the construction-related subjects but also across other disciplines. It can be integrated with models and projects from other subjects, creating a common educational framework that includes the possibility of virtual practices, online classes with teachers, and collaboration on virtual team projects.

In conclusion, the group of teachers and collaborators considers that VR has great potential. Above all, it helps students better understand plans, details, and dimensions of construction projects. Additionally, it enables a more practical learning experience and the acquisition of skills before engaging in real-world construction activities. The general trend shows a growing interest and adoption of this technology in construction education, indicating the interest in methodologies that incorporate these types of resources.

References

- Abdullah M. Al-Ansi, Mohammed JabooB, Askar Garad, Ahmed Al-Ansi. 2023. Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education, *Social Sciences & Humanities Open*, 8:1,100532.
- Rafael Sacks, Amotz Perlman & Ronen Barak. 2013. Construction safety training using immersive virtual reality, *Construction Management and Economics*, 31:9, 1005-1017
- Svetlana Olbina & Scott Glick. 2022. Using Integrated Hands-on and Virtual Reality (VR) or Augmented Reality (AR) Approaches in Construction Management Education, *International Journal of Construction Education and Research* 19:3, 341-360
- Xiao Li, Wen Yi, Hung-Lin Chi, Xiangyu Wang, Albert P.C. Chan. 2018. A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety, *Automation in Construction*, Volume 86: 150-162

Sustainable development applied to presentation environments for final degree projects

Miron, Catalin¹, Carpio, Antonio José², Segarra, María³, González y María de las Nieves⁴

¹ Universidad de Castilla La Mancha, C/ Altagracia, 50, 13071 Ciudad Real. catalinmiron@outlook.com

² Universidad Politécnica de Madrid, C/ Ramiro de Maeztu, 7, 28040 Madrid (España); aj.carpio@upm.es

³ Universidad de Castilla La Mancha, C/ Altagracia, 50, 13071 Ciudad Real. Maria.Segarra@uclm.es

⁴ Universidad Politécnica de Madrid, C/ Ramiro de Maeztu, 7, 28040 Madrid (España);
mariadelasnieves.gonzalez@upm.es

Abstract

From the United Nations, new strategies are proposed to protect the planet and strengthen the prosperity of humanity with new objectives called Sustainable Development Goals (SDGs). These are new working models that affect governments, the private sector and society, defining Sustainable Development criteria. From the teaching environment, the models of Quality Education, Innovation, Production and Responsible Consumption, and Climate Action are applicable. The objective of this study is to apply these concepts on an environment for presenting final studies work in order to observe the possibilities that portable document format (PDF) files allow. To this end, a project for conditioning the electrical installation and automation is being developed in a forage dehydrated factory, incorporating tools that facilitate the visualization of the content, allowing audio, video, links, business logic and electronic signatures, always in a digital environment. They are changes in the foundations of the academic/teaching universe in the use of new digital technologies that seek to transmit knowledge for the best teachers and students training as future professionals of society. This opens new communication concepts, not only in the presentation of final study projects, but also in the student's participation in the planet sustainable development. It is essential to be aware and be self-critical in order to understand that progress must be made and see if the teaching community can implement software technologies, without waiting for the next generations to take the step towards sustainable development. Avoiding the use of paper will improve the responsible use of the environment and its resources, reducing part of the destructive effects of planet climate change. The university teaching community must transmit these objectives and implement the appropriate software and hardware technologies to improve sustainable development along with the society evolution and progress.

Keywords: BIM, PDF, Projects, Teaching, Sustainability.

1. Introducción

1.1. La Sostenibilidad

Desde las Naciones Unidas se están trazando nuevos planteamientos que abordan la solución paulatina de problemas actuales; en un concepto de “salvar el mundo”. Los necesarios cambios que quedan determinados en las bases de futuro de las Naciones Unidas abarcan diecisiete objetivos globales, los ODS, que buscan la implicación para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años. Para alcanzar estas metas, todo el mundo tiene que hacer su parte: los gobiernos, el sector privado, la sociedad civil y de manera individual (Organización de Naciones Unidas, 2023). Los objetivos seleccionados para transformar el mundo en los próximos años y como objetivo hasta el 2030 son el fin de la pobreza, acabar con el hambre en el mundo, tener una mejor salud y bienestar, adquirir una educación de calidad, establecer el derecho a la igualdad de género, disponer de agua limpia y saneamiento, disponibilidad de energía limpia, trabajo decente y crecimiento económico, innovación en la industria, disminución de la desigualdad, sostenibilidad de las ciudades, producción y consumos responsables, acciones contra el cambio climático, conservar la vida submarina, gestionar adecuadamente los ecosistemas terrestres, responsabilidad de la justicia e instituciones, y alianza mundial para el desarrollo sostenible.

Desde un entorno docente, están implicados los objetivos de Educación de Calidad (ODS 4), Industria, innovación e infraestructuras (ODS 9), Producción y Consumo Responsables (ODS 12), y Acción por el Clima (ODS 13). Como desarrollo conjunto de estos objetivos, la educación es fundamental en el progreso humano ya que ofrece movilidad socioeconómica para incrementar el sector económico de la sociedad; siendo uno de los puntos clave la adecuación de las infraestructuras educativas a las nuevas tecnologías. En este aspecto, la innovación y el progreso tecnológico son claves en la docencia, consiguiendo incorporar nuevos métodos docentes adaptados a las nuevas tecnologías. Todo esto contribuye a ofrecer a la comunidad docente las herramientas necesarias para que los futuros trabajadores desempeñen su labor con criterios de consumo y producción eficientes, en entornos que, indirectamente, rebajan los recursos naturales (como el papel). Como continuación a los objetivos o disciplinas seleccionadas, la comunidad docente debe realizar un giro drástico en las bases de la enseñanza y adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Este desarrollo hacia la tecnología docente implica nuevas maneras de ofrecer la información documental que, hasta ahora, se plasmaban en soporte de papel (López, 2019).

1.2. La Documentación Técnica

A lo largo de la historia, la evolución ha sido una fuerza guía para los grandes genios, quienes han plasmado sus ideas en diversos medios materiales. En esta constante lucha por perfeccionar los métodos de conservación e interpretación de los trabajos realizados, se han creado bases, una especie de proto-normalización, que con el paso de los años se han ido puliendo y dando forma a nuevos métodos y herramientas que permiten una interpretación cada vez más sencilla y eficiente de dichos trabajos. Un ejemplo destacado de búsqueda de perfección y excelencia en ingeniería se encuentra en los romanos. Si se retrocede en el tiempo cientos de años, se puede admirar la grandeza de sus obras y su ansia de mejora. Desde una perspectiva estrictamente ingenieril, las herramientas utilizadas para crear y plasmar una idea eran una pluma y un papel, que, en una forma u otra, son la base de este trabajo en la actualidad, a pesar de los años transcurridos (Cuevas, et al. 2019).

No se puede ignorar la contribución paralela del invento más reciente: el mundo digital. Durante los últimos años, ha ido integrándose discretamente en los trabajos de ingeniería y educación, ofreciendo nuevas herramientas y medios en los cuales plasmar las ideas y proyectos. Al mirar nuevamente al pasado, surge la pregunta ¿qué hubieran hecho los antepasados con tantas herramientas a su disposición? (Cordero & Espitia, 2023). Quizás, con el paso del tiempo y las numerosas distracciones que existen, no se ha podido continuar el progreso iniciado por los antepasados. En gran medida, la contribución a la documentación técnica sigue basándose en las mismas herramientas que se utilizaban hace siglos, como el papel (Corda, et al. 2019).

Sin embargo, es fundamental reconocer el potencial que ofrecen las nuevas herramientas tecnológicas como el BIM (Building Information Modeling) (Zhu & Wu, 2022) y el CAD (Computer-Aided Design) (Hunde & Woldeyohannes, 2022) y en general los medios digitales en el ámbito de la documentación técnica (Moreno,

2018). Estos avances, brindan la oportunidad de superar barreras y explorar nuevas formas de registrar, conservar e interpretar el conocimiento en el campo de la educación y la construcción plasmados en archivos digitales cotidianos como el PDF (Portable Document Format). Se necesita dar un paso más allá y expresar todo el potencial de las herramientas del siglo XXI, ya que se evoluciona dejando atrás el medio ambiente. En un mundo en constante evolución es esencial buscar formas innovadoras de avanzar en la documentación técnica sin comprometer los recursos naturales (García, et al. 2023; ONU, 2023).

1.3. Objetivo

La documentación técnica tradicional, basada en papel y consumibles físicos, ha tenido un impacto significativo en la deforestación y la generación de residuos. Sin embargo, con el advenimiento del BIM, el CAD, el PDF y otras tecnologías similares, se ha presenciado un cambio hacia prácticas más sostenibles (Kiu, et al. 2022). Estas tecnologías digitales permiten reducir drásticamente el uso de papel y recursos físicos al crear y almacenar información de manera virtual (Bermúdez & Quintero, 2021). Como implementación a los objetivos de sostenibilidad y desarrollo marcados por la ONU, y en un intento de boceto para empezar una base en la presentación y creación de Trabajos de Fin de Grado (TFG), se está desarrollando un proyecto de acondicionamiento de la instalación eléctrica y su automatización en una fábrica de deshidratados de forrajes en Toledo (España), incorporando herramientas que facilitan la visualización del contenido disponibles en el mundo real y virtual, y plasmar la información del trabajo en formatos digitales para ahondar en los detalles técnicos y en la forma de leer e interpretar la documentación.

2. Metodología

Al intentar dar un paso más allá en la evolución de la documentación técnica, utilizando las tecnologías BIM y CAD y plasmarlas sobre un formato digital (PDF) de manera sostenible, se abren las puertas a un futuro donde la innovación y la responsabilidad medioambiental van de la mano. En otras partes del mundo estas herramientas están más cercanas a los técnicos y diseñadores que en España donde todavía se está empezando la implantación como norma de esta tecnología y el formato preferido sigue siendo el papel, el formato 2D.

En el Trabajo que se propone se está haciendo uso de tecnologías CAD con herramientas como SolidWorks para la parte 3D y generación de planos del cuadro principal eléctrico de mando y protección, y SolidWorks Eléctrico Profesional (Hirschtick, 1995) para la generación de los esquemas eléctricos multifilares describiendo todas las conexiones entre la apartada del cuadro eléctrico y las conexiones hacia sensores y motores eléctricos. Todo ello plasmado en el formato digital PDF donde se utilizará una amplia gama de posibilidades en términos de presentación, interactividad y seguridad.

De manera general, el entorno CAD de SolidWorks es una herramienta poderosa y versátil utilizada en el diseño y modelado de productos en diversos sectores industriales. Presenta una interfaz intuitiva con una potente capacidad de diseño para la creación de modelos 3D y documentación técnica. Con una amplia gama de herramientas y comandos, los usuarios pueden desarrollar modelos complejos con precisión y eficiencia. Además, se pueden utilizar sus avanzadas capacidades para realizar simulaciones, análisis y evaluaciones para que los productos finales diseñados sean capaces de desempeñar sin problema las funciones programadas. En el entorno de la herramienta, en el ejemplo propuesto (Figura 1), se ha utilizado la interfaz gráfica 3D para la colocación de la apartada en entorno real y simular las longitudes de cable necesario para el cuadro (Bosquet, 2015). Este es un primer paso para ahondar en sus funciones, que a partir de este proyecto se podrían crear otros pequeños proyectos muy interesantes como el estudio térmico del cuadro, el estudio magnético del embarrado principal y los cables de potencia.

De manera particular, el entorno de CAD en SolidWorks Electrical es una solución especializada diseñada específicamente para la creación y documentación de esquemas eléctricos en proyectos eléctricos. Con una amplia gama de herramientas y características que ofrece a los profesionales un entorno de trabajo eficiente y preciso para el diseño de sistemas eléctricos.

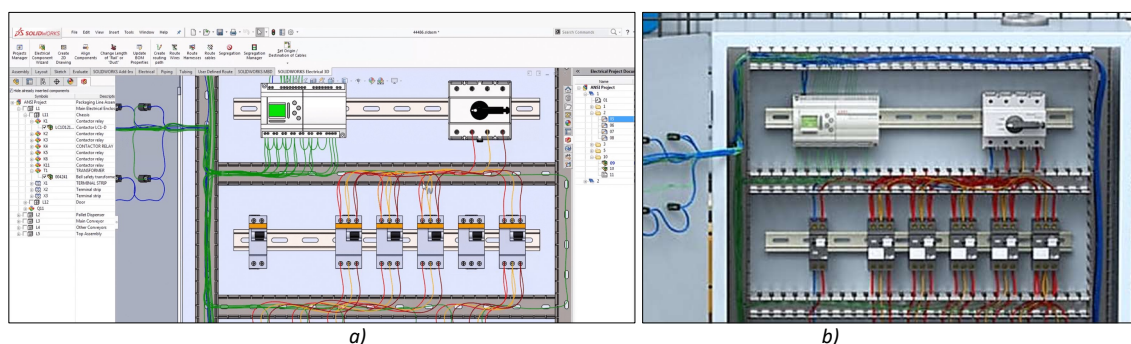


Figura 1. SolidWorks Eléctrico Profesional. a) Interfaz gráfica 3D; b) Cuadro de mando eléctrico real
Fuente: (Bosquet, 2015)

Su capacidad de generar esquemas eléctricos de manera rápida y precisa facilita que los usuarios puedan crear o modificar circuitos eléctricos con mayor rapidez y fluidez. Además, el software ofrece también la posibilidad de realizar cálculos y análisis eléctricos. Los ingenieros pueden llevar a cabo comprobaciones de carga, dimensionamiento de cables y análisis de cortocircuitos, entre otros. Esto ayuda a garantizar que el sistema eléctrico cumpla con los requisitos de seguridad y rendimiento establecidos, con una estricta implementación de la norma, evitando problemas futuros y optimizando la eficiencia del diseño. La creación de informes y listas de materiales a partir de los esquemas eléctricos facilita la documentación del proyecto, agilizando la fabricación y el montaje de los componentes eléctricos (Figura 2).

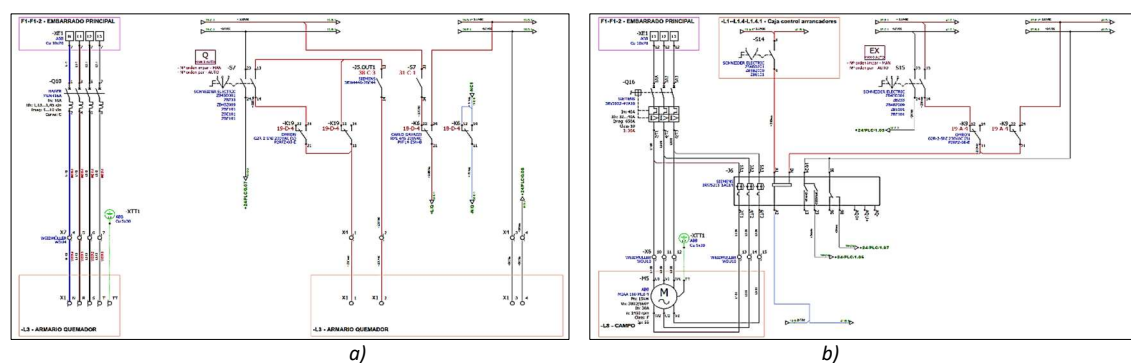


Figura 2. SolidWorks Eléctrico Profesional. a, b) presentación gráfica de esquemas eléctricos
Fuente: (Bosquet, 2015)

Una parte importante de la documentación es cómo se presenta e interpreta un proyecto de cientos de páginas donde el seguimiento de una señal en varias hojas se dificulta al tenerlo impreso en papel. Con este tipo de herramientas digitales se crean automáticamente vínculos entre saltos de señales, componentes y hojas de características de los dispositivos siendo mucho más rápida y eficiente su lectura.

2.1. Documentos en PDF interactivos

La generación de documentos y detalles técnicos ya no tienen límites de cara a la interpretación. A partir de este momento, entra en juego el formato digital, en este caso de estudio el PDF donde su poderosa funcionalidad, rapidez y seguridad brinda un medio perfecto para mejorar y llevar a otro nivel los documentos de los proyectos para que, en fase de montaje, puesta en marcha o mantenimientos, se puedan minimizar los tiempos y crecer la competitividad (Kiu, et al. 2022).

Los documentos PDF dinámicos incorporan diferentes opciones como marcadores (que llevan a diferentes apartados del documento), películas y clips de sonido (enlazando a internet o reproduciendo en el mismo archivo PDF), hipervínculos (dirige a diferentes ubicaciones del documento, de otro archivo PDF o de internet), referencias cruzadas (permite ir y volver a cualquier punto del documento) y transiciones de página (permite visualizar en pantalla completa el paso de páginas de manera real). Se pueden crear documentos en PDF 3D en los cuales se añaden capas con cualquier detalle constructivo del proyecto y además se pueden activar o desactivar en función de las necesidades del momento.

3. Resultados

Al intentar dar un paso más allá en la evolución de la documentación técnica, utilizando las tecnologías BIM y CAD y plasmarlas sobre un formato digital (PDF) de manera sostenible, se abren las puertas a nuevas formas de transmitir la información. La sociedad impulsa y desarrolla métodos que interactúan con el trabajador para que el rendimiento y la productividad sean mayores y más rápidos. En la Figura 3, la imagen que se muestra es interactiva y es un archivo incrustado, pudiendo el lector manejar con el ratón la posibilidad visual de orbitar la imagen generada en 3D. Al seleccionar la imagen, se debe marcar y mantener pulsado el distintivo central que simboliza “orbitar”. Con ello, el lector puede conocer cómo es el armario que recoge toda la aparataje eléctrica de la fábrica. También, se pueden seleccionar diferentes capas de la imagen, eliminando las puertas. Esto permite observar el interior del armario, conociendo la distribución de los armarios, los embarrados, la disposición geométrica de los cables y sus dimensiones.

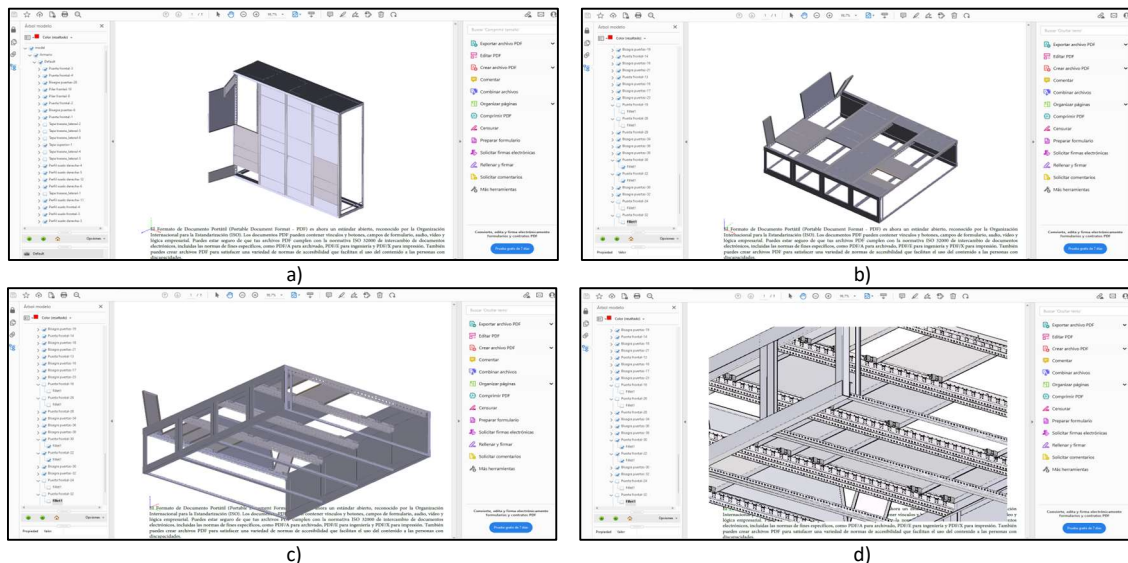


Figura 3. Incrustación de imagen 3D diseñada por capas e interactiva, en formato PDF. Diferentes capturas de imagen: a) Entorno PDF; b) Eliminación de capas; c) Zoom y giro orbital; d) Edición de capas

Fuente: Elaboración propia (2023)

En el trabajo que se está desarrollando en la implementación para el acondicionamiento de la instalación eléctrica y su automatización en una fábrica de deshidratados de forrajes en Toledo (España), se está procediendo a elaborar un procedimiento de lectura de la información basado en los hipervínculos y las referencias cruzadas entre diferentes planos. Partiendo de un plano llave (Figura 4), el programa de SolidWorks permite sectorizar las zonas de representación y establecer los vínculos en su representación en formato PDF. Dicho plano esquematiza diferentes niveles de visualización de forma que sea visualmente sencillo comprender el orden, la jerarquía de valores y los vínculos entre los diferentes niveles. En este caso, el plano llave está dividido en tres sectores: **1, 2 y 3**; cada plano de visualización se identifica como **A, B, C, D, E, F y G**; y cada circuito se identifica como **a, b, c, d, e, f, g y h**.

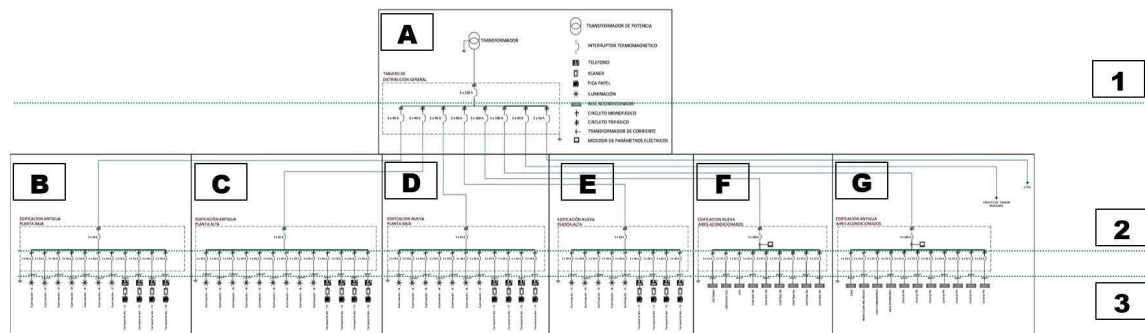
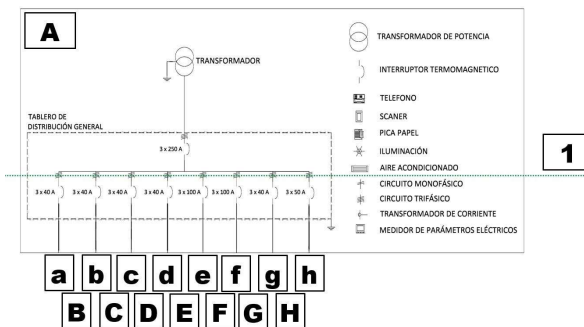


Figura 4. Plano llave de un esquema unifilar eléctrico

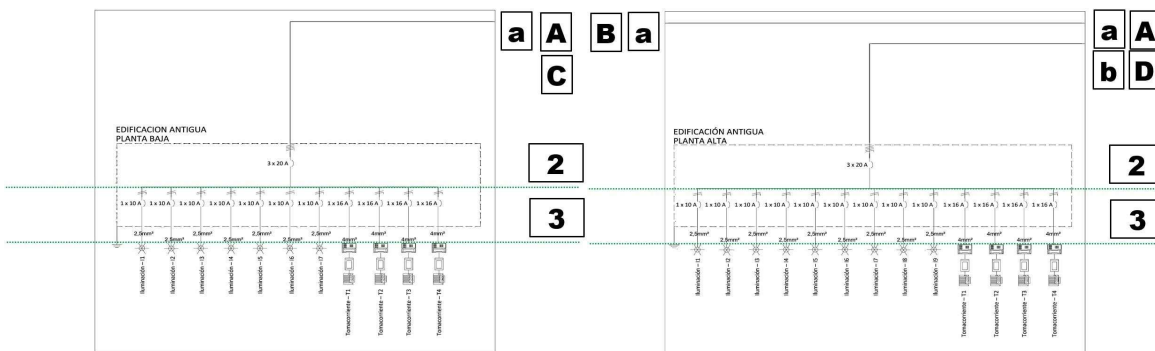
Fuente: Elaboración propia (2023)

2023, Universidad de Granada

Para seguir navegando por el documento, el programa establece automáticamente los vínculos entre los diferentes sectores, planos y circuitos (Figura 5). De esta forma, en el documento final, en formato PDF, se volcarán dichos vínculos; con lo que el lector puede navegar por el documento según sus necesidades: seleccionando el plano al que desea ir o al recorrido completo del circuito que desee analizar o al sector de cada uno de los circuitos interiores particulares.

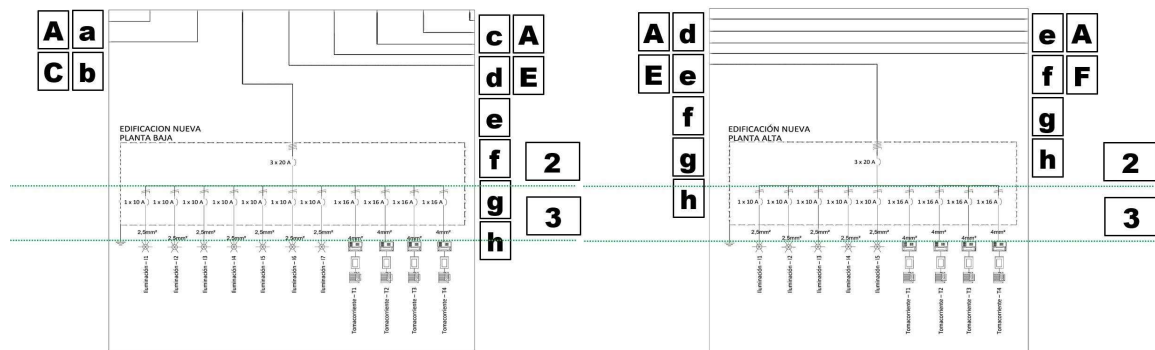


a) Plano A, con enlace a los circuitos a, b, c, d, e, f, g y h; y a los planos B, C, D, E, F y G.

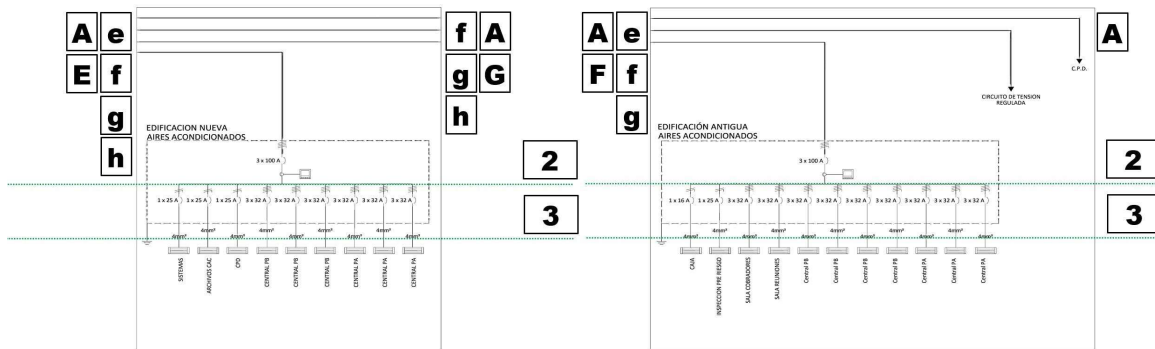


b) Plano B, circuito a, planos A y C.

c) Plano C, circuito a-b, planos A-B-D.



d) Plano D, circuitos a, b, c, d, e, f, g, y; planos A, C y E. e) Plano E, circuitos d, e, f, g, h; planos A, E y F



f) Plano F, circuitos e, f, g, h; planos A, E y G;

g) Plano F, circuitos e, f, g, h; planos A, E y G

Figura 5. Esquema de vínculos entre los planos y circuitos

Fuente: Elaboración propia (2023)

De la misma forma se procede para cada uno de los circuitos interiores; accediendo desde cada uno de los planos llave (A) y sub-llave (B, C, D, E, F, G) a sus correspondientes circuitos (Figura 6); seleccionando, de manera intuitiva, el icono de acceso al circuito. Esto nos vincula con otro documento y desde el que se puede regresar al plano de partida o a los planos vinculados desde el mismo. Cada imagen presentada en los planos puede ser visionada de manera interactiva, así como en cada uno de los planos de manera independiente. Desde el propio programa de formato PDF, se puede acceder a otras utilidades en el menú contextual en su parte lateral izquierda: acceso a páginas en miniatura, a los marcadores que llevan a cada uno de los apartados y subapartados, a los archivos vinculados y a las diferentes capas de cada una de las imágenes del documento.

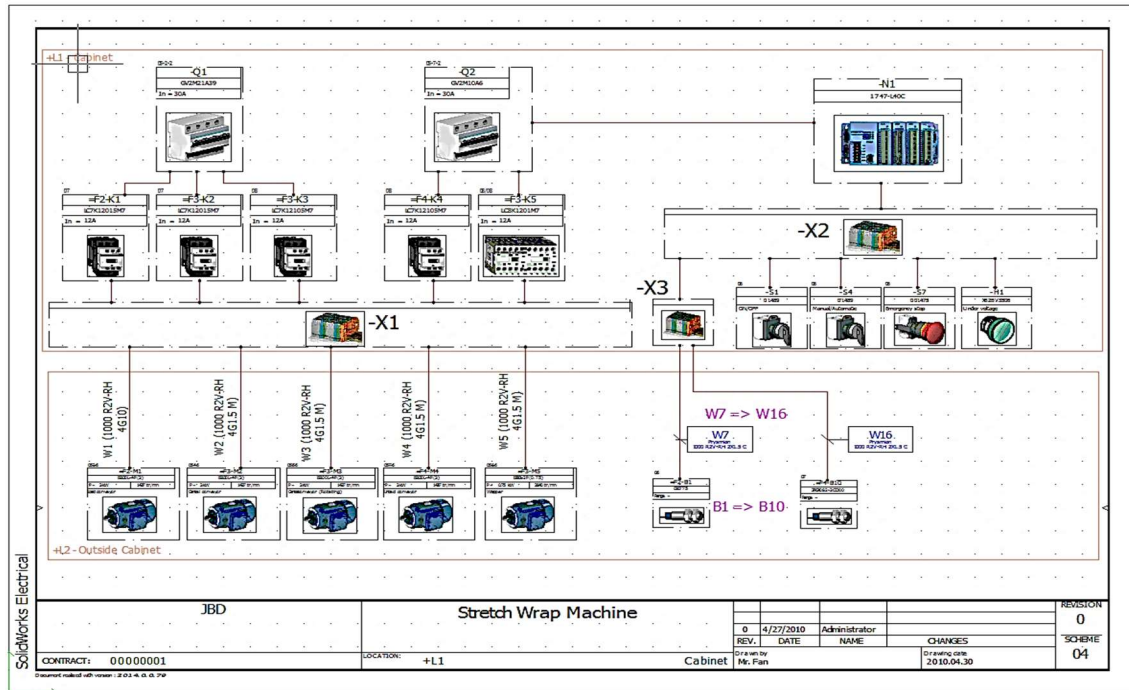


Figura 6. Plano final de circuito eléctrico
Fuente: Elaboración propia (2023)

4. Discusión

No sólo implica el motivo de este estudio a los documentos generados en formato PDF para una instalación eléctrica, sino que también es ampliable a cualquiera de los modelos de software que existen en el mercado y que están enfocados para la mejora de la representación gráfica, artística y textual. Todos los modelos de tipo CAD como REVIT, AutoCAD, CATIA, FreeCAD, Blender, Draft IT, etc. tienen la posibilidad de exportar sus modelos a formato PDF manteniendo las propiedades y características del programa. Esto proporciona la comprensión de la documentación gráfica con la interfaz que facilita la generación de formatos PDF.

Es fundamental establecer nuevos métodos de docencia en los entornos educativos (guarderías, colegios, institutos y universidades) que aporten competencia digital docente y, con ello, permita una verdadera transformación digital (Viñoles, et al. 2022). Esto desarrolla, directamente, algunos de los objetivos marcados por la ONU para la mejora de la evolución humana (ONU, 2023). En este contexto, la transformación e innovación digital en el entorno docente determinará una educación de calidad, consiguiendo reducir notablemente el consumo de papel en las aulas e impulsando a los estudiantes la necesidad de consumo responsable en aras de la sostenibilidad climática (López, 2019). De manera indirecta, los estudiantes formarán parte de los futuros profesionales formados íntegramente en contextos digitales y que aportarán a la sociedad los criterios y las bases de carácter sostenible frente al clima.

5. Conclusiones

En algunos entornos educativos todavía existe una escasa utilización de herramientas como SolidWorks, SolidWorks-Electrical o herramientas similares y el formato PDF 3D a pesar de sus beneficios y su amplia perspectiva de uso. Es importante destacar la importancia de fomentar la adopción de estas herramientas en entornos educativos. Su utilización puede brindar a los estudiantes habilidades y competencias relevantes para su futura carrera profesional. Para superar estas limitaciones, es fundamental promover la capacitación docente, establecer alianzas con la industria para acceder a licencias asequibles, desarrollar currículos específicos y proporcionar recursos educativos adecuados.

Referencias

- Bermúdez-Sarmiento, C. A. & Quintero-García, J. 2021. Beneficios de la adopción BIM en proyectos de infraestructura vial: una revisión sistemática. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia. <https://hdl.handle.net/10983/27078>
- Bosquet, Cristal. 2015. What Is Solidworks Electrical For. IOT Wiring Diagram. (Enlace web 1 de junio de 2023), <https://www.176iot.com/what-is-solidworks-electrical-used-for/>
- Conda, M. C., Viñas, M., & Vallefin, C. 2019. Las bibliotecas universitarias frente a los desafíos, dilemas y riesgos de la preservación digital de los documentos académicos. In X Jornadas de Temas Actuales en Bibliotecología 1º de noviembre de 2019 Mar del Plata, Argentina. Centro Médico Marplatense. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/111926>
- Cordero, C. A. M., & Espitia, J. M. V. 2023. La tecnocultura digital en la enseñanza-aprendizaje. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 7(2), 5747-5756. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5750
- Cuevas, A., Amarilla, A., Meza, R., & Corvalán, R. 2019. Había una vez: historia de la Ingeniería. Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica, 5, 15-33. <http://dx.doi.org/10.30972/eitt.503724>
- García-Parra, M., Gelabert, S. V., & Bennasar, F. N. 2023. Ética en proyectos con Tecnología Educativa dentro de una red de Aprendizaje-Servicio. Edutec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa, (83), 55-71. <https://doi.org/10.21556/edutec.2023.83.2727>
- Hirschtick, J. 1995. SOLIDWORKS. 3DEXPERIENCE Exchange para SOLIDWORKS Win10/Win11 de 64 bits 2023-31.21.0001-04/24/2023. Dassault Systèmes SolidWorks Corporation. Concord, Massachusetts <https://www.3ds.com/es/products/solidworks/>
- Hunde, B. R., & Woldeyohannes, A. D. 2022. Future prospects of computer-aided design (CAD)—A review from the perspective of artificial intelligence (AI), extended reality, and 3D printing. Results in Engineering, 100478. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100478>
- Kiu, M.S., Lai, K.W., Chia, F.C. and Wong, P.F. 2022, "Blockchain integration into electronic document management (EDM) system in construction common data environment", Smart and Sustainable Built Environment, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/SASBE-12-2021-0231>
- López Riquelme, S. E. 2019. Gestión Documental: buena práctica para reducir el consumo de papel en apoyo al desarrollo sostenible. GECONTEC: Revista Internacional de Gestión del Conocimiento y la Tecnología. ISSN 2255-5648. Vol. 7(1). <http://hdl.handle.net/10433/10308>
- Moreno-Rodríguez, I. C. 2018. Estrategias para la integración de Sistemas de Gestión de Calidad y Sistemas de Gestión Documental, en una institución de educación superior. SIGNOS-Investigación en sistemas de gestión, 10(1), 113-125. <https://doi.org/10.15332/s2145-1389.2018.0001.06>
- Organización de Naciones Unidas, ONU. 2023. Objetivos de Desarrollo Sostenible. (Enlace web, 1 de junio de 2023), <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Viñoles Cosentino, V., Sánchez-Caballé, A., & Esteve-Mon, F. M. 2022. Desarrollo de la competencia digital docente en contextos universitarios. Una revisión sistemática. REICE. Revista Iberoamericana sobre

Calidad, Eficacia y Cambio en Educación 2022, 20(2), 11-27.
<https://doi.org/10.15366/reice2022.20.2.001>

Zhu, J., & Wu, P. 2022. BIM/GIS data integration from the perspective of information flow. *Automation in Construction*, 136, 104166. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104166>

Collaborative Project-Based Learning for ICT subjects in the field of construction: Home automation in building

Montalbán Pozas, Beatriz

Departamento de Construcción. Universidad de Extremadura. Escuela Politécnica de Cáceres.
bmpozas@unex.es

Abstract

This paper develops a learning experience carried out in the School of Technology in Cáceres of the University of Extremadura. This practice demonstrates that Collaborative Project-Based Learning (CPBL), used as a teaching innovation strategy, build up the motivation towards learning in university students of technical subjects.

First, the approach of developing a home automation installation project for a specific house as the practical part of the course encourages learning, thereby the experience began with a statement of a real case as an assessed report to apply for a licence from the competent administrations.

Secondly, groups of approximately three people are provided with a BIM housing model in different climatic zones. The collaborative work provide the students the possibility of practicing and developing transversal generic skills and competences with colleagues, which in the conventional method could hardly be put into operation.

Thirdly, the project is divided into 3 parts, as many as the number of topics of interest to be covered in the course, to be carried out thoroughly in small works: Definition of home automation needs in the fields of emergency and security, energy efficiency, comfort, multimedia content, communication, teleworking, leisure and entertainment (ICT BT 51 in REBT, ICT-BT 51 in RICT, and CTE HE and RITE). 2. Definition of sensors and actuators (in commercial manuals and catalogues defining costs and installation). 3. Layout design of the home automation installation (physically defining the electricity grid and the service bus in the models). Throughout the process, each group explain each model to their peers (as a group of sages or experts). This allow all the students to deal with other problems and doubts in the classroom learning.

This experience can provide applicable information in the teaching and learning processes that can be developed in any university specialty.

Keywords: CPBL, Teaching innovation, Domotic, Sensor, BIM

Resumen

Este trabajo desarrolla una experiencia de aprendizaje llevada a cabo en la Escuela Politécnica de Cáceres de la Universidad de Extremadura. Esta práctica demuestra que el Aprendizaje Basado en Proyectos Colaborativos (ABPC), utilizado como estrategia de innovación docente, fomenta la motivación hacia el aprendizaje en estudiantes universitarios de asignaturas técnicas.

En primer lugar, el planteamiento sobre el desarrollo de un proyecto de instalación domótica para una vivienda concreta como parte práctica de la asignatura fomenta el aprendizaje. De este modo se inicia la experiencia con la exposición de un caso real como memoria valorada para solicitar una licencia a las administraciones competentes.

En segundo lugar, se proporciona a grupos de aproximadamente tres personas, un modelo de vivienda en BIM en diferentes zonas climáticas. El trabajo colaborativo proporciona a los alumnos la posibilidad de practicar y desarrollar habilidades y competencias genéricas transversales con compañeros, que en el método convencional difícilmente podrían ponerse en funcionamiento.

En tercer lugar, el proyecto se divide en 3 partes, tantas como temas de interés se traten en el curso, a realizar en profundidad en pequeños trabajos: 1. Definición de las necesidades domóticas en los campos de emergencia y seguridad, eficiencia energética, confort, contenidos multimedia, comunicación, teletrabajo, ocio y entretenimiento (TIC BT 51 en REBT, TIC-BT 51 en RICT, y CTE HE y RITE). 2. Definición de sensores y actuadores (en manuales y catálogos comerciales definiendo costes e instalación). 3. Diseño del trazado de la instalación domótica (definiendo físicamente la red eléctrica y el bus de servicios en las maquetas). A lo largo del proceso, cada grupo explica cada modelo a sus compañeros (como un grupo de sabios o expertos). Esto permite a todos los alumnos enfrentarse a otros problemas y dudas en el aprendizaje en el aula.

Esta experiencia puede aportar información aplicable en los procesos de enseñanza y aprendizaje que se pueden desarrollar en cualquier especialidad universitaria.

Palabras clave: CPBL, Innovación docente, Domótica, Sensores, BIM

1. Introducción

Hoy en día, el profesor universitario se topa frontalmente con una realidad presente en el aula, fruto de años de enseñanza basados principalmente en la clase magistral: aspectos tales como la falta de atención y motivación del alumno en clase, bajas tasas de rendimiento académico, poco compromiso e interés con el aprendizaje, así como la disminución progresiva del número de alumnos matriculados, transmiten al profesor la necesidad de un cambio en las metodologías de enseñanza (Oakley, 2004).

La docencia tradicional solo tiene sentido en un contexto de masificación, pero no es adecuada para formar profesionales que trabajen en equipo, pues no permite la toma de decisiones o responsabilidades, no fomenta el desarrollo de la imaginación ni permite que se expresen adecuadamente. El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) intenta minimizar las limitaciones de la docencia tradicional y fomentar habilidades tan importantes como son: el trabajo en grupo, el aprendizaje autónomo, la planificación del tiempo, las capacidades de expresión oral y escrita, las habilidades intelectuales de alto nivel y la capacidad de autoevaluación (Reverte, 2007).

Por otro lado, el Aprendizaje Basado en Proyectos Colaborativos (ABPC), se emplea como estrategia de innovación docente, al objeto de motivar hacia el aprendizaje a los estudiantes universitarios (Cuseo, 1996). El ABPC puede definirse, de una manera muy genérica, como una metodología didáctica que organiza el proceso de enseñanza-aprendizaje mediante la elaboración de proyectos de forma colaborativa en grupos de estudiantes. Esto implica la propuesta de la resolución de problemas o la búsqueda de respuestas a cuestiones complejas para lo cual se debe diseñar un plan de actuación, ponerlo en práctica tomando decisiones a lo largo de la aplicación y resolver los problemas que vayan surgiendo. Acerca del producto elaborado por el grupo, el aprendizaje mediante la elaboración colaborativa de proyectos significa que, finalmente, el conjunto de estudiantes debe acabar obteniendo un producto de su trabajo, que también se denomina genéricamente proyecto (Badia, 2006).

A lo largo de este camino, los profesores deben ser co-aprendices con sus alumnos y diseñar ambientes de aprendizaje. Deben esforzarse por inculcarles la afición al estudio y los hábitos mentales que incentiven el autoaprendizaje (aprender a aprender). El aporte de dos o más individuos que trabajan en función de una meta común, puede tener como resultado un producto más enriquecido y acabado que la propuesta de uno sólo, motivado por las interacciones, negociaciones y diálogos que dan origen al nuevo conocimiento. La labor del docente es generar un clima de estimulación, interacción y modelaje, orientando y ayudando a que los alumnos construyan el conocimiento (Valero 2007).

Teniendo en cuenta las apreciaciones previas expuestas, las cuestiones principales que estimularon la realización de este proyecto de aprendizaje fueron extraídas de los métodos propuestos en (Hernández, 1992) y (Johnson, 1991&1998):

- El profesor es aquel que cuando enseña aprende.
- ¿Cómo aprenden los jóvenes hoy?
- Aprender con sentido si nos afecta.
- Aprender tiene que ver con arriesgarse.
- El educador es un creador de circunstancias.
- Los jóvenes aprenden proyectos movidos por la curiosidad.
- Los proyectos tienen como resultado productos significativos.
- Un sabio en el estrado o un guía al lado.

Y cuatro de las más significativas:

- Implicar a los estudiantes.
- Explorar relaciones más que acumular contenidos.
- Aprender como viaje y conversación cultural.
- El docente como facilitador.

2. Objetivos

Las cuestiones planteadas invitaron a una reflexión profunda sobre la mejora del aprendizaje de la asignatura “Domótica en Edificación” del Grado en Edificación, que se lleva impartiendo de forma tradicional en la Escuela Politécnica de la Universidad de Extremadura desde la implantación del nuevo plan de estudios, mediante la integración de nuevas ideas que suponían “implicar” y “explorar” por parte del alumnado, y “facilitar” por parte del profesor.

Anteriormente, se habían llevado a cabo en otras asignaturas algunas experiencias basadas en el Trabajo Colaborativo (C), habiéndose aprendido lo suficiente de ellas como para plantear en firme una estrategia de Aprendizaje Basado en Proyectos Colaborativos.

A este respecto, en este artículo se desarrolla una experiencia de ABPC, empleado como estrategia de innovación docente, al objeto de motivar hacia el aprendizaje a los estudiantes universitarios en una asignatura TIC del ámbito de la Edificación.

3. Metodología

El proyecto que se plantea es: “Instalación domótica de una vivienda unifamiliar con un grado de automatización normal según ITC BT 51 del REBT”. Para facilitar la resolución del mismo se les propone a los estudiantes la división en 4 partes, de las cuales se enuncia el contenido y que se van resolviendo en clase en pequeños grupos de 3-4 personas. Todo el material teórico relacionado se va evaluando semanalmente mediante test. Todos los borradores de cada parte de los trabajos se exponen en clase antes de entregar el documento de grupo. Todas las partes del proyecto se van evaluando en tiempo y forma para que exista constante feedback de cada parte de los trabajos. La quinta y última entrega consiste en la recopilación de todas las partes anteriores, pero ya de forma individual, en la que se deberán haber incorporado todas las correcciones y sugerencias realizadas.

Para ser coherente con la importancia que se le da en esta asignatura a la Tecnología, y a que los estudiantes salgan del Grado lo más actualizados posible, se utiliza como base para la información del modelo la metodología de trabajo colaborativa para la gestión y creación de proyectos de construcción, BIM, para ello se les facilita a cada grupo un modelo distinto de vivienda unifamiliar, orientado y situado en lugares climáticamente muy distintos de España, para generar diferentes necesidades domóticas. La quinta entrega, individual, consiste en el proyecto final teniendo en cuenta las correcciones y sugerencias aportadas en cada una de las partes anteriores.

3.1. Parte 1. Definición de las estrategias de confort

En esta primera parte del proyecto se propone la descripción del modelo de vivienda unifamiliar que se aporta a cada grupo (geometría, distribución, zonificación, orientación, ubicación geográfica...), y la definición de las estrategias de confort, exponiendo cuáles son las situaciones climáticas a lo largo del año y qué tipo deben tenerse en cuenta para domotizar el edificio, según los parámetros anteriores (ventilación, captación de la radiación solar, protección ante la radiación solar, humidificación...).

Material de evaluación: diagramas psicrométricos de confort para diseño de estrategias pasivas

3.2. Parte 2. Definición de las necesidades domóticas

En esta parte del proyecto se definirán las necesidades (o funcionalidades) domóticas de la vivienda, y respecto a las anteriores las variables que se van a medir en cada una de las estancias: baños, salón, cocina, dormitorio, exteriores, zonas comunes, ... Se estudiará el concepto de automatización normal, además de otras normativas que puedan afectar. Se recomienda ordenar la información en una tabla que recoja la funcionalidad, la aplicación, la estancia o zona, y la variable.

Material de trabajo y evaluación:

- CTE DB-HE (Exigencias básicas de ahorro de energía) del Código Técnico de la Edificación (CTE).
- RITE (Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios), Instrucciones Técnicas IT.1.1 y IT 1.2 (Exigencia de bienestar e higiene y Exigencia de Eficiencia Energética)

3.3. Parte 3. Definición de los sensores y actuadores

En esta parte del proyecto se estudiarán, definirán y ubicarán los sensores y actuadores específicos para la vivienda unifamiliar, estudiando los existentes en el mercado en diferentes casas comerciales, y la normativa. Además, se definirá en imágenes en 3D los sensores reales, y en planos de planta la simbología KNXs, insertando los sensores en su lugar correspondiente.

Material de trabajo y evaluación:

- *Textos sensores y actuadores, manuales y catálogos comerciales*

3.4. Parte 4. Diseño del trazado de la instalación domótica. Aplicación de la normativa y reglamentos

En esta parte del proyecto se deberá diseñar el trazado de la instalación domótica, con las redes necesarias: domótica y de servicios, y preparar los planos. Además, se deberán justificar las diferentes disposiciones legales y normativa que compete a la instalación domótica diseñada de la vivienda unifamiliar (telefonía, televisión, TICs, telecomunicaciones, eléctrica y control domótico):

Material de trabajo y evaluación:

- *REBT (Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión)*
- *ITC-BT-10. Previsión de cargas para suministros en Baja Tensión*
- *ICT-BT-13. Cajas generales de protección*
- *ITC-BT-16. Instalaciones de enlace. Contadores: ubicación y sistemas de instalación*
- *ITC-BT-25. Número de circuitos y características*
- *ITC-BT-26. Prescripciones generales de instalación*
- *ITC-BT-27. Locales que contienen una bañera o ducha*
- *ITC-BT-51 (Instrucción Técnica Complementaria. Instalaciones de sistemas de automatización, gestión técnica de la energía y seguridad para viviendas y edificios) y Guía técnica de aplicación de la ITC-BT-51 del REBT*
- *RICT (R.D. 401/2003). Reglamento de las infraestructuras comunes de telecomunicaciones (ICT) para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de los edificios y de la actividad de instalación de equipos y sistemas de telecomunicaciones*

3.5. Proyecto final

En esta parte se reunirán todas las partes anteriores para configurar el proyecto de instalación domótica de la vivienda, según la memoria del instalador de la guía ITC BT 51 con los siguientes apartados:

- Identificación de la instalación: emplazamiento, características básicas, y datos particulares relevantes de la misma (Definición de funcionalidades, aplicaciones, necesidades domóticas y variables que se van a medir en el edificio y en cada estancia. Diagrama de Givoni correspondiente al clima de la zona, y estrategias bioclimáticas pasivas. Requerimientos del RITE respecto a la exigencia de bienestar e higiene, y la de eficiencia energética)
- Planos de la instalación:
 - Plantas, alzados y/o secciones generales de la vivienda.
 - Indicación del trazado de los sistemas de conducción de cables, tanto de la red de control del sistema domótico como de la red eléctrica asociada.
 - Trazado de la instalación domótica en el que se indique la ubicación de los dispositivos.
 - Esquema unifilar de la instalación, con la identificación de los circuitos de control del sistema domótico y los de la red eléctrica asociada, incluyendo las secciones de los cables.
- Relación de los dispositivos instalados: características técnicas fundamentales e instrucciones de instalación del fabricante de dichos dispositivos.

- Relación de disposiciones legales y normas con las que se declara el cumplimiento de la instalación.

3. Resultados

Se adjuntan a continuación algunas imágenes de los trabajos finales de los estudiantes en cada una de las partes del proyecto:

- Parte 1 en Figura 1:

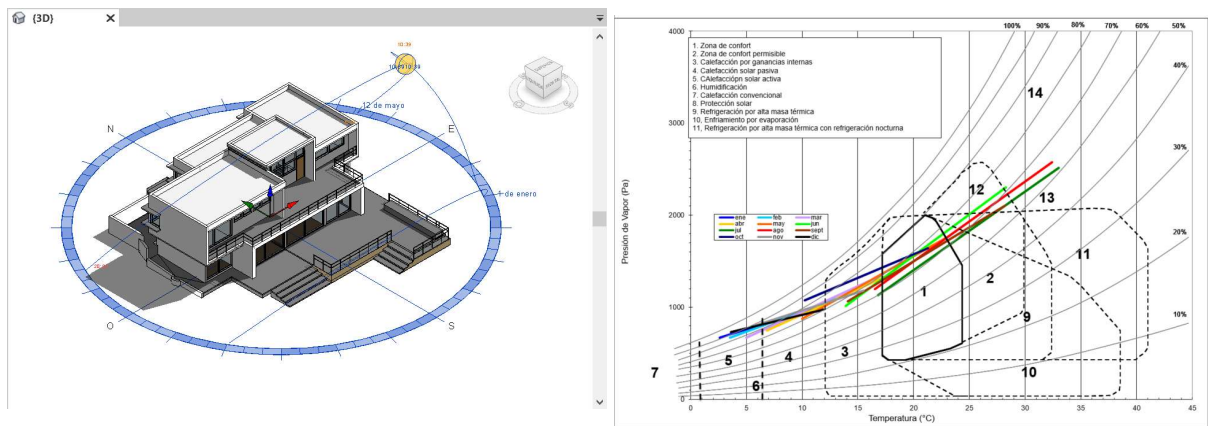


Figura 1. Ejemplo de estudio de camino del sol y diagrama psicrométrico para determinación de estrategias

Fuente: Trabajos estudiantés (2021-2023)

Parte 2 en Figura 2:

Funcionalidad	Aplicación	Actuación ¿cuál es la acción?	Recintos ¿dónde?
Seguridad	Intrusión	Detectar cualquier movimiento en el área en el que está instalado	Todas las estancias con ventanas
		Detección y cierre de ventanas al detectar su apertura	Todas las estancias con ventanas
		Detección temprana de golpes y vibraciones antes de que el intruso pueda entrar	Todas las estancias con ventanas
	Alarmas técnicas	Controlar inundaciones	Estancias húmedas
		Controlar las concentraciones de gas butano o natural	Cocina
		Controlar incendios	Todas las estancias
Simulación de presencia	Programar apagado y encendido de luces en horas claves	Zonas de paso	
Confort y ahorro energético	Control de climatización	Controlar cambios de temperatura.	Todas las estancias
	Control de iluminación	Luz de presencia	Zonas de paso
		Regular la iluminación según ambientes predefinidos	Salón y dormitorios
		Apagado automático con ajustes de tiempo	Todas las estancias
	Control de persianas	Bajar todas las persianas cuando se hace de noche y subirlas cuando se haga de día	Todas las estancias con ventanas
		Tiempo en que se suben y bajan las persianas	Todas las estancias con ventanas
Programación	Apertura y cierre de ventanas para ventilación de la vivienda	Todas las estancias con ventanas	
Control de iluminación exterior	Encender la luz cuando se haga de noche	Perímetro exterior de la vivienda, patio interior y porche	
Primera funcionalidad extra	Control de CO2	Para evitar niveles altos de CO2	Toda la vivienda de las estancias de la Vivienda
Segunda funcionalidad extra	Control por voz	Aumentar el confort de los usuarios, simplificando acciones como encender la luz, bajar o subir persianas por medio de órdenes de voz	Toda la vivienda de las estancias de la Vivienda
Otras obligatorias según CTE DB HE/RITE	Control de la calidad del aire	Controlar el aire interior, eliminando cualquier contaminante que se produzca de forma habitual durante el uso de cualquier local	Todas las estancias habitables de la vivienda
	Control de las condiciones termohigrométricas	Son 3 factores como la temperatura, la humedad y el movimiento del aire que debemos tener en cuenta para alcanzar el bienestar en los espacios interiores, llegando a la percepción de confort	Todas las estancias secas de la vivienda
	Control de las instalaciones de climatización	Controlar el bienestar e higiene para el confort de las personas	Todas las estancias secas de la vivienda

Figura 2. Ejemplo de tablas de definición de necesidades domóticas

Fuente: Trabajos estudiantés (2021-2023)

- Parte 3 en Figura.3 y 4

Dispositivos	Sensor	Actuador
1 detector de presencia por estancia	Sensor de presencia	Alarma Aviso dispositivo móvil
Contactos magnéticos de las ventanas	Sensor de apertura	Alarma Aviso dispositivo móvil
Detectores de impactos en las ventanas	Sensor rotura de cristales	Alarma Aviso dispositivo móvil
Detector de inundación en zonas húmedas, asociadas a electroválvulas de agua	Sensor de inundación	Actuador de electroválvulas de corte de agua
Detector de concentración de gas butano o natural, asociado a electroválvula	Sensor detector de gas	Actuador de válvula de gas
Detector de humo en todas las estancias	Sensor detector de humos	Alarma
Sistema programable de encendido y apagado de luces	Sensor de luminosidad	Iluminación
Varios crono-termostato (o equivalente) zonificando la vivienda por estancias	Sensor de temperatura	Calefacción y aire acondicionado
Detector de presencia para control de la iluminación en zonas de paso	Sensor de presencia	Iluminación
Regulación luminosa en salas de estar con elección de ambiente predefinidos	Sensor de nivel de luz	Iluminación
Control de los puntos de luz en tomas de corriente más significativas de la vivienda (mínimo el 80% de los puntos de luz y el 20% de las tomas de corriente)	Sensor y contador de electricidad	Puntos de luz y tomas de corriente
Motorización y control de persianas	Sensor de luminosidad	Actuador de persianas
Posibilidad de realizar programación horaria sobre los equipos controlados (≥ 12)	Sensor de luminosidad	Actuador de persianas
Sistema de gestión de energía	Sensor de corrientes de aire	Rejillas
En viviendas con jardín o grandes terrazas se instalará un detector crepuscular o un interruptor horario astronómico para el control de la iluminación exterior	Sensor de luminosidad	Iluminación exterior
Dispositivo para medir de forma precisa los niveles de CO2 cuando estos estén por encima de lo recomendado	Sensor detector de CO2	Panel de exposición de datos
Dispositivo detector de voz que manda órdenes a los diferentes dispositivos instalados.	Dispositivo digital (asistentes de voz o dispositivo móvil)	Diferentes actuadores (Persianas, rejillas, instalaciones, reguladores de luz...)
Sistema de ventilación, para aportar suficiente caudal de aire exterior	Sensor de control de calidad del aire (Tacómetro)	Actuador en las ventanas para controlar el sistema de ventilación
Detectores de temperatura y humedad, o dispositivos que incluyan ambas tecnologías, (termohigrómetro)	Sensor termohigrómetro	Alarma de audio y óptica
Dispositivos de autorregulación, que regulen por separado la temperatura ambiente, en cada espacio.	Sensor de temperatura y humedad	Calefacción y aire acondicionado

Figura 3. Ejemplo de tablas de definición de dispositivo: sensores y actuadores

Fuente: Trabajos estudiantes (2021-2023)

SENSORES							ACTUADORES						
Tipo	Imagen	Nombre comercial	Medida	Instalación	Precio aprox. /ud	Uds.	Tipo	Imagen	Nombre comercial	Medida	Instalación	Precio aprox. /ud	Uds.
Detector presencia interior.		PresenceLight 180B-KNX WH Marca: Theben	8.6 x 7 x 8.6 cm	En pared	240	32	Actuador de persiana.		KNX RF-MSG-ST Actuador para radio KNX para 1 motor Marca: Elsner	147 x 36 x 29	En los motores de las persianas y toldos	201	20
Detector Humo.		SALVA KNX BASIC DETECTOR DE HUMO Marca: Elsner	Ø aprox. 113 mm, altura aprox. 58 mm	En pared	330	17	Pantalla de control.		Fabro KNX Panel táctil Marca: FABRO	191 x 121 x 23 mm	En la pared	968	1
Detector temperatura, humedad y CO2 interior.		Sensor KNX de CO2, temperatura y humedad con entradas binarias 210403 Marca: Gira	90 x 130 x 28 mm	En pared	300	17	Actuador de calefacción.		KNX K4 Actuadores KNX para calefacción y refrigeración Marca: Elsner	53 x 88 x 60 mm	En los sistemas de calefacción y acondicionamiento de aire	244	20
Detector de presencia e impacto en ventanas.		Sensor RF de ventana+rotura de vidrio, Eimsig con batería	135 x 26 x 9 mm	En ventanas	158	26	Actuador de electroválvulas.		Actuador electroválvula 6 out 230V KNX Marca: VIMAR	72 x 90 x 67 mm	En el interior de la instalación (necesita de electroválvulas)	420	2
Detector de apertura de ventanas.		Sensor para puertas/ventanas doméstica Marca: MCO HOME	76 x 17 x 19 mm	En las ventanas	47	38	Electroválvula de agua.		Electroválvula agua 3/4" máx. 16bar r/a 220v c/rearme manual Marca: Domo	-----	En válvula	124	7
Detector de inundación.		Leak KNX 2.0 Sensor de fugas de agua/rotura de tuberías Marca: Elsner	105 x 105 x 65 mm	En el suelo	351	7	Electroválvula de gas.		Electroválvula de gas con rearme manual 1/2" 500mbar 230vcc Marca: Domo	-----	En válvula	87	1
Sensor de luminosidad en interiores.		Sensor para luminosidad para interiores KINASGARD RHKF Marca: KINASGARD RHKF	85 x 85 x 27 mm	En pared	96	20	Programador luz.		Temporizador multifuncional totalmente electrónico (MFZ12PMD-UC) Marca: Eltako	-----	En el sistema de iluminación	75	18
Sensor humedad terreno.		KNX I4-ERD con TH-ERD Unidad de análisis de suelo Marca: Elsner	107 x 88 x 60 mm	En la tierra de riego	277	1	Control de riego.		ACCIONADOR PARA CARGOS GENERICOS - 4 CANALES - 10A - KNX - 4 MÓDULOS DIN Marca: Gewiss	-----	En el sistema de riego	275	1
Detector de gas.		Risco EL2762 - Gas detector, One-way, Wireless 868MHz Marca: Risco	-----	En pared	87	1	Controlador de estancias por voz.		CONTROLADOR DE ESTANCIAS CON RECONOCIMIENTO DE VOZ SYNOHR® MULTISENSE KNX - STARTER EDITION Marca: Enertex	-----	En pared	700	19
Sensor de viento, temperatura exterior y precipitación		P04-KNX-GPS Estación meteorológica Marca: Elsner	-----	En la fachada	200	3	Actuador controlador iluminación.		Reguladores para blanco sintonizable Marca: Eltako	-----	Sistema de iluminación	120	35

Figura 4. Ejemplo de tablas de definición de dispositivos knx: sensores y actuadores

Fuente: Trabajos estudiantos (2021-2023)

- Parte 4 en Figura 5

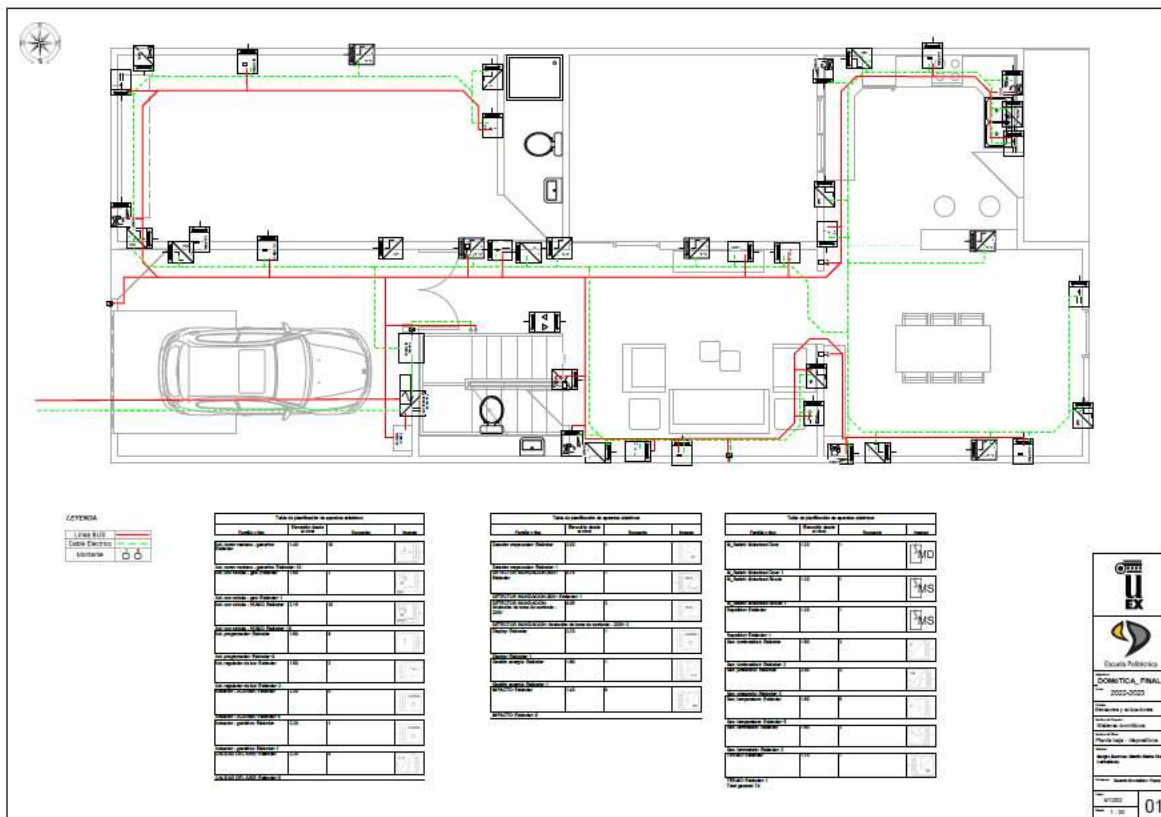


Figura 5. Ejemplo de plano de trazado de instalación doméstica
 Fuente: Trabajos estudiantiles (2021-2023)

4. Conclusiones

La consecuencia fundamental de esta experiencia grupal ha sido la generación de un aprendizaje individual con mayores resultados que si el proceso se realizara de manera individual, permitiendo un aprendizaje más diverso para los miembros del grupo de trabajo. La aplicación del método ABPC ha permitido que estudiantes con distintos niveles de rendimiento trabajando juntos en pequeños grupos, logren un mayor nivel de aprendizaje. Los estudiantes son responsables del aprendizaje de los otros y del propio. Por lo tanto, el éxito de un estudiante ayuda a otros estudiantes a tener éxito también.

De esta forma, se aprecian las siguientes ventajas derivadas de la utilización del método (Martí, 2010): aumenta el nivel de conocimientos y habilidades de los estudiantes en una disciplina y desarrolla las habilidades de investigación; incrementa las capacidades de análisis y de síntesis; se aprende sobre como evaluar y coevaluar (los estudiantes se responsabilizan con su propio trabajo y desempeño a la vez que evalúan el trabajo y desempeño de sus compañeros); adquisición de compromiso en un proyecto (el alumno se compromete de forma activa y adecuadamente con la realización del trabajo de proyecto, por lo que se encuentra internamente motivados).

Se observó que los alumnos adquirieron fácilmente algunas de las competencias transversales exigidas en la titulación, tales como la capacidad de análisis y síntesis, resolución de problemas, toma de decisiones, gestión de la información, trabajo en equipo, razonamiento crítico, habilidades en las relaciones interpersonales, creatividad o el aprendizaje autónomo; apreciándose un alto grado de complicidad entre ellos.

Resulta evidente que se les debe otorgar tiempo suficiente en el aula para fomentar el trabajo en grupo y facilitarles una conciliación de horarios que permita que encuentren momentos en el que todos puedan reunirse, dado que los diferentes horarios de cada alumno lo impiden en ocasiones y pueden acabar dividiendo el trabajo en partes individuales.

Asimismo, es necesario realizar un esfuerzo añadido por parte del profesor para obligar al alumno a salir fuera de su zona de confort, porque en determinados momentos prefiere trabajar de forma individual y no “perder” tiempo en que el grupo se organice o bien materializa desconfianza a que le pueda fallar el grupo de trabajo. Por ello la entrega y la evaluación individual les ayuda a compensar los diferentes esfuerzos en el grupo

Esta experiencia aportó un aprendizaje autónomo de los estudiantes de forma colaborativa, apreciándose un incremento significativo del interés mostrado sobre el resultado final obtenido, observándose mayor implicación por el alumnado y empleándose la indagación como forma activa de asimilación en lugar de la acumulación de contenidos.

La aplicación del método ABPC en la parte práctica de la asignatura de “Domótica en la Edificación” ha permitido a los estudiantes adquirir habilidades, destreza e integrar conocimientos teóricos y prácticos relacionados con el proceso de automatización y control de viviendas. Para finalizar, el estudiante ha adquirido conocimientos de última generación, del empleo de las TIC’s y la asimilación de contenidos de una forma colaborativa y motivadora.

Referencias

- Cuseo J. B. (1996) *Cooperative Learning: A Pedagogy for Addressing Contemporary Challenges & Critical Issues in Higher Education* Marymount College New Forums Press
- Hernández F. (2002). *Los proyectos de trabajo. Mapa para navegantes en mares de incertidumbre*. Cuadernos de pedagogía, (310), 78-82.
- Hernández F. H., Robira M. V. (1992). *La organización del currículum por proyectos de trabajo: el conocimiento es un calidoscopio* (Vol. 130). Graó.
- Johnson, D. W. (1991). *Cooperative Learning: Increasing College Faculty Instructional Productivity*. ASHE-ERIC Higher Education Report No. 4, 1991. ASHE-ERIC Higher Education Reports, George Washington University, One Dupont Circle, Suite 630, Washington, DC 20036-1183.
- Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Smith, K. A. (1998). *Active learning: Cooperation in the college classroom*. Interaction Book Company, 7208 Cornelia Drive, Edina, MN 55435.
- Martí J. A., Heydrich M., Rojas M., Hernández, A. (2010) *Aprendizaje basado en proyectos: una experiencia de innovación docente*. Revista Universidad EAFIT, vol. 46, núm. 158, abril-junio, 2010, pp. 11-21. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.
- Oakley B., Felder R.M., Brent R. & Elhadj I. (2004) *Turning Student Groups into Effective Teams Journal of Student Centered Learning* Vol. 2, No. 1, 2004/9
- Reverte B. J., Gallego S. A. J., Molina-Carmona R., & Satorre C. R. (2007). *El aprendizaje basado en proyectos como modelo docente. Experiencia interdisciplinar y herramientas groupware*. XII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática.
- Valero M., Navarro J. J. (2007) *FAQ sobre la adaptación de las asignaturas al EEES*” Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática.
- Zúñiga F. G. L. (2013). *Aprendizaje Colaborativo en la Formación Universitaria de Pregrado*. Revista de Psicología, 2(4), 109-142.

Teaching MEP systems using BIM technology in construction engineering, and the need to adopt a strict numerical calculation methodology.

Carmona, Cristian^a, Hormigos, Susana^b, Muñoz Joan^c, Masdeu, Francisco^d y Horrach, Gabriel Antonio^e

^a Universitat de les Illes Balears, 07122, Palma (Illes Balears). cristian.carmona@uib.es

^b Universitat de les Illes Balears, 07122, Palma (Illes Balears). susana.hormigos@uib.es

^c Universitat de les Illes Balears, 07122, Palma (Illes Balears). joan.munoz@uib.es

^d Universitat de les Illes Balears, 07122, Palma (Illes Balears). francesc.masdeu@uib.es

^e Universitat de les Illes Balears, 07122, Palma (Illes Balears). gabriel.horrach@uib.es

Abstract

In this study, we present our experiences and results on the use of building information modeling (BIM) as a teaching mechanism for MEP (mechanical, electrical and plumbing) systems design at university level studies, focusing on construction engineering. Moreover, we expose the need to modify chart-based teaching models of MEP systems, for a pure numerical teaching system supported as well by current regulations (UNE 149201:2017).

The study, which focused on construction engineers, is based on a cooperative project-based learning (PBL) strategy. This methodology will not provide a unique exercise solution and based on the work of the professor, but rather a complex solution based on the problem-solving approach carried out by the students. The results indicate that the use of BIM modeling systems not only favors the learning process of the MEP system design itself, but also through visual aids and automated calculation processes, providing feedback in each of the steps carried out by the student. Furthermore, this approach promotes the need to understand and organize every element that form a MEP system, during the different construction phases.

Additionally, this experience has revealed the need to adopt a pure numerical calculation methodology for MEP systems teaching, as opposed to lookup tables or standard charts currently used in certain cases. This change in the calculation process, on one hand, implements a process more accurate to that implemented by the CTE (Código Técnico de la Edificación) regulation, and on the other hand, facilitates the understanding of the calculation carried out by automated systems (Revit MEP, Dynamo, etc.) and helps to understand the need to use standardized, and commercially available, physical components during system sizing processes.

Keywords: BIM, MEP, Teaching methodology, Regulations, Construction engineering.

Resumen

En este estudio, se presentan las experiencias y resultados de la utilización de tecnologías de modelización BIM (Building information modeling) para el aprendizaje del dimensionado de sistemas MEP (mechanical, electrical and plumbing systems) en estudios superiores centrados en ingenieros de la construcción. Además, se plantea la modificación del proceso de aprendizaje del dimensionado de sistemas MEP actuales, basados en la utilización de lookup tables y ábacos estandarizados, por un sistema numérico, tal y como se dispone en la normativa UNE 149201:2017.

El estudio, enfocado a ingenieros de la construcción, utiliza un sistema de aprendizaje cooperativo PBL (Project-based learning), mediante el cual se consigue que la resolución del ejercicio no es única y marcada por el profesorado, sino que es una solución compleja al planteamiento resolutivo realizado por el alumnado. Los resultados muestran que la utilización de sistemas de modelización BIM, no únicamente favorecen el aprendizaje del propio proceso de dimensionamiento de sistemas mediante herramientas de representación y procesos automatizados de cálculo, aportando feedback en cada uno de los pasos a realizar, sino que a su vez fomentan la necesidad de comprender y planificar constructivamente cada uno de los elementos que componen estos sistemas.

A su vez, este estudio ha puesto de manifiesto la necesidad de adoptar metodologías de cálculo numéricas por parte de los modelos de enseñanza de sistemas MEP, en contraposición a los sistemas de tablas o ábacos utilizados en ciertos casos actualmente. Este cambio del proceso de cálculo por una parte se adapta más fielmente a las normativas seguidas por el CTE (Código Técnico de la Edificación), y por otra parte facilita la comprensión del cálculo realizado por sistemas automatizados (Revit MEP, Dynamo, etc.) y ayuda a comprender la necesidad de utilizar componentes físicos reales y estandarizados durante el proceso de dimensionamiento de sistemas.

Palabras clave: BIM, MEP, Metodología docente, Normativa, Ingeniería de la construcción

1. Introducción

La aplicación de tecnologías BIM (Building Information Modeling) para el aprendizaje de sistemas MEP (mechanical, electrical & plumbing) es una de las facetas en auge durante los últimos años (Alia Besné 2021), teniendo especial consideración cuando tenemos en cuenta las ventajas que presenta tanto en una reducción integral de costes durante el proceso constructivo (Leite, Fernanda 2011) como en procesos posteriores de operación y mantenimiento (Zhen-Zhong Hu 2016). Dichos procesos y metodologías están siendo implementadas y utilizadas de una forma no homogénea en diferentes zonas (V. Meana 2019). Y aun cuando la formación de técnicos en estudios superiores en los aspectos estructurales realizados con tecnología BIM avanza sustancialmente en los estudios de grado, no es así en el caso de sistemas no estructurales o MEP (Jingxiao Zhang 2022).

Adicionalmente, los sistemas MEP suponen tanto un factor determinante en el coste total de un edificio, llegando hasta el 50% de la inversión total en edificios altamente tecnológicos o sanitarios (Sanghyo Lee 2018), así como en consumo energético durante la vida útil total de los edificios, llegando a suponer el 30% de toda la energía consumida por un país (GhaffarianHoseini 2017). Es por todo esto que, la necesidad de aplicar sistemas integrados de información como BIM en los ámbitos no estructurales MEP es una realidad, y por lo tanto dichos procesos deben ser integrados en la tarea docente de los estudios superiores de edificación.

La integración de MEP en la actividad docente, al igual que en el caso de BIM estructural, puede ser realizada de múltiples formas y aplicando diferentes metodologías docentes. Aunque, con el fin de mejorar la adaptación a los currículums existentes es necesario establecer varias consideraciones durante este proceso de integración (Abdullahi Ahmed 2013):

1. **Planificación.** Debe existir una visión global en la aplicación de las nuevas metodologías docentes, las cuales deben incluir chequeos y análisis de calidad durante el proceso.
2. **Ecosistema.** La selección de software BIM para sistemas MEP, debe adaptarse a los procesos de integración de sistemas estructurales existentes.
3. **Necesidades.** El objetivo y nivel de la tarea docente debe enmarcarse dentro de los requisitos dispuestos tanto por normativas como colegios profesionales.
4. **Diseminación.** Si el objetivo final es la utilización de sistemas BIM como referencia para todos los procesos que involucren MEP, todo el cuerpo docente debe tener conocimientos sobre dicha materia y la enseñanza debe producirse de forma transversal.

Por otra parte, la utilización de metodologías docentes basadas en el alumno como es el caso de la metodología de aprendizaje cooperativo PBL (Project-based learning) se presenta como una oportunidad excelente. Teniendo en cuenta las ventajas que presenta en cuanto a los procesos de autoaprendizaje por parte de los propios alumnos, así como el fomento del pensamiento crítico en busca de una solución cooperativa entre los diferentes miembros del grupo. Para la aplicación de PBL se utiliza un proyecto que establece únicamente las premisas mínimas a conseguir y es el grupo de alumnos, con el soporte de los docentes, que establecen tanto los hitos a conseguir como la solución final a alcanzar.

Cabe destacar, que el proyecto a desarrollar por parte de los alumnos es de carácter realista y aplicable en el ámbito laboral directamente. Estas premisas conllevan que tanto las premisas dispuestas por el profesorado como las diferentes soluciones propuestas por los alumnos se han de adaptar a las normativas y los requisitos de un cliente imaginario. De esta manera se motiva la discusión de la necesidad de ciertas restricciones, determinar tamaño de un espacio por requisito del cliente, o incluso la posibilidad de plantear restricciones de coste adaptadas a cada grupo de trabajo de forma justificada.

Como contrapartida, la aplicación de metodologías PBL conllevan, para el equipo docente, una mayor inversión de tiempo. Teniendo que establecer premisas que acoten el proyecto a parámetros realistas, determinar posibles aspectos o soluciones que no sean posible ejecutar dentro de la normativa aplicable, así como la necesidad de analizar y evaluar un proyecto distinto por cada grupo de trabajo. Sin embargo, los beneficios obtenidos de la aplicación de la metodología PBL, centrada en trabajo cooperativo y en un proyecto de aplicación real, resulta extraordinariamente motivadora para los alumnos mejorando así las posibilidades de una adaptación al trabajo de MEP mediante tecnologías BIM.

2. Objetivos

El presente artículo pretende describir la experiencia obtenida, durante los últimos tres cursos académicos, de la aplicación de la metodología de aprendizaje basada en proyectos, mediante el uso del software Revit en la asignatura obligatoria de Proyectos Técnicos, de cuarto curso del Grado en Edificación de la Universitat de les Illes Balears.

Al tratarse de una experiencia de implantación inicial, el software se emplea, principalmente, como una herramienta de modelado, dejando el proceso colaborativo como un segundo paso en el desarrollo de la incorporación de este software en la metodología docente. La aplicación del aprendizaje basado en proyectos, empleando el software Revit, en este curso en concreto, se centra en:

- Proporcionar a los alumnos experiencias que favorezcan su pensamiento crítico y el aprendizaje del proceso constructivo de un edificio, por medio del dimensionado de los elementos estructurales y de su ubicación dentro del conjunto.
- Mejorar la visión espacial y las competencias gráficas del alumnado.
- Enfatizar el trabajo colaborativo con los demás integrantes del grupo.

Por otra parte, existe una necesidad fundamental de comprender las instalaciones mecánicas y sus interacciones con otros sistemas en un edificio (Ya Hui Teo 2022). Esto se debe a que instalaciones mecánicas, como sistemas de climatización, ventilación, suministros de agua y redes de saneamiento, desempeñan un papel crucial en el funcionamiento eficiente y sostenible de un edificio.

El entendimiento de estas instalaciones permite, a los ingenieros de la edificación, tomar decisiones informadas durante el diseño y la planificación de proyectos de construcción. Comprender cómo se integran las instalaciones mecánicas con otros sistemas, como la estructura del edificio, la distribución espacial y las características arquitectónicas, les permite optimizar el rendimiento energético (Ghaffarian Hoseini 2017), garantizar la seguridad (Zhen-Zhong Hu 2016) y el confort de los ocupantes (Alavi 2021), y cumplir con los estándares y regulaciones pertinentes.

Una de las ventajas que nos ofrece el desarrollo de estos equipos mediante un sistema BIM es el análisis prestacional de dichas instalaciones, entendiendo no únicamente que dichos equipos deben cubrir las necesidades mínimas establecidas en la normativa, sino como cubren en la realidad dichas necesidades. Estableciendo listados y tablas de características de todos los puntos de una instalación y las zonas en las que dan servicio, podemos por ejemplo establecer la presión en cada uno de los puntos de suministro de agua, en vez de únicamente el camino crítico como típicamente se analiza numéricamente, o la dispersión térmica en diferentes habitaciones, en vez de un análisis térmico basado únicamente en carga térmica total de la estancia.

Esta metodología permite optimizar la colaboración entre los distintos equipos de trabajo, evitando procesos duplicados o la omisión de algún proceso importante. Al contar con toda la información en un punto centralizado, se minimizan los errores y se aumenta la eficiencia en la toma de decisiones. Además, BIM proporciona una ventaja competitiva al permitir la simulación y visualización en tiempo real, facilitando la comunicación con los clientes y la presentación de propuestas innovadoras. Asimismo, ofrece la posibilidad de realizar análisis de costos, programación de obra y evaluaciones de sostenibilidad de manera integrada.

Así pues, la implementación de BIM en proyectos arquitectónicos proporciona ventajas competitivas al mejorar la eficiencia, la precisión y la colaboración, y al permitir una visión global de la obra desde su concepción hasta su ejecución, optimizando los recursos y mejorando la calidad del resultado final.

3. Metodología.

La asignatura en la que se aplica este trabajo, Proyectos Técnicos, es una asignatura de cuarto curso del grado de Edificación. La realización tanto de esta asignatura como del resto de asignaturas de consolidación realizadas en el último curso del grado, suponen una etapa crucial en la formación de los estudiantes, donde se ancla el conocimiento adquirido en asignaturas previas.

En concreto, esta asignatura realiza una simulación de un trabajo real de diseño y gestión de un proyecto de construcción al completo. Los estudiantes aplican sus conocimientos teóricos y técnicos en la elaboración de

un proyecto, integrando aspectos arquitectónicos, estructurales, instalaciones y normativos. A través de esta experiencia, adquieren habilidades prácticas, en base a conocimientos previamente estudiados, como la elaboración de planos, cálculos de dimensionamiento (estructurales y de sistemas), presupuestos y coordinación de equipos de trabajo.

Adicionalmente, se ha querido conseguir la capacidad de trabajo colaborativo por lo que esta asignatura basa la toma de decisiones, la resolución de problemas y la capacidad de gestionar un proyecto desde su concepción hasta su presentación final, en el trabajo en equipo. Brindando a los estudiantes una visión realista de los desafíos y responsabilidades que enfrentarán en su carrera profesional, trabajando en equipos multidisciplinares.

Este modelo de trabajo basado en un enunciado abierto, requerimientos por parte de un cliente simulado, promueve la creatividad y el pensamiento crítico de los estudiantes, ya que deben encontrar soluciones originales y adaptarse a las necesidades específicas planteadas. Esto fomenta el desarrollo de habilidades de resolución de problemas y la capacidad de enfrentar desafíos reales. Además, permite que los alumnos exploren diferentes enfoques y enriquezcan su aprendizaje a través de la investigación y la experimentación. Esto los prepara para situaciones del mundo laboral donde pueden encontrarse con proyectos únicos o cambios inesperados en requisitos del proyecto.

A su vez, explorar la resolución de un proyecto real conlleva la necesidad de en todo momento contemplar los costes asociados a cada una de sus decisiones, teniendo en cuenta que la valoración final no únicamente contempla la correcta realización del cálculo de costes, sino que a su vez evalúa la reducción del coste siempre que se cumplan los requisitos dispuestos en el enunciado.

3.1. Ejemplo de aplicación.

A continuación, podemos observar un ejemplo de un enunciado de trabajo, realizado en la asignatura de aplicación durante el curso académico 21-22, donde se recogen los puntos mínimos a cubrir en dicha entrega. Dicho enunciado va siempre acompañado por un programa de necesidades, donde establecemos qué espacios deben adaptarse, qué zonas pueden ocupar, qué tipología de equipos mecánicos deben utilizar y otras necesidades específicas del mismo. A su vez, dicho enunciado se acompaña por una guía de aplicación la cual consiste en un borrador o plantilla para la resolución final del trabajo, este documento les permite disponer de un guión de todos los puntos mínimos que deben tratarse.

Ejemplo enunciado trabajo PBL con BIM.

- 1.- El edificio plurifamiliar del cual forma parte la vivienda a adaptar, así como la vivienda a reformar energéticamente se suministra en formato digital. Dicha propuesta debe mejorarse y comprobar que cumple todas las normativas urbanísticas que sean de aplicación. Debe tenerse en cuenta el programa de necesidades que se incluye más adelante.
- 2.- Eliminación de barreras arquitectónicas.
- 3.- Se debe reformar energéticamente la vivienda situada en la segunda planta. Asistiendo a los requisitos dispuestos tanto en el programa de necesidades como en la guía de aplicación.
- 4.- Se debe reformar para la adaptación a una persona con movilidad reducida la vivienda situada en la primera planta. Asistiendo a los requisitos dispuestos tanto en programa de necesidades como en la guía de aplicación.
- 5.- El proyecto deberá estar integrado por toda la documentación gráfica y escrita, según el CTE y la documentación existente en el Aula Digital, no se incluirá el estudio de seguridad y salud.
- 6.- La parte gráfica en su totalidad, instalaciones incluidas, se realizará mediante modelizado con REVIT."

Como se puede observar en el ejemplo de enunciado previo, los requisitos dispuestos por parte del profesorado son de carácter abierto, necesitando de un análisis previo por parte del alumnado y una etapa de descubrimiento mediante la realización de un cuestionario. Durante esta etapa de descubrimiento se debe

establecer por parte del profesorado ciertos requisitos no establecidos en el enunciado, como utilización por parte del usuario final, requisitos de los espacios o presupuesto de ejecución máximo.

Este proceso de análisis y establecimiento de los requisitos permite al alumnado descubrir por sí mismos cuáles van a ser los parámetros más decisivos en la toma de decisiones y diseño de los espacios, sin necesidad de realizar un listado de los mismos por parte del profesorado (aunque guiando a los mismos con el fin de evitar que un elemento determinante no sea discutido).

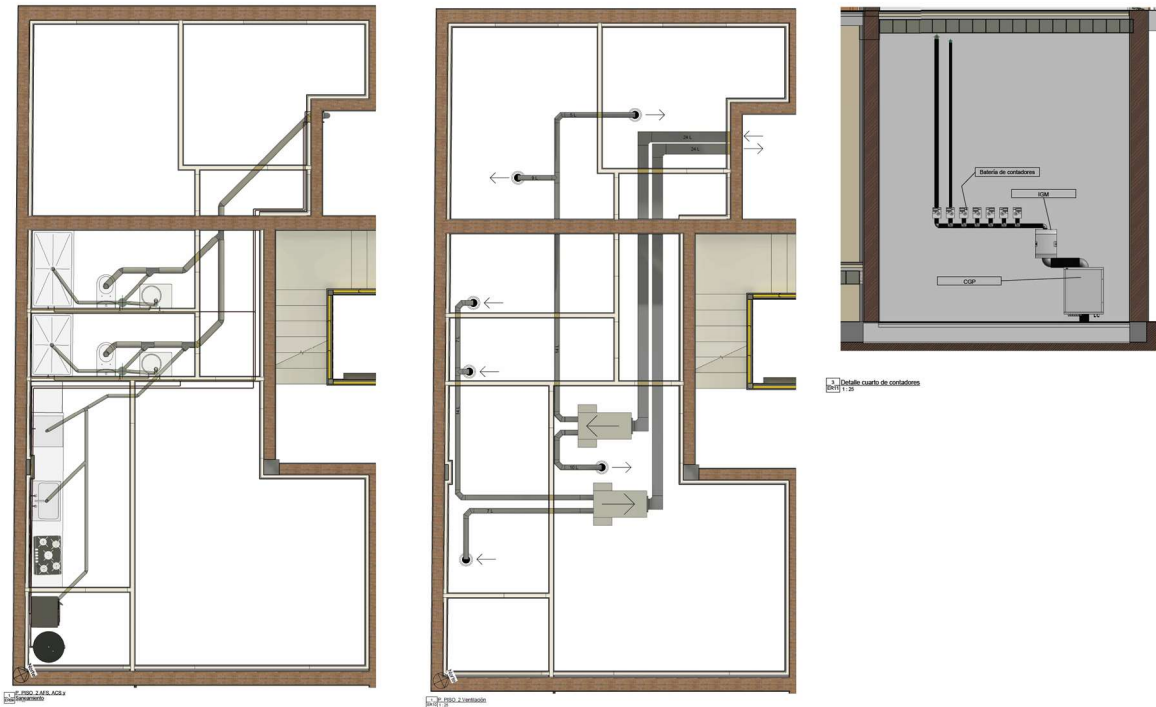


Figura 1. Resolución parte MEP del enunciado ejemplo por parte del alumnado.

En la Figura 1 podemos observar un ejemplo de resolución de la parte de instalaciones MEP del enunciado ejemplo. En esta figura podemos observar de izquierda a derecha la resolución del saneamiento, sistema mecánico de ventilación y eléctrico. Cabe destacar que todos los sistemas MEP están acompañados de la información de instalación de los mismos, fases constructivas, y de los datos de mantenimiento ofrecidos por el fabricante, metadatos de mantenimiento.

4. Resultados

Inicialmente se establecen los parámetros representativos que evalúan la aplicación de una metodología BIM para el desarrollo de sistemas mecánicos MEP en un proyecto dentro de una asignatura del grado de edificación. Por una parte, se establecerá la repercusión de modificar la guía docente sobre el alumnado, donde se analiza el impacto sobre la evaluación, así como variables que permitan determinar la capacidad de asimilación de conceptos por parte del estudiante.

Por otra parte, debemos considerar la repercusión que esta nueva metodología docente tiene sobre el profesorado, desde la valoración docente por parte del alumnado y la carga de trabajo adicional que supone la generación de nuevo material docente, como la dificultad de evaluar un nuevo sistema.

El primer apartado que se va a tratar y que sigue los mismos patrones observados en otras aplicaciones de metodología docente basada en BIM (S. Hormigos 2021), en este caso centrada en la parte constructiva, es el impacto sobre la valoración del profesorado por parte del alumno. Como se observa en la Tabla 1, siendo este el segundo año de aplicación y el primero donde el alumnado no tiene posibilidad de utilizar CAD 2D como base para el diseño, la valoración ha llegado a su punto más bajo.

Tabla 1. Evaluación del profesorado por parte del alumnado

Año académico	Evaluación media	Evaluación media dept.
previos	8,90	7,61
2020/21	6,80	7,91
2021/22	5,36	7,98

Este factor pone de manifiesto el alto impacto que tiene esta modificación sobre el estudiante. Aunque como veremos a continuación, Tabla 3 muestra cómo dicha valorización del profesorado no se refleja en el aprendizaje o evaluaciones del alumnado. Este aspecto, que sigue los comentarios realizados por los alumnos durante el curso, es principalmente debido a la reticencia de utilizar un sistema de representación gráfica nueva en el último curso del grado.

Adicionalmente, podemos observar en tabla 2 como la reducción principal en la evaluación del profesorado se produce en los aspectos de recursos y materiales, estructuración de la asignatura y satisfacción docente. Aunque cabe destacar que, a diferencia de evaluaciones previas, la desviación estándar de estos valores es alto o muy alto, lo cual representa a su vez las diferentes opiniones entre el alumnado ante la obligación de utilizar un sistema BIM en el proyecto evaluativo de la asignatura.

Tabla 2. Información correspondiente a docencia, evaluaciones del profesorado

Variable	2020/21		2021/22	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Planificación	7	2.9	5.4	3.9
Estructura	7	2.8	5	3.2
Claridad	6.6	2.8	5.5	3.9
Recursos/material	6.4	2.9	5.5	3.4
Tutorización	6.3	2.5	5.5	3.4
Sistema de evaluación	7.2	2.3	5.7	3.6
Metodología	7.1	2.6	5.2	3.3
Satisfacción	6.8	2.2	5.1	3.7

Durante los últimos tres años (Sin aplicación de BIM, aplicación voluntaria y únicamente BIM respectivamente), tanto las evaluaciones como la capacidad de utilizar equipamiento más complejo, y con análisis más definidos, han mejorado año tras año.

Tabla 3. Evaluaciones medias del alumnado

Año académico	Evaluación media asignatura	Evaluación media apartado MEP
previos	5,80	5,10
2020/21	5,90	5,90
2021/22	5,40	6,25

Gracias a la utilización de BIM para la resolución y dimensionamiento de sistemas MEP, se ha observado como la realización de cálculos automatizados e iterativos tiene un impacto significativo en la toma de decisiones y en la asimilación de conceptos complejos, sobre todo en comparación con metodologías previas, que requerían cálculos manuales. Al automatizar y agilizar los cálculos, se reducen las cargas de trabajo y se facilita la realización de análisis más exhaustivos.

Siguiendo con el ejemplo del proyecto de construcción de una piscina, el análisis automatizado permite tener en cuenta las variaciones de rozamiento, efecto del diámetro con selección de accesorios y procesos de unión entre tuberías. Esto garantiza una evaluación exhaustiva y precisa de los parámetros hidráulicos, evitando omisiones o inexactitudes que podrían ocurrir en un análisis manual. Además, facilita la consideración de variables adicionales como caudales mínimos, necesidades de ventilación o sedimentación.

La automatización de cálculos permite al alumnado realizar análisis más rápidos y precisos, lo que se traduce en una toma de decisiones más informada y eficiente. Al eliminar la carga de trabajo asociada con los cálculos manuales, los estudiantes pueden dedicar más tiempo a analizar los resultados, evaluar diferentes escenarios y considerar alternativas.

Adicionalmente en el último año, como comentado previamente, se han incluido en los contenidos de la asignatura la necesidad de considerar las fases constructivas en el proceso de gestión de una obra y la necesidad de integrar el mantenimiento en BIM, especialmente en el caso de equipos MEP. Este factor conlleva la necesidad de un conocimiento íntegro de dichos sistemas, así como todas las posibles interacciones entre los mismos.

Para la primera aplicación de etapas constructivas se ha utilizado un proyecto de piscina, donde la implantación de sistemas debe considerarse y realizarse desde las etapas iniciales. Por ejemplo, los equipos de instalación hidráulica deben estar presentes previamente a ciertas etapas constructivas, y a su vez el sistema eléctrico necesita de una integración, específicamente la puesta a tierra, desde etapas tempranas.

En primer lugar, al considerar las fases constructivas desde el inicio, se garantiza una planificación adecuada y una secuencia lógica de trabajo. Esto evita retrasos y problemas derivados de la falta de coordinación entre diferentes equipos y procesos constructivos. Además, al tener en cuenta los equipos mecánicos desde etapas tempranas, se pueden tomar decisiones adecuadas en cuanto a la ubicación, dimensionamiento y conexión de estos.

Todo esto tiene como beneficio la optimización del diseño y la eficiencia de la instalación, evitando modificaciones costosas o incompatibilidades. Así como, la reducción de riesgos y posibles daños a los equipos al considerar las fases constructivas, pudiendo implementar medidas de protección y evitar exposiciones innecesarias o peligrosas.

Adicionalmente a disponer de fases constructivas, la integración del proceso de mantenimiento en BIM ofrece ventajas significativas, especialmente en términos de establecer procesos de chequeo para mitigar riesgos y cumplir con necesidades específicas. Tomando como ejemplo el proyecto de piscina, el alumnado es capaz de comprender como los chequeos de puesta a tierra y libre circulación del agua son fundamentales.

A su vez, el establecimiento de procesos de mantenimiento, mediante la integración de metadatos en el proyecto BIM, permite aumentar considerablemente la información disponible al técnico y facilitar la redacción de planes de mantenimiento para el alumnado de la asignatura.

Por último, la resolución de un proyecto técnico utilizando tecnologías BIM para sistemas MEP permite a su vez disponer de interacciones con otros programarios de análisis y simulación. En el caso de la asignatura se ha analizado y realizado por parte del alumnado interacciones con dos herramientas, PVGIS y Dialux, de las cuales tenían conocimientos previos, aunque no habían sido utilizadas en la realización de un proyecto al completo.

El uso de PVGIS, por ejemplo, les proporciona información detallada sobre la radiación solar y el rendimiento de los paneles fotovoltaicos, lo que facilita la toma de decisiones informadas sobre la implementación de energía solar en el proyecto. Y en el caso de Dialux, les permite simular la iluminación artificial en el espacio, optimizando la eficiencia energética y mejorando la calidad lumínica del entorno.

Estas interacciones con otros sistemas y programas de análisis en el marco del BIM mejoran la calidad del proyecto al permitir una evaluación más precisa y exhaustiva de diferentes aspectos. Además, fomentan la adquisición de nuevas habilidades y conocimientos técnicos, ampliando así el conjunto de herramientas y competencias del alumnado.

5. Conclusiones

El presente trabajo pretende mostrar y evaluar las lecciones aprendidas tras la incorporación de la metodología PBL en la asignatura de Proyectos técnicos del Grado en Edificación de la Universitat de les Illes Balears. Para la resolución de proyectos, se solicita el empleo del software Revit. Tras 3 cursos académicos de aplicación de esta metodología, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Aquellos grupos con 2 o 3 integrantes obtienen mejores resultados que quienes realizan el trabajo de manera individual, siendo grupos de 3 los que han obtenido las mejores calificaciones.
- El empleo del software Revit para la resolución de dimensionamiento de sistemas mecánicos, eléctricos o de fontanería, despierta el interés del alumnado y la gran mayoría considera que, tras el curso, mejoran ampliamente sus conocimientos respecto al software.
- El nivel de los sistemas diseñados, tanto en complejidad como ajuste a necesidades, ha mejorado sustancialmente, partiendo de la necesidad de establecer sistemas renovables obligatorios en metodologías previas a ser los alumnos los que se interesan y seleccionan dichos sistemas.

Por todo esto, podemos establecer que las capacidades de los alumnos se han mejorado con la utilización de Revit para el diseño de sistemas MEP. Consiguiendo establecer sistemas y soluciones que previamente les eran desconocidas, con el fin de analizar, comprender y dimensionar equipos capaces de cubrir todas las necesidades de un espacio definido.

Adicionalmente, se ha conseguido que el diseño de equipamiento mediante BIM no sea una sustitución de un sistema CAD 2D, sino que el diseño realizado en Revit incorpora metadatos de cada uno de los sistemas dimensionados (fabricantes, dimensiones, pesos, necesidades específicas), fases constructivas en las que se deben actuar sobre el sistema propuesto y la integración con el plan de mantenimiento.

Se ha conseguido, mediante la realización de cálculos semiautomáticos de equipos MEP, mejorar el conocimiento íntegro de funcionamiento de diferentes sistemas. Resaltando nuevos parámetros o requerimientos de manera sencilla y directa, que en diseño CAD 2D no son implementados.

Aunque inicialmente la modificación de la metodología docente tuvo un impacto directo sobre la valoración del profesorado por parte del alumnado, dichas valoraciones han sido recuperadas o superan en algunos casos las valoraciones previas a la aplicación de BIM.

Referencias

- Besné, Alia, et al. "A systematic review of current strategies and methods for BIM implementation in the academic field." *Applied Sciences* 11.12 (2021): 5530.
- Leite, Fernanda, et al. "Analysis of modeling effort and impact of different levels of detail in building information models." *Automation in construction* 20.5 (2011): 601-609.
- Hu, Zhen-Zhong, et al. "Construction and facility management of large MEP projects using a multi-Scale building information model." *Advances in Engineering Software* 100 (2016): 215-230.
- V. Meana, et al. "Analysis of the implementation of the BIM methodology in the spanish industrial engineering degrees under the competential perspective" *Rev. ing. constr.*, vol.34 no.2 Santiago ago. 2019; DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732019000200169>
- Zhang, Jingxiao, et al. "Toward next-generation engineering education: A case study of an engineering capstone project based on BIM technology in MEP systems." *Computer Applications in Engineering Education* 30.1 (2022): 146-162.
- Lee, Sanghyo, and Yonghan Ahn. "Analyzing the long-term service life of MEP using the probabilistic approach in residential buildings." *Sustainability* 10.10 (2018): 3803.
- GhaffarianHoseini, Ali, et al. "Application of nD BIM Integrated Knowledge-based Building Management System (BIM-IKBMS) for inspecting post-construction energy efficiency." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 72 (2017): 935-949.
- Ahmed, Abdullahi, et al. "Integration of BIM in higher education: Case study of the adoption of BIM into Coventry University's Department of Civil Engineering, Architecture and Building." *Sustainable Building and Construction Conference (SB13) Coventry University*. 2013.
- Teo, Ya Hui, et al. "Enhancing the MEP Coordination Process with BIM Technology and Management Strategies." *Sensors* 22.13 (2022): 4936.
- Alavi, Hamidreza, et al. "Enhancing occupants' comfort through BIM-based probabilistic approach." *Automation in construction* 123 (2021): 103528.

Teaching MEP systems using BIM technology in construction engineering, and the need to adopt a strict numerical calculation methodology.

S. Hormigos, et al. "Construction process learning, by project-based methodology, using BIM" I Congreso de Escuelas de Edificación y Arquitectura Técnica de España, Universitat Politècnica de València, Doi: <https://doi.org/10.4995/EDIFICATE2021.2021.13325>

Proyecto de innovación docente REFOR_CA_Refuerzo de competencias digitales y docentes del profesorado del Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de Granada

Aguilar Aguilera, A.^a; Arezes, P.^b; Bienvenido Huertas, J.D.^a; De la Hoz Torres, M.L.^a; Del Cid Mendoza, A.^a; Durán Álvarez, J.^a; Gámez Montalvo, L.^a; Gutiérrez Carrillo, L.^a; Martínez Rojas, M.^a; Martín Morales, M.^a; Martínez Aires, M.D.^a; Martínez Carrillo, M.^a; Martins Marques da Costa, N.^b; Nieto Álvarez, R.^c; Pereira Leite de Freitas Loureiro, I.M.^b

^aDpto. Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Granada. ^bALGORITMI Research Center, School of Engineering, University of Minho. ^cDpto. Expresión gráfica, Universidad de Granada.
Corresponding autor: aires@ugr.es

Abstract

La pandemia de la COVID-19 tuvo un gran impacto en el proceso de enseñanza. El profesorado se enfrentó al nuevo desafío de mantener motivado al estudiantado en un entorno de docencia virtual. Todas las universidades se volcaron en reforzar la capacitación del profesorado para la digitalización y virtualización de la enseñanza.

Nos obstante, muchas de las herramientas desarrolladas para el apoyo del aprendizaje durante el periodo de enseñanza on line, también tienen un impacto positivo en el proceso de enseñanza-aprendizaje en la docencia presencial. Entre las muchas ventajas se puede destacar que el uso de entornos virtuales para el apoyo del aprendizaje puede ayudar a centrar la enseñanza en el alumnado.

Por todo ello, la Universidad de Granada (UGR) apuesta por el fortalecimiento de las competencias digitales del profesorado, incluyéndolo en su Plan Director dentro de la Línea de acción de Capacitación digital y formación TIC. Con el fin de incentivar el esfuerzo del profesorado en dicha línea, la UGR ha vinculado su potenciación con parte de la financiación que reciben los departamentos a través del instrumento que debe guiar su actuación y gestión, el Contrato Programa. Además, el programa DOCENTIA-ANDALUCÍA y el Marco Andaluz de Evaluación del Profesorado Universitario, han incluido un indicador de Calidad Docente denominado Uso de recursos didácticos, tecnologías de la información y aplicaciones de apoyo a la docencia.

En este contexto se define el Proyecto de innovación docente REFOR_CA_Refuerzo de competencias digitales y docentes del profesorado del Departamento de Construcciones Arquitectónicas, con el fin de fomentar la creación de recursos y herramientas digitales, así como su integración en la plataforma docente de la UGR denominada PRADO. Todo ello con el objetivo final de diseñar actividades que favorezcan el aprendizaje activo y colaborativo.

Keywords: Competencias digitales, PRADO, Construcciones Arquitectónicas

1. Introducción

La crisis sanitaria provocada por la COVID-19 tuvo un enorme impacto en la actividad académica requiriendo la adaptación de la metodología de docencia tradicional (principalmente presencial) a escenarios semipresenciales o virtuales. Estas circunstancias pusieron de manifiesto la necesidad de implementar nuevas metodologías y herramientas, así como el uso de distintas plataformas para el profesorado. La educación a distancia de emergencia fue una respuesta válida por la inmediatez resolutoria del problema de asegurar la continuidad de la docencia, pero insuficiente por su poca trascendencia formativa (Pomares et al. 2021). Una de las causas principales de esta alternativa está determinada por la insuficiente preparación de los profesores para un desempeño eficaz en la operación de plataformas y recursos digitales (Giannini S., 2020). La demanda de docentes digitalmente competentes ha ido evolucionando, imponiéndose la necesidad de nuevos enfoques que integren tecnologías en la educación (Instefjord y Munthe, 2017).

Un factor clave para cumplimentar la responsabilidad social de las universidades es la aplicación de innovaciones educativas que, considerando las posibilidades reales en cuanto al capital tecnológico de las mismas, permitan dar respuestas contextualizadas a las demandas formativas (Leyva & Pacheco 2020)

En la última década, la Universidad de Granada ha apostado por el uso de la Plataforma de Recursos de Apoyo a la Docencia), PRADO, basada en el sistema de gestión de aprendizaje denominado Moodle. La pandemia obligó a dar un gran impulso en la formación, sobretodo en sus funcionales básicas, pero también en las nuevas herramientas como por ejemplo Kaltura, recursos interactivos digitales H5P, etc.

Moodle es una de las plataformas educativas más usadas, seguida por Google Classroom, así lo recoge el estudio de García y García sobre las herramientas más utilizadas durante la pandemia (García & García, 2020). Según los datos oficiales proporcionados por Moodle, España es el país con más instituciones y organismos registrados, 12.891, seguida de Estados Unidos con 12.827 y Alemania con 10.093 (Moodle, 2023). No obstante, las funcionalidades de Moodle que mayoritariamente se usan son muy limitadas, limitándose a la subida de documentos por parte del profesorado. En el caso de alumnado, Moodle es utilizado sobre todo para enviar tareas o descargar documentos (Escalante et al., 2020).

La UGR, desde la Delegación de la Rectora para la Universidad Digital (DRUD), apuesta por el incremento del uso de PRADO y no solo el uso de sus herramientas básicas. Desde dicha Delegación se han definido indicadores que incluyen parámetros para medir la actividad en los espacios docentes del profesorado: número de herramientas añadidas en la asignatura (instancias) y número de herramientas diferentes creadas en la asignatura (tipologías). Además, la UGR ha vinculado su potenciación con parte de la financiación que reciben los departamentos a través del instrumento que debe guiar su actuación y gestión, el Contrato Programa.

En este contexto surge el proyecto de innovación docente “REFOR_CA_Refuerzo de competencias digitales y docentes del profesorado del Departamento de Construcciones Arquitectónicas”. El objetivo de dicho proyecto es incorporar las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) para la mejora del proceso de aprendizaje, así como la adaptación y mejora del contexto digital, ofertando contenidos audiovisuales específicos en las plataformas digitales de apoyo a la docencia, además del incremento de las ventajas divulgativas y comunicativas no contempladas anteriormente.

2. Objetivo

En este trabajo se presenta el proyecto de innovación docente “REFOR_CA_Refuerzo de competencias digitales y docentes del profesorado del Departamento de Construcciones Arquitectónicas”, cuyos objetivos son:

- Reforzar el uso de las herramientas básicas y avanzadas de la plataforma PRADO y su aplicación en la docencia propias de las áreas del Departamento de Construcciones Arquitectónicas.
- Fomentar el uso de la metodología BIM como herramienta docente.
- Dar a conocer el uso de distintos softwares para el seguimiento y planificación de la docencia.
- Describir distintas acciones estratégicas y fundamentales en la docencia del departamento, como son la atención a estudiantes con necesidades educativas / inclusión, la coordinación interdepartamental y el fomento de la evaluación continua en los Trabajos Fin de Grado (TFG).

- Analizar las necesidades de coordinación con otras asignaturas de los mismos grados impartidas por el Departamento de Expresión Gráfica en la Arquitectura e Ingeniería.

Además, se definen las metodologías utilizadas para las sesiones, así como las herramientas para la gestión del proyecto.

3. Metodología

Desde el Departamento de Construcciones Arquitectónicas se ha realizado un cuestionario sobre el uso de las distintas herramientas, tanto básicas como avanzadas de la plataforma docente PRADO (Plataforma de Recursos de Apoyo DOcente). En dicha encuesta se ha recogido información sobre las herramientas utilizadas de PRADO, así como las que no son tan usadas, pero existe una demanda de formación u orientación para su uso. En la Figura 1 se muestra un esquema de las cuatro secciones en las que se ha dividido el cuestionario. El análisis de los resultados ha permitido definir las sesiones del proyecto presentado.



Figura 1. Esquema del cuestionario sobre uso de PRADO
Fuente: Elaboración propia (2022)

4. Resultados

4.1. Principales resultados de la encuesta realizada

La encuesta fue realizada por 20 profesores del Departamento de Construcciones Arquitectónicas. La Figura 2 muestra como el uso mayoritario es en las denominadas funcionalidades básicas de PRADO: subir ficheros (100%), enviar avisos al alumnado o publicar convocatorias y calificaciones (95%) u organizar entregas de ejercicios (75%). Los porcentajes en aspectos y funcionalidades avanzadas de PRADO son menores.

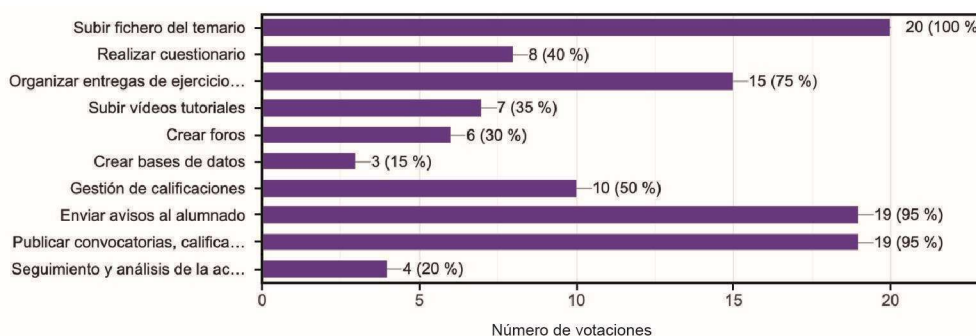


Figura 2. Herramientas de PRADO utilizadas con regularidad

Fuente: Elaboración propia

Con el tercer módulo de la encuesta, se ha detectado una demanda de formación por parte del profesorado de algunas herramientas básicas, como Foros, Bases de Datos y Encuestas (Ver Figura 3).

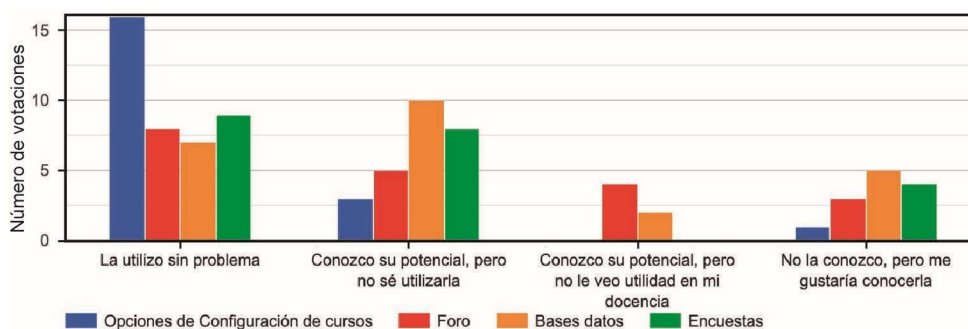


Figura 3. Respuestas sobre el uso de Herramientas de PRADO básicas

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, a través del cuarto módulo de la encuesta, se ha comprobado la alta demanda de formación en funcionalidades más complejas de PRADO, como la herramienta de grabación de vídeos denominada Kaltura, el uso del recurso Taller para evaluación por pares o las Insignias (Figura 4).

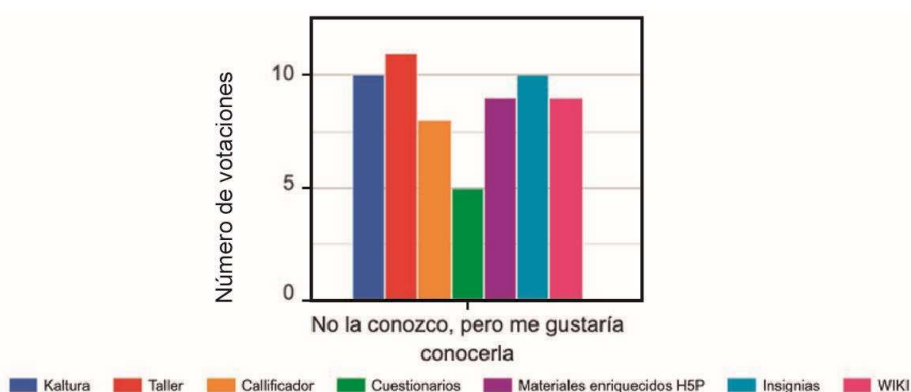


Figura 4. Respuestas sobre el uso de Herramientas de PRADO avanzadas

Fuente: Elaboración propia

4.2. Diseño del REFOR_CA

A la vista de los resultados recogidos en el apartado 4.1, se ha definido el proyecto con un total de 25 sesiones, que se distribuyen en 5 grandes bloques. De las 25 sesiones, 10 se centran en herramientas avanzadas de la plataforma PRADO, mientras que el resto versan sobre otras herramientas y/o software, así como su implementación en PRADO. Los cinco bloques y sus contenidos son los siguientes:

I. Uso de herramientas avanzadas de PRADO:

- Sesión 1. Foros PRADO: otra opción para valorar el aprendizaje del estudiante.
- Sesión 2. Herramientas de asistencia activa en PRADO. Otras herramientas.
- Sesión 3. El Taller de Prado como herramienta de evaluación por iguales.
- Sesión 4. Creación de bancos de preguntas para mejorar la práctica docente.
- Sesión 5. Evaluación en campus virtual mediante pruebas de conocimiento.
- Sesión 6. Estrategia para el fomento del trabajo en grupo usando herramientas básicas de PRADO.
- Sesión 7. Instrumentos para la evaluación de competencias en el Grado.
- Sesión 8. Uso de Insignias.
- Sesión 9. El Calificador de PRADO como herramienta de comunicación con el estudiantado.
- Sesión 10. Uso de KALTURA para el diseño de vídeos docentes.

II. Creación de recursos digitales. Integración en la plataforma PRADO:

- Sesión 11. Recursos interactivos digitales H5P.
- Sesión 12. Uso de realidad virtual y vídeos 360º para el desarrollo de prácticas y su integración en PRADO.

III. Uso de la metodología BIM para la mejora de la docencia:

- Sesión 13. Desarrollo de modelos digitales en software de diseño BIM y su potencial como herramienta en el proceso de enseñanza aprendizaje.
- Sesión 14. Integración de los modelos digitales 3D desarrollados en BIM en la plataforma PRADO.
- Sesión 15. Buenas prácticas en el uso de BIM en la Universidade Do Minho.

IV. Uso de software para el seguimiento y planificación de la docencia. Herramientas digitales para el seguimiento de la docencia:

- Sesión 16. Software Miro y Padlet. Integración en PRADO.
- Sesión 17. Experiencia en la Departamento de Produção e Sistemas da Universidade do Minho
- Sesión 18. Google Drive para el depósito y seguimiento del trabajo del alumnado a lo largo de la asignatura.
- Sesión 19. Diseño de formularios en Google e integración en PRADO.
- Sesión 20. Diseño de páginas web en Google e integración en PRADO.
- Sesión 21. Uso de plataformas digitales para el seguimiento y comunicación con el alumnado: Telegram.
- Sesión 22. Enseñanza inversa de prácticas de laboratorio de materiales de construcción.

V. Acciones estratégicas:

- Sesión 23. Atención a estudiantes con necesidades educativas / inclusión.
- Sesión 24. Diseño de herramientas de coordinación interdepartamental.
- Sesión 25. Fomento de la Evaluación continua en los TFG.

Cabe mencionar que el proyecto cuenta con tres miembros del departamento de Produção e Sistemas de la Universidade do Minho (Portugal), perteneciente a la Alianza Arqus cuya colaboración permitirá compartir sus experiencias en las herramientas Moodle y el uso de BIM en la docencia. Además de los miembros del departamento de Construcciones Arquitectónicas, también se ha invitado a docentes no pertenecientes a éste, pero con reconocidas experiencias en los temas que van a compartir:

- El Calificador de PRADO como herramienta de comunicación con el estudiantado.
- Atención a estudiantes con necesidades educativas / inclusión.
- Fomento de la Evaluación continua en los TFG.
- Evaluación en campus virtual mediante pruebas de conocimiento.

4.3. Desarrollo de las sesiones

Cada sesión cuenta con una exposición del tema tratado por parte del miembro responsable de la sesión. Con el fin de fomentar la práctica del tema tratado, en todas las sesiones se planteará una actividad sobre el tema para que los miembros del equipo la realicen durante la semana que no hay sesión programada, por ello se han programado las sesiones en semanas alternas.

Las actividades se realizarán en los espacios personales de PRADO, en las que se dará de alta con el rol de estudiantes al profesorado que participa en el proyecto.

Cada sesión tendrá una duración de dos horas: una de teoría o exposición y otra de tipo Taller. Se ha pensado en distintos tipos de asistencias, aunque con una mayoría de presencialidad, ya sea en aulas de teoría o aula de ordenadores para permitir realizar una actividad guiada sobre el tema tratado. Algunas sesiones se realizarán mediante reunión síncrona en Google Meet. No obstante, todas las sesiones serán grabadas para facilitar la consulta posterior de los temas tratados. A continuación, la Tabla 1 muestra la distribución de las sesiones.

Tabla 1. Tipo de sesión

Presencial	Reunión síncrona en Google Meet	Aula ordenadores
Sesión 1	Sesión 2	Sesión 4
Sesión 8	Sesión 3	Sesión 9
Sesión 21	Sesión 5	Sesión 10
Sesión 22	Sesión 6	Sesión 11
Sesión 23	Sesión 7	Sesión 12
Sesión 24	Sesión 13	Sesión 14
Sesión 25	Sesión 15	Sesión 16
	Sesión 20	Sesión 17
		Sesión 18
		Sesión 19

Los recursos de trabajo serán:

- Plataforma Prado.
- Herramientas de Google: DRIVE, Doodle, Formularios, Sites, etc.
- Software Telegram.
- Software Miro.
- Software Padlet.
- Software REVIT.
- Cámara 360°.

Además, se utilizará Google Drive como repositorio para compartir recursos y documentos, así como facilitar la colaboración y el trabajo en equipo.

5. Conclusiones

Se prevé que las actividades desarrolladas en el equipo de trabajo permitan que sus participantes adquieran competencias en el uso de herramientas digitales para el diseño de recursos docentes en un entorno online y el uso de herramientas para el seguimiento del progreso del alumnado en un escenario no presencial.

Además, los recursos docentes digitales desarrollados durante el proyecto docente podrán ser utilizados en varias asignaturas del módulo y otras afines a través de su implementación en la plataforma PRADO. Los recursos generados serán publicados en una plataforma de libre acceso para su consulta y descarga gratuita.

Referencias

- Escalante, J. L., Valerio, A., & Feltrero, R. 2020. Uso de Moodle con estudiantes universitarios de Educación: Perspectivas de sus experiencias con el aprendizaje combinado. Cuaderno De Pedagogía Universitaria, 17(34), 48 - 58. <https://doi.org/10.29197/cpu.v17i34.395>.
- García-Martín, Judit & García-Martín, Sheila. 2021. Uso de herramientas digitales para la docencia en España durante la pandemia COVID-19. Revista Española de Educación Comparada. 151. 10.5944/reec.38.2021.27816.
- Giannini S. COVID-19 y educación superior: de los efectos inmediatos al día después. Revista Latinoamericana de Educación Comparada 11(17): 1-57. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7502929>. Acceso el 2 mayo de 2023.
- Hatlevik, O. E. 2017. Examining the Relationship between Teachers' Self-Efficacy, their Digital Competence, Strategies to Evaluate Information, and use of ICT at School. Scandinavian Journal of Educational Research 61(5); 555-567. <https://doi.org/10.1080/00313831.2016.1172501>.
- Laurencio Leyva A, Farfán Pacheco PC. La innovación educativa en el ámbito de la responsabilidad social universitaria. Revista Cubana de Educación Superior, 35(2): 16-34. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rces/v35n2/rces02216.pdf>. Acceso el 18 abril de 2023.
- Moodle. 2023. Sitio web de Moodle. Disponible <https://stats.moodle.org>. Acceso el 20 abril de 2023.
- Pomares Bory, Eduardo de Jesús, Arencibia Flores, Lourdes Guadalupe, & Galvizu Díaz, Katiana. 2021. Innovación emergente para la COVID-19: taller virtual sobre el uso educativo de la plataforma Moodle. Revista Cubana de Informática Médica, 13(1), e438. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18592021000100011&lng=es&tlng=es. Acceso el 17 de abril de 2023.

Innovation and digital transformation in teaching to valorize the resilience and environmental potential of the built heritage

Monsù Scolaro, Antonello ^a y Fatiguso, Fabio ^b

^a University of Sassari, 07100, Sassari. amscolaro@uniss.it, ^b Polytechnic University of Bari, 70125, Bari, fabio.fatiguso@poliba.it

Abstract

The New European Bauhaus, affirming the cultural, economic and environmental value of the built heritage, revamps design strategies for regeneration and adaptation to new uses. The huge stock of disused buildings offers an opportunity to reduce the number of new buildings, thereby regenerating the places and helping to minimize the high environmental impact of the construction sector. According to a systemic logic, from the knowledge phase to the design one, the technological and digital innovations offer fundamental tools to anticipate future impacts throughout the life cycle of the building. The skills of structural modelling and spatial visualisation of design alternatives, as well as mastery of the techniques of assembly, disassembly and re-use of the new materials required for the effective implementation of the abandoned built heritage, must therefore be included in the training of future designers - engineers and architects. In this regard, aware of the complexity associated with each design phase, digital technologies and innovative approaches (digital databases and models; virtual/augmented reality; GIS mapping; multi-parametric data sheet) have been applied by the authors within the courses of recovery and refurbishment of the built heritage engineering and architecture degree courses. The knowledge phase is managed through the collection, control, and exchange of a wide flow of data on settlement, historical-evolutionary, geometric-dimensional features, then integrated with information on the construction system, building materials, residual technological performance and embodied energy. Thus, a range of design alternatives is built, graded to discover, valorise, and maintain the trace of sustainability embedded in existing buildings, according to a more holistic “transformative resilience”. The methodology can be adapted to more or less complex buildings -individual or aggregated- and applied according to the level of in-depth design required. Students become aware of the variety and complexity of the refurbishment project, encouraging teamwork and simulating operational reality.

Keywords: Built Heritage, Integrated teaching, Technical Knowledge, Design Alternative
Environmental impact

1. Introduction: an unsustainable scenario

According to the Italian National Statistics Institute (ISTAT), in 2020 there were around 3.5 million unused buildings in Italy, located in the suburbs or in the countryside, hills and mountains, while in urbanised areas the decaying built heritage accounts for 10 per cent of the total. These include over 50,000 former historic palaces and castles and a further 20,000 disused ecclesiastical buildings, churches, abbeys, and monasteries, plus an unknown number of large public buildings such as former hospitals, sanatoriums, and asylums, as well as masseria and country houses. There are also 3,300 unused military barracks, of which around 1,500 are disused Ministry of Defence buildings, marine colonies, and theatres; 6,000km of disused railway lines, of which 1,168km are potentially re-usable whereas only 496km have already been converted into tourist routes, cycle paths and greenways; and a further 1,900 disused railway stations and crossing keeper's booths, of which 390 are already being used for social purposes. (FSI, 2021); but also 1,244 crossing keeper's booths, built in 1830 and spread along the main national roads (currently undergoing a functional restoration project coordinated by the Ministry of Culture). Finally, there are about 5,300 "ghost towns", almost half of which are in an advanced state of urban decay or completely depopulated (Legambiente, 2022), and almost 130,000 abandoned former industrial buildings, factories and warehouses, spread over the entire national territory, covering an area equivalent to the region of Umbria. According to the Agenzia del Demanio, the public property would consist of 47,042 units, of which 9,137 buildings, or 27.9 per cent of the total, are suitable for possible rehabilitation, refurbishment, and functional conversion (Rezza, 2022).

However, in spite of such a large and widespread abandoned building stock, soil consumption in Italy does not stop: in 2021, impermeable soil increased by 69.1 km² while natural soil decreased at a rate of 2.2 sq m/sec, occupied by "new buildings, infrastructures, commercial, logistical, productive and service settlements and other areas with artificial coverage inside and outside existing urban areas". (ISPRA, 2022). This is leading to a steady loss of natural resources, biodiversity, and land otherwise suitable for ecosystem services, 60% of which has been degraded globally over the past 50 years. In Europe, between 2012 and 2018, 3,581 square kilometres of natural land was consumed, 80 per cent of it in 'commuting zones', the peripheries of urban systems where at least 15 per cent of urban dwellers work. These areas "are often important for wildlife, carbon sequestration, flood protection, and supply of food and fibres"; "continuing land take destroys biodiversity and makes Europe increasingly vulnerable to natural disasters "; indeed, "stopping land degradation and restoring coastal ecosystems, forests, grasslands, and farmland are key to preventing biodiversity decline and adapting to climate change" (EEA, 2021, p. 7). Faced with these scenarios, Europe is alert to the loss of natural capital for the essential services that fertile soils, productive lands and seas, fresh water and clean air provide for pollination, flood prevention and climate regulation. Indeed, in the EU Soil Strategy for 2030, the EU proposes a series of policies to: 1) make Sustainable Soil Management; 2) boost circular economy; 3) restore degraded soils and remediate contaminated sites; 4) prevent desertification and Increase research; 5) mitigate and adapt to climate change, for reaching no net land take by 2050 (COM 699, 2021). In addition, to reduce the environmental impact of poor quality buildings (which cause greenhouse gas emissions for heating and cooling) and to limit waste generation, raw material extraction and water consumption, the EU strongly encourages policies to renovate existing buildings. At European level, the large stock of dilapidated buildings is part of the more than 220 million dwellings built before 2001, of which 85-95% are expected to still be in use in 2050, accounting for 40% of the Union's total energy consumption and 36% of its greenhouse gas emissions (IRP, 2020) e (UNEP, 2019). The European Union states that "retrofitting buildings to render them more energy-efficient provides an opportunity to rethink construction and demolition practices to take into account broader resource efficiency aspects" (COM 860 (final) 2016, p.8), considering that deep renovations could reduce energy consumption by at least 60 per cent per building (UE, 2019): by reducing pollutant emissions by around 6% per year and energy consumption by 30% would save around 300 million tonnes of oil equivalent by 2050 (Mtep) (IEA, 2019). To this end, as part of the broader European Green Deal, the EU published the COM(2020) 662 final "A Renovation Wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives", in which the renovation is intended as a holistic strategy that, by applying some design principles, such as: "Energy efficiency"; "Affordability"; "Decarbonisation and integration of renewables sources"; "Life-cycle thinking and circularity"; "High health and environmental standards; Respect for aesthetics and architectural quality", could effectively contribute to limiting land consumption, controlling climate change and achieving environmental sustainability targets at different scales.

2. A disciplinary evolution: from recovery to sustainable reuse of the built environment

In the face of the increasing scarcity of primary resources, the environmental value of building recovery is growing at different scales - from the territory to the individual building - and includes cultural, social and economic issues. The European Charter of the Architectural Heritage held in Amsterdam in 1975, The 1975 Amsterdam European Charter for Architectural Heritage introduced the concept of 'integrated conservation', stating that 'this heritage is an economic asset which can be used to save community resources', and attributed social and economic value to the existing heritage, while rehabilitation assumes environmental value, both as a saving of resources and as a reduction in land consumption. Similarly, in 2000, while taking up and relaunching the 'integrated dimension' of conservation measures for the cultural landscape, the result of human transformations of the natural landscape, the Krakow Charter draws attention to the environmental sustainability approaches at different scales in design practice.

In Italy, since the 1960s, the recovery of buildings has been mainly aimed at preserving the cultural value of historic centres (thanks to the Franceschini's Commission statement, 1964-1967), but it was only in 1978, with the introduction of the national law 457, that it took on new meaning and was enriched with new operational tools. Indeed, the practice of recovery is extended to "areas where, due to deterioration, it is appropriate to recover existing buildings" (article 26) and to "single properties or building complexes, blocks and areas, as well as buildings used for equipment" (article 27). The law 457/78 gives a new environmental value to degraded building heritage, because even if it does not always have historical value, recovery and reuse can be an effective alternative to new construction (Pinamonti, 2002). In fact, "recovery encompasses all construction works at all scales and is measured by the need to physically transform, reuse and/or conserve the architectural and built heritage, also its historical value and, consequently, its performance, providing uses and functions that could be largely different from the original ones" (Bradaschia, 2019, p. 12). In this sense, the Italian standard UNI 10914:2001 "Qualification and control of the construction project of new construction and interventions on the built environment" classifies different methods of intervention on the existing heritage according to the resulting performance levels: building maintenance (requirements like the original ones); refurbishment (adaptation to new requirements); recovery (maintaining or increasing the residual requirements). By achieving new levels of performance (refurbishment) or restoring the original ones (maintenance), The recovery intervention is aimed at maintaining or re-using the existing building through a new set of functions allowed by its geometric, structural, and material characteristics. Environmentally, various impacts are accompanied by a prediction of the new spatial requirements of the building (Cangelli, 2020) and the consequent degree of intervention in the building (Addis, 2006) (Fig. 1), because the modification and adaptation of structural, plant or technological elements allows the material and energy resources embedded in the building stock to be enhanced (Baker, 2009; Menzies, 2011; Preservation Green Lab, 2012).

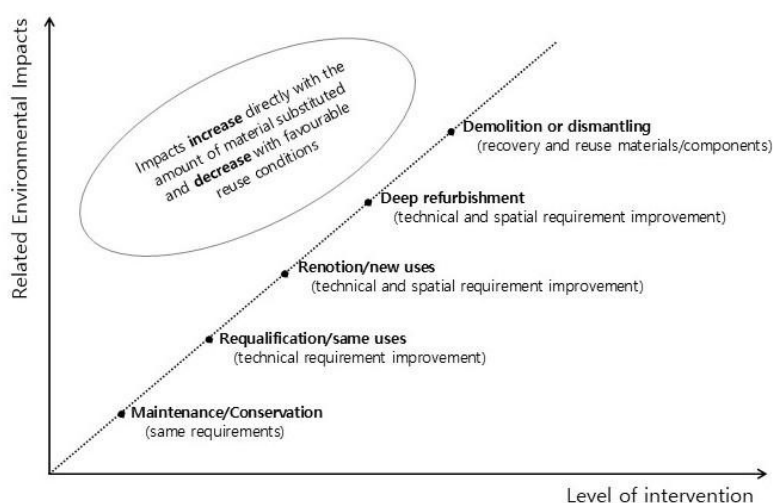


Figure 1. Intervention and related impacts

Source: Authors

On the other hand, also in terms of circular economy, the diversity of the abandoned built heritage and its rapid functional obsolescence (Gasparoli et al., 2006), (Lauria, 2016) due to an increasingly “liquid” social structure (Bauman, 2000), suggest a design approach oriented towards the recovery and flexible reuse of the built heritage we have inherited - historic centres or suburbs, disused industrial areas, railway networks, infrastructures - to meet new uses that may change in a few years. In light of this, the design discipline of reuse has moved towards a transformative/adaptive approach to the built environment, i.e. flexible and reversible transformation/adaptation in line with the concept of “adaptive reuse”. Practiced in the past as an alternative to demolition and new construction (which is more costly in terms of time, energy, and money), and initially experimented on heritage sites of historic value (Shen et al., 2010), adaptive reuse now supports design scenarios at various scales (Arfa et al., 2022), in which the environmental dimension is becoming increasingly important. The building heritage can become a stock of materials and energy that have already been consumed, to be integrated into a system and valorised: reuse and adaptation to new uses make it possible to extend the useful life of the building, limiting the consumption of new resources, energy, and waste. (Andrade et al., 2017; Durmisevic et al., 2017; Merlino, 2018; Schwartz et al. 2018). To this end, a recovery project may require an articulated process of knowledge and data collection on the geometric characteristics, spatial qualities, constructional and material aspects of the artefacts; the knowledge of the state of conservation is also indispensable to define, case-by-case, the transformations, and adaptations to new uses, as well as the potential for reusing pre-existing building elements (Almeida et al., 2018).

In short, it is necessary to know and systematise a large amount of multidimensional data in order to hypothesise possible alternatives aimed at improving the livability of places, the architectural and spatial quality and efficiency (energy and environmental) of buildings, for redefining original forms of settlement in a sustainable urban regeneration key (Misirlisoy et al., 2016). Furthermore, as pointed out by the Council of European Architects in the “Manifesto for Responsible Architecture” (2015) and in the document “The role of architecture in energy efficient construction” (2016), it is necessary to equip designers and practitioners, through education and training in the field, with new tools to analyse, interpret and translate into design actions the emerging instances within a discipline that has undergone major changes in recent decades. All this also because “It is therefore urgent for the EU to focus on how to make our buildings more energy-efficient, less carbon-intensive over their full life-cycle and more sustainable. Applying circularity principles to building renovation will reduce materials-related greenhouse gas emissions for buildings” (EU, COM 2020 662).

3. Methodology: tradition and innovation in the teaching of building recovery

Traditionally, the scientific-disciplinary contents of building restoration concern the analysis of the historical-evolutionary, constructive, functional, typological, and spatial quality aspects of building organisms, supported by the tools for studying and understanding material degradation and structural instability, indispensable for the adoption of feasible design choices on the built heritage. The possible process or product innovations require a preliminary definition of new or pre-existing uses, associated with a requirements-performance framework, through a deep understanding of the residual requirements of building elements based on their state of preservation/deterioration. This cognitive phase is crucial in determining what type of intervention - maintenance or refurbishment - is needed and what better level of performance is achievable, and therefore what the associated environmental impacts are of adapting or improving the existing buildings. An analysis of the geometric, spatial and constructional aspects is therefore required to verify and quantify the residual potential - material and technological performance - on which the design choices depend, to be carefully evaluated on the basis of the technological solutions available.

In terms of didactics, disciplinary content and design practice, innovation seeks to increase the margins of environmental resilience and sustainability as flexible and adaptive reuse for new uses by limiting alterations and associated environmental impacts, valorising pre-existing materials and reducing the production of construction and demolition waste. Disciplinary and teaching innovations are pursued through a series of traditional analytical steps implemented through digital technologies, namely: preliminary knowledge, data collection and advanced digital representation of the building's state of conservation; elaboration of alternatives for use and conservation; critical evaluation of technological alternatives. The available information is systematised through CAD, BIM and 3D Cloud Point Processing applications (De Fino et al., 2019), (De Fino et al., 2016), (Davila Delgado et al., 2020). (Dezen-kempton et al., 2020): this makes it possible to create a digital

twin capable of faithfully reproducing the building being studied, complete with interoperable data on which integrated and scalable design alternatives are proposed and evaluated according to the needs and complexity of the buildings studied (Bruno et al. 2018). By combining this information with data on the embodied energy and environmental impact of the materials used, it is possible to create a comprehensive knowledge scenario in which students, i.e. future designers, can manage the complexity of recovery design according to the objectives of resilience, environmental sustainability and circularity of resources (Monsù Scolaro et al. 2019).

The teaching organization is coherent with several phases that simulate operational reality, i.e: 1) the available data collection (archival, bibliographic and photographic documents; existing CAD graphs) to reconstruct the set of information on the object of interest (single building or built complex), needed to understand previous uses, spatial, constructive and material aspects together with the modifications occurred over the years; 2) geometric survey using traditional and digital tools (photogrammetry and laser scanning) to reproduce a digital model of the artefact, more easily manageable and implementable in the design phase; 3) graphic restitution in virtual environment (VE) using 3D models and 2D graphics, preliminary to the definition of possible Virtual Reality (VR) models that allow Virtual Tours (VT); 4) graphical representation of material decay by superimposing VR models with three-dimensional spherical photographs, easily inspectable and manageable with photo retouching software; 5) materials and residual technological performance of building elements assessment (slabs' resistance; the physical-thermal envelope behaviour; etc.). This phase can be implemented with laboratory tests or investigations *in situ*; 6) definition and selection of design alternatives based on 6.1) alternative uses and technological requirements imposed on the building elements by the regulatory framework; 6.2) evaluation of technological intervention alternatives, from a scale of 1:20 down, quantifying for each detailed solution the original embodied energy, the matter to be eliminated and that to be added to obtain the required technological requirements (in particular, improvement of the structural strength and thermal transmittance of the envelope); 6.3) balance between conserved, reused and new matter and summary evaluation of the impacts expressed in terms of Carbon Energy (CE) and Embodied Energy (EE) according to the most favourable environmental balance; 7) the design choices in traditional and digital formats, both in the BIM environment and superimposed on the Virtual Environment (VE) mentioned in point 3.

4. Results: an integrated knowledge process

Within the academic courses, the methodology has been applied during these years to study the built heritage and simulate project choices, through a knowledge course aimed at real operating conditions. Steps 2 to 4 contribute to the collection of data to create a flow of workable information in a digital environment that is essential to create a database in a GIS environment, which can also be performed in a BIM environment, to systematise knowledge about the existing heritage too often fragmented. This Virtual Environment has been structured to be coherent with each digital content that can be useful for knowledge consolidation. In addition, the collected digital data set can be implemented in a virtual environment, allowing the knowledge of the assets under investigation to be continually updated. Didactically, this results in a knowledge process that cannot be exhausted in a semester course, but can be implemented by students in subsequent courses.

From phase 4 onwards, students can deepen their knowledge of the building both in a traditional graphic environment and in a virtual one, by studying structural, material and decay aspects; moreover, the possibility of carrying out virtual tours (VT) allows them both to learn more about the spatial organisation of the building and to begin to imagine what design alternatives are really feasible. Thanks to the spherical photos, the degradations can be directly applied with photo-simulations in the various rooms of the building and can be investigated by means of VT: this allows the artefact to be known contextually from different points of view, contributing to delimiting the field of design alternatives, conditioned by the actual state of conservation and degradation of building elements and materials. In the following phase 5, the residual technological performance of materials and technical elements is assessed, together with the spatial qualities of the building and its state of conservation, to determine which design choices are practically feasible. This assessment requires a comparison between the physical and mechanical characteristics of the building and the set of

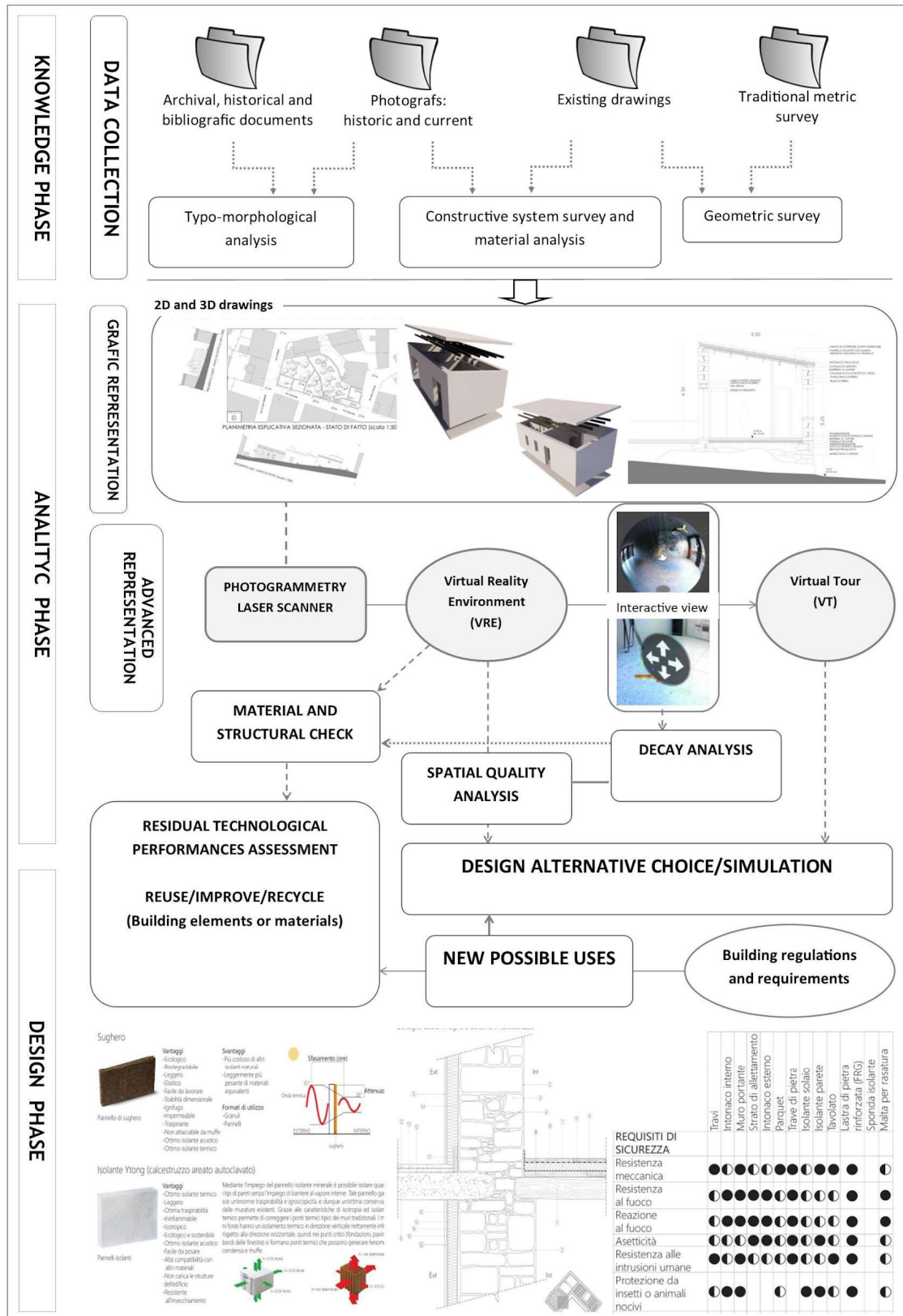


Figure 2. Methodological flow chart
Source: Authors

technological requirements required by the technical regulations, essential to further select the field of possible design alternatives. The students are therefore encouraged to make design choices accordingly to the criterion of minimum intervention, in order to achieve the least possible transformation of the existing artefact, with the aim of: i) limiting the flow of demolition; ii) optimising the existing material (if conservation conditions allow); iii) maximising dismantling for reuse; iv) reducing the flow of incoming material (figure 2).

At the same time, where no alternative is possible, design choices favour demountable technical solutions, consistent with the 'design for dismantling' and 'design for reuse' approaches.

In the sixth phase, the design choices are selected on the basis of the environmental impacts associated with the materials and technological solutions available: each material is matched by both the contribution of embodied energy (expressed in MJ/kg) and CO₂ emissions (expressed in KgCo₂/Kg) associated with the production process: this further selection parameter steers the design choices towards solutions with the lowest material and pollutant emissions. At the same time, by also assigning an embodied energy value to existing materials (generally using the Delft Inventory of Carbon Energy - ICE), it is possible to define a material balance between the amount of existing matter (which can be saved, recovered and reused) and matter that has to be removed because it is subject to decay that makes it unusable; in this case, the possibility of recycling the matter to be removed is assessed. (fig. 3).

variables	Embodied Energy _{originaria} (EE _{orig})	Embodied Energy _{influti} (EE _{inf})	Embodied Energy _{residua} (EE _{res})	Residual technological requirement (RTR)	Residual requirement index (RRI)	Environmental potential (EP)
Definition	Embodied energy in materials and building elements	Embodied energy in materials and building elements to be demolished (degraded)	Residual embodied energy in materials and building elements to be reused	Residual Energy in pre-existing requirement (ETP)	Ratio between new and residual requirements	Ratio between residual requirements and embodied energy
Calculation method	LCI	LCI	EE _{originaria} - EE _{influti}	For each building component	P _{residua} /P _{richiesta}	IPR/EE _{eff}
measurement unit	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	Referred to the building materials layer	%	da 0 a 1
Phase assessment	pre-design	pre-design	pre-design	pre-design	pre-design	pre-design

Figure 3. Environmental parameters
Source: Authors

5. Conclusions

In the wake of the disciplinary tradition, the innovative didactic approaches introduced in recent years are based, aimed at implementing a cognitive and, consequently, operative-design field, to interpret the current and future horizons of building renovation with the objective of guaranteeing the conservation and valorisation of the existing heritage, both of historical and minor value. The didactic innovations have been designed with regard to today's inescapable objectives of valorisation and re-use of the heritage, highlighting its peculiarities, temporal sequences, relationships and characteristic constraints. The traditional knowledge process - archival, historical, surveying and graphical representation - is enriched with digital tools that allow easier management of collected data and more effective design choices to limit environmental impact (environmental dimension) and increase the reuse potential of existing heritage (resilience). Virtual and augmented reality also enable to create an interoperable working environment that facilitates the exchange of information and, especially in the educational sphere, allows the simulation of the working reality in which students will have to work in the future. The continuous implementation of digitally collected data, the virtual tour of places, and thus the possibility of imagining and simulating design alternatives, consciously drives decisions about the conservation and/or transformation of existing buildings, providing adequate information about the condition of the heritage and the values at stake, as well as the environmental impact of design choices.

This approach, born out of the results of research carried out by the authors in recent years, lays the foundations for the construction of a field of knowledge based on numerous data that allow for a better awareness of design choices and configure an operational scenario on the existing heritage that can fulfil the needs of valorisation as an opportunity to mend urban fabrics or as a contribution to reducing the environmental impact of the sector

(EC, 2023): this is now an imperative to train future engineers and architects who are aware of the environmental impact of our design choices.

References

- Addis J. 2006. Buildings adaptation, 2nd edition. Heriot-Watt University, Edinburgh, edited by Elsevier, UK.
- Almeida M, Ferreira F, Barbosa R, 2018. Relevance of Embodied Energy and Carbon Emissions on Assessing Cost Effectiveness in Building Renovation—Contribution from the Analysis of Case Studies in Six European Countries. In *Buildings* 8:103.
- Andrade Joana B, Luís Bragança L, 2017. The Netherlands Extending buildings life cycle: sustainability early design support tool. In *International HISER Conference on Advances in Recycling and Management of Construction and Demolition Waste 21-23 June 2017*, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 105-108.
- Arfa F. H., Zijlstra H., Lubelli B., Quist W., 2022. Adaptive Reuse of Heritage Buildings: From a Literature Review to a Model of Practice. In *The Historic Environment: Policy & Practice*, 13: 148-170.
- AscosiAssociati, Degrado urbano, <https://ascosilasciti.com/it/2022/05/05/degrado-urbano-luoghi-abbandonati-italia-urbex/> last accessed 04/05/2023.
- Baker N.V. 2009. *The Handbook of Sustainable Refurbishment*. Gutenberg Press, Malta.
- Bauman Z, 2000. *Liquid modernity*, Cambridge, UK. (trad. it. di Sergio Minucci, *Modernità liquida*. Roma-Bari 2002.
- Bradaschia M. 2019. *Il riuso dell'architettura*. Edizioni Università di Trieste, Trieste.
- Bruno S., De Fino M., Fatiguso F., 2018. Historic Building Information Modelling: performance assessment for diagnosis-aided information modelling and management. In *Automatic Construction*. 86: 256–276.
- Cangelli E, 2020. *Rigenerazione e Tecnologia. Valutare l'attitudine alla trasformazione*. In AA.VV. *Progettare in vivo la rigenerazione urbana*. Politecnica Maggioli, Rimini.
- COM(2016) 860 final, *Energia pulita per tutti gli europei*, [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/it/TXT/?uri=celex:52016DC0860\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/it/TXT/?uri=celex:52016DC0860(01)) last accessed 20/11/2021.
- COM(2020) 662 final *A Renovation Wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives*, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0662> last accessed 18/02/2022.
- COM(2021) 699 final, *EU Soil Strategy for 2030 Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate*, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0699> last accessed 02/05/2023.
- Davila Delgado J.M., Delgado Davila, J.M., Oyedele L., Demian P., Beach T. 2020. A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction. In *Advanced Engineering Informatics* 45:1-21
- De Fino, M., Galantucci, R.A., Fatiguso, F., 2019. Remote diagnosis and control of heritage architecture by photorealistic digital environments and models. In *SCIRES-IT - Sci. Res. Inf. Technol*, 2:1-16.
- De Fino, M., Sciotti, A., Rubino, R., Fatiguso, F., 2016. Assessment of historic buildings by radar techniques. In *Struct Surv*. 34:73-94.
- Dezen-kempter E., Mezencio D.L., Miranda E.D.E.M., Dias U., 2020. Towards a digital twin for heritage interpretation-from HBIM to AR visualization. In *Proceedings of the 25th CAADRIA Conference*. Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 5-6 August 2020. 2:183-191.
- Durmisevic E., Beurskens Pieter R., Adrosevic R., Westerdijk R., 2017. Systemic view on reuse potential of building elements, components and systems - comprehensive framework for assessing reuse potential of building elements. In *International HISER Conference on Advances in Recycling and Management of*

- Construction and Demolition Waste 21-23 June 2017, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- EC, European Commission 2023. Transition pathway for constructions, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/53854> last accessed 02/05/2023.
- EEA, Report No 17/2021, Land take and land degradation in functional urban areas, <https://www.eea.europa.eu/publications/land-take-and-land-degradation> last accessed 27/04/2023.
- EU, COMMISSION RECOMMENDATION (EU) 2019/786 on building renovation, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019H0786> last accessed 20/02/2023.
- FSI Rapporto di Sostenibilità 2021, https://www.fsitaliane.it/content/dam/fsitaliane/Documents/sostenibilit%C3%A0/2021-rapporto-di-sostenibilit%C3%A0/FS_Rapporto_di_sostenibilit%C3%A0_2021.pdf last accessed 28/04/2023.
- Gasparoli, P., Talamo, C. 2006. Manutenzione e recupero. Criteri, metodi e strategie per l'intervento sul costruito. Alinea, Firenze.
- Hertwich, E., Lifset, R., Pauliuk, S., Heeren, N. 2020. Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. A report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, https://www.resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/resource_efficiency_and_climate_change_full_report.pdf last accessed 15/04/2023.
- IEA 2019. Perspectives for the clean energy transition. The critical role of buildings, https://iea.blob.core.windows.net/assets/026bff1b-821d-48bc-8a0e-7c10280c62bc/Perspectives_for_the_Clean_Energy_Transition_2019.pdf last accessed 10/03/2023.
- ISPRA, Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2022, <https://www.snpambiente.it/2022/07/26/consumo-di-suolo-dinamiche-territoriali-e-servizi-ecosistemici-edizione-2022/> last accessed 10/05/2023.
- Lauria, M. 2016. La permanenza in architettura. Progetto Costruzione Gestione. Gangemi Editore, Roma.
- Legambiente, La-decarbonizzazione-delle-costruzioni, report, <https://www.legambiente.it/>, last accessed 10/05/2023.
- Menzies G.F. 2011. Embodied energy considerations for existing buildings, Research report, Technical Paper 13 of Historic Scotland Research. Heriott-Watt University, Edinburgh, UK
- Merlino K. R., 2018. Building reuse. Sustainability, preservation, and the value of design. University of Washington press, South Korea.
- Misirlisoy D., Günçe K., 2016. Adaptive reuse strategies for heritage buildings: A holistic approach. In Sustainable Cities and Society, 26: 91-98.
- Monsù Scolaro A., Antonini E, 2019. Refurbishment in a life cycle perspective for an eco-oriented public planning. In TEMA 2:57-67.
- Pinamonti C., 2022. I piani e i programmi di recupero urbano, in D. de Pretis (eds by), La pianificazione urbanistica di attuazione. Dal piano particolareggiato ai piani operativi, Università degli Studi di Trento, Trento, pp. 196.
- Preservation Green Lab (2012). The Greenest Building: Quantifying the Environmental Value of Building Reuse, https://living-future.org/wp-content/uploads/2016/11/The_Greenest_Building.pdf last accessed 16/06/2017.
- Shen L. Y, Langston C, 2010. Adaptive reuse potential: an examination of differences between urban and non-urban projects. In Facilities 28(1/2): 6–16.
- Schwartz Y., Raslan R., Mumovic D., 2018. The life cycle carbon footprint of refurbished and new buildings – A systematic review of case studies. In Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81:231–241.

Innovation and digital transformation in teaching to valorize the resilience and environmental potential of the built heritage

United Nations Environment Programme 2019. Emissions Gap Report 2019. UNEP, Nairobi, <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30797/EGR2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y> last accessed 16/04/2023.

Innovación educativa a través de la realidad virtual y el empleo de espacios tridimensionales de origen fotogramétrico en instalaciones vinculadas a la edificación

Segura Valera, J.E.^a, Díaz Guirado, P.A.^b, Martínez Montesinos, F.J.^c y Aledo Guerao, S.^d

^aUCAM Universidad Católica de Murcia jesequera@ucam.edu, ^bUCAM Universidad Católica de Murcia pdiaz@ucam.edu, ^cUCAM Universidad Católica de Murcia fmmontesinos@ucam.edu, ^dUCAM Universidad Católica de Murcia saledo@ucam.edu

Abstract

Virtual reality linked to simulated or realistic models is, perhaps, one of the greatest contributions to learning in university studies in any field. This technology can be considered useful from student training/learning to professional practice.

Technological developments in three-dimensional modelling and virtual reality are providing a platform for new support tools in different fields, including teaching. There are several studies that show that their use increases the attention of the student, makes better use of the available resources and develops the student's capacity for learning and comprehension.

The use of immersive virtual reality places the learner at the centre of his future working environment and allows him to see the details of these spaces, as well as the tools and/or materials with which he will work with. It is, therefore, a visit to these spaces of interest that serves to get to know and initiate him in a particular skill, technique or exploration.

Thanks to the availability of advanced software, the use of free digital platforms for the visualization of 3D models as well as the implementation of low-cost digitization works supported by digital photogrammetry, it is demonstrated how the students of the Grado en Ingeniería de Edificación of the Escuela Politécnica Superior de la Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM) in the subject of Instalaciones de Edificación has achieved a striking project of general interest to the rest of the university community, and which we consider to have an immediate application in practically all the degrees taught at the University level.

Keywords: Formation, Photogrammetry, Virtual Reality, Virtualization

1. Introducción

La realidad virtual nace de forma prometedora en la educación, uno de los ámbitos de uso social más desarrollados, y puede considerarse una forma mejorada de la tradicional formación en formato multimedia. Se trata de un entorno basado en escenas u objetos, de apariencia real, que al interactuar con el consumidor producen la sensación de estar sumido en él a través del casco o gafas de realidad virtual.

Además, como ya indicaron Vera, Ortega y Burgos (2003) es “una simulación tridimensional dinámica en la que el usuario se siente introducido en un ambiente artificial que percibe como real en base a los estímulos de los órganos sensoriales”.

Dado que el profesorado debe promover, en base a lo expuesto, estrategias didácticas para incentivar el interés del alumno y mejorar su aprendizaje, con esta tecnología, se favorece el interés por la resolución de problemas reales y se integran de una forma total los conocimientos adquiridos en las clases teóricas con los criterios más prácticos de las instalaciones de edificación. Con este proceso de enseñanza-aprendizaje donde el alumnado es el protagonista, se contribuye al mejor desarrollo de habilidades, se favorece el desarrollo del pensamiento deductivo (Shelton-Strong, 2017) y se consiguen aprendizajes duraderos y críticos (Margalef, 2005) donde el profesor (Figura. 1) es el nexo de unión que brinda los recursos suficientes a los alumnos y las oportunidades para que éstos sean capaces de relacionar la teoría con la práctica.



Figura 1. PDI UCAM impartiendo clase en un entorno de realidad virtual

Fuente: Elaboración propia (2022)

2. Objetivos

El objetivo general del presente proyecto es reforzar y promover el empleo innovador de la realidad virtual a través de modelos fotorrealísticos generados con técnicas de fotogrametría digital en la docencia de los Grados de la Escuela Politécnica Superior de la UCAM.

Este objetivo se desglosa en una serie de objetivos específicos:

- Estandarizar la integración de entornos de realidad virtual (Figura. 2) para la observación, por inmersión total, en procedimientos, equipos, herramientas y procesos y técnicas constructivas por parte de los estudiantes de los Grados en Arquitectura e Ingeniería de Edificación.

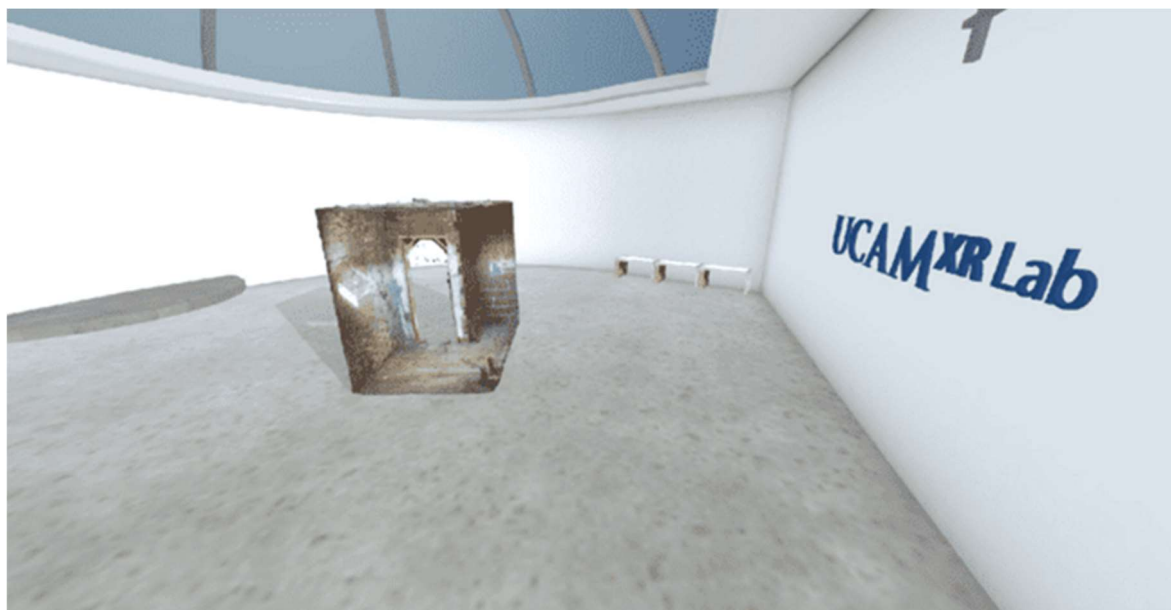


Figura 2. Escenario HUBS con un modelo fotogramétrico

Fuente: Elaboración propia (2022)

- Aplicar esta herramienta como sustituta o alternativa a la metodología de las clases teóricas y prácticas tradicionales para mejorar el aprendizaje académico en las titulaciones técnicas acercando la realidad de la práctica constructiva al estudiante en un entorno eminentemente universitario.
- Fomentar el uso de las herramientas de teletrabajo disponibles en el Campus Virtual de la UCAM para mejorar la motivación del alumnado.

3. Metodología

Los profesores que conforman este equipo de trabajo, en nuestras diferentes ramas de aprendizaje, hemos constatado cómo el alumnado adquiere un mayor conocimiento de los principios constructivos y del uso de los equipos, medios y materiales cuando el enfoque pedagógico es eminentemente práctico. En aras de potenciar esta afirmación, tradicionalmente, el Grado en Arquitectura y Grado en Ingeniería de Edificación de la Escuela Politécnica UCAM han organizado y desarrollado visitas a obra (de diferente naturaleza y en sus diferentes etapas) con el objetivo final de que éstas sirvan para afianzar el aprendizaje teórico impartido en el aula de clase en las lecciones magistrales.

Durante los últimos años, por factores tan determinantes como la crisis en el sector de la construcción o la delicada y repentina situación sanitaria en la que aún nos encontramos, esta metodología que mejora el rendimiento académico de la Politécnica se ha ido reduciendo y ha supuesto un hándicap de difícil solución si nos apoyamos estrictamente en las formas habituales de llevarlas a cabo.

En el presente Proyecto de Innovación Docente, como ya planteó Cabero en 1994, se apunta hacia un sistema de aprendizaje donde las nuevas tecnologías aporten un reto al sistema educativo tradicional y suponga pasar “de un modelo unidireccional de formación, donde por lo general los saberes recaen en el profesor o en su sustituto, el libro de texto, a modelos más abiertos y flexibles, donde la información situada en grandes bases de datos, tiende a ser compartida entre diversos alumnos” (p. 23).

Se impulsará la creación de espacios e instalaciones de edificación recreadas por métodos fotogramétricos coordinadas a distancia con plataformas virtuales propias de la UCAM que potencien el trabajo colaborativo en

grupo, con las metodologías que se impondrán tras las necesarias medidas de protección sanitaria impuestas por el COVID-19.

Con la reciente (mayo de 2021) incorporación de la pestaña de aula RV/AR en la web de la UCAM esta modalidad de proyecto tendrá una incorporación inmediata en asignaturas para alumnos de reciente admisión (de primer y segundo curso) así como para aquellos con conocimientos más afianzados (tercer, cuarto y quinto curso, este último en caso del Grado en Arquitectura). Conseguimos por tanto aprovechar una herramienta dispuesta y facilitada por la UCAM garantizando así la sostenibilidad en el tiempo de la misma y su aprovechamiento real, emplazando así a nuestra Universidad como pionera en esta disciplina.

Esta afirmación se apoya, de inicio, en los resultados obtenidos previamente a nivel profesional (con trabajos fotogramétricos de diferente naturaleza desarrollados desde hace más de 15 años), de otro, en la experiencia docente citada anteriormente ya desarrollada y, por último, en la imprevista y súbita llegada de la enseñanza virtual así como su exponencial incremento en su uso desde la llegada de la pandemia por COVID-19. Esta conjunción de factores nos ha hecho pensar en la aplicación de modelos realistas generados con tecnologías y herramientas de bajo coste como apoyo a la docencia en distintas ramas de la ciencia, comenzando en este primer proyecto por las Instalaciones de Edificación debido a su existencia dentro de los planes de estudio de varios de los Grados de nuestra Escuela Politécnica Superior UCAM.

Podemos resumir estos procesos en la siguiente consecución de actividades:

- Estudio de bibliografía sobre la temática.
- Procesos de ideación y proyecto.
- Planificación de la ejecución de un proyecto.
- Publicación digital de las propuestas.
- La implantación directa de esta metodología inclusiva y digital como herramienta de aprendizaje colaborativo en grupos de alumnos de los Grados en Arquitectura e Ingeniería de Edificación.

Debido a la naturaleza del proyecto, los profesores que forman el equipo integrante del proyecto participarán en todas las fases y tareas establecidas.

El proyecto se ha realizado en las siguientes fases:

1.1 Fase 1 – Diseño y constitución de los prototipos de espacios virtuales (septiembre 2021 – Enero 2022)



Figura 3. Simulación de visita virtual de instalaciones en modelo 3D de resolución fotorrealista
Fuente: Elaboración propia (2022)

El profesorado, con el inicio del proyecto, y a modo de descripción de las sesiones y las actividades desarrolladas seleccionó determinadas instalaciones de edificación vinculadas a redes de fontanería, electricidad, saneamiento, climatización, ventilación u otras que, por sus características funcionales, materialidad o de ejecución/construcción son adecuadas para ser objeto de su virtualización a través de un modelo 3D (Figura. 3).

Llevada a cabo esta etapa de selección, y con un nivel de participación total de los alumnos matriculados activos, se inició el proceso de toma de datos para, por medio de la fotogrametría digital, conseguir espacios virtuales con acabados fotorrealísticos que permitieron al alumnado sumergirse en un espacio tridimensional difícilmente distinguible de la realidad.

En la última etapa de esta fase, estos modelos, se incluyeron en aulas 3D, livianas y con posibilidades didácticas para los profesores basadas en la realidad virtual (pizarras; publicación del material de la asignatura: documentos, URLs, etc; uso de punteros láser; pases de diapositivas; visibilidad y desplazamiento en los tres ejes del espacio, etc).

En otras palabras, todas estas tareas/funciones, desembocaron en la generación de un aula virtual (un espacio dentro de una plataforma online e-learning en la que profesores y alumnos compartieron contenidos y se atendieron consultas, dudas y evaluaciones de los participantes y donde, además, no existen límites físicos o temporales facilitando el acceso en cualquier momento y desde cualquier lugar) involucrando así al alumno y fomentando la interacción. Estas acciones emprendidas en forma de "Aula Virtual" alcanzaron el objetivo de fundar una plataforma versátil que proporciona herramientas que facilitan la docencia presencial/semipresencial/virtual.

En la asignatura de 3º del Grado en Arquitectura, Instalaciones urbanas y de la Edificación I, se formaron 5 equipos formados por entre 2 y 3 alumnos cada grupo.

En la asignatura de 4º del Grado en Arquitectura, Proyectos de Instalaciones urbanas y de la Edificación, se formaron 7 equipos formados por entre 2 y 3 alumnos cada grupo.

Con todo esto, tendríamos el siguiente cronograma (Figura. 4) de proyecto:

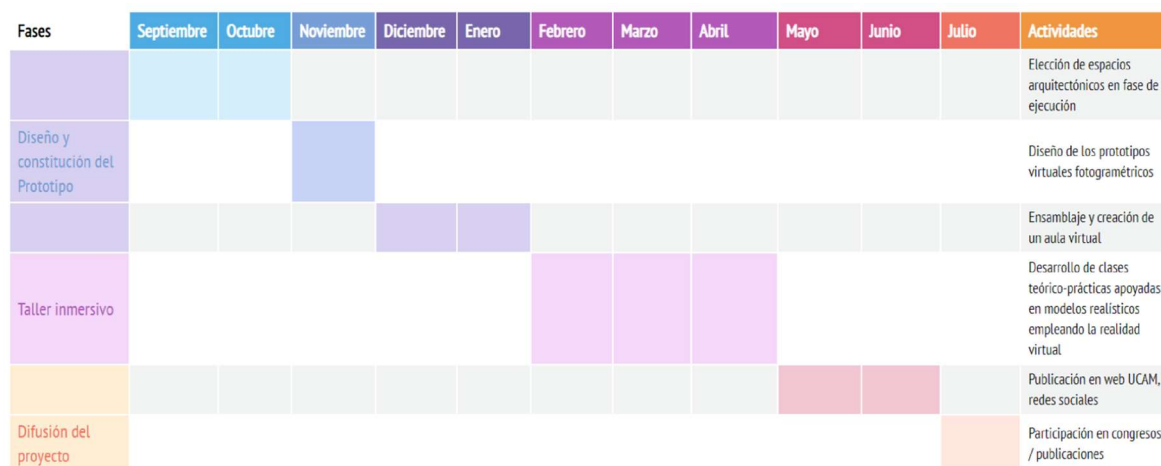


Figura 4. Cronograma de curso académico para el desarrollo del proyecto

Fuente: Elaboración propia (2022)

1.2 Fase 2. Desarrollo de clases inmersivas apoyadas en los modelos fotorrealísticos generados con la fotogrametría digital (Febrero - Abril 2022)

Decididos el/los prototipo(s) generados con la fotogrametría digital y volcados los modelos 3D dentro del aula virtual propuesta en el entorno universitario a través de la herramienta de laboratorio VR/AR de la web UCAM, se realizaron clases tipo taller de visita a instalaciones relacionadas con la edificación que se encuentran en fase de ejecución pero, a diferencia de los desplazamientos tradicionales a obra, estas fueron realizadas dentro de un entorno virtual, seguro, atemporal, accesible y escalable. De esta forma tendremos:

Seguro: Nuestros alumnos y profesorado no requirieron de equipos de protección individual y/o colectivos para salvaguardar su integridad física o la de los operarios/técnicos de obra pues las clases se desarrollaron de forma eminentemente virtual (desde los equipos informáticos de la propia Universidad, los propios de los alumnos, dispositivos móviles -tablets o smartphone- o gafas de realidad virtual).

Atemporal: Pues este tipo de modelos, aun habiéndose generado en fases de ejecución separadas en el tiempo, pudieron visualizarse en el orden y forma en que el docente lo consideró didácticamente más oportuno.

Accesible: Facilitaron la accesibilidad a instalaciones que, en algunos casos, no cuentan aún con los medios físicos adecuados para ser visitadas por personas con movilidad reducida o en zonas de espacio limitado donde, por cuestiones de volumen, habría sido imposible visitar con grandes grupos de alumnos (Figura. 5).



Figura 5. Escenario HUBS con un modelo fotogramétrico

Fuente: Elaboración propia (2022)

Escalable: Pusieron a disposición de profesores y alumnos la facultad de ampliar la escala de aquello que visitamos consiguiendo perspectivas o detalles que, de otra forma, serían imposibles.

1.3 Fase 3. Difusión del proyecto de innovación docente (mayo – julio 2022)

Se realizaron actividades de difusión del proyecto, a lo largo de todo el proceso, mediante el uso de las redes sociales y su publicación en la página web de la UCAM, y se espera ahondar en esta fase con la entrada del siguiente curso escolar coincidiendo con la difusión de los resultados obtenidos con este tipo de docencia en congresos de innovación docente y publicaciones relacionadas.

Por otro lado, el proyecto se presentará en las IV Jornadas de Innovación Educativa de la UCAM. Asimismo, se prevé escribir un artículo científico a publicar en una revista JCR del área de innovación educativa.

4. Resultados

Se plantea un trabajo en grupo entregable en tarea del Campus Virtual que se expone en el Aula VR. El alumnado desarrolla en realidad virtual utilizando el programa Sketchup distintas zonas del edificio propuesto con el trazado de las instalaciones de electricidad e iluminación, fontanería, saneamiento y telecomunicaciones planteadas en un entorno arquitectónico que muestra las instalaciones como parte del diseño interior del edificio (Figura. 6). Experimentan la visita de estos espacios.

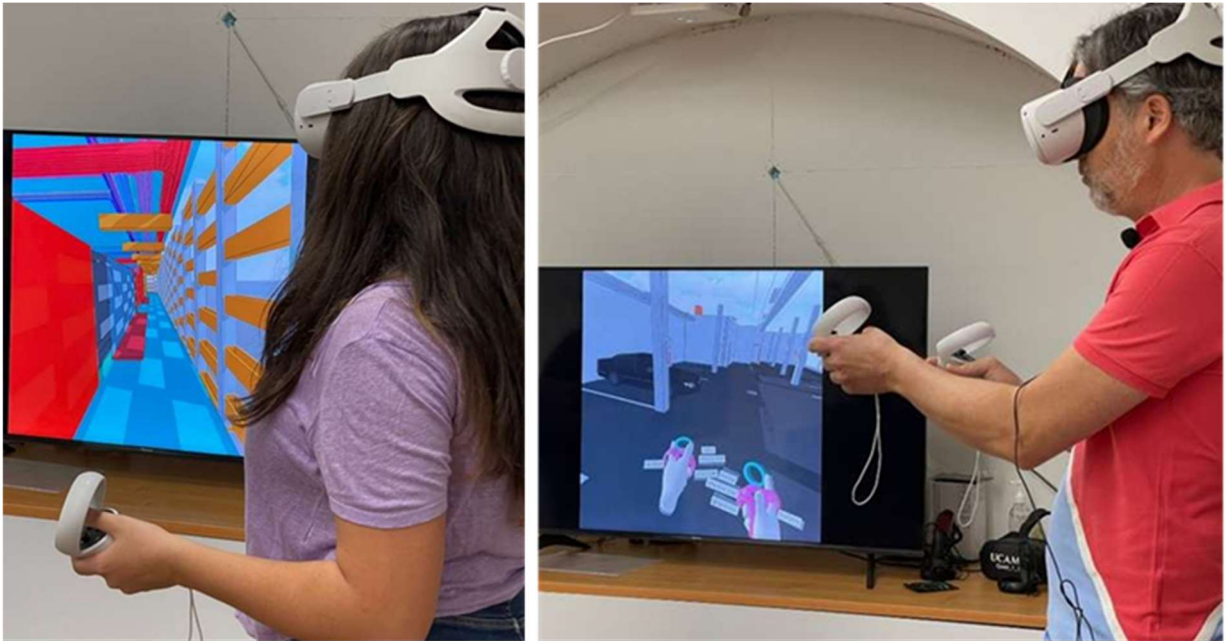


Figura 6. Alumnado experimentando con las gafas VR Oculus Quest 2 los espacios diseñados en el trabajo de grupo de la asignatura de Proyectos de Instalaciones Urbanas y de la Edificación de 4º Curso del Grado en Arquitectura

Fuente: Elaboración propia (2022)

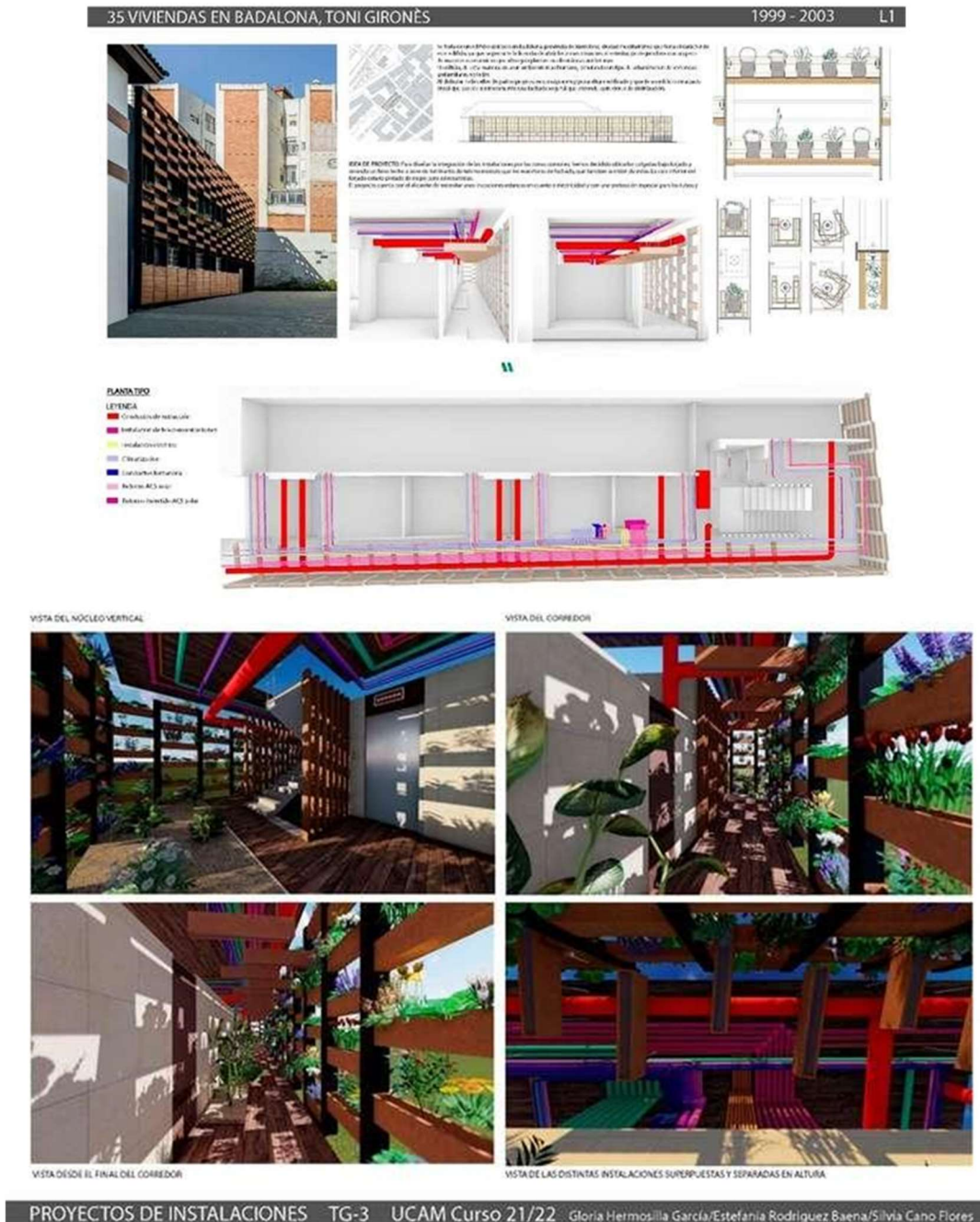


Figura 7. Espacios arquitectónicos con el tendido de las instalaciones vistas diseñados en el trabajo de grupo de la asignatura de Proyectos de Instalaciones Urbanas y de la Edificación de 4º Curso del Grado en Arquitectura

Fuente: Elaboración propia (2022)

5. Conclusiones

- 1- Conseguimos aplicar los entornos de realidad virtual para la observación, por inmersión total, en procedimientos, equipos, herramientas y procesos y técnicas constructivas por parte de los estudiantes de los Grados en Arquitectura e Ingeniería de Edificación.

- 2- La aplicación de la herramienta de VR es una metodología alternativa a las clases prácticas tradicionales presenciales y colaboran a mejorar el aprendizaje académico en las titulaciones técnicas, acercando la realidad de la práctica constructiva al estudiante en un entorno universitario.
- 3- Fomentar el uso de las herramientas de teletrabajo disponibles en el Campus Virtual de la UCAM aumenta la motivación y favorece la participación y aprendizaje del alumnado.

Referencias

- Vera-Ocete, G., Ortega-Carrillo, J. A., & Burgos-González, M. A. (2003). La realidad virtual y sus posibilidades didácticas. *Revista Etic@ net*, (2), 2.
- Salinas, J. (2004). Innovación docente y uso de las TIC en la enseñanza universitaria. *RUSC, Universities & Knowledge Society*.
- Álvarez Rojo, Víctor (2001). La orientación en los centros universitarios como indicador de calidad. *Revista electrónica digital:@gora digital* nº 2.
- Shelton-Strong, S. (2017). From learning styles to learning strategies: fostering the capacity for learner autonomy. *CELE Journal*, (25), 121-160.
- Rodríguez, R. (2004). El proceso de enseñanza-aprendizaje en el contexto universitario. En: Rodríguez, R., Hernández, J, y Fernández, S. *Docencia Universitaria. Orientaciones para la formación del profesorado*. Oviedo, Universidad de Oviedo.
- Zabalza, Miguel Ángel (2004). Guía para la planificación didáctica de la docencia universitaria en el marco del EEES. Documento de trabajo.
- Vázquez Rodríguez, J., Otero-Chans, D., Estévez-Cimadevila J. (2016). Incorporación de herramientas paramétricas para la generación y análisis del modelo virtual del edificio en la formación de los estudiantes de Arquitectura. *Spanish Journal of Building Information Modeling*, nº 16, 22-27.
- Margalef García, Leonor. (2005). Innovar desde dentro: transformar la enseñanza más allá de la convergencia europea. *Revista Iberoamericana de Educación*, vol. 37, núm. 3: 1-13.
- Cabero Almenara, Julio. (1994). Nuevas tecnologías, comunicación y educación. *Revista Comunicar*, núm. 3: 14-25.

Experiencia en los Proyectos de Innovación Docente implantados en la Escuela Politécnica de la Universidad Católica de Murcia

Rosa Roca, N.^a, González Ponce, E.^b, Galiana Agulló, M. ^c y Martínez Montesinos, F.J.^d

^aUCAM Universidad Católica de Murcia nrosa@ucam.edu, ^bUCAM Universidad Católica de Murcia egonzalez@ucam.edu, ^cUCAM Universidad Católica de Murcia mgaliana@ucam.edu, ^dUCAM Universidad Católica de Murcia fmmontesinos@ucam.edu

Resumen

En los últimos años, desde la Escuela Politécnica de la Universidad Católica de Murcia, en concreto desde los Grados de Ingeniería de Edificación y de Arquitectura, hemos apostado por la mejora de la Calidad de la enseñanza implantando diversos proyectos de innovación docente (PID) dentro de algunas de nuestras asignaturas. La mayoría parten de la transformación digital de la docencia, que marca un antes y un después en los métodos de enseñanza magistral hasta ahora conocidos.

Los PID desarrollados y sobre los que versa esta comunicación, son “Uso de las TIC para la mejora de la enseñanza de las Ciencias Básicas en la Ingeniería y la Arquitectura”, “Taller docente de observación, toma de datos y análisis de las características sociales y constructivas de las edificaciones demolidas tras el sismo de Lorca de 2011”, “Enseñanza de las construcciones arquitectónicas mediante el dibujo a mano digitalizado: elaboración de detalles constructivos con tableta gráfica”, “Aprendizaje colaborativo basado en problemas: protocolos de adecuación de los espacios comunes en edificios de residencia colectiva”, “Desarrollo de técnicas de implicación mediante la participación de los alumnos en concursos ofertados por empresas del sector de la construcción”, e “Innovación educativa a través de la realidad virtual y el empleo de espacios tridimensionales de origen fotogramétrico en instalaciones vinculadas a la edificación”.

Con esta comunicación queremos transmitir nuestra experiencia en la implantación de estos proyectos de innovación docente en nuestras carreras técnicas y así poder ser una fuente de información y de guía para otras universidades que quieran mejorar su modelo de enseñanza tradicional.

Keywords: Proyectos de Innovación Docente, Innovación en carreras técnicas, Transformación Digital de la docencia

1. Introducción

Desde la Escuela Politécnica de la Universidad Católica de Murcia (a partir de ahora UCAM) siempre se ha apostado por la mejora e innovación en la enseñanza, por eso en los últimos años desde los Grados de Arquitectura e Ingeniería de la Edificación se han desarrollado diversos Proyectos de Innovación Docente (a partir de ahora PID). Los más destacables aparecen en la Tabla 1, aunque vamos a mostrar los resultados obtenidos de los que han sido implantados desde el curso académico 2019 hasta el curso 2021.

La mayoría de estos PID tienen como objetivo, la búsqueda de la transformación digital de la docencia, que cambia la hasta ahora conocida como enseñanza magistral, vamos a centrar esta comunicación en la experiencia obtenida tras la implantación de estos PID en nuestra Escuela.

Tabla 1. Proyectos de Innovación Docente Escuela Politécnica UCAM

Código PID UCAM	Curso de Implantación	Investigador principal	Título
PID-12-15	2015-2016	Dra. Dña. Carmen Carazo Díaz	Uso de las TIC para la mejora de la enseñanza de las Ciencias Básicas en la Ingeniería y la Arquitectura
PID-19-15	2015-2016	Dr. D. Juan Roldán Ruiz	Taller docente de observación, toma de datos y análisis de las características sociales y constructivas de las edificaciones demolidas tras el sismo de Lorca de 2011
PID-07-19	2019-2020	Dra. Dña. Mercedes Galiana Agulló	Enseñanza de las construcciones arquitectónicas mediante el dibujo a mano digitalizado: elaboración de detalles constructivos con tableta gráfica
PID-01-20	2020-2021	Dra. Dña. Mercedes Galiana Agulló	Aprendizaje colaborativo basado en problemas: protocolos de adecuación de los espacios comunes en edificios de residencia colectiva
PID-12-20	2021-2022	Dra. Dña. Nuria Rosa Roca	Desarrollo de técnicas de implicación mediante la participación de los alumnos en concursos ofertados por empresas del sector de la construcción
PID-01-21	2021-2022	Dr. D. José Enrique Segura Valera	Innovación educativa a través de la realidad virtual y el empleo de espacios tridimensionales de origen fotogramétrico en instalaciones vinculadas a la edificación

Además, es importante destacar que el seguimiento de las innovaciones en las asignaturas de las titulaciones de grado en enseñanzas técnicas es una cuestión básica, ya que debe servir para la toma de medidas correctoras y la mejora continua del profesorado (Gilbert I., 2005).

2. Objetivos

Compartir con compañeros de otras universidades la experiencia obtenida en los los Proyectos de Innovación Docente trabajados en la UCAM.

Buscar la mejora de la enseñanza utilizando métodos que partan de la transformación digital.

Investigar para buscar la motivación de los alumnos de Carreras Técnicas y así poder incrementar la asistencia a clases prácticas.

“Promover el trabajo autónomo, y que favorezca la participación activa y reflexiva. Cuestión que sin duda favorecerá posteriormente su inserción laboral” (Spariani S, et. al, 2018).

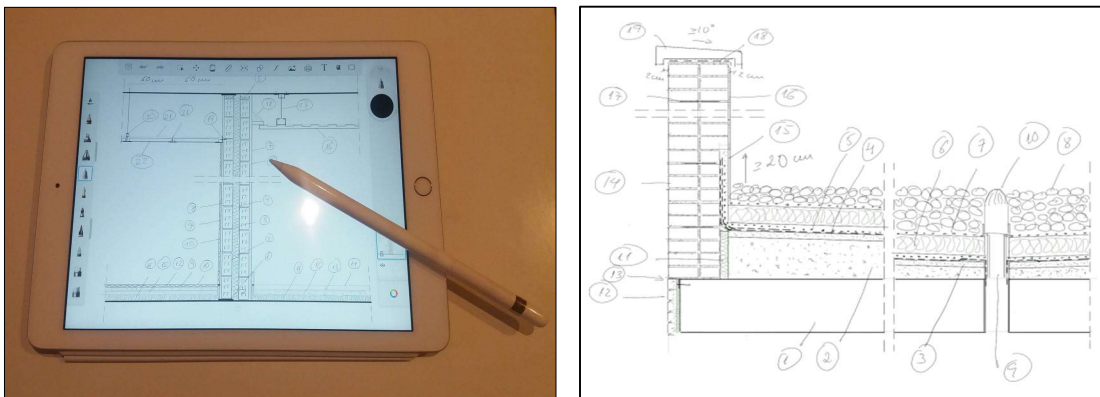
3. Metodología

Se hace un estudio de todos los PID solicitados desde la Escuela Politécnica de la UCAM, entre los cursos 2019-2020 y 2021-2022, analizando las metodologías utilizadas y los resultados obtenidos.

4. Resultados

4.1. PID Enseñanza de las construcciones arquitectónicas mediante el dibujo a mano digitalizado: elaboración de detalles constructivos con tableta gráfica

Tras el uso de una tableta gráfica (ver Figura 1) con un bolígrafo digital tanto para profesores, como para estudiantes en las asignaturas de la rama de Construcción (Grados de Ingeniería de Edificación y Arquitectura) y un proyector (en la actualidad pizarra digital) con conexión a internet desde el aula, los alumnos cambian el papel por las nuevas tecnologías para el desarrollo de detalles constructivos de edificación (ver Figura 2).



Figuras 1 y 2. Tableta gráfica y detalle constructivo con la misma
Fuente: Autores (2020)

Los resultados obtenidos para docentes y estudiantes son los siguientes:

- La experiencia para profesores ha sido muy satisfactoria, es una herramienta cómoda, mejora la calidad del dibujo obtenido ya que la calidad es superior al de mano alzada por métodos tradicionales, sistema de almacenamiento digital y mejora la visualización durante la elaboración de la práctica en clase debido a la calidad de la imagen.
- Gracias a esta metodología se pudieron dar las clases con normal desarrollo durante la pandemia por COVID-19, ya que las clases eran por videoconferencia con la herramienta del Campus Virtual.
- Los alumnos mejoraron sus calificaciones principalmente en la parte práctica de los exámenes y adquirieron competencias en el uso de herramientas digitales compatibles con el dibujo a mano alzada, para poder utilizar en su futuro profesional.

4.2. PID Aprendizaje colaborativo basado en problemas: protocolos de adecuación de los espacios comunes en edificios de residencia colectiva

Los alumnos de Matemáticas Aplicadas (Grados de Arquitectura e Ingeniería de Edificación), Dibujo Arquitectónico (Grado en Arquitectura), Expresión Gráfica en la Edificación II (Grado en Ingeniería de Edificación), Construcción Arquitectónica II (Grado en Arquitectura) y Construcción IV (Grado en Ingeniería de Edificación) desarrollaron dentro de los trabajos de sus asignaturas el análisis de un problema real que partía de la época COVID, tanto rellenando y colaborando en la difusión de una encuesta digital (ver Figura 3), desarrollada previamente por los profesores implicados, llevando a cabo un análisis estadístico mediante medios digitales como desarrollando diseño y realización de maquetas digitales.

“Para ello, se empleó una metodología docente que aúna dos sistemas pedagógicos de eficacia contrastada a nivel universitario: el aprendizaje basado en problemas (ABP) y el aprendizaje colaborativo. Consiste en elegir un problema a plantear a un grupo de estudiantes que compongan un grupo heterogéneo, capaz de conformar un equipo multidisciplinar de trabajo, perteneciente a distintas asignaturas, materias, cursos e incluso grados” (Galiana; et al., 2022).

Proyecto de Investigación Escuela Politécnica UCAM: Comunidades de Propietarios COVID'19

Estimad@ciudadan@,

El impacto de la situación sobrevenida por la COVID'19 ha dejado en evidencia las carencias que nuestras viviendas y edificios tienen a la hora de dar una respuesta adecuada a una situación de confinamiento y crisis sanitaria. Entre las deficiencias detectadas, nos centramos en el estudio de las que afectan a los espacios comunes, zonas semiprivadas de los edificios y espacios de relación entre los vecinos.

Con el fin de determinar los criterios de adaptación de estos espacios comunes para garantizar la seguridad de los usuarios de estos edificios y mejorar su calidad de vida, aumentando las áreas de uso privativo al aire libre, requerimos su colaboración cumplimentando este formulario.

Gracias de antemano por su colaboración.

Un cordial saludo

1. Indique la zona de la Región en la que está situada su vivienda habitual (según comarcas agrarias y municipios de la Región)

- A) Altiplano (Yecla, Jumilla, Abanilla y Fortuna)
- B) Noroeste (Moratalla, Caravaca de la Cruz, Cehegín y Bullas)
- C) Río Mula (Mula, Pliego, Albudeite y Campos del Río)
- D) Vega del Segura (Murcia, Beniel, Santomera, Alcantarilla, Molina de Segura, Las Torres de Cotillas, Alg...
- E) Valle del Guadalentín (Lorca, Puerto Lumbreras, Águilas, Mazarrón, Totana, Aledo, Alhama de Murcia y...
- F) Campo de Cartagena (Fuente Álamo, Cartagena, La Unión, Torre Pacheco, San Javier, San Pedro del Pl...

Figura 3. Principio de la encuesta digital difundida por profesores y alumnos

Fuente: autores (2021)

Los resultados obtenidos para docentes y estudiantes son los siguientes:

- La experiencia para docentes fue buena, ya que pudieron introducir en sus asignaturas casos prácticos reales de motivación para sus alumnos. Además de la propia motivación personal de mejorar y adecuar los espacios comunes de edificios de residencia colectiva.
- Los trabajos realizados despertaron gran interés entre los estudiantes ya que eran casos reales para obtener mejoras en edificios futuros ante una posible pandemia en años venideros.
- El alumnado demuestra un alto nivel de responsabilidad y compromiso, con una alta participación, ya que el 90% de los alumnos matriculados presentó su trabajo en la convocatoria ordinaria.

4.3. PID Desarrollo de técnicas de implicación mediante la participación de los alumnos en concursos ofertados por empresas del sector de la construcción

Los alumnos de la asignatura de Patología en la Edificación común a los Grados de Ingeniería de Edificación y Arquitectura participaron en un Concurso Nacional de una empresa de materiales (ver Figura 4), el concurso estaba relacionado directamente con los objetivos docentes ya que estaba relacionado con la rehabilitación energética. Crearon archivos digitales de la memoria constructiva de su propuesta de reparación de fachadas de edificios existentes, con análisis de daños, propuestas de reparación etc..., y además lo materializaron en maquetas de cartón pluma utilizando los materiales de construcción reales suministrados por la empresa.



Figura 4. Alumnos de la asignatura con sus Maquetas presentadas al Concurso
Fuente: autores (2022)

Los resultados obtenidos para profesores y el alumnado son los que siguen:

- Los resultados obtenidos fueron muy buenos, se cumplieron los objetivos propuestos. Mejoró la asistencia a clase al estar motivados por el concurso.
- El % de participación en el trabajo fué del 81,75% en la Convocatoria final de Junio, superior a la del curso 20-21 que fué de un 77,77%. Las calificaciones también fueron superiores a las del 20-21.
- Cinco grupos de alumnos se presentaron al concurso del grupo Puma y uno de los grupos resultó ser el ganador.
- El 19 de mayo de 2022 en Córdoba se llevó a cabo el fallo del Jurado del VIII Concurso de “Rehabilitación Energética” organizado por la empresa de materiales Grupo Puma en el que participaron Escuelas de Arquitectura a nivel nacional. Nuestro Grado en Arquitectura presentó 5 trabajos de parte de los alumnos de Patología de la Edificación de cuarto curso. El primer premio se lo llevó la UCAM, el segundo la Universidad Politécnica de Sevilla y el tercero la Universidad Politécnica de Valladolid (ver Figura 5).



Figura 5. Maquetas ganadoras del Concurso Grupo Puma
Fuente: autores (2022)

4.4. PID Innovación educativa a través de la realidad virtual y el empleo de espacios tridimensionales de origen fotogramétrico en instalaciones vinculadas a la edificación

En las asignaturas de Instalaciones de los Grados de Ingeniería de Edificación y Arquitectura se utilizaron las gafas de realidad virtual tanto para ver obras reales como para desarrollar trabajos de diseño y constitución de prototipos de espacios virtuales (ver Figura 6).

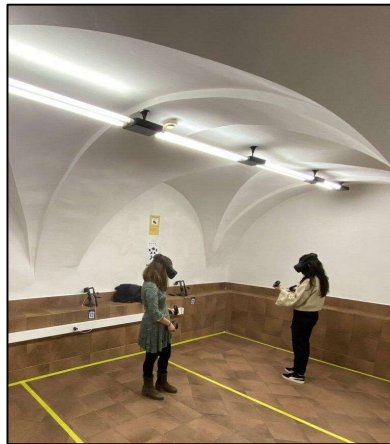


Figura 6. Alumnas en el laboratorio VR/AR de la UCAM
Fuente: autores (2022)

Estos fueron los resultados obtenidos:

- Tanto profesores como alumnos, pudieron usar y practicar con la realidad virtual, una de las grandes contribuciones futuras aplicadas al aprendizaje en los estudios universitarios de cualquier rama de conocimiento.
- Mejoró la motivación de los alumnos, que fue reflejada en el incremento en la asistencia a las clases prácticas.
- Los alumnos cogieron destreza en el manejo de los sistemas de realidad virtual, así como de las herramientas y materiales con los que se trabaja.

5. Conclusiones

Se han cumplido los objetivos propuestos con estas nuevas metodologías, obteniendo muy buenos resultados tanto en la participación del alumnado, como en la motivación por conocer nuevas técnicas digitales y ponerlas en práctica, así como los resultados académicos conseguidos en las calificaciones de sus trabajos.

Esta metodología podría aplicarse a otras asignaturas o materias, tanto dentro de la propia universidad, como en otras Escuelas Politécnicas.

También se estima acertado la divulgación de esta metodología para que pueda ser aplicada por otros docentes en otras disciplinas de enseñanza.

Por tanto, se considera interesante hacer el esfuerzo de implantar en un futuro nuevos proyectos de innovación docente que mejoren tanto el aprendizaje colaborativo como la destreza en el manejo de herramientas digitales.

Referencias

- Galiana M. et al., 2022. Aprendizaje Basado en Problemas + Aprendizaje Colaborativo en la enseñanza de Arquitectura y Edificación. *Revista de Innovación y buenas Prácticas Docentes*, 11 (1), 108-127.
- Gilbert I., 2005. *Motivar para aprender en el aula. Las siete claves de la motivación escolar*. Barcelona: Paidós Ibérica, S.A.
- Spairani S. et al., 2018. Refuerzo y motivación del alumnado de carreras técnicas potenciando su participación en concursos. Experiencia con el Grupo Puma. *Redes de Investigación en Docencia Universitaria*. Universidad de Alicante. Volumen 2018, 429-440.

Estrategias de coordinación en el Grado en Edificación. Experiencias de innovación docente.

León Muñoz, Miguel ^a, López Rosa, Sheila ^b, García Soria, M^a del Valle ^c y Chaza Chimeno, Rosario ^d

^a Departamento de Construcciones Arquitectónicas II, Universidad de Sevilla, ETSIE, Avda. Reina Mercedes, 4, 41012, Sevilla, miguelleon@us.es, ^b Departamento de Física Aplicada II, Universidad de Sevilla, ETSIE, Avda. Reina Mercedes, 4, 41012, Sevilla, slopezrosa@us.es, ^c Departamento de Expresión Gráfica e Ingeniería en la Edificación, Universidad de Sevilla, ETSIE, Avda. Reina Mercedes, 4, 41012, Sevilla, vgs@us.es, ^d Departamento de Expresión Gráfica e Ingeniería en la Edificación, Universidad de Sevilla, ETSIE, Avda. Reina Mercedes, 4, 41012, Sevilla, chaza@us.es

Abstract

During 2021-2022 and 2022-2023, two teaching innovation projects were carried out at the ETSIE of the University of Seville. The first project, "Quality in higher education: teaching coordination for the Bachelor's Degree in Building", analysed the state of the degree in terms of coordination, looking for deficiencies and possible proposals for improvement. Meetings were held with graduates, student surveys were carried out, and a first attempt was made to draw up a calendar of assessment activities. In the second, "Horizontal and vertical coordination strategies for the Bachelor's Degree in Building", the work started was continued, automating the preparation of the calendar by means of a web application so that the dates of the assessment activities could be coordinated (avoiding overloading the students). Different questionnaires were passed throughout the course in order to obtain real data regarding the dedication of non-face-to-face hours that students dedicate to each subject, as well as their opinion about the temporal development of the subjects.

The web application generated is the means for gathering information on the different assessment activities carried out in a course; it is on this that the overlaps and coincidences of these activities are detected; the mechanisms for horizontal coordination are also applied, as well as the proposals for improvement and optimisation actions. As a result of this coordination, the web application itself provides, as output, a calendar that illustrates in a general way by course and group all the assessment activities of each of the subjects. This calendar can also be obtained personally by each student, indicating the group and subjects for which he/she is going to enrol.

Keywords: Coordination and teaching innovation; Actual student workload; Common calendar of assessment activities.

1. Introducción

Motivados por conocer la situación real en la que se encuentra el título del Grado en Edificación de la Universidad de Sevilla en lo que a coordinación docente se refiere, durante los dos últimos cursos 2021-2022 y 2022-2023, se han llevado a cabo sendos proyectos de innovación docente dentro del marco del III y IV Plan Propio de Docencia de la Universidad de Sevilla (III Plan Propio Universidad de Sevilla, 2023; III Plan Propio Universidad de Sevilla, 2023). Estos proyectos se concibieron como un proceso de recogida y análisis de información relevante que permitiese realizar una mejor coordinación docente de futuros cursos académicos, especialmente de cara a alcanzar una óptima adquisición de las competencias y conocimientos contenidos en el Plan de Estudios.

Para conseguir una docencia de calidad es importante realizar un trabajo conjunto del profesorado, actuar como un equipo docente, llevando a cabo acciones colaborativas de organización en la enseñanza y evaluación. Esta es la única forma de conseguir los estándares de calidad que imponen las directrices del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) y que están de acuerdo con el Sistema de Garantía Interna de Calidad (SGIC) de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, en adelante ETSIE, (Sistema de Garantía Interna de Calidad [SGIC], 2023). Para ello es necesario implantar acciones académicas de coordinación vertical y horizontal en los diferentes títulos (García Martín, 2015). La finalidad de estas acciones es conseguir que se cumplan de la forma más satisfactoria posible todas las condiciones exigidas en la memoria de verificación de las titulaciones. Todo esto se puso de manifiesto en el informe provisional que la DEVA elaboró durante el proceso de renovación de la acreditación del Título durante el curso 2021-2022, donde en el en el criterio 4 se decía lo siguiente: *Se recomienda poner en marcha los criterios de coordinación vertical y horizontal y formalizar las conclusiones cada año de forma documental (por ejemplo, a través de calendarios de actividades formativas y de evaluación continua, actas o acuerdos de reuniones, etc)*. Estas necesidades, que fueron detectadas por evaluadores externos, condujeron a la Dirección del Centro a continuar trabajando en esta línea, hecho que sirvió como evidencia para las alegaciones a este último informe provisional de la DEVA para la renovación de la acreditación del título, conseguida en junio de 2022.

Tal y como se ha comentado anteriormente, para conseguir una docencia de calidad es indispensable el trabajo conjunto del profesorado. Por ello, es necesario que la coordinación horizontal y vertical quede plasmada en un documento que permita al PDI, PAS y estudiante de este Centro mejorar la calidad docente del mismo. Estos proyectos de innovación pretenden servir de base para la elaboración de un futuro Plan de Coordinación de la Docencia del Grado que perdure durante los cursos venideros.

En esta comunicación queremos presentar una visión general de la experiencia llevada a cabo durante estos dos últimos cursos en la ETSIE de Sevilla, así como una muestra de los resultados e información obtenidos en los proyectos de innovación.

2. Objetivos

El Plan de Estudios del Grado en Edificación que se imparte en la Universidad de Sevilla, se sustenta en un proceso de enseñanza-aprendizaje por competencias, por lo que los objetivos de la coordinación deberán enfocarse al establecimiento de cuándo y cómo se va a llevar a cabo la adquisición de las mismas, tanto en el caso de las competencias generales y transversales del Título, como las específicas de cada materia. En este sentido, los Equipos Docentes del Grado, serán los últimos responsables de la consecución de la adquisición de estas competencias y conocimientos, de acuerdo a los objetivos propuestos en el Plan de Estudios.

Aunque la Universidad de Sevilla, a través de su Sistema de garantía de Calidad (SGCI) y el Reglamento General de Actividades Docentes, así como el sistema propio de calidad del Centro, tiene reguladas algunas funciones de coordinación y procedimientos de gestión de la docencia, parece oportuno establecer mecanismos más concretos, en función del Título de referencia, y hacerlo en las dos direcciones comentadas: en un sentido vertical, para comprobar que no se producen lagunas ni solapes en los contenidos y competencias de las asignaturas del plan de estudios; y en un sentido horizontal, entre asignaturas de un mismo curso, para contrastar que su secuencia es la adecuada. Partiendo de esta base, los objetivos que en cuanto a coordinación del Grado se plantearon fueron los siguientes:

- Nueva estrategia de coordinación del Título, con el objetivo de coordinar el conjunto de actividades y la programación de las enseñanzas para conseguir la adecuada impartición del Título del mismo y facilitar su seguimiento. Es importante que no se repitan conocimientos ni existan lagunas o carencias que impidan a los estudiantes alcanzar los objetivos del Plan de Estudios.
- Nueva estrategia de coordinación de Curso (Consejo de coordinación), con un objetivo básico de coordinación horizontal, para:
 - (i) asegurar que no se repitan conocimientos ni existan lagunas o carencias que impidan a los estudiantes alcanzar los objetivos del Plan de Estudios,
 - (ii) establecer por primera vez, un calendario común de actividades de evaluación por cada grupo y curso de la titulación, de forma que se intente evitar, en la medida de lo posible, el solapamiento en fechas concretas de varias actividades de diferentes asignaturas de un mismo curso.
 - (iii) equilibrar la carga real de trabajo de los estudiantes exigido por las diferentes asignaturas dentro de un mismo curso y cuatrimestre, de forma que se ajuste a lo establecido en el crédito ECTs (García Martín A., 2014).
- Una coordinación de materias, coordinación vertical, para aquellos casos de contenidos interrelacionados que se desarrollan a lo largo de diferentes cursos o niveles.
- Una coordinación de asignaturas, para que el profesorado adscrito a las mismas se coordine a la hora de planificar actividades, impartir la docencia o poner a disposición de los estudiantes los contenidos docentes elaborados.

En la Sección 3. Metodología se detallarán las acciones que se han llevado a cabo durante el desarrollo de los proyectos para conseguir esta coordinación a diferentes niveles. Teniendo como uno de los objetivos principales el de concretar y materializar un protocolo de coordinación de Centro, es decir, elaborar un calendario de actuación a seguir durante los cursos venideros que sirva como mecanismo de coordinación entre las diferentes asignaturas de la titulación.

3. Metodología

En el primer proyecto llevado a cabo durante el curso 2021-2022, titulado “La calidad en la enseñanza superior: coordinación docente para el Grado en Edificación”, se analizó el estado en el que se encontraba la titulación en lo que a coordinación se refería, buscando las deficiencias y las posibles propuestas de mejora. Se realizaron reuniones con egresados, encuestas al alumnado, y un primer intento de elaboración de un calendario de actividades de evaluación.

Para todo lo anterior, se crearon tres subgrupos de trabajo entre los miembros del profesorado participante en el proyecto (formado por un promedio de cuatro integrantes), de forma que cada uno de ellos se encargase de llevar hacia delante el grueso de la tarea de cada uno de los grandes objetivos del proyecto. Todos los avances que se fueron realizando y la información obtenida, se fue analizando en reuniones periódicas de todo el equipo del proyecto. Las tareas realizadas por los diferentes subgrupos fueron:

- Subgrupo 1: encargado de establecer contacto con alumnos egresados que terminaron la titulación en cuatro años con el fin de recabar información y conocer su opinión acerca de la coordinación o falta de ella que se produce entre las diferentes asignaturas, la temporalidad de las mismas, etc.
- Subgrupo 2: encargado de recopilar la información entre el profesorado y elaborar los calendarios comunes de actividades de evaluación.
- Subgrupo 3: encargado de diseñar y realizar las encuestas online al alumnado durante el curso académico.

Durante el curso 2022-2023, se desarrolló el proyecto denominado “Estrategias de coordinación horizontal y vertical para el Grado en Edificación”, donde se continuó con el trabajo iniciado, automatizando mediante una aplicación web la elaboración del calendario de actividades de evaluación, de forma que se pudiesen coordinar las fechas de las mismas (evitando sobrecargar al alumnado). Por otro lado, se pasaron diferentes cuestionarios al alumnado a lo largo del curso con el fin de obtener datos reales en cuanto a la dedicación de horas no

presenciales que dedicaban a cada asignatura, así como su opinión acerca del desarrollo temporal de las mismas.

Al igual que en el primer proyecto, se establecieron tres subgrupos de trabajo, cuyas tareas consistieron en:

- Subgrupo 1: encargado de comenzar a definir esquemáticamente el procedimiento de coordinación que podría implantarse en futuros cursos académicos en el Centro.
- Subgrupo 2: encargado del desarrollo de una aplicación web para automatizar la elaboración de calendarios comunes de actividades de evaluación para cada curso y grupo de la titulación.
- Subgrupo 3: encargado de diseñar y realizar encuestas presenciales al alumnado durante el curso académico.

Todos los avances que se fueron realizando y la información obtenida, se fue analizando en reuniones periódicas de todo el equipo del proyecto.

4. Resultados

Siguiendo el esquema propuesto en la metodología en cuanto a los subgrupos creados dentro de cada uno de los proyectos, procedemos a enumerar las principales acciones llevadas a cabo en cada uno de ellos:

4.1. Proyecto “La calidad en la enseñanza superior: coordinación docente para el Grado en Edificación”, desarrollado durante el curso 2021-2022 en la ETSIE (Universidad de Sevilla).

En el trabajo desarrollado con el alumnado egresado, donde se mantuvo contacto con un total de 11 alumnos/as que finalizaron la titulación en los cuatro años previstos en la memoria de verificación del título, se establecieron distintos puntos de encuentro de donde se obtuvo diferente tipo de información:

- La obtenida mediante un cuestionario acerca de su opinión sobre la calidad y la formación recibida, y su manera de enfrentarse al estudio individual durante los cuatro años del Grado. En ella dieron lo que a su modo de ver son las claves para superar la titulación en cuatro cursos académicos: presencialidad, estudio diario, aprobar por parciales y/o evaluación continua y, llevar al día todos los trabajos y entregas, así como formar un buen equipo de trabajo con los compañeros.
- Una propuesta de redistribución de algunas de las asignaturas del Grado, modificando el curso y cuatrimestre en el que se impartirían (Figura 1), así como la propuesta de una serie de asignaturas optativas para complementar las ya existentes.

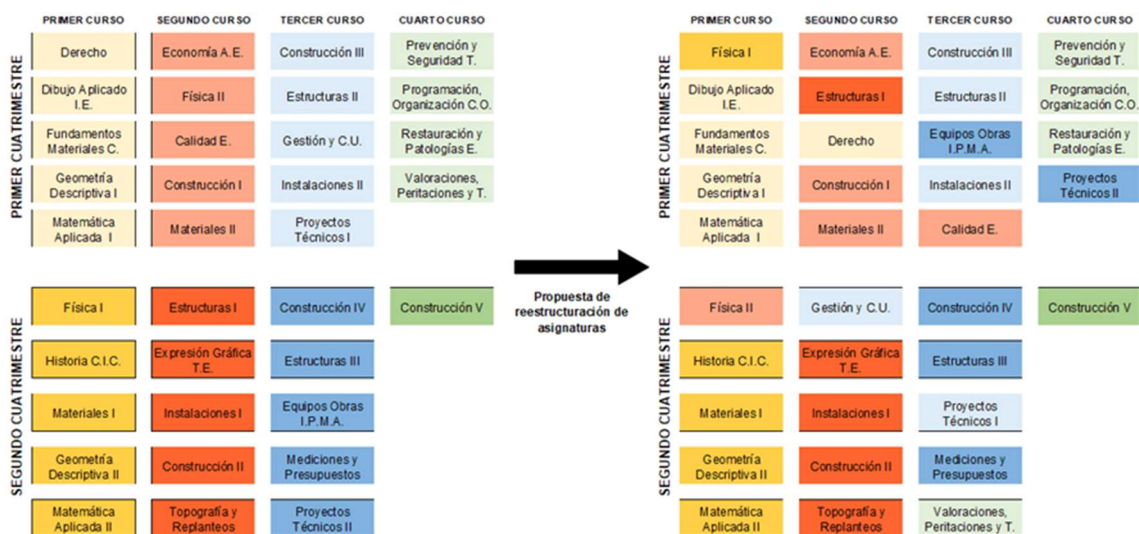


Figura 1. Propuesta de modificación del plan de estudios del Grado en Edificación realizada por el alumnado egresado

Fuente: Elaboración propia (2023)

2023, Universidad de Granada

Por último, se realizaron encuestas online al alumnado que estaba cursando la titulación. El objetivo de las mismas era conocer, entre otras cosas, el criterio de elección de asignatura y grupo a la hora de matricularse, la dedicación horaria estimada para cada asignatura (tanto en el aula de forma presencial, como en casa de forma autónoma), la organización de las actividades de evaluación de las asignaturas en referencia al resto del mismo curso y cuatrimestre, etc. Las encuestas se realizaron una vez finalizado el cuatrimestre a través de Enseñanza Virtual, usando la aplicación de Google Forms, de forma que se pudiese controlar el número de respuestas (que cada alumno lo contestase una única vez). El número de respuestas no fue suficientemente significativo en la mayoría de las asignaturas, como para poder sacar conclusiones al respecto (Figura 4).

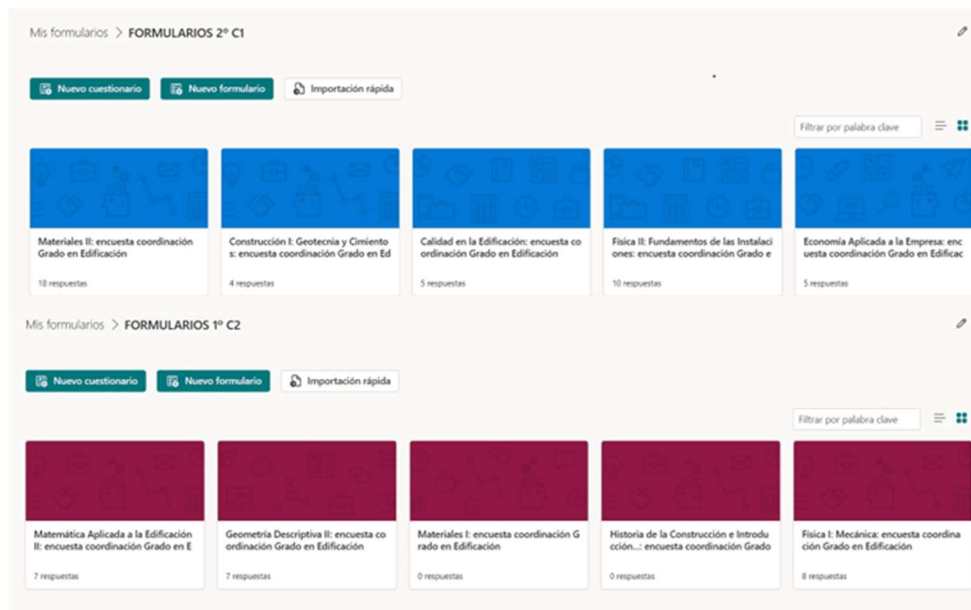


Figura 4. Encuestas obtenidas mediante en las asignaturas del primer cuatrimestre del segundo curso y las asignaturas del segundo cuatrimestre de primer curso.

Fuente: Elaboración propia (2022)

4.2. Proyecto 2: “Estrategias de coordinación horizontal y vertical para el Grado en Edificación”, desarrollado durante el curso 2022-2023 en la ETSIE (Universidad de Sevilla).

Durante todo el proyecto se ha trabajado en plantear un primer esquema/boceto para el desarrollo del procedimiento de coordinación del Grado objeto de estudio. En este primer esquema se plantean las fechas relevantes donde llevar a cabo las diferentes acciones de coordinación durante un curso académico, y en él participan todos los grupos de interés en la coordinación de la docencia.

En cuanto a las encuestas al alumnado, y tras el poco éxito de las encuestas online del primer proyecto de innovación docente, se decidió realizarlas de forma presencial durante el curso 2022-2023. Se han llevado a cabo dos tipos de encuestas:

- Una encuesta de dedicación horaria que se pasó en dos ocasiones (en la semana 7 y semana 14/15) durante cada cuatrimestre de forma presencial, y donde el alumnado señalaba el número de horas que dedicaba al estudio de cada asignatura fuera del aula hasta la fecha de encuesta (Figura 5).
- Una encuesta final donde se recababa más información acerca de la asistencia a clase, nota obtenida en la asignatura, horas de dedicación, forma de acceso al grado, etc.



Figura 5. Resultados de las encuestas de dedicación horaria en asignaturas de primer y segundo curso del Grado en Edificación durante el primer cuatrimestre del curso 2022-2023.
Fuente: Elaboración propia (2023)

Por último, se ha automatizado la elaboración de los calendarios comunes de actividades de evaluación mediante el desarrollo de una aplicación web que se encuentra actualmente en fase de pruebas y se comenzará a utilizar en el próximo curso 2023-2024 (Figura 6). Al inicio del próximo curso, los profesores introducirán las diferentes actividades de evaluación que llevarán a cabo en sus asignaturas. Posteriormente se generarán los calendarios de cada uno de los cursos y grupos, y se mantendrán reuniones de coordinación del profesorado del mismo cuatrimestre y curso para analizar las coincidencias y si es posible/necesario modificar alguna para no saturar al alumnado en determinadas fechas.

BIENVENIDO/A AL CALENDARIO




Escuela Técnica Superior de
Ingeniería de Edificación

¡Bienvenido/a!

[Acceso al Calendario](#)

[Acceso a Profesores](#)

4 PLAN PROPIO DE DOCENCIA
Universidad de Sevilla

Aplicación web desarrollada en el marco del proyecto Estrategias de coordinación horizontal y vertical para el Grado en Edificación, financiado mediante la Modalidad A de la actuación de "Apoyo a la Innovación Docente" (ref. 221, convocatoria 2022-23) del IV Plan Propio de Docencia de la Universidad de Sevilla.

CALENDARIO DEL PROFESORADO

Febrero 2023 - Junio 2023

Exportar calendario personalizado

Filtrar por:

Curso ▼

Cuatrimestre ▼

Asignatura ▼

Grupo ▼

Añadir

Febrero 2023	Marzo 2023	Abril 2023	Mayo 2023	Junio 2023
01 X	01 X	01 S	01 L G1 B1	01 J
02 J	02 J	02 D	02 M A1	02 V
03 V	03 V	03 L	03 X G2 A2 B15	03 S
04 S	04 S	04 M	04 J C1 A1	04 D
05 D	05 D	05 X	05 V G3 C3 A1 C2 C2	05 L
06 L	06 L	06 J	06 S	06 M
07 M	07 M	07 V	07 D	07 X
08 X	08 X	08 S	08 L G4 A2 B16 G1	08 J
09 J	09 J	09 D	09 M A1	09 V
10 V	10 V	10 L	10 X C1 B1	10 S
11 S	11 S	11 M	11 J C1 B3	11 D
12 D	12 D	12 X	12 V B2 C4 C1	12 L
13 L	13 L	13 J	13 S	13 M
14 M	14 M	14 V	14 D	14 X
15 X	15 X	15 S	15 L C2 C2 B2	15 J
16 J	16 J	16 D	16 M C4 C4 B1	16 V



Escuela Técnica Superior de
Ingeniería de Edificación

Figura 6. Aplicación web para la elaboración del calendario común de actividades de evaluación por curso y grupo para el Grado en Edificación
Fuente: Elaboración propia (2023)

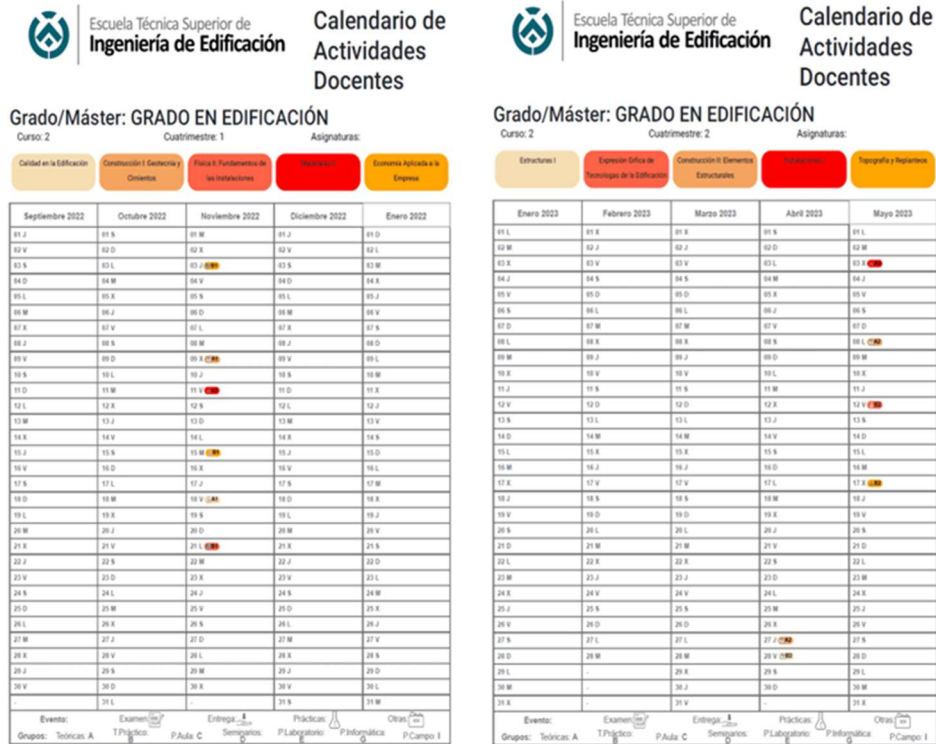


Figura 7. Output del calendario de actividades de evaluación del grupo 1 del primer cuatrimestre (izquierda) y el grupo 2 del segundo cuatrimestre (derecha) del segundo curso del Grado en Edificación (versión de prueba).
Fuente: Elaboración propia (2023)

5. Conclusiones

Tras la experiencia de los proyectos de innovación docente desarrollados durante los últimos dos cursos académicos, se puede concluir que ha quedado patente la necesidad de llevar a cabo acciones de coordinación en varios aspectos para mejorar la docencia en el Grado en Edificación de la Universidad de Sevilla. Aunque hemos comenzado a dar respuesta a los objetivos generales planteados al inicio del primer proyecto, y que aquí se especifican en la sección 2, todavía queda trabajo por realizar. Por esta razón, durante el curso 2023-2024 se llevará a cabo un nuevo proyecto de innovación que continúe avanzando en la consecución de los mismos (Figura 8).

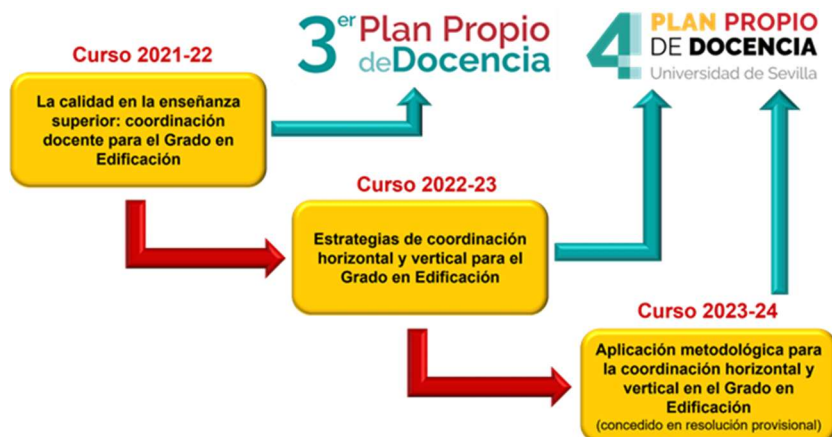


Figura 8. Proyectos de Innovación Docente en el Grado en Edificación. Cursos 2021-2022, 2022-2023 y 2023-2024 (Universidad de Sevilla).
Fuente: Elaboración propia (2023)

Por un lado, las encuestas al alumnado egresado (realizadas durante el curso 2021-2022) muestran que quizá deba replantearse la ordenación temporal de algunas asignaturas del Grado, y la inclusión de nuevas asignaturas optativas más orientadas a la demanda profesional actual, lo que supondría una modificación del actual plan de estudios.

Las encuestas al alumnado que está actualmente cursando la titulación, ha mostrado la desigual carga de trabajo que suponen las diferentes asignaturas del grado. Hay que tener en cuenta que, 1 crédito ECTS supone que, por cada hora de clase presencial, el alumno debe llevar a cabo una hora y media de trabajo personal fuera del aula. Es decir, para una asignatura cuatrimestral de 6 créditos ECTS, el alumno tiene 60 horas presenciales de clase, y debería realizar 90 horas de trabajo personal no presencial a lo largo del cuatrimestre (6 horas semanales). Los resultados iniciales de estos cuestionarios de dedicación horaria han mostrado que el trabajo fuera del aula requerido por las diferentes asignaturas es desigual, siendo en algunos casos mucho mayor de lo establecido en el crédito ECTS. Estos resultados deben terminar de procesarse y analizarse para determinar las posibles causas (exceso de carga de trabajo exigido por parte del profesorado, nivel de partida deficiente del alumnado, falta de conocimientos previos, etc.).

Por último, la aplicación web desarrollada va a servir para poder coordinar las fechas de las diferentes actividades de evaluación de las asignaturas de un mismo curso y grupo. De esta forma, evitaremos la sobrecarga del alumnado en determinadas fechas. Llevar a cabo una coordinación en este aspecto requiere la colaboración de todo el profesorado que imparte docencia simultáneamente. Su participación consiste en introducir los datos relativos a sus asignaturas durante la primera semana del curso, y posteriormente revisar y/o modificar dichas fechas de las actividades de evaluación tras las reuniones de coordinación de curso.

Referencias

- III Plan Propio Docencia de la Universal de Sevilla, <https://planpropio.us.es/>, last accessed 2023/06/01
- IV Plan Propio Docencia de la Universal de Sevilla, <https://planpropiodocencia.us.es/>, last accessed 2023/06/01
- Sistema de Garantía de Calidad de la E.T.S. Ingeniería de Edificación de la Universidad de Sevilla, <https://etsie.us.es/la-escuela/calidad>, last accessed 2023/06/01
- Equipo docente de Elaboración de guías docentes y planificaciones adaptadas al EEES (Coordinador: García Martín A.) 2015. Coordinación docente horizontal y vertical. CRAI UPCT Ediciones, Cartagena. <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4661/isbn9788460686941.pdf>
- Equipo docente de Elaboración de guías docentes y planificaciones adaptadas al EEES, líneas de trabajo de Coordinación horizontal y vertical (Coordinador: García Martín A.) 2015. Cuantificación de la carga de trabajo real de los estudiantes. In: AA.VV. Equipos Docentes: experiencias y resultados (2013-2014). CRAI UPCT Ediciones, Cartagena, 3-67. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/5536>



UNIVERSIDAD
DE GRANADA

eug EDITORIAL
UNIVERSIDAD
DE GRANADA



escuela técnica superior
INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN
Granada