

CONGRESO NACIONAL 2025



CONSTRUIR EN CLAVE
SOSTENIBLE

29-30 MAYO 2025 - MADRID

Libro de actas

Un proyecto en colaboración con



Con el apoyo de



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA

Comité Organizador

Observatorio 2030 del Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España (CSCAE)

Mari Ángel López Amado (Dirección)
Sergio García-Gasco Lominchar (Subdirección)
Elisa Pozo Menéndez (Coordinación)
Enrique Ramírez Sánchez (Secretario técnico)
Natalia Bielsa (Área técnica)
Daniel Monfort (Gerencia)
Virginia Salinero Ganzo (Área internacional)
Nuria López (Departamento de comunicación)
Samuel González (Departamento de comunicación)
María Dolores Galán Álvarez (Asesoría jurídica)

Saint-Gobain España

Sergio Pérez Tejedor (Departamento técnico)
Ainhoa Macia Suescun (Departamento de comunicación)
Macarena Izquierdo Fernandez-Ladreda (Departamento de comunicación)

Universidad Politécnica de Madrid (UPM)

Ester Higuera García (Catedrática, Directora del Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio)
Alba Ramírez Saiz (Arquitecta urbanista, investigadora en movilidad inclusiva)

Comité Científico



Albert Cuchí Burgos

Presidente AUS Arquitectes. Comité de sostenibilidad del CSCAE



Manuel Enríquez Jiménez

Presidente de ASA, Asociación Sostenibilidad y Arquitectura



Manuel Blanco Lage

Director ETSAM y Presidente Conferencia de Escuelas de Arquitectura de España



José Luis Borau Jordán

Director de Accesibilidad universal e innovación de la Fundación ONCE



Teresa Cuervo Vilches

Dra. Arquitecta e Investigadora. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC)



Felipe Iglesias González

Doctor en Derecho y Profesor titular de Derecho administrativo en la UAM



Eduardo Brunet Alvarez de Sotomayor

Director del Green Finance Institute en España



Dolores Huerta Carrascosa

Directora General de Green Building Council España (GBCe)



María del Pilar Mercader Moyano

Catedrática de la ETSA US, Instituto de Arquitectura y Construcción de Andalucía



Juan Manuel Herrero Sánchez

Presidente de la UAAUrbanistas



María Romero Paniagua
Socia directora de Economía en AFI



Natalia Brener Maceiras
Vicepresidenta del Colectivo reversAs



Matxalen Acasuso Atutxa
Socia cofundadora y tesorera del colectivo reversAs



Paz Martín Rodríguez
Directora programa envejezANDO



Ester Higuera García
Directora DUYOT y Catedrática de la Universidad Politécnica de Madrid



Carmen Mota Utanda
Doctora en Territorio, Infraestructuras y Medio Ambiente y profesora en la UCLM



Mar Santamaría Varas
Cofundadora de 3000.000 km/s



Pablo Martínez Díez
Cofundador de 3000.000 km/s



Alba Ramírez Saiz
Arquitecta urbanista e investigadora de la Universidad Politécnica de Madrid



Nicolás Bermejo Presa
Director Técnico y de Sostenibilidad de Saint-Gobain Solutions



Sergio Pérez Tejedor
Dirección Técnica y Sostenibilidad de Saint-Gobain Solutions



Mari Ángel López Amado
Directora del Observatorio 2030 del CSCAE



Sergio García-Gasco Lominchar
Subdirector del Observatorio 2030 del CSCAE



Elisa Pozo Menéndez
Coordinadora del Observatorio 2030 del CSCAE



Enrique Ramírez Sánchez
Secretario técnico del Observatorio 2030 del CSCAE



Natalia Bielsa Manzanero
Área Técnica del CSCAE



Elvira López Vallés
Coordinadora de la Red de Oficinas de Apoyo a la Rehabilitación del CSCAE

Comité de Honor



Marta Vall-Ilossera Ferran

Presidenta del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España



Antonio Bandrés Cajal

Director del Instituto de crédito Oficial (ICO)



Teresa Táboas Veleiro

Vicepresidenta de la UIA



Jesús María Martín Blanco

Director del Real Patronato sobre Discapacidad



Esther Soriano Hoyuelos

Directora General de Saint-Gobain Solutions



Patricia Bezunartea Barrio

Directora General de Diversidad Familiar y Servicios Sociales



Iñaki Carnicero Alonso-Colmenares

Secretario General de Agenda Urbana, Vivienda y Arquitectura



María Teresa Sancho Castiello

Directora General del Instituto de Mayores y Servicios Sociales



María Teresa Verdú Martínez

Directora General de Agenda Urbana, Vivienda y Arquitectura



Óscar García Suárez

Rector de la Universidad Politécnica de Madrid



Francisco Javier Martín Ramiro

Director General de Vivienda y Suelo



Luciano Poyato Roca

Presidente de la Plataforma del tercer sector



Víctor Marcos Morell

Director General de Planificación y Coordinación Energética



Luis Cayo Pérez Bueno

Presidente del Comité Español de Representantes de Personas con Discapacidad (CERMI)



Elisa Rivera Mendoza

Directora General de Planificación, Coordinación y Transferencia de Conocimiento



Julio Molina Barthe

Presidente de la CEAU



María José García-Pelayo

Presidenta de la FEMP



Mari Ángel López Amado

Directora del Observatorio 2030 del CSCAE

Sobre el libro de actas

Editores

Alba Ramírez Saiz (Universidad Politécnica de Madrid)

Mari Ángel López Amado (Observatorio 2030, CSCAE)

Sergio García-Gasco Lominchar (Observatorio 2030, CSCAE)

Diseño y edición

Alba Ramírez Saiz (Universidad Politécnica de Madrid)

ISBN

978-84-122444-6-6 (Septiembre 2025)

Nota del editor:

Las opiniones expresadas en las distintas contribuciones de esta publicación son responsabilidad exclusiva de sus respectivos autores y autoras, y no reflejan necesariamente la postura de la editorial o de cualquiera de las entidades y agentes involucrados en la elaboración de esta publicación.

Sobre el congreso

Visión

Ante los desafíos globales es fundamental repensar cómo construimos, rehabilitamos y gestionamos nuestros entornos. En este contexto, la Unión Europea se ha comprometido a lograr la neutralidad climática en 2050 y reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero. Conscientes de esta necesidad, nace el I Congreso Nacional «Construir en clave sostenible», un evento para reflexionar, analizar e intercambiar conocimientos sobre los principales retos que enfrenta la construcción sostenible.

Este Congreso se presenta como una oportunidad para visibilizar el compromiso del sector en España con la sostenibilidad y el bienestar social. Desde el Observatorio 2030 del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España (CSCAE), y Saint-Gobain, con la colaboración de los Colegios de Arquitectos/as de España, se dio inicio a una ambiciosa iniciativa, la cual ha culminado en el Congreso de mayo de 2025. La iniciativa también cuenta con el apoyo del Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana.

La construcción sostenible es una responsabilidad ética que debe involucrar a todos los actores del sector y las Administraciones Públicas, con el objetivo de proteger el planeta y garantizar el bienestar de las futuras generaciones.

Temáticas

TEMÁTICA 1. La calidad arquitectónica desde la normativa. Hacia una nueva visión de la sostenibilidad

La transformación hacia una edificación sostenible empieza con la consideración del ciclo de vida de los edificios y la implementación de nuevas energías durante y para la construcción.

TEMÁTICA 2. La descarbonización y la economía circular para una gestión eficiente de los recursos naturales

La descarbonización y la economía circular son pilares fundamentales para un futuro sostenible. En este bloque temático, se exploran las estrategias y tecnologías que permiten reducir las emisiones de carbono en todo el ciclo de vida de los edificios.

TEMÁTICA 3. La rehabilitación y regeneración como instrumentos para los nuevos paradigmas sociales

La rehabilitación de edificios y viviendas y la regeneración de áreas urbanas y rurales son claves para adaptarse a los nuevos paradigmas sociales. Este bloque temático se centra en cómo estos procesos pueden mejorar la inclusión social, la accesibilidad universal y la calidad de vida.

TEMÁTICA 4. Herramientas y proceso para la sostenibilidad integral: la Industrialización y la digitalización

Este bloque temático aborda cómo la sostenibilidad en la construcción se impulsa mediante la industrialización y la digitalización, mejorando eficiencia y reduciendo impactos. Se destaca el uso de tecnologías como BIM e IA para optimizar procesos, así como la formación y atracción de nuevo talento, todo ello orientado a un sector más innovador, inclusivo y preparado para el futuro.

TEMÁTICA 5. Nuevas formas del habitar: la vivienda como una oportunidad para el sector y la sociedad

La forma en que habitamos nuestros espacios está en constante evolución, y el equilibrio territorial es necesario entre áreas urbanas y rurales para un desarrollo sostenible. Esta temática se centra en los nuevos modos de habitar, desde la escala doméstica hasta la comunitaria. Se analizan tendencias emergentes como la cohabitación, la flexibilidad en los espacios de vivienda y las soluciones arquitectónicas que responden a las necesidades contemporáneas.

TEMÁTICA TRANSVERSAL. Estrategias de financiación sostenible

La captación de fondos es imprescindible para impulsar proyectos de construcción y rehabilitación sostenibles. En esta temática, se exploran diversas fuentes de financiamiento, desde subvenciones públicas hasta inversiones privadas, así como soluciones que impulsen la colaboración público-privada.

El congreso en cifras

El congreso reunió a **asistentes** de todos los puntos de la geografía Española, de diferentes especialidades. La jornada, construida en formato presencial, también acogió un formato online para entidades colaboradoras del proyecto ARCE 2050 que no pudieron asistir presencialmente.

339

Asistentes
presenciales

277

Asistentes
online

60%

Hombres

40%

Mujeres

En busca de una mayor equidad social, el congreso trató de equilibrar la balanza de género, aproximándose a una distribución más equitativa entre las personas **ponentes**. Así, este evento también demuestra su compromiso para romper con los sesgos de géneros tradicionalmente predominantes en el sector en busca de una mayor justicia social.

Las **contribuciones** recibidas reflejan la variedad de especialidades y escalas sobre las que se debe trabajar para mejorar la sostenibilidad del sector de la arquitectura y el urbanismo.

Contribuciones recibidas

55

Contribuciones

4

Temática 1

15

Temática 2

19

Temática 3

8

Temática 4

6

Temática 5

Algunas de las contribuciones recibidas (3) no estaban alineadas con una temática específica originalmente.

Contribuciones aceptadas para publicación

32

Contribuciones

1

Temática 1

11

Temática 2

13

Temática 3

4

Temática 4

3

Temática 5

Contribuciones aceptadas para presentación

11

Contribuciones

1

Temática 1

2

Temática 2

2

Temática 3

3

Temática 4

3

Temática 5

Llamada a contribuciones

El proceso de recepción y gestión de contribuciones se produjo por etapas, a través de un canal creado exclusivamente para la comunicación con los autores y autoras de los trabajos.

Se hizo un llamamiento a técnicos/as, académicos/as e investigadores/as (senior, junior o estudiantes) de las modalidades de Arquitectura, Urbanismo y otras disciplinas relacionadas a presentar proyectos que contribuyan a la reflexión y la acción hacia un modelo de construcción más sostenible, responsable con el medio ambiente y orientado al bienestar social.



Instrucciones facilitadas para el envío de contribuciones

Tipo de contribución: Comunicaciones científicas, comunicaciones técnicas o presentaciones de ejemplos de buenas prácticas en construcción sostenible.

Plantilla: Las personas interesadas deben enviar un resumen extendido de sus propuestas de acuerdo con lo indicado en la plantilla de resúmenes. Se requiere que el texto e imágenes sean originales y propiedad del/la autor/a, aunque el trabajo ya haya sido presentado en otros formatos.

Selección: Los resúmenes serán evaluados por pares por el comité científico del Congreso, que seleccionará los trabajos más relevantes para su publicación en el libro de actas. La organización se reserva el derecho para hacer una segunda selección sobre los primeros seleccionados, de manera que solo aquellos realmente sobresalientes por su calidad tengan la oportunidad de presentar en el congreso.

Inscripción: Los autores de las contribuciones aceptadas tienen una bonificación del 100% sobre el precio de inscripción en el congreso. La inscripción y asistencia al congreso es obligatoria para la publicación de los resúmenes y la exposición de los resúmenes aceptados para su presentación en el congreso.

Idioma: Español (Resumen y palabras clave en Inglés y Español)

Formato: presencial

Máximo 2 contribuciones por autor, independientemente de la posición de autoría.



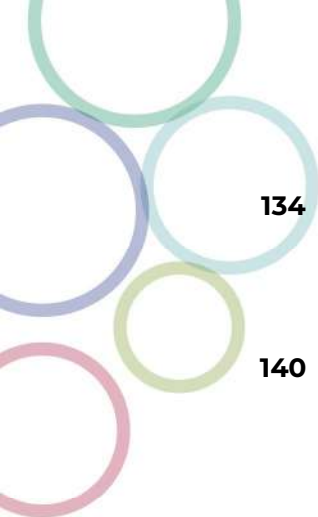
Índice

2	Comités
2	Comité Organizador
2	Comité Científico
4	Comité de Honor
5	Sobre el libro de actas
6	Sobre el congreso
6	Visión
7	Temáticas
8	El congreso en cifras
9	Llamada a contribuciones

Comunicaciones

13	Editorial
14	La regeneración urbana del Corral de Don Diego de Toledo. La ciudadanía en el centro del Patrimonio. Jesús Corroto Briceño
20	Casa en Serra d'Ordal. Consumo Cero Impacto Nulo. Jade Serra Alcina
26	De la Valorización al Diseño. Prácticas Sostenibles e Innovadoras en la Construcción. Caterina Chirico, Marta Millanes y Celia Peces
32	Planificando desde la salud en Getafe: diseño de barrios industriales y residenciales. Alejandro Pacheco, Alexandra A. Paulino, David Velez Longas y Ester Higuera
38	Circular Concrete Hacia un Futuro Sostenible en la Construcción. Ana Arenas Vivo
44	Sostenibilidad ambiental y social: Viviendas Pasivas para alquiler intergeneracional. El caso de UNIT-E comunidad de 58 VPO en Barañain, Navarra. Daniel Galar Irurre y Borja Lorenzana Moreno
50	Rehabilitación Energética Integral Comunidad de Propietarios Torre Efisa, La Coruña. Vanessa Castro Jiménez y Tomás Humada Buitron
56	Centro de Visitantes del Parque Nacional Sierra de las Nieves: Apuesta por un diseño integrado y sostenible. Análisis comparativo de materiales. Santiago Matute Díez y María Romero Cuberos

- 
- 
- 62 Rehabilitación energética en viviendas mediante Nanotecnología. El caso de Viviendas de Protección Pública en Canarias.**
Eduardo Martín del Toro y Ginés C. Rivero Hernández
- 68 Estrategias de diseño eficiente y reducción de la huella de carbono embebida de estructuras de hormigón y caso de estudio en proyectos de Neinor Homes.**
Laura Orfali Soria y César Bartolomé Muñoz
- 74 Consideraciones de diseño estructural de los sistemas modulares.**
Maria Piqueras Blasco e Ivan Cabrera i Fausto
- 80 Metodología de optimización de proyectos en clave de sostenibilidad rentable con simulación energética dinámica.**
Pablo Muñoz Hernández
- 86 Identificación y priorización de los aspectos clave en el proceso de transformación de un edificio.**
Silvia Soutullo, José Antonio Ferrer y Lara de Diego
- 92 Sistemas fotovoltaicos integrados (BIPV) en la renovación de edificios antiguos.**
Irene Del Hierro López y Lorenzo Olivieri
- 98 Mejora de la eficiencia energética en edificaciones mediante el estudio de la dependencia angular de la reflectancia y la transmitancia en sistemas de acristalamiento habituales.**
Jorge Omar Álvarez Pérez, Pablo Santafé Gabarda y María del Mar Barbero-Barrera
- 104 Hacia los 25 años de la política arquitectónica de la Unión Europea.**
Estanislau Vidal-Folch de Balanzó
- 110 Construir vivienda social en clave sostenible. Viviendas de la Fundació Habitat3 en Gimnàs Social Sant Pau e Illa Sibèria.**
Elisabet Capdeferro, Ramón Bosch y Maria Sisternas
- 116 Formación especializada en arquitectura sostenible. El Máster en Sostenibilidad Arquitectónica de la Universidad Nebrija.**
Alejandro Bosqued Navarro
- 122 La rehabilitación del patrimonio rural como estrategia de inclusión social y regeneración del territorio a través de la convocatoria de un concurso de arquitectura y posterior encargo para estudiantes y recién graduados. El caso de Erre de Muro en Puente Viesgo, Cantabria.**
Víctor Blanco García, Beatriz Salido Fortuna y Lucía Santos Buceta
- 128 Cámaras Acústicas Ultrasónicas (CAUs) para mejorar la calidad de la construcción en el sector de la edificación. Uso y aplicación de medios digitales innovadores para la detección de infiltraciones de aire y pérdidas de energía en la envolvente construida.**
José Carlos González García, Mariana Pérez Abendaño y Encarnación Encinas del Amor

- 
- 134 **Estudio de variables críticas en la síntesis hidrotermal de nuevos materiales de construcción más sostenibles.**
Noelia Cotón, Alice K. M. Morita, Jacinto Alonso-Azcárate y José Manuel Moreno-Maroto
- 140 **Síntesis de Materiales Avanzados Sostenibles a partir de Residuos de Construcción y Demolición.**
Alice Kimie Martins Morita, Noelia Cotón, Jacinto Alonso-Azcárate y José Manuel Moreno-Maroto
- 146 **Entretroncos. Agua: de riesgo a recurso en la pequeña escala.**
Marina Bernardo Vercher e Isabel Señor Prats
- 152 **La visión estratégica en la regeneración urbana. El planteamiento de Getafe Rehabilita y el impulso hacia el concepto de ciudad-Laboratorio de Innovación Urbana Metropolitana.**
Sonia Puente Landázuri y Alejandro López Parejo
- 158 **Ciudades habitables. Evolución del espacio verde en la trama urbana. Casos de estudio: Barrios de vivienda pública de La Paz y La Fama en la ciudad de Murcia.**
Antonio Jesús Martínez-Espinosa, José María Mateo Torres, Francisco Javier Benito Saorín e Isabel Miñano Belmonte
- 164 **Regeneración Urbana con Soluciones basadas en la Naturaleza: Transformación de Patios escolares en espacios públicos saludables.**
Hugo Enrique Canahua Sosa y Dalci Estefanía Eguiluz Zeballos
- 170 **Mitigación de la Pobreza Energética a través de la Rehabilitación Urbana: el Proyecto EPIU-Getafe Hogares Saludables como Modelo de Innovación y Acción Social.**
Alejandro López Parejo, Marta Acosta Plata y Fernando González Ferreira
- 176 **Manifiesto Hábitat Social. La calidad arquitectónica al servicio de la equidad y la sostenibilidad.**
Marcela Abla, Philippe Capelier, Sergio García-Gasco Lominchar y Mariana Flores-García
- 182 **Hacia un modelo circular.**
Ana Castillo Redondo y Lieven De Groote
- 188 **Woodie I: DfMA-D Diseño para la fabricación, el montaje y el desmontaje. El edificio como mina de materiales y reservorio de carbono.**
Pablo Saiz Sánchez, Jesús López y Pablo Medina di Fiori
- 194 **Recuperación paisajística y funcional de huertos y de la acequia Mayrena en el casco histórico de Caravaca de la Cruz. Hacia una renaturalización de los recintos históricos.**
Enrique Nieto Fernández y Fernando de Retes Aparicio
- 200 **Evaluación de la sostenibilidad holística en la rehabilitación de las residencias de mayores en Aragón.**
Irene González-Fernández y Lucía C. Pérez-Moreno
- 206 **Agradecimientos**

Editorial

El I Congreso Nacional “Construir en Clave Sostenible” representó mucho más que una cita de profesionales de la arquitectura: fue un acto colectivo de compromiso ético, político y técnico hacia el futuro de nuestras ciudades, pueblos y territorios. Este libro recoge las contribuciones seleccionadas, las cuales responden y representan ese espíritu. Son propuestas que encarnan la sostenibilidad desde múltiples frentes: el diseño doméstico, la planificación urbana, la rehabilitación energética, la innovación estructural y la regeneración paisajística.

Frente a los desafíos del cambio climático, la crisis habitacional y la fragmentación territorial, el Congreso puso de relieve que la sostenibilidad no se puede entender como una mejora puntual ni como una tecnología aplicable. Es una nueva manera de concebir y practicar la arquitectura que dialoga con el entorno, promueve la equidad social, busca la excelencia técnica y cultiva la riqueza cultural.

Las investigaciones presentadas trazan un panorama de saberes interdisciplinarios que buscan expandir la disciplina e innovar. Hay, por ejemplo, propuestas sobre viviendas pasivas y

modelos cooperativos, sobre circularidad aplicada al hormigón, rehabilitación con nanotecnología, patrimonios activados por la ciudadanía, herramientas pedagógicas para la formación en sostenibilidad y dispositivos ultrasónicos que optimizan el confort térmico. Cada una aporta una mirada singular a los retos contemporáneos.

Este volumen no presenta recetas a replicar. Ofrece un conjunto de estrategias, preguntas y ejemplos de buenas prácticas que exploran el diseño y la construcción como medios para conseguir una sociedad más justa, medioambientalmente resiliente y responsable.

Esta publicación es testigo de una transición profunda que está sucediendo en el ejercicio actual de la profesión. La sostenibilidad se impone como único horizonte legítimo para recuperar el sentido de la arquitectura y mejorar los espacios que habitamos. Porque cuando se construye con responsabilidad, visión crítica y compromiso real, se pueden imaginar y habitar futuros más conscientes, más justos y más sostenibles.



La regeneración urbana del Corral de Don Diego de Toledo.

La ciudadanía en el centro del Patrimonio.

LA REHABILITACIÓN Y REGENERACIÓN COMO INSTRUMENTOS PARA LOS NUEVOS PARADIGMAS SOCIALES

Jesús Corroto Briceño

Arquitecto y Gerente, Consorcio de la Ciudad de Toledo, gerente@consorciotoledo.com

Resumen

La regeneración urbana del Corral de Don Diego ha sido una intervención coral, desarrollada entre julio de 2022 y junio de 2024, demandada por la ciudadanía y dirigida con vocación polímata por el Consorcio de la Ciudad de Toledo, administración que ha coordinado recursos técnicos y económicos para la recuperación de una manzana del casco histórico de Toledo que se encontraba en avanzado estado de degradación y que contiene elementos patrimoniales como el Bien de Interés Cultural conocido como Salón Rico (*qubba* mudéjar que preside el espacio) además de otras construcciones que se han rehabilitado en clave de ciudad (viviendas para jóvenes, locales de proximidad y una nueva plaza pública como ágora de reunión). La intervención basa sus principios en las reflexiones de la Nueva Bauhaus Europea poniendo la arquitectura al servicio de los ciudadanos, creando espacios contemporáneos hermosos, sostenibles y para todos, respetuosos con una ciudad Patrimonio de la Humanidad.

Palabras clave: Consorcio; Patrimonio; Toledo; Bauhaus; Sostenibilidad.

Abstract

The urban regeneration of the Corral de Don Diego has been a choral intervention, developed between July 2022 and June 2024, demanded by citizens and directed with a polymath vocation by the Consortium of the City of Toledo, an administration that has coordinated technical and economic resources for the recovery of a block of the historic center of Toledo that was in an advanced state of degradation and that contains heritage elements such as the Asset of Cultural Interest known as Salón Rico (Mudejar *qubba* that presides over the space) in addition to other buildings that have been rehabilitated in a city key (housing for young people, local venues and a new public square as a meeting place). The intervention bases its principles on the reflections of the New European Bauhaus, placing architecture at the service of citizens, by creating beautiful, sustainable contemporary spaces for everyone, respectful of a World Heritage city.

Key words: Consorcio; Heritage; Toledo; Bauhaus; Sustainability.

1. La rehabilitación como respuesta a la pulsión social

El compromiso de la arquitectura contemporánea con la sociedad del siglo XXI se hace patente en esta propuesta de regeneración urbana que recoge demandas vecinales (espacio público, jardín, agua, comercio y viviendas), resuelve el urbanismo del lugar y respeta los valores de una ciudad Patrimonio de la Humanidad (UNESCO, s. f.) como es Toledo. Al mismo tiempo se abordan problemas de actualidad como la sostenibilidad de las intervenciones rehabilitadoras, la gestión de residuos y la reutilización de materiales. Todo ello en colaboración entre Administración y ciudadanía.

El Consorcio de la Ciudad de Toledo es una entidad pública formada por las cuatro administraciones del estado (Ministerio de Hacienda a nivel nacional, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha a nivel regional, Diputación de Toledo al provincial y Ayuntamiento de la ciudad a nivel local) que se dedica a la conservación y difusión del patrimonio edilicio toledano. El Consorcio ha liderado el proceso de regeneración urbana del Corral de Don Diego demandado por los ciudadanos, quienes solicitaban convertir un espacio urbano en avanzado estado de degradación en un lugar público ajardinado para los vecinos (figura 1), con viviendas para fijar población en el casco histórico y locales para alojar comercios de proximidad, todo ello respetando los valores patrimoniales de la zona. El Consorcio recoge estas demandas ciudadanas en un proceso colaborativo y resuelve las dificultades técnicas, sociales y económicas mediante la ejecución combinada de cuatro proyectos de arquitectura: “Conservación del Salón Rico y rehabilitación de anexo en C/ Trastámara nº 9”, “Rehabilitación de edificio de cinco viviendas”, “Construcción de inmueble en Corral de Don Diego nº 3”, “Reurbanización de nueva plaza”.



Figura 1. (Izq) Corral previo. Fuente: Global Arqueología. (Dcha) Emplazamiento final. Fuente: Elaboración propia.

2. El proyecto arquitectónico como herramienta social

La regeneración urbana ha sido un proyecto coral, donde múltiples profesionales han intervenido aportando su conocimiento. La actuación no sólo ha sido multidisciplinar, sino que ha pretendido obtener el valor añadido de la polimatía, buscando la excelencia en conocimiento y resultados. Coordinados por el Consorcio, se han incluido equipos de expertos en cada disciplina que el proyecto demandaba: Arquitectura (implementada desde el respeto al Patrimonio y los valores de la Nueva Bauhaus Europea); Arqueología (estudio de los restos materiales para protegerlos e incorporarlos al proyecto); Urbanismo (encaje en la trama urbana e infraestructuras nuevas); Historia (vaciado documental previo y estudio pormenorizado del Salón Rico); Restauración

(mano de obra especializada y técnicas y materiales compatibles); Paleografía y Filología (estudio de inscripciones existentes en el Salón Rico); Paisajismo (ajardinamiento autóctono, visuales, compatibilidad de materiales, sostenibilidad e integración urbana).

2.1. El Salón Rico y su alhanía de la calle Trastámara: circularidad y patrimonio

Al sur del área de actuación se ubica el Salón Rico (figura 2), declarado BIC en la categoría de Monumento. Es una *qubba* mudéjar cubierta por un artesonado ochavado (de los Ríos, 1905), policromado y con decoración epigráfica y heráldica que nos remite al conflicto de Aljubarrota (1385). Dicha cubierta es ejemplo de la Carpintería de Armar medieval castellana y reúne todas las fortalezas de la tradición vernácula de la Carpintería de lo Blanco (Peña & Perla, 2016).



Figura 2. Salón Rico del Corral de Don Diego (centro) y su alhanía (izq). Fuente: Imagen Subliminal. 2024



Figura 3. Salón Rico restaurado. Fuente: Imagen Subliminal 2024

La intervención en el Salón Rico ha sido de carácter conservador, restaurando la techumbre con mano de obra especializada y devolviendo el esplendor perdido al edificio (figura 3), recuperando para la ciudadanía un monumento cerrado durante décadas.

Trastámara nº 9 (figura 4) presentaba una naturaleza totalmente diferente: sin protección patrimonial, en avanzado estado de ruina y muy modificado durante el siglo XX. El edificio pedía una rehabilitación clásica, pero la presencia de forjados, cubierta y entramados de madera tradicionales, muros históricos y el deseo de los proyectistas de recuperar materiales, hicieron que se adoptara un *restauo arqueológico* donde se hiciera virtud de la máxima “viejo sí, pero no enfermo”, integrando “lo nuevo” con “lo viejo” y conservando el material tal cual, pero resolviendo sus procesos patológicos. Además, se ha primado el empleo de madera recuperada en acabados y de ladrillos de derribo para celosías. El edificio resultante sirve como recepción de visitantes.



Figura 4. Trastámara nº 9. Escaparate histórico recuperado y celosía corredera. Fuente: Imagen Subliminal. 2024

2.2. Viviendas para jóvenes: estrategia de fijación de población

En el límite oeste del solar, existía un edificio inacabado desde la crisis de la construcción de principios del siglo XXI. El Consorcio recoge la petición de los ciudadanos de convertir el inmueble en viviendas para jóvenes (figura 5) y dos locales para comercio de proximidad. La decisión de aprovechar la estructura íntegra redunda en el aprovechamiento de recursos y lo sostenible de la intervención, limitándola a la dulcificación del volumen construido, la adaptación programática del interior y su integración con el entorno urbano patrimonial.



Figura 5. Terraza de una de las cinco viviendas para jóvenes. Fuente: Víctor López Escalonilla. 2024

Los materiales de acabado de fachada (madera y revoco de cal) contribuyen a mimetizar el edificio en la nueva plaza construida. Esta estrategia de fijación de población que tanto necesita el casco histórico de Toledo, atraerá a cinco nuevas familias, rejuveneciendo el barrio y llenando de vida los nuevos espacios públicos.

2.3. Corral de Don Diego nº 3: la madera como solución integral

Un solar ruinoso taponaba las comunicaciones longitudinales norte-sur. Se toma la decisión de reducir el edificio a proyectar, regalando a la ciudad parte de la superficie del mismo de manera que se genere un paso amplio a cubierto a costa de la edificabilidad del edificio matriz para dar continuidad al espacio público. Cofinanciado entre el Ayuntamiento de Toledo y fondos europeos y dirigido por el Consorcio de la Ciudad de Toledo, el proyecto adopta criterios de sostenibilidad eligiendo una solución constructiva integral en madera (estructura, acabados, escalera, etc.). Además, se reciclan materiales del propio derribo de muros ruinosos del solar con los que se obtienen las piezas cerámicas para construir las celosías de cerramiento exterior. El edificio tiene un uso como centro de coordinación de las actividades culturales desarrolladas en el Corral (figura 6).



Figura 6. Interior del edificio de plaza del Corral de Don Diego nº 3. Fuente: Imagen Subliminal. 2024

2.4. Una nueva plaza en la ciudad: un espacio bello, sostenible y para todos

El espacio central de la manzana era un lugar abandonado y chabolizado que en el pasado constituyó el patio de las casas principales de Diego García de Toledo (linaje medieval de siete primogénitos llamados Diego) donde tenían su residencia y sus negocios, como la Alcaicería de los Paños Vieja. Este lugar, entre la plaza de Zocodover, el Alcázar y el Teatro de Rojas, formaba un tapón urbanístico, cancelando recorridos longitudinales y transversales y acumulando suciedad e inseguridad ciudadana a partes iguales. Con el proyecto del Consorcio se ha creado un espacio público para la ciudad, una nueva plaza en el casco histórico que funciona como ágora, como espacio de encuentro y a la vez como cávea y espacio escénico para representaciones teatrales y actividades culturales periódicas (figura 7).



Figura 7. Plaza. Corral Don Diego, 3 (izq). Graderío (centro). Salón Rico (dch.) Fuente: Im. Subliminal. 2024

El proyecto ha conseguido una plaza, un jardín y un graderío al aire libre para doscientas personas, todo ello utilizando la madera como recurso material que unifica la intervención en gradas, aceras, andenes y escaleras, aportando su carácter sostenible y amable (figura 8).



Figura 8. Intervención finalizada. Fuente: Imagen Subliminal. 2024

3. Conclusiones y resultados

El objetivo era devolver a la ciudad un espacio perdido y entregarlo a la ciudadanía, rehabilitando dentro del marco legal Plan Especial del Casco Histórico de Toledo (Busquets, 2000) y potenciando los valores culturales recogidos en la declaración de la Unesco como Patrimonio de la Humanidad. Se trataba de mejorar la calidad de vida de los residentes, pero asumiendo el reto medioambiental incorporando conceptos de sostenibilidad como circularidad, kilómetro cero, reutilización, eficiencia energética y eco-construcción, a través del reaprovechamiento de los materiales procedentes de la demolición de estructuras no patrimoniales anteriores. La intervención ha resuelto problemas de accesibilidad, eliminando barreras arquitectónicas hasta el monumento Salón Rico, ahora visitable por cualquier persona con movilidad reducida. Con la regeneración del Corral de Don Diego se salda una deuda histórica que Toledo tenía consigo misma y se regala un nuevo espacio público, hito en una ciudad histórica tan necesitada de ágoras de reunión.

El resultado es un espacio que atesora los principios de la Nueva Bauhaus Europea (NEB Compass, s. f.) implementando los siguientes indicadores a la ejecución de los proyectos: Espacios hermosos (conectar calles, activar espacios públicos, integrar entorno), sostenibles (reutilizar materiales, regenerar el urbanismo) y para todos (incluir a los ciudadanos, consolidar el uso, transformar la ciudad). Todo ello mediante un proceso participativo con la comunidad (consultas, co-desarrollo y autogestión), con compromiso a varios niveles con el trabajo local y una aproximación al patrimonio multidisciplinar y polímata.

4. Referencias

- Busquets, J. (2000). *Toledo y su futuro. El Plan Especial del Casco histórico de Toledo*. Toledo, Ayuntamiento de Toledo.
- de los Ríos, R. A. (1905). *Monumentos arquitectónicos de España: Toledo*. E. Martín y Gamoneda.
- NEB Compass. (s. f.). Recuperado 16 de abril de 2025, de https://new-european-bauhaus.europa.eu/tools-and-resources/use-compass_en
- Peña, C., & Perla, A. (2016). *Estudio sobre el palacio del Corral de Don Diego*.
- UNESCO. (s. f.). *Historic City of Toledo*. UNESCO World Heritage Centre. Recuperado 16 de abril de 2025, de <https://whc.unesco.org/en/list/379/>

Casa en Serra d'Ordal

Consumo Cero Impacto Nulo

LA DESCARBONIZACIÓN Y LA ECONOMÍA CIRCULAR PARA UNA GESTIÓN EFICIENTE DE LOS RECURSOS NATURALES.

Jade Serra Alcina ¹

¹ Arquitecta, Socia de Slow Studio, info@slowstudio.es

Resumen

El sector de la construcción es responsable del 39% de emisiones globales de CO₂, derivadas de dos fuentes principales: 28% del carbono operacional, generado por el consumo energético de los edificios, y 11% del carbono embebido (GlobalABC, 2024), asociado a producción y transporte de materiales. La Casa en Serra d'Ordal es un modelo experimental de arquitectura carbono cero, que aborda ambos desafíos mediante dos estrategias clave: **bioclimatismo** para reducir el carbono operacional y biomateriales descarbonizados para minimizar carbono embebido. Su diseño optimiza la captación solar, la ventilación cruzada y la inercia térmica, logrando un consumo energético casi nulo (NZEB) sin climatización activa. Además, se construye mediante biomateriales: bloque de tierra, corcho y madera CLT de reducido impacto. Este modelo responde a la emergencia climática y plantea un caso de estudio para la vivienda mediante la industrialización y adaptación normativa, demostrando que es posible reducir significativamente el impacto ambiental de la construcción.

Palabras clave: Descarbonización; bioclimatismo; biomateriales; carbono operacional; carbono embebido.

Abstract

The construction sector is responsible for 39% of global CO₂ emissions, originating from two main sources: 28% from operational carbon, generated by the energy consumption of buildings, and 11% from embodied carbon, associated with the production and transportation of materials. Casa en Serra d'Ordal is an experimental zero-carbon architecture model that addresses both challenges through two key strategies: bioclimatic design to reduce operational carbon and decarbonized biomaterials to minimize embodied carbon. Its design optimizes solar gain, cross ventilation, and thermal inertia, achieving a nearly zero-energy building (NZEB) without active climate control. Additionally, it is built using low-impact biomaterials such as compressed earth blocks, cork insulation, and CLT timber. This model responds to the climate emergency and serves as a case study for housing, demonstrating how industrialization and regulatory adaptation can significantly reduce the environmental impact of construction.

Keywords: Decarbonization; bioclimatic design; biomaterials; operational carbon; embodied carbon.

1. Reducción del carbono operacional: Estrategias bioclimáticas para conseguir NZEB

La Casa Serra d'Ordal minimiza su demanda energética para conseguir un consumo energético casi nulo (NZEB) sin climatización mediante diseño bioclimático y estrategias pasivas. (Figura 1)

1.1. Reducción de la demanda de energía mediante diseño pasivo

- Gestión solar: La fachada sur y el patio bioclimático están diseñados para captar radiación en invierno y proteger del sobrecalentamiento en verano (Figura 2 y 3).
- Almacenamiento térmico: Los muros de Bloque de Tierra Compactada funcionan como masas de inercia térmica, acumulando calor en invierno y frescor en verano.
- Aislamiento exterior: El uso de paneles de corcho reduce la transferencia térmica, manteniendo la temperatura interior estable durante horas.
- Hermeticidad: Se han optimizado los cerramientos para evitar pérdidas energéticas, validando la estanqueidad con un test blower door.
- Ventilación cruzada: El diseño de aberturas permite renovar el aire de forma natural por las noches, disipando el calor acumulado (Figura 2).
- Renovación de aire controlada: Un sistema mecánico con sensores de CO₂ garantiza calidad del aire sin generar pérdidas energéticas.
- Patio bioclimático: Actúa como captador solar en invierno y como regulador térmico en verano, favoreciendo el equilibrio climático de la vivienda (Figura 2).
- Cubierta ajardinada: Reduce la carga térmica en meses cálidos al retener humedad y actuar como amortiguador térmico (Figura 4).

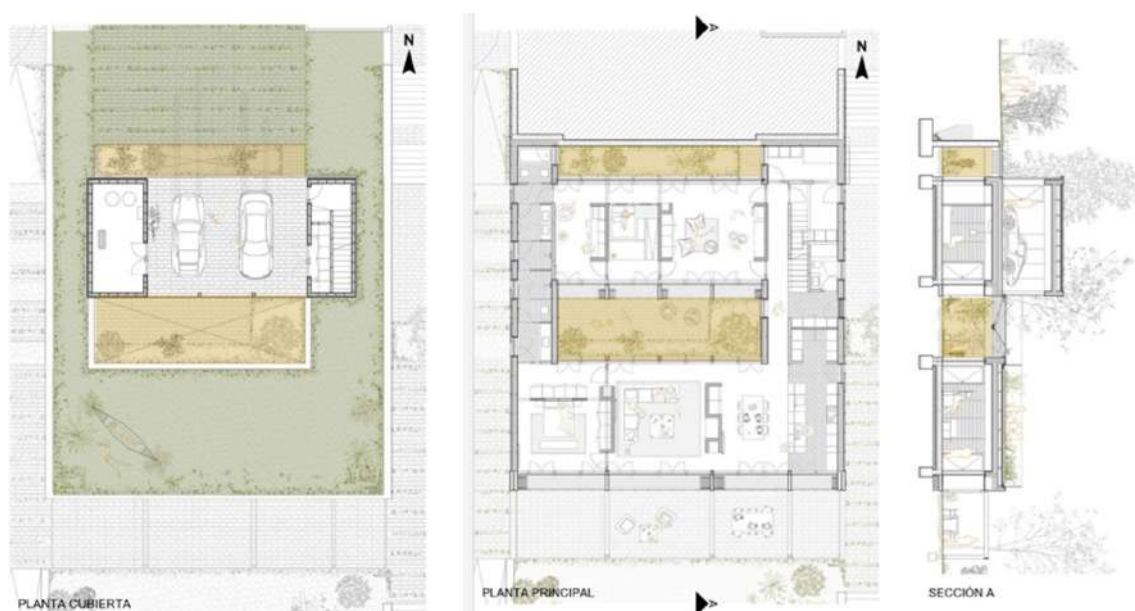


Figura 1. Planta cubierta, planta principal y sección destacando cubierta verde y patios bioclimáticos. Elaboración propia por Slow Studio.

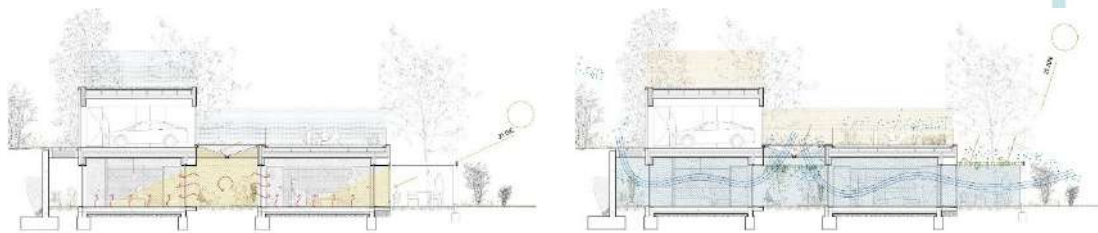


Figura 2. Sección bioclimática en invierno y verano. Fuente: Elaboración propia.

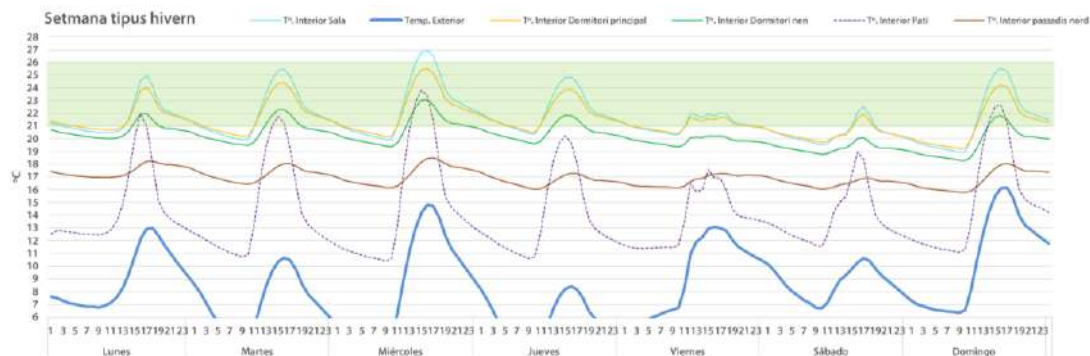


Figura 3. Gráfico de temperaturas medias en estancias y temperatura exterior en una semana tipo en invierno. Fuente: Elaboración propia conjuntamente con la consultora energética Societat Orgànica.

1.2. Aportación de energía activa mediante fuentes renovables

- Ausencia de sistemas activos de climatización: La vivienda mantiene una temperatura de confort únicamente mediante estrategias pasivas.
- Ventiladores para mejorar el confort: Dado que la sensación térmica depende de temperatura, humedad y velocidad del aire, la circulación controlada mejora el bienestar interior.
- Electricidad renovable para sistemas de ventilación: La renovación de aire mecánica se activa mediante sensores de CO₂, optimizando su funcionamiento.
- Optimización del rendimiento de la aerotermia: El patio bioclimático precalienta el aire que alimenta la aerotermia para agua caliente sanitaria, aumentando su eficiencia.



Figura 4. Imágenes exteriores reales. Año 2024. Imágenes: Salva López. Uso autorizado por el autor.

2. Reducción del carbono embebido: Biomateriales descarbonizados

El carbono embebido en la construcción representa el 11% de las emisiones globales de CO₂ (GlobalABC, 2024), derivadas de la fabricación, transporte y puesta en obra de los materiales.

La casa responde a este desafío con la utilización de biomateriales descarbonizados, que reducen el impacto ambiental sin comprometer el rendimiento estructural y térmico de la vivienda.

2.1. Materiales naturales de reducida huella de carbono y elevadas prestaciones termo-acústicas que garantizan elevada resistencia estructural y durabilidad

- Muros de Bloque de Tierra Compactada: Fabricado con tierra estabilizada con cal (Tapialblock® 40/100/15, Fetdeterra). Su elevada inercia térmica permite almacenar calor o frescor, regulando naturalmente la temperatura interior. Además, su capacidad higroscópica mejora la calidad del aire al absorber y ceder humedad ambiental. Resistencia al fuego REI 120 (A1) e índice de reducción acústica de 66 dBA. Material natural, local y altamente disponible (Figura 5).
- Aislamiento exterior de corcho: Paneles de corcho aglomerado de 50×100 cm en tres capas de 5 cm, unidos mecánicamente y con mortero natural. Transpirable, renovable, libre de contaminantes químicos, clasificación ignífuga Euroclase E, resistente a la humedad y garantía de por vida (Figura 5).
- Estructura de madera CLT: Resuelta mediante vigas y paneles prefabricados CLT (fabricante Egoín, origen español), que reducen significativamente tiempos y residuos en obra. La madera CLT posee resistencia al fuego (entre EI60-EI90 según espesores) (Figura 5).

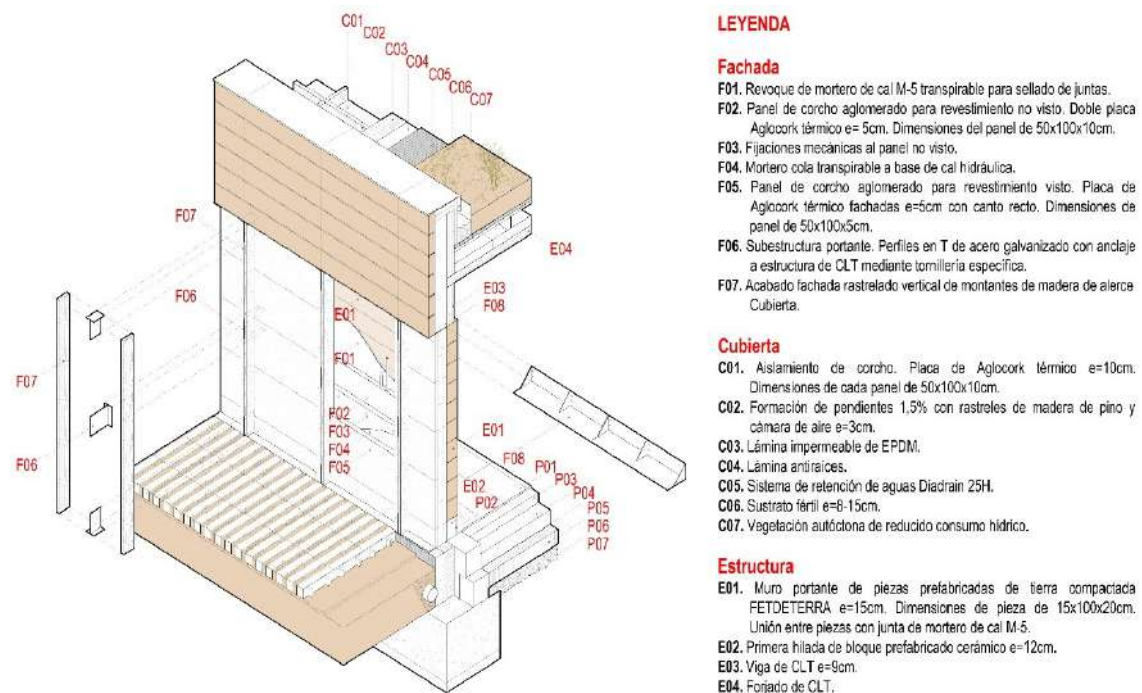


Figura 5. Sección constructiva y leyenda. Elaboración propia Slow Studio.

3. Salud y confort interior

El diseño de la casa prioriza la salud y el bienestar generando un ambiente interior saludable, libre de contaminantes y con condiciones óptimas de confort térmico y lumínico (Figura 6).



Figura 6. Imágenes interiores reales. Año 2024. Fotógrafo: Salva López. Uso autorizado por el autor.

3.1. Biomateriales naturales y saludables

- Se han eliminado materiales con emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y otras sustancias tóxicas comúnmente presentes en acabados sintéticos y adhesivos industriales.
- Los muros de Bloque de Tierra Compactada (BTC) y el aislamiento de corcho natural actúan como reguladores higroscópicos, absorbiendo y liberando humedad según las condiciones ambientales, lo que evita la condensación y mejora la calidad del aire interior.

3.2. Ventilación natural y confort térmico

El diseño favorece la ventilación natural cruzada y el confort térmico: en invierno, almacenando calor solar en muros y manteniéndolo largas horas gracias a la elevada estanqueidad. En verano, mediante la protección solar evita que el sobrecalentamiento y la ventilación cruzada nocturna que refresca los muros que almacenaran frescor a lo largo del día siguiente (Figura 7).

3.3. Iluminación natural y biofilia

Las aperturas y la distribución de los espacios han sido diseñadas para maximizar la entrada de luz natural, reduciendo la necesidad de iluminación artificial. Además, la vivienda favorece la conexión con el entorno natural mediante patios, jardines y terrazas, evitando la sobre pavimentación del terreno y utilizando especies autóctonas de bajo consumo hídrico, mejorando la biodiversidad, la sensación higrotérmica exterior y potenciando el bienestar de los ocupantes.

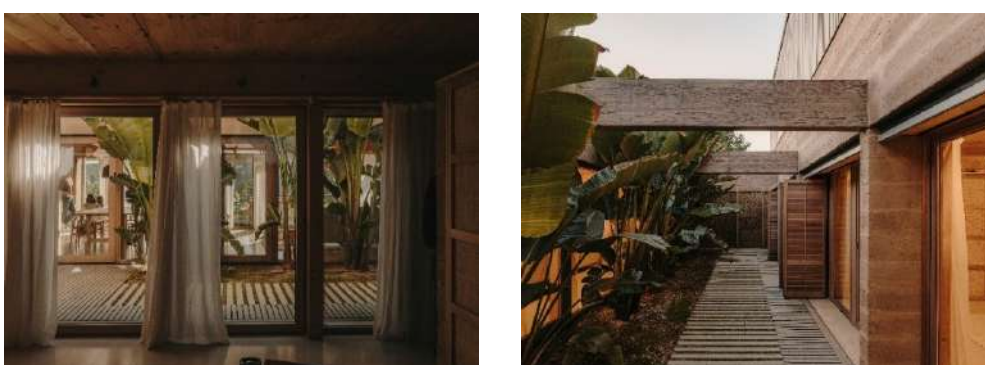


Figura 7. Imágenes patio bioclimático reales. Año 2024. Fotógrafo: Salva López – Uso autorizado por autor.

4. Gestión hídrica y circularidad

Se integra un sistema eficiente de gestión del agua, reduciendo su impacto en el ciclo hídrico y minimizando el consumo de agua potable. Además, el proyecto adopta un enfoque circular en el uso de materiales, priorizando elementos reciclables, reutilizables o biodegradables.

4.1. Captación y reutilización del agua

- Cubiertas ajardinadas diseñadas para retener hasta un 60% del agua de lluvia, reduciendo la escorrentía y mejorando la regulación hídrica del entorno.
- Reutilización de aguas grises y negras mediante un sistema de depuración que permite su aprovechamiento para riego y limpieza.
- Pavimentos exteriores permeables, que facilitan la infiltración del agua de lluvia en el terreno.

4.2. Circularidad en los materiales

La selección de materiales responde a un enfoque circular, priorizando elementos reciclables, reutilizables o biodegradables, reduciendo residuos y prolongando su ciclo de vida.

5. Replicabilidad

5.1. Replicabilidad del modelo en vivienda colectiva

Si bien se trata de una vivienda unifamiliar experimental, sus principios fundamentales — bioclimatismo y biomateriales descarbonizados— pueden adaptarse a edificios de mayor escala, como proyectos de vivienda colectiva. El diseño bioclimático, aplicado a través de estrategias pasivas, es replicable en edificios urbanos mediante el diseño de envolventes eficientes, ventilación natural y sistemas de gestión solar.

Por otro lado, el uso de biomateriales de baja huella de carbono, como madera estructural, aislamientos naturales y tierra compactada, puede integrarse en proyectos de mayor envergadura, siempre que se optimicen los procesos de industrialización y prefabricación.

Si bien la escalabilidad del modelo depende de factores como la normativa urbanística, la disponibilidad de materiales locales y la aceptación del sector de sistemas constructivos innovadores, este proyecto demuestra que es posible garantizar la calidad arquitectónica, la eficiencia energética y el consumo nulo, integrando materiales de bajo impacto medioambiental. Se aborda de manera integral la reducción del carbono operacional y embebido, al tiempo que se prioriza la salud y el bienestar de las personas.

6. Conclusiones

La vivienda colectiva y la rehabilitación son modelos fundamentales para alcanzar la sostenibilidad del sector de la construcción, y por ello es necesario explorar soluciones innovadoras y escalables. La vivienda unifamiliar continúa representando una parte significativa del parque construido en España y, en este contexto, proyectos como Serra d'Ordal, demuestran que es posible avanzar hacia una arquitectura descarbonizada y de consumo energético nulo.

El proyecto aborda de forma integral aspectos como la autosuficiencia energética, la reducción del carbono embebido, la minimización de la huella hídrica, la economía circular, la salud y calidad ambiental, así como la calidad arquitectónica. Este enfoque ofrece un modelo técnicamente validado y estéticamente atractivo para la bioconstrucción, demostrando que esta disciplina, a menudo vinculada a la autoconstrucción y soluciones artesanales, puede alcanzar elevados estándares, convirtiéndose en una opción viable y atractiva para la sociedad.

Un proyecto que valida soluciones constructivas innovadoras que pueden aplicarse de manera efectiva a escalas mayores, contribuyendo al avance del conocimiento y consolidando una transición efectiva hacia modelos edificados sostenibles y saludables.

7. Referencias

Global Alliance for Buildings and Construction (GlobalABC), United Nations Environment Programme (UNEP), & Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). (2024). *Guidance for policymakers and practitioners in the 2025 NDC revision*. https://globalabc.org/sites/default/files/2024-11/Guide_NDCs-for-Buildings_2025_Revision.pdf

De la Valorización al Diseño

Prácticas Sostenibles e Innovadoras en la Construcción

LA DESCARBONIZACIÓN Y LA ECONOMÍA CIRCULAR PARA UNA GESTIÓN EFICIENTE DE LOS RECURSOS NATURALES

Caterina Chirico¹, Marta Millanes² y Celia Peces³

¹ Dra. Ciencia e Ingeniería de Materiales, investigadora en NOTIO - Centro Tecnológico de Actividades de la Construcción, caterina.chirico@notio.es

² Arquitecto, investigadora en NOTIO - Centro Tecnológico de Actividades de la Construcción, marta.millanes@notio.es

³ Arquitecto, investigadora en NOTIO - Centro Tecnológico de Actividades de la Construcción, celia.peces@notio.es

Resumen

La sostenibilidad en la construcción se desarrolla desde la gestión y valorización de residuos hasta la integración de procesos industrializados para optimizar recursos, contribuir a la descarbonización y mejorar la eficiencia del sector. En este contexto, los proyectos **CER4FROST**, **SUSTAINFLOOR** y **NEXT-CER** destacan por su enfoque innovador en la transformación de residuos en nuevos materiales y en productos de alto valor añadido y baja huella de carbono para una arquitectura sostenible. Además, avanza hacia el diseño y la fabricación industrializada (mediante automatización y prefabricación), con el objetivo de mejorar la eficiencia constructiva, reducir desperdicios y enfrentar la escasez de mano de obra. La transición del sector hacia la construcción circular impulsa la sostenibilidad ambiental, fortalece la competitividad del sector, y ofrece nuevas oportunidades para un desarrollo más eficiente y resiliente.

Palabras clave: Sostenibilidad; Valorización de residuos; Ecodiseño; Economía circular; Industrialización.

Abstract

Sustainability in construction is fostered through the management and valorization of waste, and the integration of industrialized processes that optimize resources, contribute to decarbonization, and enhance the sector's efficiency. In this context, the **CER4FROST**, **SUSTAINFLOOR**, and **NEXT-CER** projects stand out for their innovative approach to transforming waste into high-performance materials, meeting current quality and sustainability standards. Moreover, the shift towards industrialized design enhances construction efficiency, reduces waste, and addresses challenges such as labor shortages, optimizing processes through automation and prefabrication. The sector's transition towards circular construction not only drives environmental sustainability and strengthens sector competitiveness but also offers new opportunities for more efficient and resilient development, instilling a sense of optimism and encouragement for the future of the industry.

Key words: Sustainability; Waste valorization; Ecodesign; Circular construction; Industrialization.

1. Introducción

El sector de la construcción afronta desafíos significativos para garantizar su sostenibilidad económica, social y medioambiental. El modelo tradicional de economía lineal, basado en la extracción de materias primas, fabricación, uso y desecho; ha demostrado ser insostenible. Además, las cada vez más exigentes directivas y reglamentos europeos para dar respuesta a los problemas medioambientales hacen necesario invertir esfuerzos en cambiar la forma de hacer de la industria de la construcción. La adopción de estrategias circulares también ofrece oportunidades para fomentar la innovación y el desarrollo de soluciones que reduzcan los tiempos de ejecución y mejoren la eficiencia en los procesos constructivos. Transformar estos desafíos en oportunidades permite abordar la crisis climática, mejorar la competitividad del sector y atender a las nuevas exigencias contemporáneas (Oluleye et al., 2022).

En este contexto, se desarrollan tres proyectos que pretenden aportar soluciones a estas problemáticas concretas del sector de la construcción, basadas en los principios de circularidad, eficiencia y sostenibilidad, lo que resultará en nuevos productos más sostenibles y competitivos. En consecuencia, se vuelve imprescindible reformular los materiales tradicionales para cumplir con los nuevos marcos normativos, que imponen mayores estándares de rendimiento ambiental y seguridad en la edificación.

La valorización de residuos se presenta como una oportunidad clave para desarrollar materiales innovadores que cumplan con los nuevos estándares sin sobreexplotar los recursos naturales. La reutilización de subproductos industriales y la valorización de residuos de construcción y demolición (RCD) en la fabricación de nuevos materiales permiten reducir su huella de carbono, minimizar la generación de residuos y mejorar la eficiencia en el uso de materias primas.

Se aborda la dificultad de implementación de sistemas de producción de energías renovables en entornos patrimoniales o espacios urbanos donde es crucial preservar la imagen del conjunto. Por ello, el desarrollo de materiales y soluciones constructivas con sistemas de producción de energías renovables integrados permite aportar alternativas viables en esos casos concretos.

Asimismo, la escasez de mano de obra cualificada exige evolucionar hacia sistemas constructivos tecnificados y eficientes. La construcción de grandes formatos preensamblados, optimizados para cumplir con altos estándares de eficiencia energética, representa una solución eficaz para agilizar los procesos constructivos sin comprometer calidad ni rendimiento. También permite una mayor precisión en la ejecución, disminuye los residuos y contribuye a la reducción del impacto ambiental asociado a la construcción tradicional.

En conjunto, estas iniciativas responden a problemas concretos del sector, proponiendo alternativas viables que impulsan su desarrollo hacia un modelo productivo más sostenible.

2. Enfoques abordados

2.1. Soluciones basadas en la valorización de residuos: CER4FROST y SUSTAINFLOOR

De acuerdo con lo mencionado previamente, la valorización y aprovechamiento de residuos procedentes de otras industrias es un pilar clave para avanzar hacia un modelo más sostenible y circular. Desde esta perspectiva, en el Centro Tecnológico de Actividades de la Construcción se trabaja en dos proyectos enfocados en el aprovechamiento de residuos para la fabricación de nuevos elementos constructivos de alto valor añadido.

El proyecto **CER4FROST** busca nuevas formulaciones mediante la incorporación de residuos a la cadena productiva de la fabricación de ladrillos cara-vista para su uso en fachadas. Con esta iniciativa se atiende la necesidad de mantener activo el tejido productivo de un sector estratégico en Castilla-La Mancha (CLM) que se ha visto afectado por el cambio normativo referente al comportamiento ante la heladicidad, pasando de la anterior UNE-67028 a la actual UNE-EN 772-22 (AENOR, 2021).

La normativa vigente establece que el ensayo de heladicidad del ladrillo se debe realizar formando un murete con el mismo. Este debe saturarse en agua para, posteriormente, someterse a 100 ciclos sucesivos de congelación en los que se baja la temperatura hasta -15°C en 20/30 minutos, manteniéndolo a esa temperatura durante 90/100 minutos, después se calienta hasta

20°C en 15/20 minutos y se pulveriza con agua a 23°C durante 2 minutos. Esta metodología ha resultado ser significativamente más agresiva que la anterior. Debido a la naturaleza de muchas de las arcillas empleadas en la fabricación de productos cara vista, algunos de los mismos tendrían potenciales problemas para superar los requisitos del ensayo, representando dificultades para su comercialización.

Los productos afectados por el cambio de normativa presentan un contenido elevado de carbonato cálcico (CaCO_3) que se añade para mejorar la estética de la pieza, controlando el color tras la cocción ($\approx 900\text{-}1000^\circ\text{C}$) incrementando así el valor de la pieza. Además, la adición de CaCO_3 favorece la generación de porosidad y, como consecuencia, aumenta la capacidad de absorción de agua de la pieza. En la Figura 1 se puede observar, en el caso de las formulaciones convencionales, cómo el agua al congelarse incrementa su volumen y, tras repetidos ciclos de hielo-deshielo, se producen microfisuras acompañadas de desprendimientos.

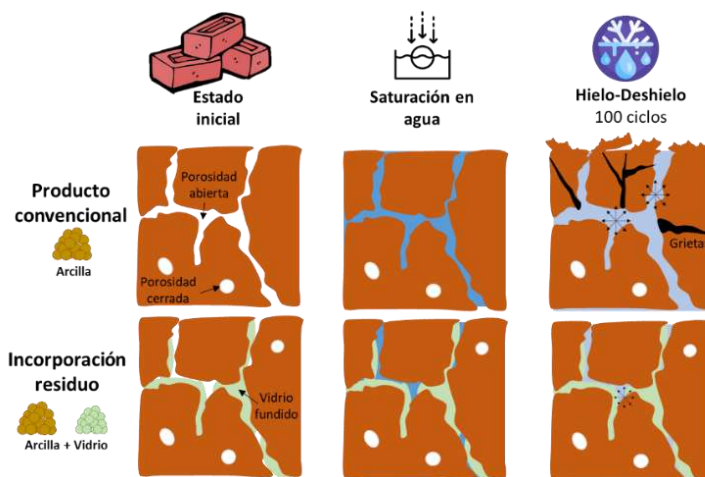


Figura 1. Comportamiento a heladicidad de piezas cerámicas según su composición en diferentes etapas del ensayo. Elaboración propia.

Para abordar esta problemática, se estudia la incorporación a las mezclas arcillosas de residuos de otras industrias, resultando el material más favorable el vidrio reciclado proveniente de paneles fotovoltaicos. En ensayos preliminares se consigue mejorar la resistencia a la heladicidad de los ladrillos cara vista, para que se adapten a los nuevos requisitos técnicos, sin comprometer el uso de materias primas locales; promoviendo así el consumo de recursos de proximidad. Como se refleja en la Figura 1, el residuo de vidrio se funde durante la cocción de la pieza, sellando la porosidad resultante de la descomposición del CaCO_3 . Al sellar los poros, se reduce el porcentaje de absorción de agua de las piezas y se evita la aparición de grietas y descascarillados.

Se sustituye una parte del material arcilloso empleado en la producción de ladrillos vistos, por vidrio triturado, incorporando desde un 3 hasta un 9 wt% de vidrio. Entre los resultados más relevantes, se destaca que se ha reducido el porcentaje de absorción de agua entre un 8-10%, respecto a las piezas sin residuo. La adición del residuo es compatible con el sistema de producción actual, manteniendo la coloración de la pieza, así como su temperatura de cocción. Los resultados obtenidos demuestran que la incorporación de residuos industriales en la producción cerámica es una alternativa viable desde el punto de vista económico, técnico y medioambiental, que permite adaptar la producción a los nuevos estándares normativos, al mismo tiempo que impulsa un modelo basado en la sostenibilidad y la circularidad.

El proyecto **SUSTAINFLOOR** atiende a la necesidad de valorizar RCDs, motivada por la elevada generación de éstos como producto de la urbanización acelerada, la demolición de infraestructuras obsoletas y la falta de una adecuada planificación en su gestión. Además, busca atender el desafío de integrar fuentes de energía renovable en ambientes urbanos, especialmente en los centros históricos de las ciudades. En este sentido, los sistemas cosechadores de energía (Energy Harvester) son una alternativa para la incorporación de energía renovable y limpia en estos entornos. Estos sistemas transforman energía térmica, mecánica o cinética, proveniente de fuentes externas, en energía eléctrica que puede almacenar

para alimentar sistemas electrónicos de bajo consumo, como sistemas lumínicos de señalización o alumbrado público.

Este proyecto se centra en el diseño y fabricación de un sistema de pavimento generador de energía, innovador y sostenible, elaborado principalmente con RCDs y residuos industriales. El sistema incorpora elementos piezoeléctricos para permitir el aprovechamiento de la energía cinética, generada por las pisadas de los peatones, convirtiéndola en energía eléctrica. (Figura 2.A). Está expresamente ideado para instalarse en zonas de alto tránsito peatonal, almacenando la energía generada en las horas de mayor tránsito para su posterior uso en sistemas de iluminación viario o sistemas de bajo consumo.

El sistema se compone de 1) el módulo generador de energía y 2) el pavimento exterior (Figura 2.B). Para la fabricación del componente 1, se contempla el uso de impresión 3D en la fabricación, con el fin de ampliar la libertad de diseño del sistema y que el módulo resultante sea adaptable a los sistemas de pavimento comerciales facilitando su instalación.

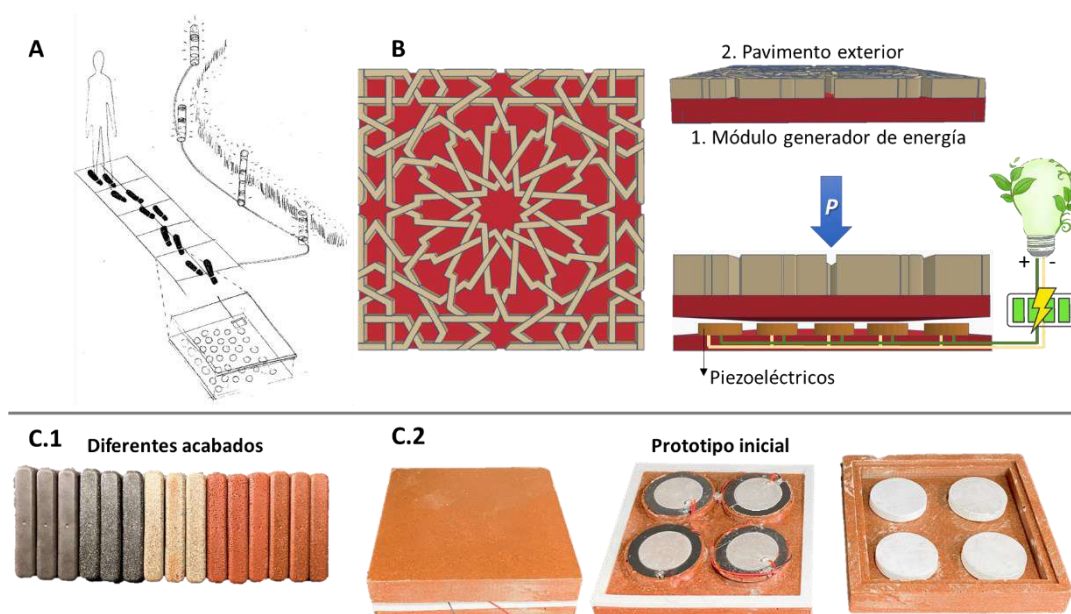


Figura 2. A) Iluminación viaria; B) Sistema de pavimento, activación de elementos piezoeléctricos; C.1) Propuesta de acabados empleando diferentes residuos de la construcción y C.2) prototipo inicial.

Para la elaboración de la base, se han mezclado los residuos seleccionados y considerados como idóneos, con resinas, optimizando las dosificaciones para obtener una mezcla homogénea con una viscosidad adecuada que permita el conformado mediante la técnica de colado en moldes. Estos moldes fueron impresos en 3D con un filamento flexible de TPU, que permite adaptar el sistema de pavimento a cualquier tipología constructiva. Se han evaluado diferentes tipologías de residuos para la fabricación de la baldosa, elaborando mezclas de RCD, residuos de hormigón, cerámica y piedra, con otros residuos industriales. Alternativamente, se han evaluado los residuos de forma individual para explorar la posibilidad de ofrecer diferentes acabados empleando residuos provenientes de las diferentes industrias relacionadas con el sector de la construcción (Ver Figura 2.C). Se consideraron aptas para el conformado las mezclas con 75–80 wt% de residuo, dentro del rango ensayado (67–80 wt%), al alcanzar una resistencia a flexión de ~30 MPa.

En cuanto a la disposición de los piezoeléctricos, se estudian diferentes configuraciones en las que, variando los puntos de apoyo de estos en la baldosa, se asegure su integridad y eficiencia al aplicar la carga. Se valida la respuesta de generación de energía del prototipo inicial con diferentes cargas para poder continuar con el escalado del módulo a tamaño real de 30x30 cm. En las pruebas realizadas, se ha conseguido generar una media de 5,21 julios por activación, lo que demuestra la viabilidad del sistema como fuente de energía alternativa. Los resultados confirman el potencial de la valorización de residuos para la fabricación de pavimentos innovadores y sostenibles. Incorporar hasta un 80% de materiales reciclados consecuentemente

disminuye la misma proporción en extracción de áridos naturales, y se logra una menor huella energética (entre un 30% y un 60%) gracias a la reducción en el consumo de energía incorporada.

Dado que la complejidad del sistema y el alto coste de integrar el generador en la baldosa dificultan su viabilidad a gran escala, se ve necesario seguir investigando en la optimización de los procesos de fabricación y mejorar su competitividad. También deben abordarse otras limitaciones, como la vida útil de los componentes eléctricos bajo esfuerzo mecánico, la baja reciclabilidad y la dependencia de sistemas de almacenamiento energético eficientes.

Los avances en la valorización de residuos confirman la viabilidad de soluciones sostenibles para abordar diversas problemáticas del sector de la construcción. Estas iniciativas contribuyen a la reducción del impacto ambiental, impulsan la eficiencia en el uso de materiales y fomentan un modelo de producción más circular y resiliente.

2.2. Soluciones constructivas desde el diseño sostenible: NEXT-CER

El proyecto **NEXT-CER** afronta el diseño de un sistema constructivo de fachada eficiente y sostenible que impulse la industria de materiales cerámicos. Para lograrlo, se aborda el problema desde cuatro perspectivas interrelacionadas: el sistema constructivo, la pieza, la fabricación y la sostenibilidad.

La industria del ladrillo se ha adaptado a las exigencias del mercado y a la normativa vigente adoptando procesos productivos más eficientes, desarrollando nuevos productos orientados a la reducción de costes e implementando medidas de eficiencia energética. Este proceso de transformación tiene hitos clave como la estandarización impulsada por la industrialización y la definición del "ladrillo métrico" en 1942, que permitió una producción masiva. Posteriormente, la aparición de productos de mayor formato, como los bloques aligerados machihembrados, aportó mejoras en la ejecución de muros de una sola hoja, optimizando el comportamiento térmico y mecánico.

El contexto constructivo actual refleja una transformación del papel de la fachada: de muros portantes integrales a cerramientos independientes de las estructuras. Como consecuencia, hoy la fachada responde principalmente a exigencias en términos de aislamiento higrotérmico, y acústico; y eficiencia energética.

Actualmente, las líneas de investigación en el ámbito de los sistemas constructivos se centran en la mejora de la sostenibilidad del proceso edificatorio, abordando aspectos como la eficiencia energética, el uso racional de recursos y la descarbonización del ciclo de vida. Estas investigaciones priorizan sistemas constructivos en seco y de montaje rápido, que reducen la necesidad de mano de obra y el impacto ambiental en obra (Marzouk & Zaher, 2020). Asimismo, se orientan al desarrollo de soluciones con alta inercia térmica, mejor aislamiento acústico, mayor resistencia mecánica y durabilidad extendida (Cabeza et al., 2014). Se fomenta también el empleo de materiales locales o de bajo impacto ambiental y estrategias para minimizar el uso de agua, morteros y la generación de residuos durante la ejecución (Pomponi & Moncaster, 2017). Tras el análisis de los problemas a los que se debe dar respuesta, se ve necesario que el nuevo sistema constructivo dé la posibilidad de devolver la capacidad portante a la fachada, elimine los puentes térmicos, reduzca su complejidad y avance hacia la industrialización. Analizando la Tabla 1, se llega a la conclusión de que la solución debe incorporar la sencillez de los sistemas tradicionales, el reducido espesor del ladrillo visto con cámara de aire ventilada y la baja transmitancia térmica y los costos competitivos de sistemas con bloque cerámico de arcilla aligerada. Aprovechando, además, los avances técnicos de los bloques cerámicos aligerados, que proporcionan un buen rendimiento térmico y estructural con una sola hoja, pero acercándose a las proporciones y la apariencia del ladrillo tradicional, sin necesidad de revestimientos adicionales.

El proyecto desarrolla piezas cerámicas que den respuesta a estas necesidades, destacando el diseño de una pieza de gran tamaño y proporción horizontal para construir muros caravista de un pie. Esta pieza, con un peso moderado de menos de 10kg, permite reducir hasta en un 60% los tiempos de colocación respecto al ladrillo convencional y equivale funcionalmente a la instalación de tres ladrillos convencionales, con aislamiento térmico y revestimiento incluidos. La inclusión del aislamiento térmico en dos franjas de la pieza, junto con un diseño machihembrado y una geometría optimizada, permite alcanzar valores de transmitancia térmica por debajo de

0,25 W/m²·K sin necesidad de capas adicionales, lo que supera en un 30–40% el rendimiento de soluciones tradicionales con cámara de aire ventilada y doble hoja.

Tabla 1. Comparativa sistemas constructivos de fachada. Fuente: Elaboración propia a través de información extraída de Generador de precios. España. (<https://generadordeprecios.info/>)

Soluciones constructivas convencionales	Nº de elementos	Espesor mm	Transmitancia W/ m ² ·K	Costes €/m ²
Bloque aligerado y aislamiento por el exterior.	6	390	0.39	122.8
Ladrillo visto y cámara de aire ventilada	7	325	0.44	142.4
Aplacado cerámico y cámara de aire ventilada	5	350	0.42	169.9
Dos hojas trabadas	3	410	0.19	144.5
Solución del proyecto Next-Cer	2	245	<0.25	≈103,64

Las principales limitaciones detectadas incluyen la necesidad de adaptar los procesos productivos para fabricar el sistema, así como la dificultad de reciclaje por la combinación de materiales (cerámica y aislante). Esto puede dificultar su escalabilidad si no se consideran prioritarias sus ventajas en cuanto a eficiencia térmica, rapidez de ejecución y menor necesidad de medios auxiliares.

El uso de cerámica aligerada sin revestimientos ni aislamientos externos puede reducir hasta un 35 % las emisiones de CO₂ en la fase de construcción frente a sistemas convencionales. Además, su diseño industrializado promueve la economía circular al minimizar residuos, facilitar el desmontaje y optimizar el uso de recursos.

Los proyectos descritos impulsan la construcción circular mediante soluciones innovadoras. En el futuro, estos sistemas podrían transformar nuestras ciudades: **CER4FROST** podría permitir fachadas con ladrillos que integren residuos de paneles solares, mejorando su durabilidad. **SUSTAINFLOOR** podría crear aceras que generen energía para iluminar calles o alimentar sensores urbanos inteligentes. **NEXT-CER** podría llevar a la construcción rápida de viviendas sociales con fachadas de alto rendimiento, reduciendo costes y tiempos. Estas iniciativas no solo minimizan el impacto ambiental, sino que también abren un camino hacia un sector de la construcción más sostenible y tecnológicamente avanzado.

3. Agradecimientos

Los proyectos están cofinanciados por la Unión Europea y el Gobierno de Castilla-La Mancha (Fondo Europeo de Desarrollo Regional: Programa FEDER 2021-2027), convocatoria de Ayudas a Centros Tecnológicos, de Agencia Regional de Investigación e Innovación (INNOCAM), SBPLY_23_76300_000003 ; SBPLY_23_76300_000006 y SBPLY_23_76300_000008.

4. Referencias

- Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 22: Determinación de la resistencia al hielo/deshielo de las piezas para fábrica de albañilería de arcilla. UNE-EN 772-22, (2021).
- Oluleye, B. I., Chan, D. W. M., Saka, A. B., & Olawumi, T. O. (2022). Circular economy research on building construction and demolition waste: A review of current trends and future research directions. *Journal of Cleaner Production*, 357. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131927>
- Cabeza, L. F., Castell, A., Medrano, M., Leppers, R., & Zubillaga, O. (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 394–416. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037>
- Marzouk, M., & Zaher, M. (2020). Planning of modular construction projects using Work Breakdown Structure and Last Planner System. *Journal of Building Engineering*, 29, 101156. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101156>
- Pomponi, F., & Moncaster, A. (2017). Circular economy for the built environment: A research framework. *Journal of Cleaner Production*, 143, 710–718. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.055>

Planificando desde la salud en Getafe: diseño de barrios industriales y residenciales.

LA REHABILITACIÓN Y REGENERACIÓN COMO INSTRUMENTOS PARA LOS NUEVOS PARADIGMAS SOCIALES.

Alejandro Pacheco¹, Alexandra A. Paulino², David Velez Longas³ y Ester Higuera⁴

¹ Arquitecto, Universidad Politécnica de Madrid, alejandropacheco.vidal@alumnos.upm.es

² Ingeniera, Universidad Politécnica de Madrid, alexandra.a.paulino.p@gmail.com

³ Arquitecto, Universidad Politécnica de Madrid, david.velez@alumnos.upm.es

⁴ Dr arquitecto, Universidad Politécnica de Madrid, ester.higuera@upm.es

Resumen

Desde una concepción de salud como completo bienestar (OMS 1978) son muchas las carencias de los barrios de las ciudades existentes, que es preciso abordarlos desde una regeneración urbana integral desde la salud de las personas. Las propuestas siguen la línea metodológica de la *Guía para Planificar ciudades saludables desarrollado por José Fariña y su equipo en 2022* adaptadas a las necesidades y contexto de cuatro barrios de Getafe. Las principales aportaciones que se presentan son: el diagnóstico desde la salud de las personas, su priorización y finalmente la propuesta de un Plan de Acción desde la Salud en el Rosón, El ACAR (barrios residenciales) y Polígono de Los Ángeles y Los Olivos (barrios industriales). Hay proyectos, acciones y propuestas sobre el espacio público y su uso, de forma que se obtenga el doble objetivo de promover y prevenir desde la salud respondiendo a los ODS 3 y 11.

Palabras clave: Barrios residenciales saludables; barrios industriales saludables; Plan de Acción

Abstract

From a conception of health as complete well-being (WHO 1978), there are many deficiencies in existing city neighbourhoods, which need to be addressed through comprehensive urban regeneration based on people's health. The proposals follow the methodological line of the Guide for Planning Healthy Cities (Fariña et al., 2022) adapted to the needs and context of four neighbourhoods in Getafe. The main contributions presented are: the diagnosis from the point of view of people's health, its prioritisation and finally the proposal for a Health Action Plan in El Rosón, El ACAR (residential neighbourhoods) and Polígono de Los Ángeles and Los Olivos (industrial neighbourhoods). There are projects, actions and proposals on public space and its use, in order to achieve the dual objective of promoting health and preventing diseases, responding to SDGs 3 and 11.

Key words: Healthy Residential Neighbourhoods; Healthy Industrial Neighbourhoods; Action Plan

1. Oportunidad de planificar barrios saludables

1.1. La salud es bienestar

Desde 1978, la salud ha dejado de estar asociada a la ausencia de enfermedad (OMS 1978 en Moreno, G.A. 2008), para entenderse como un completo estado de bienestar. Desde la planificación saludable se busca alcanzar un estado de bienestar individual y social, físico y mental, por lo que es algo más ambicioso que el concepto de sostenibilidad. La definición de salud ha ido matizándose a lo largo de la historia; al principio del nacimiento de la disciplina urbanística en el siglo XIX, era imperioso resolver las redes de saneamiento de las poblaciones, por ejemplo (Gómez, E. 2009). En paralelo, cabe mencionar como en las ciudades aparecen factores extrínsecos muy negativos que pueden condicionar la calidad de vida de las personas, se conocen como los determinantes urbanos de salud (Higueras, E; Ezquiaga, J, 2022). En el siglo XXI, lograda una mayor esperanza de vida de la población, es preciso reflexionar sobre si es posible mejorar las condiciones de los barrios de la ciudad consolidada. La presente investigación analiza los determinantes urbanos desde la salud de una localidad madrileña para establecer propuestas, actividades y programas desde la salud que mejoren tanto la salud física como la mental de las personas.

2. Salud urbana desde la planificación y el diseño urbano

2.1. Introducción del caso de estudio, Getafe (Madrid)

El municipio de Getafe, cuya superficie total cubre un aproximado de 7.874 Hectáreas, se ubica en plena "Corona Metropolitana" de la Comunidad Autónoma de Madrid. Limita administrativamente hacia el Norte con Madrid, con Rivas-Vaciamadrid por el costado Este, con Leganés por el Oeste y hacia el Sur con Pinto y San Martín de la Vega (Imagen 1).



Imagen 1: Ubicación de Getafe, dentro de la Comunidad Autónoma de Madrid, izquierda y situación de la localidad de Getafe, donde se ve el viario supramunicipal y los límites administrativos. Fuente: Visor SIT Comunidad de Madrid, <https://www.comunidad.madrid/servicios/urbanismo-medio-ambiente/sistema-informacion-territorial-visor-sit>

Estos límites administrativos están notoriamente marcados por algunas estructuras supramunicipales que dan relación de movilidad a la vez que vertebran la ciudad en su sentido norte-sur y oriente-poniente. Hacia el Norte con la circunvalación de la M-45, que actúa como tercer anillo de la Corona Metropolitana y relaciona un tramo bastante concurrido con el Municipio de Leganés con quien además comparte ciertas cualidades espaciales, sociales y económicas bastante similares, inclusive con su vocación industrial.

La conformación del territorio de Getafe no es homogénea, dado que los 11 barrios que configuran la ciudad son tejido urbano residencial, que se concentra mayoritariamente en la parte oriental del término municipal, rodeado de zonas industriales. Se puede apreciar la vocación industrial de Getafe, con polígonos de centro de almacenajes y distribución, que tienen más de 60 años de antigüedad, como es el caso del Polígono de Los Ángeles, que se ubica hacia el sur de Los Molinos (Imagen 2).

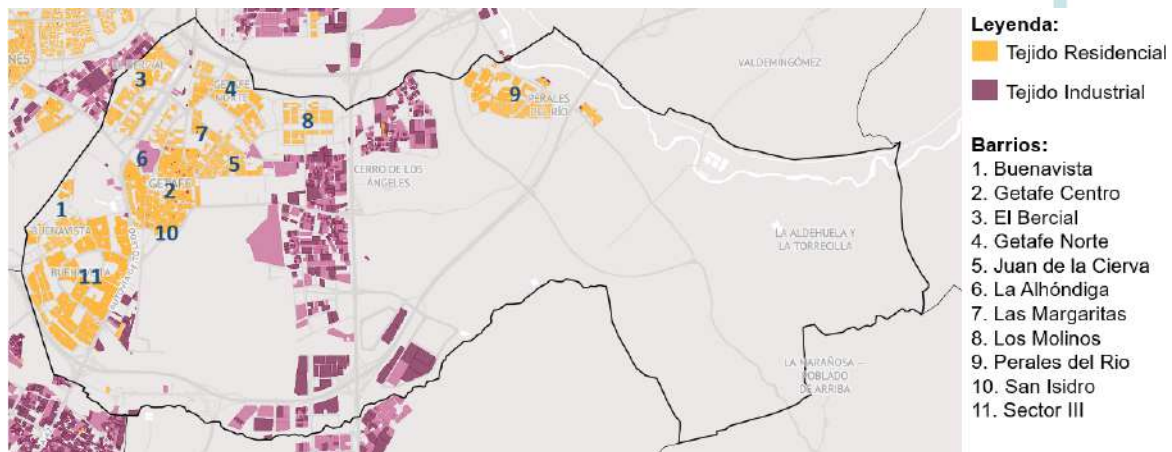


Imagen 2: Tejidos residenciales(naranja) e industriales (violeta) de Getafe.

Fuente: Visor <https://urban3r.es/>

En la actualidad, Getafe tiene una población de 183.219 personas (INE, 2024), con el primer descenso demográfico de su historia reciente en el año 2021. Tiene una densidad de población alta (2.327 hab/km² frente a los 757 hab/ km² de media de la Comunidad de Madrid). Getafe ocupa el sexto lugar de habitantes dentro de la región metropolitana de Madrid detrás de Madrid (3.305.408), Móstoles (209.639), Fuenlabrada (192.233), Alcalá de Henares (195.982), Leganés (187.762).

Una ciudad con estas dimensiones e integrada en la corona Metropolitana, presenta problemáticas complejas, cuya resolución no resulta nunca fácil y se deben afrontar mediante una serie de análisis, no solo socioeconómicos, de movilidad, sino que también se deben revisar los componentes medioambientales y determinantes de la salud de sus habitantes. Este es el objetivo de la investigación que se presenta.

2.2. Análisis de los barrios a partir de las determinantes de salud

Desde la corporación local se propusieron cuatro barrios para realizar una diagnosis y propuesta desde la salud, dos residenciales y dos industriales:

- **El Rosón:** Originalmente concebido como un polígono industrial y debido a la necesidad de expansión residencial y emplazado en las proximidades de la estación de Getafe Central, en las últimas décadas ha sufrido un proceso de transformación, lo que refleja el dinamismo urbano de Getafe. Se consolida en la actualidad como una zona residencial rodeado de equipamientos como la Universidad Carlos III de Madrid y el Hospital Universitario de Getafe, lo que destaca la importancia de la zona. (PGOU Getafe)
- **El ACAR:** Antiguamente era una zona de uso militar, El ACAR de Getafe se encuentra en proceso de transformación urbana para convertirse en un nuevo barrio con alrededor de 1.500 viviendas, priorizando la vivienda pública y el alquiler asequible para todos. Su desarrollo incluye la integración de infraestructuras de innovación tecnológica y cultural, además de la ampliación de la Universidad Carlos III y la mejora de servicios públicos, reflejando el crecimiento y modernización de la ciudad. (PGOU Getafe)
- **Polígono los Ángeles:** Es uno de los polígonos industriales más grandes, antiguos e importantes de la ciudad. Se inició en los años 1960. Ha sido objeto de una reciente rehabilitación para mejorar las condiciones de circulación, señalización, estacionamiento y cableado interno. Es un polígono en el que se asientan empresas de metalurgia, mecánica, y panificadoras. Se destaca por ejemplo Uralita, empresa que se ha desmontado por sus altos índices de contaminación y Corrugados Getafe, ambas en procesos de transformación.
- **Polígono Los Olivos:** El Polígono Industrial Los Olivos está situado en la N-IV Madrid-Andalucía, Km. 12, limitando al sur con el Cerro de los Ángeles. En él está el único

camping de la ciudad, el Camping Alpha. Polígono de actuación pionera en la comercialización de mini naves municipales de 150 m².

Para el análisis se tomarán en cuenta fuentes de información como los informes municipales de Getafe sobre calidad ambiental, (PGOU Getafe) análisis de ruidos, emisiones de material particulado, NOx y SO₂ del inventario ambiental de la localidad.

- Plan de Mejora de la Calidad del aire del Municipio de Getafe 2024-203, mayo de 2024
- Informe de la campaña de medición con captadores pasivos de dióxido de nitrógeno (NO₂) en el aire ambiente del municipio de Getafe realizada durante el mes de noviembre de 2023.
- Mapa Estratégico de ruido de la aglomeración de Getafe 4º fase.

Asimismo, gracias a las herramientas de análisis bioclimático, (carta bioclimática, estudio de vientos y determinación de las necesidades locales mes a mes) se analizaron los factores de soleamiento y viento de los espacios públicos. La finalidad consiste en comprender las condiciones que afectan la salud de la población, prevenir los riesgos y plantear estrategias adecuadas en cada barrio de trabajo.

2.3. Objetivos y Método

El objetivo es proponer un Plan de Acción desde el punto de vista de la salud de los barrios residenciales e industriales seleccionados de Getafe. Con la finalidad de lograr este objetivo, el método se articula en una primera fase analítica y una segunda propositiva. La analítica requiere hacer su diagnóstico considerando la salud, esto implica determinar la calidad ambiental, la accesibilidad, la movilidad y el bienestar social. La segunda propone un Plan de acción en salud. Para ambas se adoptan las 3 líneas estratégicas complementarias de la Guía para planificar ciudades saludables (Fariña et al., 2022) (Imagen 3).



Imagen 3: Fariña et al., 2022, Ministerio de Sanidad, FEMP. Madrid. ISBN: 978-84-09-41404-8. Depósito legal: M-15083-2022. NIPO: 133-22-093-7 Disponible en pdf en la web del Ministerio de Sanidad. Fuente: Ministerio de Sanidad - Áreas - Guía para planificar Ciudades Saludables

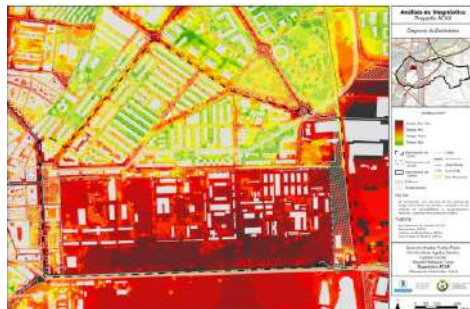
3. Resultados

Tras varios meses de trabajo para identificar y priorizar los factores que afecten a la salud de los barrios seleccionados, se realizaron mapas integrados de diagnóstico, análisis de datos estadísticos, visitas y cuestionarios. Se muestran en la Imagen 4 los barrios residenciales a la izquierda y los industriales a la derecha desde la diagnosis en salud y con las líneas prioritarias del Plan de Acción que se propone.

Barrios residenciales. El Rosón



El ACAR

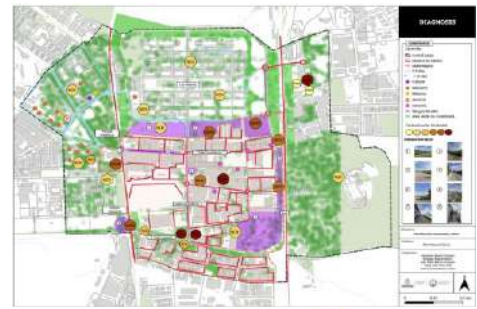


DES	PROGRAMAS	PROYECTOS
A. CAMINABILIDAD	P.A.1	Proyecto A.1.1. Adecuación peatonal en Calle Plus Ultra
		Proyecto A.1.2. Implementación del modelo de vivienda (espacio compartido) en Calle de la Comedrade Asunción Fernández
	P.A.2	Proyecto A.2.1. Construcción de un espacio de encuentro y convivencia en Calle de la Comedrade Asunción Fernández
B. ZONAS VERDES	P.B.1	Proyecto B.1.1. Ampliación del camino peatonal Paseo John Lennon hacia estación Getafe Industrial
		Proyecto B.1.2. Introducción de carril bici en Av. de los Ángeles (Vía de uso compartido)
	P.B.2	Proyecto B.2.1. Ampliación de la Avenida de las Vascongadas hasta el Paseo de John Lennon (Reconstrucción como parte del plan del ACAR)
C. CONVIVENCIA	P.C.1	Proyecto C.1.1. Renovación del pavimento urbano a lo largo de toda la vía peatonal (a drenaje) Calle Andacua - Av. Aragón - Av. de los Ángeles - Calle de Ramón y Cajal
		Proyecto C.1.2. Promoción de encuentros (o recorridos) mensuales desde el barrio hacia el Centro de los Ángeles/Parque Regional del Sureste
	P.C.2	Proyecto C.2.1. Plantación de nuevo ejemplar de buje

Barrios industriales Los Olivos



Los Ángeles



LINEAS DE ACCIÓN	PROBLEMAS	OBJETIVOS	PROYECTOS
LOS ÁNGELES, UNA VIDA MÁS ALLÁ DE LA INDUSTRIA	1. Ausencia de espacios públicos de calidad en el barrio de Los Olivos.	1. Mejorar la calidad de vida y la salud en el barrio de Los Olivos.	1. Construcción de un espacio de encuentro y convivencia en Calle de la Comedrade Asunción Fernández
	2. Ausencia de espacios públicos de calidad en el barrio de Los Olivos.	2. Mejorar la calidad de vida y la salud en el barrio de Los Olivos.	2. Construcción de un espacio de encuentro y convivencia en Calle de la Comedrade Asunción Fernández
CONSTRUIR UN PAISAJE INDUSTRIAL SALUDABLE	1. Ausencia de espacios públicos de calidad en el barrio de Los Olivos.	1. Mejorar la calidad de vida y la salud en el barrio de Los Olivos.	1. Construcción de un espacio de encuentro y convivencia en Calle de la Comedrade Asunción Fernández
	2. Ausencia de espacios públicos de calidad en el barrio de Los Olivos.	2. Mejorar la calidad de vida y la salud en el barrio de Los Olivos.	2. Construcción de un espacio de encuentro y convivencia en Calle de la Comedrade Asunción Fernández

Imagen 4: Diagnóstico gráfico y Plan de Acción de todos los barrios residenciales e industriales. Fuente: Elaboración propia: El Rosón: Susana Espinoza, Jaqueline Arroyo, Minerka Ibarra y Pilar Palomar; el ACAR: Alexandra Paulino, Dalci Eguiluz, Ricardo Rodríguez y Cerullo Cipriano; Los Olivos: Ana Vera, Anselmo Arribas, Benjamín Ascui y David Vélez; y Los Ángeles: Alejandro Alberto Pacheco, Santiago Rojano, Juan Pablo Blanco, Valeria Huancahuari y María Inés Pérez

La planificación y diseño de los espacios públicos desde una perspectiva de salud es una prioridad. La *Guía para planificar ciudades saludables*, facilita un proceso de análisis, diagnóstico y propuesta real y efectiva para lograrlo. Es esencial abordar los entornos residenciales y laborales considerando la calidad del aire, la reducción del ruido, la creación de lugares acondicionados microclimáticamente, la incorporación de suficiente arbolado y la dotación de espacios de encuentro que permitan actividades variadas. La salud se centra en las personas, por lo que es necesario conocerlas en toda su diversidad para que las acciones sean efectivas y reales. Barrios con población envejecida o industriales requieren enfoques diferenciados, que deben resolverse mediante un diagnóstico centrado en la salud de las personas y con Planes de Acción concretos. Estos proyectos, planes y programas lograrán el cambio hacia barrios saludables, inclusivos, diversos y vivos para todos. Como aportación más destacada se presenta una ordenanza ambiental que viene a revisar la compatibilidad de los usos en la zona industrial para lograr espacios más complejos y con mayor calidad de vida para los trabajadores en días laborales como para posibles nuevos usuarios con actividades ligadas al ocio en fines de semana.

Es imperativo transformar los barrios industriales en zonas complejas, donde se puedan articular actividades complementarias que mejoren la calidad de vida de los trabajadores. Además, es necesario establecer acciones y proyectos que fomenten la convivencia intergeneracional y aumenten la seguridad subjetiva de los espacios urbanos. Solo mediante una planificación saludable se podrán alcanzar las metas y objetivos de los ODS 3 (salud y bienestar) y ODS 11 (comunidades sostenibles), transformando los barrios de las ciudades consolidadas.

Ayuntamiento de Getafe. (2008). El Rosón Plan Parcial de Reforma Interior.
https://sede.getafe.es/portalGetafe/sede/RecursosWeb/DOCUMENTOS/1/1_7289_1.pdf

Fariña J, Higuera E, Román E, Pozo E (2022). *Guía para planificar ciudades saludables*. Ministerio de Sanidad, Ministerio de Sanidad, FEMP. Madrid. ISBN: 978-84-09-41404-8. Depósito legal: M-15083-2022. NIPO: 133-22-093-7. FEMP. Madrid.

Moreno, G. A. (2008). La definición de salud de la Organización Mundial de la Salud y la interdisciplinariedad. *Sapiens. Revista universitaria de investigación*, 9(1), 93-107.

Gómez, E. (2009). Un recorrido histórico del concepto de salud y calidad de vida a través de los documentos de la OMS. *Revista electrónica de terapia ocupacional Galicia, TOG*, 6(9), 4.

Higuera-García, E., & Ezquiaga-Domínguez, J. M. (2022). Barrios saludables, desde la renovación y el diseño de su espacio público. *Ciudad Y Territorio Estudios Territoriales*, 54(M), 113-130.

37

Circular Concrete

Hacia un Futuro Sostenible en la Construcción

LA DESCARBONIZACIÓN Y LA ECONOMÍA CIRCULAR PARA UNA ESTIÓN EFICIENTE DE LOS RECURSOS NATURALES.

Ana Arenas Vivo¹

¹ Responsable de sostenibilidad y gestión de producto, Dept. Técnico, Sika S.A.U.
arenas.ana@es.sika.com

Resumen

Circular concrete is a concept that is based on the principles of the circular economy, aiming to transform the way we produce, consume, and manage resources, with the objective of reducing waste, extending the useful life of materials and minimizing the environmental impact. In the context of concrete, this implies optimizing the use of resources, reducing carbon emissions and prolonging the useful life of structures, increasing productivity in the entire value chain of concrete.

Palabras clave: Hormigón circular; sostenibilidad; huella de carbono.

Abstract

Circular concrete is a concept based on the principles of the circular economy, aiming to transform the way we produce, consume, and manage resources. Its goal is to reduce waste, extend the lifespan of materials, and minimize environmental impact. In the context of concrete, this means optimizing resource use, reducing carbon emissions, and extending the service life of structures, ultimately increasing productivity across the entire concrete value chain.

Keywords: Circular concrete; sustainability; carbon footprint.

1. Circular Concrete

1.1. Introducción

En un modelo de economía lineal, el hormigón tiene una finalidad definida y ya no puede volver a su estado original. Al final de su vida útil se desecha como residuo y la mayor parte de los residuos de demolición de hormigón acaban en vertederos (Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible) [1]. En una economía basada en el reciclaje, parte del antiguo hormigón puede reciclarse y reutilizarse en la producción de nuevo hormigón. Sin embargo, en una economía circular se busca que no exista ningún residuo en el proceso de producción y reciclaje del hormigón.

1.2. Problema del Hormigón Convencional

El hormigón es un material de construcción excepcional. Está ampliamente disponible, es económico, sólido y duradero, y fácil de trabajar, todas ellas propiedades atractivas para la industria de la construcción. Sin embargo, el hormigón también tiene sus inconvenientes.

El cemento contenido en el hormigón consume mucha energía durante su proceso de producción y emite grandes cantidades de CO₂. Esto último, combinado con la enorme demanda de hormigón y la baja tasa de reciclaje simultánea, hace que el hormigón constituya un impacto no deseable para el medio ambiente [2].

Actualmente, no existe una alternativa viable al hormigón. Ningún otro material puede sustituir al hormigón en términos de volumen. Es por esto que solo existe un camino para minimizar los impactos derivados de su utilización: las partes involucradas en la industria de la construcción deben hacer que el hormigón sea más sostenible a lo largo de toda su cadena de valor.

1.3. Principios del Circular Concrete

La economía lineal del hormigón en la construcción genera escasez de recursos y más desechos en cada paso del proceso de fabricación, mientras que la economía circular permite obtener muchos beneficios.

Dentro de la economía del reciclaje, el antiguo hormigón puede ser reciclado y reusado dentro de la producción de nuevo hormigón. La aspiración es una transición a una economía circular en la que no se produzca ningún desperdicio en el proceso de producción y reciclaje del hormigón (Figura 1).

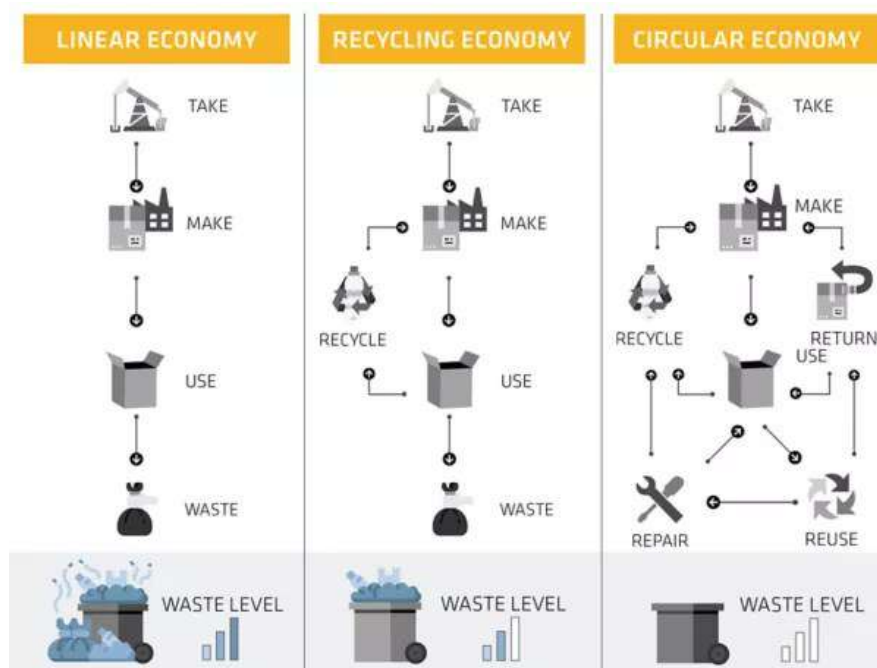


Figura 1. Diferencias entre economía lineal, reciclaje y circular [3].

Al avanzar hacia una economía circular en la construcción se obtienen varias ventajas, que son el objetivo final de la estrategia Circular Concrete (Figura 2):

- Menos residuos de hormigón en los vertederos.
- Menos materias primas utilizadas.
- Menos emisiones de CO₂.
- Menos consumo de energía.

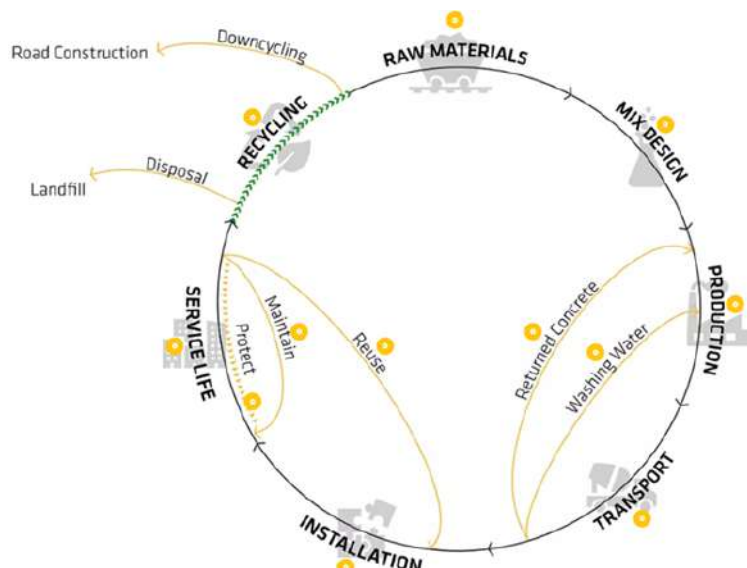


Figura 2. Etapas del concepto Circular Concrete [3].

1.4. Tecnologías y Métodos Innovadores

La principal fuente de emisiones de carbono en el hormigón está en la producción de cemento. Por esto la estrategia detrás de Circular Concrete tiene como base el eslogan Less3C (less clinker, cement and concrete). Esto se consigue por el medio de uso aditivos en toda la cadena de valor del hormigón: adición en masa de superplastificantes y plastificantes, junto con aditivos de molienda para cemento. El uso de dichos aditivos ahorran hasta 100 millones de toneladas de cemento al año, lo que implica unos 65 millones de toneladas de CO₂ menos por año [2], reduciendo el impacto ambiental de los materiales de construcción y sus emisiones de carbono, sus costes y su complejidad (Tabla 1).

Tabla 1. Reducciones de las emisiones de CO₂. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ensayos y DAP sectoriales [4].

kg de CO ₂ equivalente por m ³ de hormigón							
	Cemento	Arena	Agregados	Agua	ViscoCrete	Energía	Total
Referencia	391.10	2.69	25.78	0.04	0.00	5.42	425.03
HAC-40	331.82	3.47	20.21	0.03	4.75	5.42	365.70

En el caso de los aditivos de molienda del cemento, los nuevos avances permiten a la industria del cemento ofrecer nuevos productos más sostenibles. Los aditivos permiten el reemplazo de Clinker por adiciones complementarias al cemento, sin que se vea afectada la eficiencia del proceso de molienda y las prestaciones finales de los nuevos cementos tipo III, IV y V. Así mismo, estos aditivos permiten la transición a la nueva generación de cementos LC3 (*limestone calcined clay cement*), solución clave para la estrategia Cero Neto del sector [2].

El uso de aditivos superplastificantes no solo mejora la trabajabilidad del hormigón, sino que también permitir reducir significativamente la cantidad de cemento en la mezcla, manteniendo propiedades clave como la resistencia y la misma trabajabilidad. Esta reducción se traduce en un ahorro económico para el usuario final y en una menor emisión de CO₂ al medio ambiente de los hormigones resultantes del uso de los aditivos. Los superplastificantes permiten reducir hasta un 40% el agua en el hormigón [2], logrando altas resistencias para aplicaciones como prefabricados, hormigón proyectado y ultra-altas resistencias (Tabla 2).

Tabla 2. Reducción de agua y mejora de las resistencias en un hormigón real [4].

	Ref. cliente	0.6% ViscoCrete®	1.0% ViscoCrete®
	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
Cemento	350	350	350
AF 0/4	850	850	850
AG 4/20	930	930	930
Agua	228	193	158
A/C	0.65	0.55	0.45
RCS 28d	40 Mpa	50 Mpa	60 Mpa
Reducción de agua	0%	15%	31%
Aumento de la resistencia	0%	25%	50%

Otro foco de la estrategia Circular Concrete, además de la minimización del consumo de clinker y cemento en los hormigones, busca la reintroducción de áridos del hormigón devuelto para minimizar la generación de residuos y fomentar la circularidad en plantas de hormigón. El hormigón devuelto es aquel que regresa a la planta en el camión hormigonera, ya sea por no cumplir las especificaciones de calidad al llegar a la obra (por ejemplo, por pérdida de trabajabilidad debido a retrasos en el transporte) o por errores en el pedido, incluyendo excedentes. Se estima que hasta un 4% del hormigón producido es devuelto [5]. Para optimizar su reutilización, aditivos específicos permiten estabilizar el hormigón fresco devuelto, facilitando su reaprovechamiento y reduciendo el desperdicio en planta.

1.5. Nuevas vidas para el antiguo hormigón: Proyecto ReCO₂ver

Por otro lado, una vez el hormigón ya pasa a ser un residuo de construcción y demolición (RCD), entra en acción otro tipo de estrategias, que también son parte del proyecto Circular Concrete. Hasta ahora los RCD han alcanzado un nivel insatisfactorio, las tasas de retorno del material que se recicla está por debajo del 60% y su aplicación se limita a hormigones de baja calidad. Esto se debe a la calidad de los áridos obtenidos, limitándose su uso solo a un 30%, nivel bastante insatisfactorio en el que la calidad del hormigón debe compensarse con el aumento de cemento y aditivos [6], presentando en algunos casos aumentos en el potencial del calentamiento global. Circular Concrete responde a esta necesidad de generar un reciclado de calidad con el proyecto ReCO₂ver (Figura 3).

Además de recuperar los áridos primigenios del hormigón reciclado y valorizar otros componentes, incluye una patente con la que se consigue la carbonatación de estos materiales, siendo un sumidero de CO₂ y obteniendo además un fino polvo carbonatado que puede emplearse como filler o bien como adición al cemento [6].

Se trata de un proceso altamente eficiente para separar y reutilizar los componentes de demolición de hormigón y aumentar la calidad de los áridos reciclados. El antiguo hormigón se descompone en sus partes individuales (agregados, arena y material fino) mediante un proceso que a su vez captura grandes cantidades de CO₂ [3].

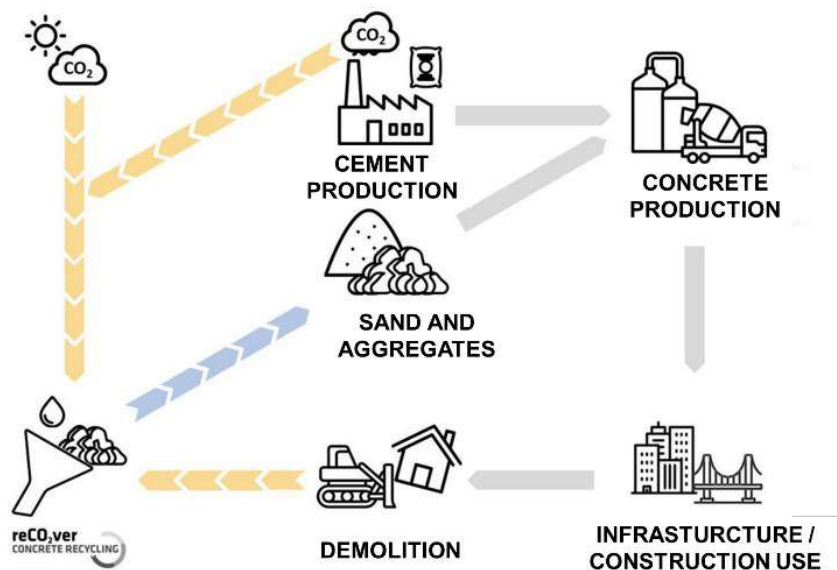


Figura 3. Proceso ReCO₂ver [6].

El reciclar hormigón tiene muchos desafíos: Los fragmentos producidos tienen mayor superficie específica y mayor porosidad que los agregados convencionales. Las novedosas tecnologías de reciclaje de este proyecto aprovechan la sinergia de un tratamiento químico-mecánico de los residuos de demolición de hormigón. Esto implica la carbonatación superficial de la matriz cementicia, que se ablanda y elimina mediante un proceso de desgaste. De esta manera, se obtienen superficies recién expuestas, capaces de carbonatarse aún más hasta lograr áridos libres de material cementicio. Así, los residuos de demolición de hormigón/mortero pueden separarse en “áridos secundarios” para su reciclaje con un nivel de calidad equivalente al material primario, y un material en polvo utilizable como materias primas secundarias en un amplio espectro de aplicaciones.

Este tipo de procesos ya se están testando en plantas piloto con el fin de replicar el proceso estudiado en el laboratorio a gran escala. En ellas, el material pre-triturado es depositado en una tolva, transportado por medio de una cinta transportadora y depositado en una cámara giratoria, en donde entra en contacto con el CO_2 que es inyectado al sistema. Debido a la rotación, el material cementoso carbonatado es removido más fácilmente de la superficie de los agregados. En este paso aditivos son agregados para optimizar el proceso y facilitar la separación y extracción del material.

El material fino carbonatado es extraído por un proceso de aire y separado con sistema de filtros. El aire puede ser calentado o deshumidificado, dependiendo de las condiciones requeridas. Al final del proceso los materiales son almacenados en diferentes fracciones, polvo, 0-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm y 16-32 mm (Figura 4).

Cuando el hormigón es reciclado de manera tradicional, se tritura y se reutiliza como árido y su uso queda limitado a ciertas aplicaciones definidas por la normativa. En algunos países, por ejemplo, no es apto para estructuras expuestas a ciclos de hielo-deshielo, ya que su alta porosidad reduce la resistencia a las heladas.

Con los nuevos procesos, se consigue eliminar la pasta de cemento adherida a los áridos reciclados, mejorando su calidad. Gracias a este avance, es muy probable que se amplíe el rango de aplicaciones, facilitando un uso más versátil y sostenible.

Después de 2 años de pruebas convirtiendo RCD en áridos limpios y polvo con secuestro de CO_2 , se ha establecido que los áridos recuperados presentan menos absorción de agua (Figura 4). Ha sido posible la captura 15 kg de CO_2 por cada tonelada de RCD procesada, sin contar las emisiones evitadas por la disminución de la mayor demanda de cemento en el hormigón reciclado convencional y la sustitución parcial de clínker con el polvo fino generado (como material complementario al cemento) [6].

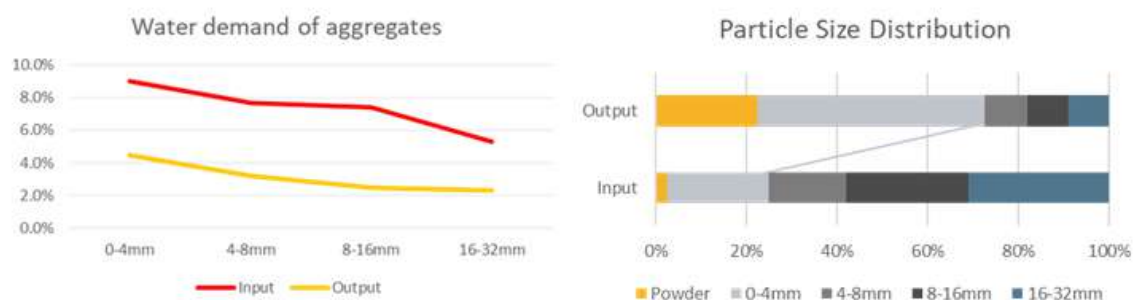


Figura 4. Demanda de agua y distribución de partícula, proceso reCO2ver [6].

Pruebas posteriores confirman que el material obtenido mediante el mismo proceso presenta una reducción del 50-60 % en la absorción de agua en comparación con el RCD triturado original [6]. Además, la distribución granulométrica de la muestra evoluciona de un árido más grueso a una composición más fina, resultado de la separación y limpieza realizadas durante el proceso.

2. Conclusiones

El hormigón, a pesar de ser el material de construcción más utilizado, tiene un alto impacto ambiental debido a su elevado consumo de recursos y emisiones de carbono. En este contexto, la innovación desempeña un papel clave, para desarrollar estrategias de reducción de las emisiones y avanzar hacia la circularidad en la construcción y proporcionar las químicas que permitan conseguir:

- Ahorro de energía en la producción de cemento y reducción de clínker en el cemento mediante la mejora de la resistencia con aditivos de molienda.
- Reducción de agua y cemento en la producción de hormigón mediante el uso de superplastificantes.
- Recuperación del hormigón devuelto a las plantas para nuevos usos con nuevas químicas.
- Reducción de los residuos de demolición, transformando el hormigón reciclado en áridos de calidad, a la vez que se captura CO₂. Con la adición de aditivos es posible el reemplazo de hasta un 18% de cemento por polvo obtenido en este proceso, obteniendo resultados similares a un hormigón de referencia en cuanto a trabajabilidad y resistencia mecánica.

3. Referencias

1. Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD). **La iniciativa por la sostenibilidad del cemento**. 2009. Available online: https://docs.wbcsd.org/2009/06/e-CSI_Recycling_Concrete_Spanish.pdf (accessed on 30 June 2025).
2. Sika España. **Libro Blanco, como hacer del hormigón un material de construcción más sostenible**. 2019. Available online: <https://esp.sika.com/dam/dms/es01/d/White-Paper%20hormigon-ES%20.pdf> (accessed on 30 June 2025).
3. Sika. **Solutions for the Entire Value Chain of Concrete**. Available online: <https://www.sika.com/en/knowledge-hub/enable-circularity-make-concrete-more-resource-efficient.html> (accessed on 30 June 2025).
4. Sika. **Informes ensayos internos para clientes**. 2024.
5. Sika. **Enable Circularity - Make Concrete More Resource Efficient**. Available online: <https://www.sika.com/en/knowledge-hub/enable-circularity-make-concrete-more-resource-efficient.html> (accessed on 30 June 2025).
6. Sika. **Reco2ver Project**. Available online: <https://www.sika.com/en/knowledge-hub/reco2ver-concrete-recycling.html> (accessed on 30 June 2025).

Sostenibilidad ambiental y social: Viviendas Pasivas para alquilar intergeneracional

El caso de UNIT-E comunidad de 58 VPO en Barañain, Navarra

NUEVAS FORMAS DEL HABITAR: LA VIVIENDA COMO UNA OPORTUNIDAD PARA EL SECTOR Y LA SOCIEDAD.

Daniel Galar Irurre¹ y Borja Lorenzana Moreno²

¹ Arquitecto urbanista, GVG estudio, galar@gvgestudio.com

² Arquitecto, MOEST works, borja@moest.es

Resumen

UNIT-E es un ejemplo de buenas prácticas que revisa el modo de vivir y convivir en un contexto de incertidumbre habitacional. El proyecto propone una tipología de vivienda protegida para determinados grupos etarios, menores de 35 y mayores de 60 años, mediante una solución híbrida de usos y espacios comunitarios entre la vivienda y la ciudad. Con una financiación multilateral de agentes públicos y privados, posee un fuerte componente de eficiencia energética, calidad espacial y de comunidad.

El proyecto fue ganador de un concurso abierto de proyectos promovido por Nasuvinsa, gestor público de vivienda de la Comunidad Foral de Navarra.

Palabras clave: arquitectura; eficiencia; intergeneracional; comunidad.

Abstract

UNIT-E is an example of good practices, which reviews the way of living and coexisting within a context of housing uncertainty. The project proposes a typology of protected housing for certain age groups, those under 35 and over 60, through a hybrid solution of private uses and communal spaces between the home and the city. Funded multilaterally by public and private stakeholders, it features a strong component of energy efficiency, spatial quality and community.

The project was the winner of an open project competition promoted by Nasuvinsa, public housing manager of the Foral Community of Navarra.

Key words: architecture; efficiency; intergenerational; community.

1. Introducción

La vivienda actual no debe limitarse a resolver un problema cuantitativo. En un contexto de crisis ambiental, habitacional, demográfica y de desigualdad, la arquitectura ha de solucionar problemas sociales complejos. En este caso, analizamos la respuesta a esta encrucijada a través del proyecto UNIT-E desde un concepto amplio de sostenibilidad social, económica y ambiental.

1.1. El plan de Navarra

UNIT-E forma parte de la **Fase I** del **Navarra Social Housing** del Gobierno de Navarra (2016) para construir 1.200 Viviendas Protegidas para el parque público de alquiler. Esta fase ha sido cofinanciada por el Banco Europeo de Inversiones (29%), Nasuvinsa (23,5%), el Gobierno de Navarra (17,5%), el Mecanismo de Recuperación y Resiliencia de la Unión Europea (9,2%) y la Fundación Caja Navarra de la Caixa (10%). El Ayuntamiento de Barañáin cede el terreno (10,8%) para 75 años.

1.2. Arquitectura como herramienta social

Nasuvinsa se alinea con los objetivos europeos de mejora medioambiental y regeneración urbana a través de concursos públicos y de la arquitectura (ver Figura 2). El resultado, un elenco de proyectos con aspectos innovadores sobre la industrialización, construcción en madera, biomasa, modelos de cohabitar, pobreza energética, etc. Se aprecia en ellos la representatividad de edificio público y la voluntad de elevar el estándar de calidad a la vivienda protegida.

1.3. El caso Barañáin

Nasuvinsa elabora un programa de necesidades en función de las solicitudes de cada zona. Barañáin es un municipio de 20.000 habitantes de la periferia de Pamplona creado entre los 70 y 80. La demanda principal es de pisos pequeños para jóvenes y mayores que refleja el envejecimiento homogéneo del barrio. El 40% son de un dormitorio, y el 60% restante de dos. Un 17% se destinan a la reserva obligatoria de discapacidad motriz grave, víctimas del terrorismo, víctimas de violencia de género y único solicitante. El restante se destina a menores de 35 años y mayores de 60 inscritos en el Centro de Solicitantes y una fracción para habitantes de Barañáin.

1.4. El lugar

El edificio se ubica en un área trasera de una antigua parcela dotacional educativa que solamente se construyó la mitad hacia la calle principal, dejando el resto hacia un vial de borde (ver Figura 1). El desnivel de la parcela es de 6 metros. La orientación a sur es favorable y con vistas privilegiadas. Topográficamente, se eleva sobre la vaguada del río Elorz y los campos de trigo.



Figura 1. Solar. Fuente: Elaboración propia / Figura 2. Infografía de concurso. Fuente: Elaboración propia.

2. La sostenibilidad como medio

La creación de parque público de vivienda en alquiler de Navarra se plantea a largo plazo y la sostenibilidad se entiende en un amplio concepto medioambiental, social y económico. La financiación europea se destina a elevar el estándar energético del edificio, no como fin en sí mismo, sino para conseguir un triple objetivo:

2.1. Ahorro contra el desequilibrio social

Se opta por el estándar **PassivHaus Classic** que limita la demanda de calefacción a 15 kWh/m²a. **El promotor garantiza gratuitamente una temperatura entre 18° y 27°** evitando la pobreza energética. En las noches de verano, la aerotermia de los locales convierte el suelo radiante en refrescante y, con el control solar y la ventilación cruzada, evita el sobrecalentamiento.

2.2. Edificio sano

Se garantiza la calidad del aire mediante una **plataforma de telegestión** que actúa sobre los recuperadores de calor de doble flujo. Se controlan los niveles de temperatura, humedad y CO₂, en ocasiones desatendidos por el usuario, que pueden acelerar el deterioro de la vivienda.

2.3. Energía kilómetro cero

La producción de calefacción y ACS se resuelve con **biomasa de astilla de residuos forestales**. Se enmarca en las acciones del **proyecto BIO4RES** (Interreg Sudoe, 2018) y la **Agenda Forestal de Navarra** de prevención y riesgo de incendio en bosques cercanos (Gobierno de Navarra, 2019). El silo garantiza un mes de consumo y se diseña según el IDAE (IDEA, 2009).

3. Los lugares intermedios: vivir y convivir

El proyecto investiga sobre los espacios intermedios como lugares de unión y convivencia. Se fomenta la comunidad entre los habitantes de diferentes generaciones y de estos con el entorno.

3.1. Entre vivienda y campo

Hacia el sur, una fachada profunda define la relación de las viviendas con las vistas privilegiadas y controla la radiación directa. Se crea una secuencia de generosas terrazas que se miran entre sí a modo de fachada habitable. Si bien se crean mecanismos de separación entre ellas, se permite las visiones cruzadas, diagonales y verticales (ver Figuras 3, 4 y 5).

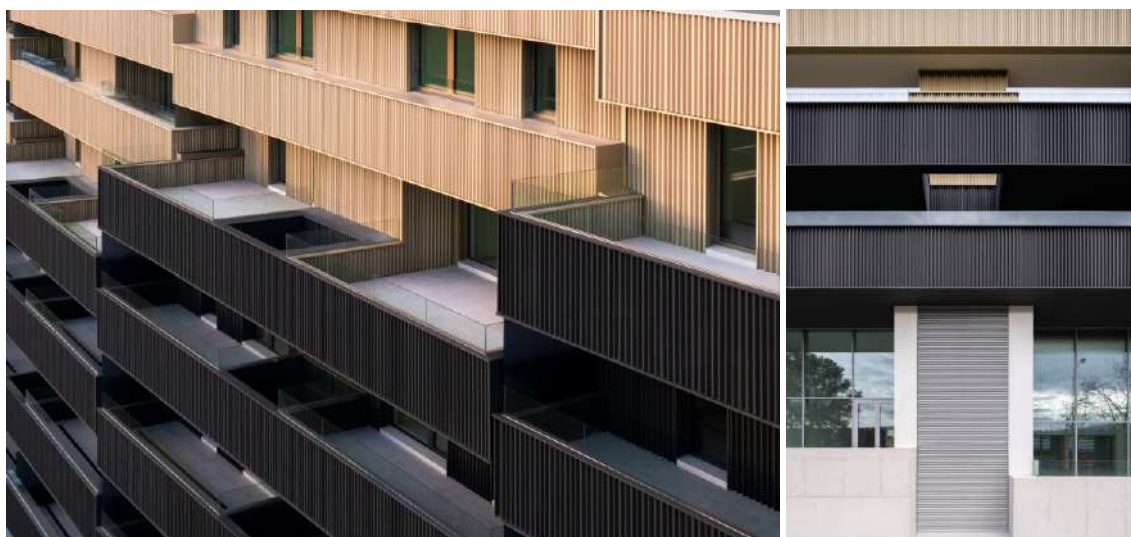


Figura 3. Terrazas a sur. Fuente: Rubén P. Bescós / Figura 4. Planta baja. Fuente: Rubén P. Bescós.

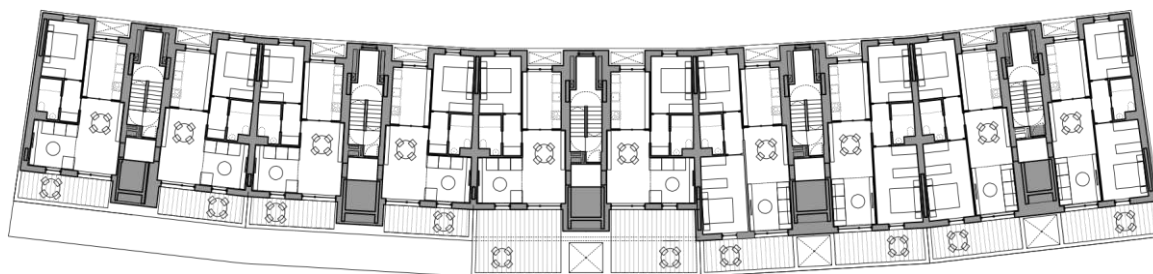


Figura 5. Planta tercera de viviendas. Fuente: Elaboración propia.

3.2. Entre vivienda y ciudad

Se cambia el carácter comercial de planta baja por espacios comunitarios: seis salas de gran altura entre lo público y lo privado, donde se implementan usos como **oficina, estudio, cantina, salón social, sala de actividades, lavandería** (ver Figura 7) y un pequeño **auditorio sobre la rampa de garaje** (ver Figura 6) para charlas o proyecciones. En ático, se habilitan zonas de **txoko o sociedad gastronómica** y de **huerto** con terraza propia.



Figura 6. Auditorio. Fuente: Rubén P. Bescós / Figura 7. Cantina. Fuente: Rubén P. Bescós.

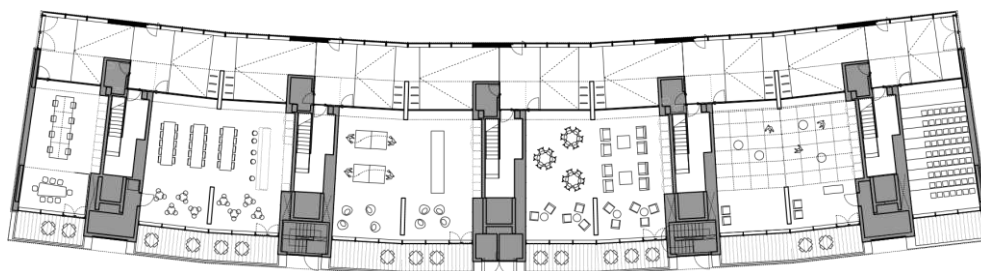


Figura 8. Planta baja, locales comunitarios y portales. Fuente: Elaboración propia.

A cambio de un alquiler gratuito, la **Fundación Adsis** gestión los locales comunitarios, haciendo funcionar al edificio como una **pequeña ciudad**. Adsis trabaja en programas específicos con gente joven y personas mayores. Ubica su oficina en el edificio y administra la finca. Se construye una galería de comunicación ciclable orientada a Norte y protegida por un muro cortina (ver Figuras 9 y 10). Dicha galería, tiene un espíritu de **calle activa** y sirve de acceso a las escaleras, locales. En ella, se pueden aparcar bicicletas y pequeños vehículos de movilidad personal.

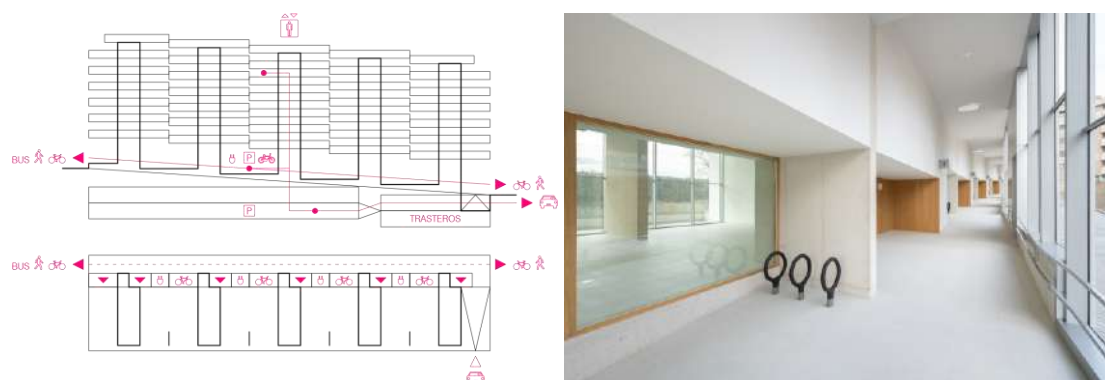


Figura 9. Esquema movilidad. Fuente: Elaboración propia / Figura 10. Galería. Fuente: Rubén P. Bescós.

3.3. Entre generaciones

El inquilino se puede acoger a dos programas de subvenciones: al **Plan de alquiler de apartamentos protegidos para mayores de 60** (Gobierno de Navarra, 2011) y al **Programa de alquiler joven EMANZIPA** (Gobierno de Navarra, 2025) de menores de 35. Se mejora así el acceso a vivienda del público objetivo. La **tipología** de las viviendas (ver Figura 11) es acorde a

las necesidades de los usuarios. Las habitaciones son amplias para residentes solos, en pareja, con asistencia o unidad familiar. Todas pueden destinarse a jóvenes o mayores. **Todas las viviendas son accesibles, no solo el 17% exigible.** Aunque la rotación sea alta, siempre se dispondrá de vivienda accesible.

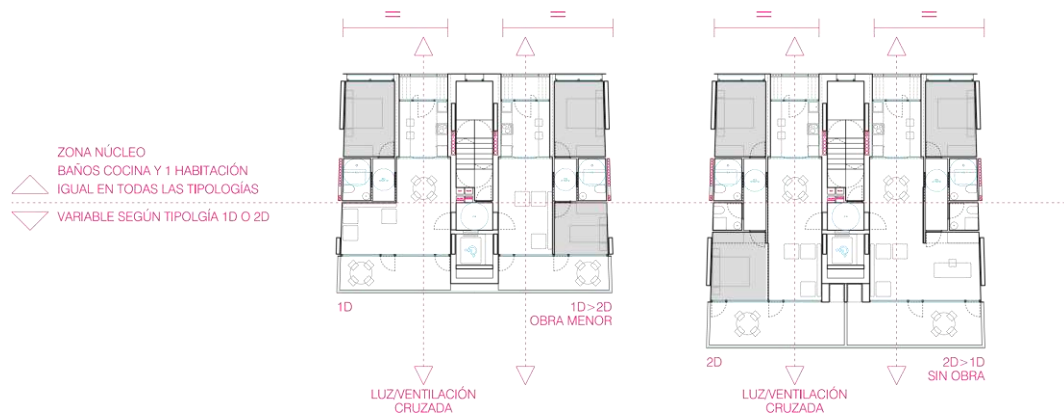


Figura 11. Esquema de tipologías de vivienda de 1 y 2 dormitorios. Fuente: Elaboración propia.

4. Lo arquitectónico, lo social.

En este caso, no se ha buscado resolver el proyecto arquitectónico desde una idea genésica de jerarquía superior, muy habitual en arquitecturas auto-referenciadas. Por eso se ha trasladado esta justificación al final del texto. Más bien es un ejercicio matemático, en el que todos los requisitos se van sumando, sin renunciar a ninguno o subordinarlo. La formalización simplemente se limita a minimizar los gestos como si de un ideograma se tratara. Si recordamos a Carlo Scarpa cuando decía que “*El valor de una obra es su expresión*”, podríamos concluir que el valor arquitectónico de UNIT-E está en la expresión de sus aspectos sociales.

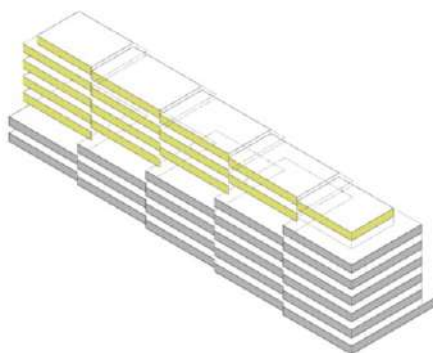


Figura 12. Volumetría. Fuente: Elaboración propia / Figura 13. Fachada suroeste. Fuente: Rubén P. Bescós.

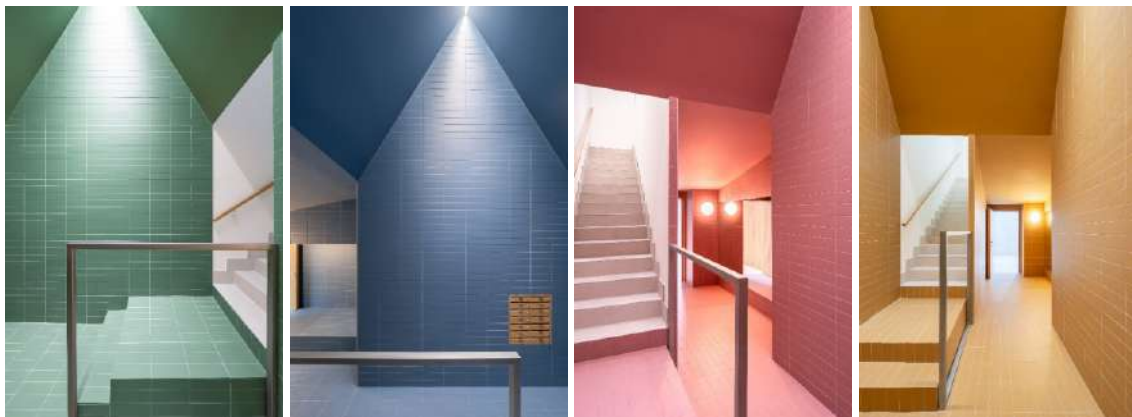


Figura 14, 15, 16 y 17. Portales con diferenciación de color. Fuente: Rubén P. Bescós.

El proyecto se conceptualiza principalmente en sección, el plano más humano. Un juego de **apilabilidad ordenada** de las viviendas sobre un espacio abierto en la planta baja refleja las relaciones de los usuarios con el entorno. Se conforma un **volumen en contradiagonal** que responde a la fuerte topografía de la calle y el campo (ver Figuras 12 y 13). El escalonado de las plantas bajas permite una relación cercana con la calle. Las viviendas de 1 dormitorio (chapa dorada), de menor fondo, se apilan sobre las de 2 dormitorios (chapa gris), más profundas. Se crea un volumen capaz más sobrio (gris oscuro) y unas terrazas retranqueadas más vibrantes (dorado). Los portales, de fuerte componente vertical, se diseñan con un juego de techos que continúa hacia las escaleras blancas de manera intuitiva. Se diferencian por colores para una mejor orientación de los vecinos (ver Figuras 14 a 17).

5. Conclusiones

De este caso se pueden extraer una serie de lecciones replicables en otros territorios:

- **Gestión íntegramente pública:** obtención de suelo, concurso de arquitectura, proyecto, licitación, seguimiento de la obra, alquiler, mantenimiento, programa social y comunitario.
- **Colaboración y éxito:** mediante sinergias entre entidades: Unión Europea, Gobierno de Navarra, Ayuntamiento de Barañáin, ONGs, fundaciones y entes privados.
- **Cesión de suelo a largo plazo:** reduce el valor de repercusión del suelo. El retorno del edificio al ayuntamiento se realiza tras un período amplio de amortización. También libera al ayuntamiento de la gestión en favor de un promotor público centralizado.
- **Programa innovador:** fomenta la interrelación de grupos de población más sensibles en el ámbito que se construye, como las unidades familiares pequeñas o individuales, y de éstos con la comunidad. Se minimiza el impacto del alquiler en la economía doméstica.
- **Apuesta por la arquitectura:** que eleva el estándar y ejerce su representatividad pública sin incrementar el coste. También eleva el listón a la promoción privada.
- **Financiación institucional útil:** destinada, a través ahorro energético, a objetivos más amplios como la limpieza forestal, revitalización del tejido económico maderero regional, mitigación de la pobreza energética o durabilidad y amortización de la edificación.

Este proyecto muestra la oportunidad de la vivienda para repensar cómo habitamos, nuestras relaciones y su repercusión en el entorno a través de una propuesta híbrida. Se plantea como una máquina social, medioambiental, económica y cultural que nace de la colaboración.

6. Referencias

- Gobierno de Navarra. (2011). *Alquiler de apartamentos protegidos*. www.navarra.es/home_es/Temas/Vivienda/Ciudadanos/Alquiler/Alquiler+de+vivienda+protegida/Apartamentos+Tutelados/
- Gobierno de Navarra. (2019). *Agenda forestal 2019–2023 | Gobierno Abierto de Navarra*. <https://gobiernoabierto.navarra.es/es/gobernanza/planes-y-programas-accion-gobierno/agenda-forestal-2019-2023>
- Gobierno de Navarra. (2025). *EMANZIPA: Ayudas al alquiler joven*. www.navarra.es/home_es/Temas/Vivienda/Ciudadanos/Ayudas+y+subvenciones/Emanzipa/
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2009). *Guía técnica: Instalaciones de biomasa térmica en edificios*. <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-instalaciones-de-biomasa-termica-en-edificios>
- Interreg Sudoe. (2018, enero 4). *Trabajo en red para el desarrollo de un modelo integrado de gestión sostenible de la biomasa forestal en circuito corto aplicable a zonas de montaña del espacio SUDOE*. <https://5.interreg-sudoe.eu/proyectos/los-proyectos-aprobados/184-trabajo-en-red-para-el-desarrollo-de-un-modelo-integrado-de-gestion-sostenible-de-la-biomasa-forestal-en-circuito-corto-aplicable-a-zonas-de-montana-del-espacio-sudoe>
- Navarra Social Housing. (2016). *Plan de vivienda de alquiler / Alokairuko etxebizitzaren plana*. <https://www.navarrasocialhousing.eu/>

Rehabilitación Energética Integral Comunidad de Propietarios Torre Efisa, La Coruña.

LA REHABILITACIÓN Y REGENERACIÓN COMO INSTRUMENTOS PARA LOS NUEVOS PARADIGMAS SOCIALES.

Vanessa Castro Jiménez¹ y Tomás Humada Buitron²

¹ Ingeniero de Telecomunicaciones, Responsable de edificación y eficiencia energética en Iberdrola, vcim@iberdrola.es

² Arquitecto, Jefe de producto de edificación, thumada@iberdrola.es

Resumen

Se rehabilita un complejo de edificios con 181 hogares y 72 locales donde se incluye la renovación y aislamiento de fachadas y cubiertas y la electrificación del calor, sustituyendo calderas de gasoil y depósitos de acumulación por bombas de calor y apoyo de caldera de gas lo cual, junto con la instalación de autoconsumo FV, supone la reducción de su necesidad de calefacción en más de un 75% y de un 90% de las emisiones de CO₂ con esta Rehabilitación. Efisa no es sólo un edificio de 1974 en A Coruña, es más de una manzana, casi un pueblo que decidió realizar la intervención, reconocida en los Premios Galicia de Energía 2022, de casi 7,5M€ con subvención de 4,6M€ y un descuento en CAE's de 0,2M€. La decisión fue clara al entender que el resultado de la actuación conllevaría mayor eficiencia, mayor bienestar y una revalorización del inmueble.

Palabras clave: Rehabilitación Energética; Eficiencia; Bienestar; Revalorización; Aerotermia

Abstract

A complex of buildings with 181 homes and 72 commercial spaces is being renovated, including the renovation and insulation of all facades and roofs, and the electrification of heat production, replacing its production system through diesel boilers and storage tanks with heat pumps and gas boiler support, which, together with the installation of PV self-consumption, means a reduction in its heating needs by more than 75% and a 90% reduction in CO₂ emissions with this Renovation. Efisa is not just a building from 1974 located in La Coruña; it is more than a block, almost a small town that decided to undertake the intervention, recognized in the Galicia Energy Awards 2022, of nearly €7.5M with a subsidy of €4.6M and a discount with white certificates of €0.2M. The decision was unanimous after understanding that the final result would lead to improved efficiency, greater well-being, and upgrade of the property.

Key words: Energy Renovation; Efficiency; Well-being; Upgrade; Heat pump.

1. Rehabilitación Energética Integral Torre Efisa

Se están llevando a cabo los trabajos correspondientes a las obras para la rehabilitación energética integral del complejo Torre Efisa, cuya fecha de terminación se estima en agosto de 2025. El inmueble se compone de cuatro edificios, en A Coruña, en el antiguo solar en que se levantó la primera fábrica de cervezas de Estrella Galicia. La actuación, reconocida en los Premios Galicia de Energía 2022, beneficiará a 181 hogares y a 72 locales, e incluye la renovación y aislamiento completo de todas las fachadas y cubiertas de los edificios, y la instalación de autoconsumo y aerotermia.

Se ha diseñado una solución a medida de **REHABILITACIÓN 360°** para conseguir el mayor confort, ahorro y eficiencia. Entendiendo como tal, un servicio que aporta a los clientes la **GESTIÓN COMPLETA DE TODO EL PROCESO DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA**, tal y como se indica en la Figura 01: redacción de proyectos y documentación técnica, gestión de permisos, licencias y subvenciones, contratación de empresas constructoras, compra de los Certificados de Ahorro Energéticos (CAEs) generados... liberando a los clientes de un proceso complejo y, a menudo, del cual no se pueden hacer cargo por falta de conocimiento adecuado.

Adicionalmente, y, y siempre que las mismas lo permitan, **se plantea una solución que adelante a los clientes el importe íntegro de las ayudas estimadas**, liberando a los mismos de las cargas financieras que supone tener que hacer frente a la financiación 100% del coste total hasta que las Administraciones no se las ingresen. Esto supone dos ventajas claves:

1. Abaratamiento de la financiación para las Comunidades de Propietarios,
2. Posibilidad de comenzar las obras sin tener que esperar el reintegro de las ayudas por parte de las administraciones públicas.

Sin embargo, **para que esta acción pueda ser realmente efectiva, los diferentes planes de ayudas deberían posibilitar la Cesión del derecho de cobo de estas por parte de las Comunidades de Propietarios a los Agentes Rehabilitadores**, de tal manera que la colaboración público-privada, (Admón. Públicas/Cientes Privados / Agente Rehabilitador), llegue de manera más rápida y directa al primer y más sensible escalón del proceso de la Rehabilitación.

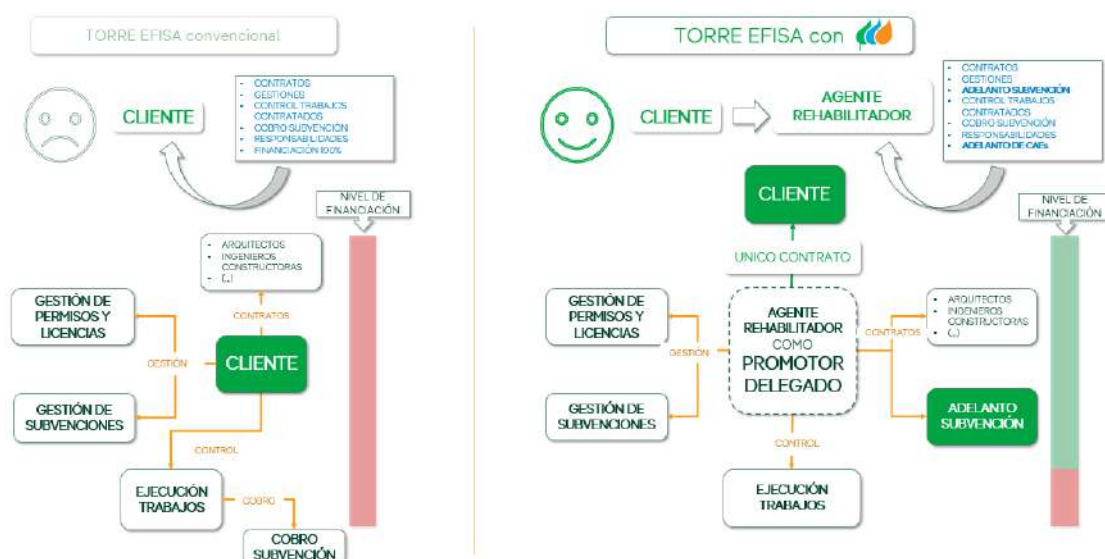


Figura 1. Esquema comparativo proceso de Rehabilitación convencional vs mediante la figura de Agente Rehabilitador/ Promotor Delegado. Fuente: Elaboración propia.

Conscientes de que la mejor energía para los vecinos y para el planeta es aquella que no se consume, el plan trazado permite aunar distintas fuentes de energía para lograr una instalación más eficiente.

Así, atendiendo a los servicios de calefacción y Agua Caliente Sanitaria (ACS), se ha logrado la modernización de la instalación de la edificación que data de la década de los 70 y la reducción

de su gasto energético. En concreto, la rehabilitación de la fachada, la instalación de paneles solares de autoconsumo y la aerotermia, conjuntamente, reducen la energía necesaria para la calefacción y el agua caliente en más de un 75%, lo que a su vez elimina un 60% el consumo de combustibles fósiles y reduce las emisiones de CO₂ en más de un 90% anualmente.

Del mismo modo, según las estimaciones, y teniendo en cuenta los datos recabados de 2022, una vivienda cuyo gasto medio se situó en los 1.400 euros pasará a tener un consumo de 700 euros al año, suponiendo un ahorro de hasta el 50%.

El plan de rehabilitación desarrollado ofrece un servicio llave en mano: el cliente contrata a IBERDROLA como Promotor Delgado el cual, a su vez, contrata bajo su responsabilidad al resto de Agentes necesarios según los establecido en la Ley de la Ordenación de la Edificación (LOE) incluyendo de manera adicional la gestión de las ayudas locales de Galicia y de los fondos europeos Next Generation, y el adelanto del importe de estos fondos concedido a las familias y comercios, una vez han sido aprobados por la Administración. Para la cuantía restante, se ha facilitado el acceso a condiciones de financiación preferentes a los propietarios.

En concreto, la cuantía total de la rehabilitación integral supondrá 7,5 millones de euros, de los que casi cinco millones estarán subvencionados por las ayudas Next Generation. De este modo, la cuantía mensual media por vecino se sitúa en los 90 euros al mes.

2. Fases de la Rehabilitación

En enero de 2023 se iniciaron los trabajos relativos a la parte de las instalaciones térmicas, independientemente de la obtención de la subvención, y esto fue debido a requerimientos y actualización a normativa actual por parte de la Delegación de Industria. Aprovechando esa necesidad, se dio paso de forma simultánea a los trabajos de electrificación del calor, sustituyendo su sistema de producción a través de calderas de gasoil y depósitos de acumulación por bombas de calor y apoyo de caldera de gas. También se actualizaron los cuartos de contadores de los 7 portales que conforman la comunidad de propietarios y se modernizó el sistema de distribución primario de agua caliente y calefacción hasta cada puerta de usuario.

La instalación pudo disfrutarse a finales del año 2023 coincidiendo con el inicio de la temporada de invierno y consiguió rematarse para el primer trimestre de 2024. Esto fue debido a pequeños ajustes en la configuración y lectura digital de contadores de energía para el reparto de costes individualizado por vecino.

Por la complejidad de la obra y tomando en cuenta que se realiza una rehabilitación con los vecinos dentro del edificio haciendo uso de su comunidad y para evitar interferir en su día a día cotidiano se han dividido los trabajos en distintas fases sin olvidar que el proyecto debe estar terminado por obligatoriedad del cumplimiento de los fondos Next Generation antes de Junio de 2026.

Así se han delimitado los trabajos en las siguientes fases que se enumeran a continuación:

2.1. Reforma integral de la generación térmica para mantener los servicios de calefacción y ACS

A mediados de 2024 se terminó la primera fase de esta iniciativa con la renovación del sistema de Producción Térmica (Calefacción+ Producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS)) del edificio, modernizándolo y haciéndolo más eficiente. En concreto, se han instalado dos bombas de calor que aportarán 200kW de energía limpia que servirán para electrificar y modernizar parte de la instalación con las siguientes intervenciones:

- Se opta por un **sistema híbrido de generación térmica**:
 - Dos calderas de condensación a gas en cascada BAXI SGB 610E.
 - Dos bombas de calor ECOFOREST HT 100 kW)
- Reforma y **adecuación del recinto de la sala** y nuevos generadores térmicos.

- **Tendido hidráulico de nuevas tuberías** desde la sala de calderas pasando por nuevas subcentrales, hasta alcanzar las viviendas por medio de montantes que discurrirán verticalmente por fachada (Figura 2).
- Se procede a la distribución de la generación, aproximando esta, a cada torre y realizando **estaciones de transferencia térmica** que producen ACS y CALEFACCION para cada portal (Figura 2).

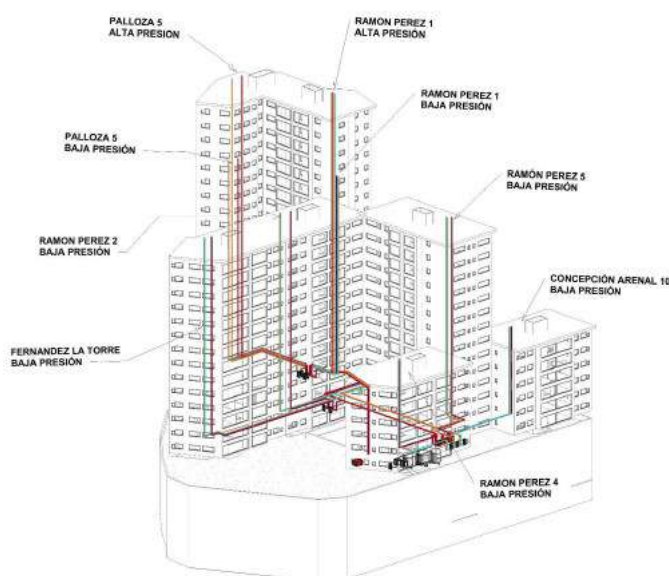


Figura 2. Detalle de la nueva distribución de la generación a cada torre / Nuevas estaciones de transferencia térmica. Fuente: Elaboración propia.

2.2. Reforma de la instalación eléctrica de enlace

De manera adicional a la actuación anterior, y debido a la reforma de la instalación térmica que fue necesaria realizar al incorporar las bombas de calor que requieren de mayor capacidad de red, unido a las necesidades de adecuación y nuevas previsiones como el vehículo eléctrico, se realizó el cálculo con la nueva previsión de cargas para el edificio:

- Cálculo de la nueva previsión de cargas para vehículo eléctrico y locales.
- Tendido de nuevas Líneas Generales de Alimentación (LGAs) desde el centro de transformación (CT).
- Adecuación de centralizaciones de contadores y reserva para inyección de campos solares fotovoltaicos.

Asimismo, se ha reformado la red hidráulica de agua caliente sanitaria, agua fría y calefacción incorporando contabilización con telemedida individual. También, se han modernizado los cuartos de contadores y se ha reformado íntegramente la instalación eléctrica para adaptarla a las nuevas necesidades.

2.3. Instalación de autoconsumo solar fotovoltaico en fachadas y cubiertas

Durante los meses de abril y mayo 2025, se instalará un sistema de autoconsumo solar de 94 kW como fuente renovable adicional de producción eléctrica. Este sistema se instalará tanto en cubierta como en fachada de la siguiente manera:

- 55 paneles solares ubicados en las cubiertas para un total de 59,02kWp (Figura 3).

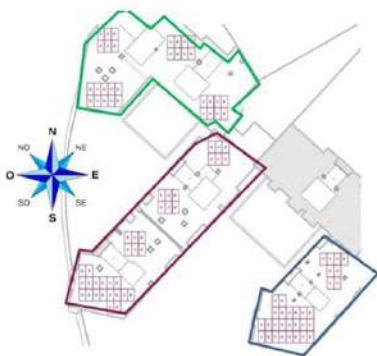


Figura 3. Disposición de los paneles en las distintas cubiertas de la comunidad. Fuente: Elaboración propia.

- 152 paneles que se integrarán en las fachadas sumando un total de 34,27kWp. Se ha incluido un diseño moderno e innovador para aprovechar la nueva fachada que tendrá la comunidad y se ha optado por instalar unos paneles especiales que irán en las fachadas ventiladas (Figura 4)..



Figura 4. Disposición de paneles en fachadas con orientación Sur. Fuente: Elaboración propia. Detalle de sujeción del vidrio FV en la fachada ventilada. Fuente: Fachadas - Soluciones Constructivas de Onyx Solar

2.4. Renovación de fachadas y cubiertas

La actuación en la envolvente del edificio tuvo inicio en febrero 2024 una vez notificado por parte de la Xunta de Galicia la concesión de la subvención. A partir de esa fecha, se comienzan los trabajos de ejecución correspondientes a la mejora de la envolvente para lograr la reducción de la demanda energética del mismo. Para ello, se ha procedido a la renovación y aislamiento completo de todas las fachadas y cubiertas de los edificios que componen el complejo.

El alcance de esta reducción de demanda energética consiste en mejorar sus fachadas pasando de un revestimiento monocapa por un sistema combinado de Fachada Ventilada, Sistema de Aislamiento Térmico de Edificios (SATE) y Fachada Solar Fotovoltaica (Figuras 5 y 6). Además, se aísla el techo de la planta baja ya que éste se encuentra a la intemperie y se mejora el aislamiento e impermeabilización de las cubiertas.

Para el primer trimestre del 2025, la parte de trabajos en la envolvente cuenta con un avance aproximado del 70% y se prevé su finalización para junio de 2025.

Con esta actuación pasiva en la envolvente del edificio no solo se logra la reducción de la demanda energética, sino un mayor confort para los vecinos y una revalorización del inmueble significativa.

El proyecto de rehabilitación energética integral ha sido redactado y dirigido por las empresas SEINGENIA Soluciones de Ingeniería (Proyecto de Instalaciones) y SITAG ARQUITECTURA (Proyecto de Envolvente) ejecutado por ELECNOR SERVICIOS Y PROYECTOS, y actuando IBERDROLA como Promotor Delegado y Agente Rehabilitador para la comunidad.



Figura 5. Detalle de la actuación en las fachadas de la comunidad, visión del antes, el después. Fuente: Elaboración propia.



Figura 6. Detalle de la actuación en las fachadas de la comunidad, visión del antes y después con la instalación de fachada Ventilada y Solar Fotovoltaica. Fuente: Elaboración propia.

3. Conclusiones para la comunidad de propietarios

Con la realización de la rehabilitación energética integral esta comunidad obtiene múltiples beneficios como son:

- Revalorización de su inmueble en torno a un 15% - 20% superior al valor al que se encontraba en el mercado antes de las actuaciones.
- Ahorro energético en torno al 75%.
- Bonificaciones en IBI por instalación de autoconsumo.
- Deducciones fiscales hasta de 9.000€ por vivienda.
- Ahorros directos adicionales para cada vecino con los Certificados de Ahorros Energéticos (CAE 's).
- Ahorro en las emisiones de CO₂ en torno a 140 toneladas CO₂ al año.

Mejora considerable de la calificación energética del inmueble, pasando de una letra E a una letra A (máxima calificación energética); cálculo energético realizado con el programa CYPETHERM HE PLUS v2023.a.

4. Referencias

Torre Efisa reconocida en los Premios Galicia de Energía 2022 <https://Los Premios Galicia de Energía 2022 distinguen cinco proyectos de ahorro y eficiencia energética>

Detalle de la sujeción del vidrio FV en la fachada ventilada. Fuente: <https://onyxsolar.es/soluciones-constructivas/fachada-ventilada-fotovoltaica>

Reportaje en Televisión Gallega de la actuación en Torre Efisa. Fuente: <https://www.agalegaaudio.gal/videos/detail/219100-galicia-por-diante-videopodcast-14-02-2025>

Centro de Visitantes del Parque Nacional Sierra de las Nieves: Apuesta por un diseño integrado y sostenible.

Análisis comparativo de materiales

LA DESCARBONIZACIÓN Y LA ECONOMÍA CIRCULAR PARA UNA GESTIÓN EFICIENTE DE LOS RECURSOS NATURALES

Santiago Matute Díez¹, María Romero Cuberos²

¹ Arquitecto. Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía.
santiago.matute@juntadeandalucia.es

² Ingeniera de Montes. Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía.
maria.romero.cuberos@juntadeandalucia.es

Resumen

El sector de la construcción es responsable del 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero. La lucha contra el cambio climático comienza con la mitigación de estas emisiones. En este proceso, es fundamental centrar la atención en la necesidad de una transformación profunda del sector de la construcción. El proyecto del Centro de Visitantes de este Parque Nacional ha tenido en cuenta criterios de funcionalidad, flexibilidad, integración en el entorno y el ciclo de vida de los materiales empleados. Así, se han utilizado materiales naturales renovables, cuyo balance de emisiones es negativo, según se desprende del cálculo de la huella de carbono del edificio y su comparación con la huella que tendría si el mismo edificio hubiera sido construido con materiales convencionales, como acero y hormigón. Los resultados de este análisis comparativo son contundentes y refuerzan el compromiso firme de la administración andaluza con una construcción más sostenible.

Palabras clave: Andalucía; Huella de Carbono, Descarbonización; Ciclo de Vida

Abstract

The construction sector is responsible for 40% of greenhouse gas emissions. The fight against climate change begins with the mitigation of these emissions. In this process, it is essential to focus on the need for a deep transformation of the construction sector. The project for the Visitor Center of this National Park has taken into account criteria of functionality, flexibility, integration into the environment, and the life cycle of the materials used. Thus, renewable natural materials have been employed, whose emissions balance is negative, as evidenced by the calculation of the building's carbon footprint and its comparison with the footprint it would have had if the same building had been constructed with conventional materials, such as steel and concrete. The results of this comparative analysis are conclusive and reinforce the strong commitment of the Andalusian government to more sustainable construction.

Keywords: Andalucía; Carbon Footprint, Decarbonization; Life Cycle.

1. Nuevo Centro de Visitantes

1.1. Descripción general

El Centro de Visitantes del nuevo Parque Nacional Sierra de las Nieves está promovido por la Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Desde un punto de vista formal, la tipología del edificio está ligada al carácter del Parque Nacional, cuyos picos albergaban neveros durante todo el año, desde los cuales se distribuía la nieve por la provincia de Málaga durante el verano. La forma geométrica hexagonal del edificio imita el desarrollo de un copo de nieve, con un núcleo central del que parten seis radios. Este patrón de crecimiento, repetido en la naturaleza, se ve reflejado también en el pinsapo, abeto endémico andaluz y especie emblemática de este parque.

En su diseño se han considerado criterios funcionales, formales y bioclimáticos que buscan garantizar el confort natural en términos de ventilación, iluminación y soleamiento. Se han tenido en cuenta los principios de utilidad, flexibilidad y eficiencia, así como los valores etnográficos del entorno. Además, se ha alcanzado la máxima calificación energética para minimizar la huella ambiental a lo largo de la vida útil del edificio. A lo largo de este ciclo, muchos de sus elementos podrían desmontarse, permitiendo adaptar los espacios a nuevos usos y contribuyendo a la reducción de residuos de construcción y demolición, que en nuestro país se estiman en 2 T/hab*año.

El carácter bioclimático, junto con el contexto del lugar, influye decisivamente en la imagen del edificio (Figura 1), así como en su envolvente y prestaciones.



Figura 1. Sección 3D longitudinal. Fuente: Elaboración propia.

Espacialmente, el edificio presenta un atrio central, cuyo suelo será el propio terreno, con la intención de integrar la naturaleza circundante dentro del núcleo del edificio, convirtiéndose en el eje que organiza todo el espacio. Este atrio podrá recorrerse y utilizarse de diversas maneras, según los intereses de los visitantes. Los seis radios del edificio estarán compuestos por espacios de planta trapezoidal (Figura 2). Cada uno de estos espacios tendrá una altura propia, creando un juego de volúmenes que restan protagonismo a la axialidad, evocando al mismo tiempo la arquitectura vernácula de la zona.

Desde el punto de vista constructivo, tanto la estructura como los cerramientos y particiones utilizan la madera como material base. El forjado de la cubierta está compuesto por paneles de madera CLT de 15 cm de espesor, que soportan una cubierta verde. Se ha optado por materiales naturales, como corcho y fibras de cáñamo, para el aislamiento, promoviendo la sostenibilidad y el respeto al entorno natural, que permite una mayor integración.

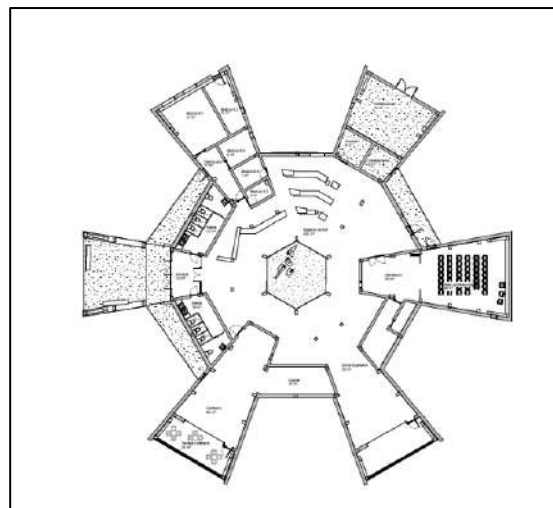


Figura 2. Planta del edificio. Fuente: Elaboración propia.

1.2. Carácter ambiental del nuevo Centro de Visitantes

En la selección de los materiales para este edificio se ha tenido en cuenta su impacto ambiental, su naturaleza renovable y el comportamiento a lo largo de su vida útil. Para el desarrollo y la composición estructural, se han optimizado las propiedades bioclimáticas de materiales naturales

como la madera, el corcho, las fibras de cáñamo y la cal tradicional. Se busca minimizar la huella ambiental, compensando en lo posible el inevitable impacto generado por la construcción, sin comprometer el diseño y el carácter distintivo del edificio (Figura 3).



Figura 3. Alzado Sur 8-8' y Alzado Norte 11-11'. Fuente: Elaboración propia.

2. Objetivo: descarbonización

La huella ambiental es el principal criterio técnico que respalda la apuesta actual de la administración andaluza por la madera, y actúa como palanca para impulsar las políticas que fomentan de manera creciente el uso de este material en la edificación. El objetivo de este análisis es evaluar la huella ambiental del centro de visitantes del Parque Nacional Sierra de las Nieves, que se basa en madera estructural, y cuantificar la reducción de dicha huella en comparación con la que tendría el mismo edificio si se hubiera construido con materiales convencionales y no renovables, como el acero o el hormigón.

3. Metodología del análisis comparativo

3.1. Viabilidad de los modelos

El objetivo es comparar el modelo actual con dos alternativas convencionales del mismo edificio: una con estructura de acero y otra con estructura de hormigón. Para ello, se parte del modelo real del proyecto (Modelo Madera) y se realizan las modificaciones necesarias en el modelo Cype 3D-2022.e con estructuras de acero y de hormigón, los edificios sigan siendo viables y cumplan con los requisitos técnicos (Figura 4).

Una vez desarrollados tres modelos constructivamente viables, se obtiene el despiece volumétrico de cada material para cada uno de los modelos. Asimismo, los cerramientos y particiones hechos de materiales renovables en madera se sustituyen por soluciones convencionales, como cerámicos (termoarcilla) y plásticos (XPS). Como resultado, para cada modelo se obtiene una lista detallada de materiales y una medición asociada.

3.2. Descripción

Los modelos alternativos convencionales se han calculado manteniendo las características del modelo original, como la morfología, las dimensiones, las instalaciones, las prestaciones, la eficiencia energética y el confort. Asimismo, se ha conservado la misma tipología estructural, con grandes luces y forjados inclinados.

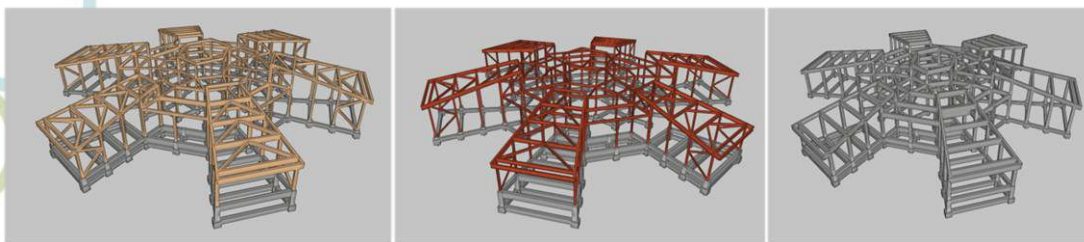


Figura 4. Imágenes 3D de las tres estructuras. Fuente: Elaboración propia

3.2.1 Modelo Madera

Este modelo corresponde al diseño real incluido en el proyecto del centro de visitantes del Parque Nacional Sierra de las Nieves. Se trata de un modelo basado en madera estructural, complementado con soluciones constructivas que combinan diferentes sistemas de entramado y paneles de madera en los cerramientos, junto con aislamientos de corcho y fibras vegetales.

Estos materiales contribuyen significativamente a la reducción del impacto ambiental, ya que su propia "fabricación" los convierte en sumideros de carbono. Además, estos elementos compensan las emisiones inevitables generadas por los otros materiales utilizados.

La estructura de madera tendrá un peso de 93 T. El forjado sanitario del edificio, realizado en hormigón, pesará 287 T. Esta solución se replica también en los dos modelos convencionales. Por otro lado, el forjado de la cubierta será completamente de madera, con un peso de 91 T.

3.2.2 Modelo Acero

Este modelo se basa en una estructura de acero, como elemento principal y en soluciones constructivas secundarias a base de subestructuras metálicas, cerramiento de bloques cerámicos y aislamiento industrial convencional. La estructura metálica tendría un peso total de 118 T. El forjado sanitario y el forjado de cubierta serían unidireccionales de hormigón armado con bovedillas. En el modelo acero las viguetas serían IPE 140. Como en el modelo de madera, el forjado sanitario tendría un peso de 287 T, el de la cubierta sería mucho más pesado, alcanzando 285 T.

3.2.3 Modelo Hormigón

Este modelo se fundamenta en una estructura de pilares y vigas de hormigón armado. Como en el caso anterior, las soluciones constructivas complementarias se basarían en materiales cerámicos y aislamientos industriales, de uso común en la actualidad. La estructura de hormigón armado ascendería a 711 T, un peso mucho mayor que los modelos anteriores. El forjado sanitario sería el mismo que en los modelos anteriores, con un peso de 287 T, pero en el forjado de cubierta sería reticular de 40 cm de canto de hormigón armado por lo que ascendería a 634 T.

3.3. Análisis del Ciclo de Vida de los materiales

Para conocer la huella de carbono de los materiales se utiliza el Análisis del Ciclo de Vida de los materiales que lo componen. Este análisis avalado por la ISO 14025 evalúa la carga ambiental asociada a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando el uso de material y energía, emisiones y vertidos. Este análisis permite, además, diferenciar la huella de carbono de las diferentes fases de la vida de ese material.

3.4. Declaración Ambiental del Producto (DAP)

El Análisis del Ciclo de Vida está normalizado por la ISO 14025, y se publica, para cada material en la Declaración Ambiental del Producto (DAP). Este DAP es un documento normalizado y proporciona información cuantificada y verificable sobre el desempeño ambiental de un producto. El equivalente de CO₂ es una medida de la huella de carbono, que es el nombre que se le da a la totalidad de la emisión de gases de efecto invernadero. La masa de los gases emitidos es medida por su equivalencia en CO_{2eq}, que es el más conocido de todos los gases causantes del calentamiento del planeta. Este parámetro conocido como GWP (Global Warming Potential) se mide en kg de CO_{2eq}, y es uno de los principales que se incluyen en la DAP de cada producto.

3.5. Huella Ambiental de cada material (GWP)

Teniendo en cuenta que la producción de madera requiere la fijación de carbono (biogénico), todos los materiales analizados derivados de ella, incluso el cemento-madera, tienen un balance negativo. Lo mismo ocurre con otros de origen vegetal como el corcho o las fibras de cáñamo.

Este proceso nos da como resultado las emisiones sería por unidad (kg CO₂ equiv/m³).

Tablero OSB=-753,00. Madera laminada y contralaminada=-685,35. SATE corcho=-198,00. Fibra de cáñamo=-68,10. XPS=48,67. Hormigón HA30=267,00. Termoarcilla 24=542,80. Acero laminado=4.749,60.

4. Resultados

4.1. Análisis comparativo entre modelos

En cuanto al peso del edificio, el Modelo Hormigón es el más pesado, mientras que el Modelo Madera es el más ligero. En términos de emisiones de GWP, el Modelo Hormigón es el que presenta un mayor impacto ambiental.

Aunque el Modelo Madera también incorpora materiales contaminantes, estos se ven compensados por el uso de madera y otros materiales naturales renovables, lo que reduce su huella ambiental global.

Al realizar un análisis más detallado, se observa que, por unidad de volumen, el acero es el material que más contribuye a las emisiones de GWP, seguido por los materiales cerámicos, el hormigón y, finalmente, el poliestireno (XPS). Sin embargo, la comparación no debe hacerse solo por unidad de volumen, sino por el impacto total de cada material en el edificio completo. Por lo tanto, no solo es relevante el potencial contaminante de cada material, sino también la cantidad necesaria de cada material en cada modelo.

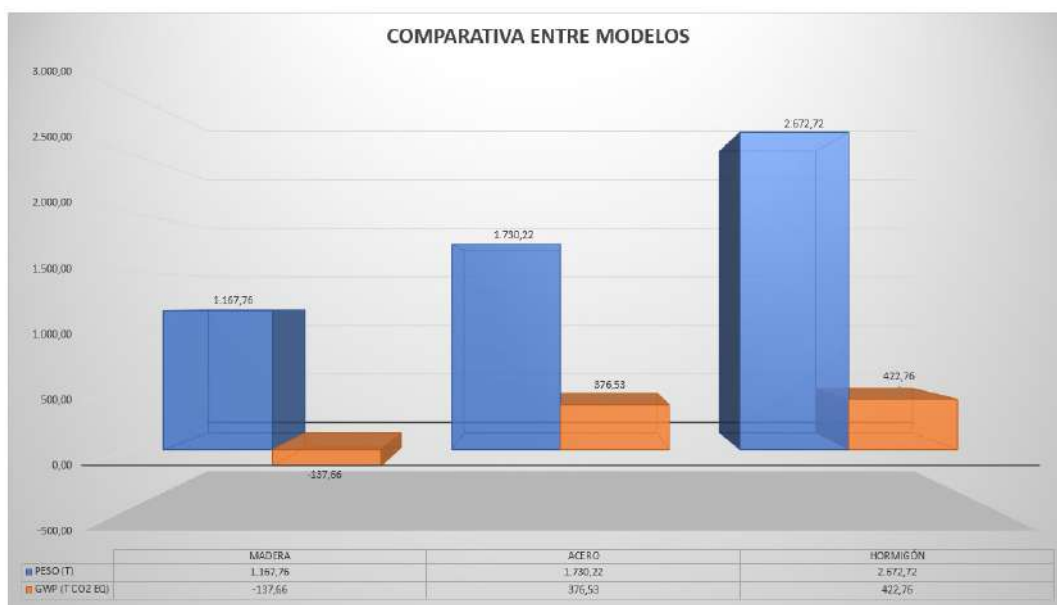


Figura 5. Comparativa entre modelos. Fuente: Elaboración propia

En la comparación de edificios viables constructivamente, el Modelo Hormigón requiere una mayor cantidad de material, lo que hace que, en términos globales, este modelo sea más contaminante. Si bien la producción de acero es más contaminante que la del hormigón por unidad, el volumen de hormigón requerido supera considerablemente el de acero. Así, a nivel global de edificación, el Modelo Hormigón resulta ser más contaminante que el Modelo Acero (Figura 5).

5. Conclusiones

A continuación, se presentan las conclusiones más relevantes.

5.1. Sobre metodología

Debido a la homogeneidad, la objetividad de los parámetros utilizados y la delimitación del alcance, la metodología aplicada es válida para la comparación de los modelos. Sin embargo, es necesario disponer de una herramienta oficial y reconocida de medición de huella. Esto facilitaría la integración de la huella de carbono en el proceso de toma de decisiones.

5.2. Sobre los materiales y los modelos

De los tres modelos evaluados se puede observar lo siguiente:

- El Modelo Hormigón es el más pesado, consumiendo un elevado volumen de recursos materiales no renovables, como arena y áridos, con la mayor huella de carbono de los tres. Hay que mencionar que este modelo produce gran cantidad de residuos al finalizar su vida útil, siendo muy difícil la valorización de los mismos, acabando la mayor parte en vertedero.

- El Modelo Acero, aunque es sensiblemente menos pesado que el de hormigón, su huella de carbono es similar, pues el acero necesita una mayor cantidad de energía en su producción, siendo enorme su impacto en el procedimiento de extracción. Los restos de este material son altamente reciclables, una vez retirados y separados del resto de residuos de demolición, aunque este proceso demanda una gran cantidad de energía.

- El Modelo Madera se posiciona como el más ligero y de menor consumo energético, con valores negativos en la huella de carbono. Esto se debe a la inclusión de materiales naturales y renovables (como la madera, el corcho y las fibras vegetales), que compensan las emisiones generadas por materiales convencionales, como el hormigón y el acero de la cimentación.

Asimismo, el reemplazar materiales cerámicos o plásticos derivados del petróleo, como el XPS, por otro de origen natural, se minimiza el impacto ambiental, la producción de residuos y el uso de materias primas no renovables.

El acero y el hormigón han sido los principales materiales en la construcción durante las últimas décadas, siendo responsables de aproximadamente el 40% de las emisiones globales.

Cabe mencionar que aproximadamente el 85% de los materiales utilizados en los tres modelos han sido analizados. Dado que algunos materiales, el transporte y las labores de construcción no fueron evaluados, se puede inferir que las emisiones de gases de los tres modelos serían mayores de lo reflejado en este análisis.

Sin embargo, se puede concluir que, a igualdad de prestaciones, la construcción de un edificio con materiales convencionales como acero, hormigón y ladrillo cerámico consume más recursos, materiales y energía, lo que incrementa considerablemente las emisiones de gases de efecto invernadero y genera más residuos de difícil gestión al final de su vida útil.

5.3. Otros factores

La construcción con madera minimiza el trabajo "in situ", lo que reduce la generación de residuos y la contaminación difusa. Además, a lo largo del ciclo de vida del edificio, las soluciones constructivas en madera pueden ser desmontables, permitiendo adaptar los espacios a nuevos usos o cambiar su configuración sin necesidad de demolición, lo que evita la generación de residuos. En 2018, según el Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico, la demolición en España generó 14,7 millones de toneladas de residuos.

5.4. Conciencia ciudadana y marco político europeo

Experiencias como esta deben ser seguidas a lo largo de su vida útil por administraciones y sistemas públicos como el Sistema Andaluz de Compensación de Emisiones, el Sistema Español de Inventario y Proyecciones de Emisiones a la Atmósfera de Gases de Efecto Invernadero, etc.

El conocimiento generado a partir de estas experiencias, junto con el desarrollo de herramientas para la medición de emisiones y la elaboración de manuales de buenas prácticas constructivas, debe sentar las bases para nuevas políticas que orienten tanto a profesionales y prescriptores actuales como, especialmente, a quienes en el futuro deberán apostar por un modelo constructivo alineado con el nuevo paradigma económico impulsado por el Pacto Verde Europeo, cuyo objetivo final es alcanzar la neutralidad climática en 2050.

Rehabilitación energética en viviendas mediante Nanotecnología.

El caso de Viviendas de Protección Pública en Canarias.

LA REHABILITACIÓN Y REGENERACIÓN COMO INSTRUMENTOS PARA LOS NUEVOS PARADIGMAS SOCIALES

Eduardo Martín del Toro¹ y Ginés C. Rivero Hernández²

¹ Arquitecto, propietario de Del Toro & Antúnez ARQUITECTOS, eduardo@deltoroantunez.com

² Arquitecto, propietario de GRH arquitectos, grharquitecto@gmail.com

Resumen

La rehabilitación energética de Viviendas de Protección Pública (VPP) mediante nanotecnología se posiciona como una solución innovadora frente a los métodos tradicionalmente empleados. Se proponen sistemas aplicados en cubiertas y fachadas que, gracias a materiales de bajo espesor, optimizan la envolvente térmica sin alterar la volumetría original de los edificios. Estos recubrimientos, de aplicación sencilla —análoga a pinturas o morteros comunes—, aportan beneficios en términos de coste, rapidez y reducción de impactos acústicos, eliminando molestias asociadas a técnicas convencionales como los Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior (SATE). Su composición, basada en elementos no contaminantes y de bajo mantenimiento, aborda desafíos de sostenibilidad al disminuir la dependencia de derivados del petróleo y posibilitar intervenciones sin desalojos. El presente estudio busca superar las reticencias técnicas y administrativas, fomentando la adopción de soluciones innovadoras en la rehabilitación energética de VPP.

Palabras clave: Nanotecnología; Rehabilitación energética; Viviendas de Protección Pública; Sostenibilidad.

Abstract

The energy rehabilitation of Public Protection Housing (PPH) using nanotechnology emerges as an innovative alternative to traditional methods. Systems applied to roofs and façades employ low-thickness materials to enhance thermal performance without modifying the original building volume. These coatings, akin to common paints or mortars in application ease, offer cost and time advantages while mitigating noise and disturbances typical of conventional techniques such as External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS). Their composition, based on non-polluting and low-maintenance elements, addresses sustainability challenges by reducing reliance on petroleum derivatives and enabling occupant-friendly interventions. This study aims to overcome technical and administrative hesitations, fostering the adoption of innovative solutions in PPH energy rehabilitation.

Key words: Nanotechnology; Energy Rehabilitation; Public Protection Housing; Sustainability; Energy Efficiency.

1. Introducción

El 28 de diciembre de 2023 se publicó en la Plataforma de Contratación del Estado el proceso de licitación para la "Redacción de proyectos y dirección facultativa de rehabilitación energética y mejoras de accesibilidad de 12 grupos de VPP", incluyendo subproyectos de instalaciones eléctricas, fontanería, estudios de seguridad y salud, y coordinación de obras. La contratación, dividida en 12 lotes independientes, limitaba la adjudicación a un lote por licitador para fomentar la participación de PYMES. Sin embargo, no podía declararse desierta la licitación siempre que existiera alguna proposición que fuera admisible.

En este contexto, y debido al gran número de lotes, la baja participación y a las buenas valoraciones obtenidas en los criterios de adjudicación cuantificables mediante juicio de valor, por parte de la mesa de contratación, la UTE 12 VIV BONILLA GONZALEZ TORO RIVERO, de la que formamos parte, fue adjudicataria de siete lotes.

2. Objetivos

El principal criterio de adjudicación fue la "Calidad de la solución técnica", priorizando innovación, sostenibilidad, eficiencia energética y funcionalidad, con medidas capaces de cumplir o superar el porcentaje mínimo de ahorro de energía primaria no renovable establecido en la licitación, y de adaptarse a las características climáticas específicas de cada lote.

Nuestra propuesta se basó en desarrollar una solución técnica de alta calidad que garantizara ahorros de energía primaria no renovable, optimizando materiales y reduciendo impactos ambientales, generando beneficios económicos, de confort y habitabilidad.

Este trabajo se centra en cómo se consiguió la mejora de la envolvente térmica mediante soluciones disruptivas basadas en nanotecnología, analizando su viabilidad técnica, económica y ambiental, frente a sistemas convencionales propuestos por el Instituto Canario de la Vivienda (ICAVI) como el SATE.

3. Metodología

El desarrollo del estudio se estructuró en tres fases principales:

3.1. Análisis de estado actual

Se evaluó la certificación energética de los edificios, determinando las demandas térmicas y las emisiones de CO₂. En la mayoría de los lotes ubicados en la zona climática alfa3 se constató la inexistencia de demanda de calefacción y una baja demanda de refrigeración, mientras que las emisiones de agua caliente sanitaria (ACS) resultaron significativamente elevadas. En la zona A2, la demanda de calefacción fue moderada y la de refrigeración muy reducida, situando también al ACS como principal foco de intervención.

3.2. Propuesta de Soluciones Técnicas

Con base en el análisis anterior, se diseñaron medidas para mejorar la envolvente térmica, que incluyen:

- Sustitución de los termos eléctricos individuales por equipos de aerotermia.
- Reemplazo de carpinterías por elementos adaptados a las necesidades detectadas.
- Implementación de recubrimientos innovadores basados en nanotecnología para fachadas y cubiertas, que sustituyen sistemas convencionales como el SATE, reduciendo el espesor de material y su impacto medioambiental.

3.3. Evaluación Comparativa

Se realizó un análisis coste-beneficio considerando aspectos económicos, medioambientales y de eficiencia energética. La comparación entre soluciones convencionales y alternativas basadas en nanotecnología permitió identificar la opción óptima para cada zona climática, favoreciendo la reducción de insumos y el aumento de la sostenibilidad (Custom Materials Inc. 2023).

Tabla 1. Tabla Comparativa de Soluciones de aislamiento para la envolvente térmica. Fuente: Fichas técnicas de productos. Algunos valores son aproximados o basados en datos típicos del mercado (especialmente para SATE). La Resistencia Térmica (R) se calcula como Espesor / Conductividad (lambda). El espesor equivalente se calcula para alcanzar una $R=2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, un valor de referencia común para fachadas en muchas zonas climáticas españolas. Elaboración propia.

Característica	ReveCork + Zeramic Extrem	GAINA / ETT	i-Gloorklima IGK2	SATE con EPS	SATE con XPS
Composición Principal	Corcho natural + Resinas PU; Microesferas cerámicas + Acrílico	Microesferas cerámicas vacío + Resina Acrílico-Siliconada	Nanocompuesto en base agua (Mortero)	Placas Poliestireno Expandido (EPS) + Morteros + Malla + Acabado	Placas Poliestireno Extruido (XPS) + Morteros + Malla + Acabado
Mecanismo Aislante Principal	Resistencia conducción (Corcho) + Reflexión (Cerámica)	Reflexión radiación (IR) + Barrera térmica (estructura esferas)	Barrera conducción (muy baja lambda)	Resistencia conducción (aire atrapado en EPS)	Resistencia conducción (gas/aire en celdas cerradas XPS)
Conductividad Térmica lambda_D (W/(m·K))	approx 0,051 (BMK-600); BZ-1000 reflectivo, lambda no estándar/fiable.	No aplicable / No estándar (basado en reflexión / barrera, no conducción simple)	0,0019 (Declarada, EN 12667 / ISO 10456)	0,032–0,040 (Típico EPS: 0,036)	0,030–0,036 (Típico XPS: 0,034)
Espesor Típico Aplicación (mm)	3 - 4 mm (ej. 3mm BMK + 0,5mm BZ)	0,5 mm	2 - 10 mm (Ej: 8 mm)	60 - 120 mm (Ej: 80 mm)	60 - 120 mm (Ej: 80 mm)
Resistencia Térmica R_D (m²·K/W) al Espesor Típico	Baja R conductiva (approx 0,06 para 3mm BMK). Beneficio térmico principal por reflexión (Zeramic).	No comparable por R estándar. Rendimiento basado en efecto (reducción T ^a).	Approx. 4,21 (Calculada a 8mm)	Approx. 2,22 (Calculada para 80mm EPS solo)	Approx. 2,35 (Calculada para 80mm XPS solo)
Espesor Equivalente Aprox. para R=2.5 (mm)	Approx. 128 mm	No aplicable / Comparable por este método.	Approx. 4,75 mm	Approx. 90 mm (Solo de EPS)	Approx. 85 mm (Solo de XPS)
Transpirabilidad	Buena (ambos componentes transpirables)	Buena (60,g/(m²·24h))	Excelente (mu=6.3)	Media-Buena (EPS mu approx 20–70; depende mucho del acabado final)	Baja (XPS mu approx 80–250)
Reacción al Fuego (Euroclase)	E para BMK-600 / B-C para BZ	No Combustible Japón, probable A2/B Euroclase	B-s2, d0	Sistema completo: B-s1,d0 / B-s2,d0 (con medidas); Placa EPS sola: E	Sistema completo: B-s1,d0 / B-s2,d0 (con medidas); Placa XPS sola: E
Absorción de Agua	Impermeable	Impermeable / Repelente al agua	Baja (W1)	Baja (Sistema); EPS absorción baja	Muy Baja (Sistema); XPS absorción muy baja
Peso Aproximado (kg/m²) al Espesor Típico	Approx. 3–4 kg/m²	Approx. 0,5 kg/m² (Muy ligero)	Approx. 2,2 kg/m² (Ligero)	Approx. 10–15 kg/m²	Approx. 12–18 kg/m²
Durabilidad / Mantenimiento	Alta elasticidad (BMK), buena resistencia intemperie.	Alta (cerámica/silicona), flexible, resistente UV.	Mortero mineral base, buena adherencia, estable.	Buena si bien ejecutado / mantenido. Vulnerable a impactos. Necesita revisión juntas.	Similar a SATE-EPS, XPS más robusto mecánicamente y a humedad. Vulnerable a impactos.

Precio €/m2 aplicado	59,58 € (3mm BMK + 0,5mm BZ)	26,92 € (0,5 mm)	122,62 € (8 mm)	100 € (80 mm)	120 € (80 mm)
Ventajas Principales	- Impermeable - Muy elástico (puentea fisuras) - Continuo (sin juntas) - Bajo peso - SRI alto (si BZ blanco) - Sostenible (corcho)	- Espesor mínimo - Peso nulo - No combustible - Transpirable - Flexible - Fácil aplicación (pintura) - Amplia distribución	- R térmica excepcional en espesor mínimo - Muy transpirable - Buena reacción al fuego - Ligero - Aplicación tipo mortero (regulariza) - Base agua	- Sistema muy conocido / extendido - Coste competitivo - Buen aislamiento térmico - Múltiples acabados - Ligero	- Mejor lambda que EPS - Muy resistente a humedad (zócalos) - Mayor robustez mecánica que EPS - Sistema conocido
Debilidades / Inconvenientes	- Baja R térmica conductiva - Rendimiento térmico depende de reflexión	- Rendimiento térmico no estándar (difícil comparar con R) - Eficacia puede depender de limpieza/color - Espesor mínimo vulnerable a daños mecánicos	- Tecnología muy novedosa - Coste/m² alto - Curado completo largo - Requiere aplicador cuidadoso	- Combustible (requiere cortafuegos) - Espesor considerable - Vulnerable a impactos - Transpirabilidad limitada por acabado - Requiere buena ejecución	- Combustible (requiere cortafuegos) - Muy baja transpirabilidad - Espesor considerable - Coste algo > EPS - Requiere buena ejecución

4. Resultados

El estudio permitió distinguir dos escenarios según la ubicación climática:

4.1. Zona Climática alfa3



Figura 1. Esquema de medida de mejoras a aplicar en la rehabilitación energética de uno de los bloques de viviendas VPP situados en la zona climática alfa3, aplicando en fachadas pinturas térmicas, compuestas por microesferas cerámicas huecas y pigmentos reflexivos basados en nanotecnología, y la impermeabilización y mejora del aislamiento térmico de las cubiertas, a base de una membrana de

poliuretano híbrido de corcho natural vaporizado y aerogel, combinado con pintura a base de microesferas de cerámica hueca, dióxido de titanio, aerogel y emulsiones acrílicas, elásticas y fotoreticulables. Fuente: Elaboración propia.

En este entorno, caracterizado por veranos calurosos e inviernos suaves y la ausencia de sistemas de climatización, las medidas pasivas convencionales (altos niveles de aislamiento y estanquidad) pueden inducir sobrecalentamiento (Martín del Toro, E. 2023). En consecuencia, se recomienda enfocar la intervención en fachadas mediante el control solar a través de recubrimientos térmicos basados en **pinturas térmicas con microesferas cerámicas y nanotecnología reflectiva (GAINA/Escudo Térmico Total (ETT))**, que permiten una mejora sustancial de la eficiencia energética sin incrementar de manera excesiva el aislamiento y reduciendo uso de materiales derivados del petróleo.

En cuanto a la rehabilitación de las cubiertas, se propuso el uso de soluciones híbridas — **membranas compuestas por poliuretano, corcho natural vaporizado y aerogel, combinadas con pinturas a base de microesferas cerámicas y dióxido de titanio (RTS: ReveCork + Zeramic Extrem)**— que, además de reflejar la radiación solar (Martín del Toro, E. 2022), aseguran una impermeabilización duradera sin aumentar la carga estructural.

4.2. Zona Climática A2

Las condiciones de esta zona favorecen la aplicación de medidas pasivas de aislamiento. La utilización de **morteros termoaislantes de alto rendimiento, enriquecidos con nanomoléculas de silicio (i-Gloorklima IGK2)**, se mostró eficaz no solo en la reducción del consumo energético en calefacción, sino también en la mejora del confort habitacional, con reducidos espesores.

Con respecto a las cubiertas, se consideró el mantenimiento de cubiertas ventiladas sin intervención, por limitaciones técnicas y económicas.

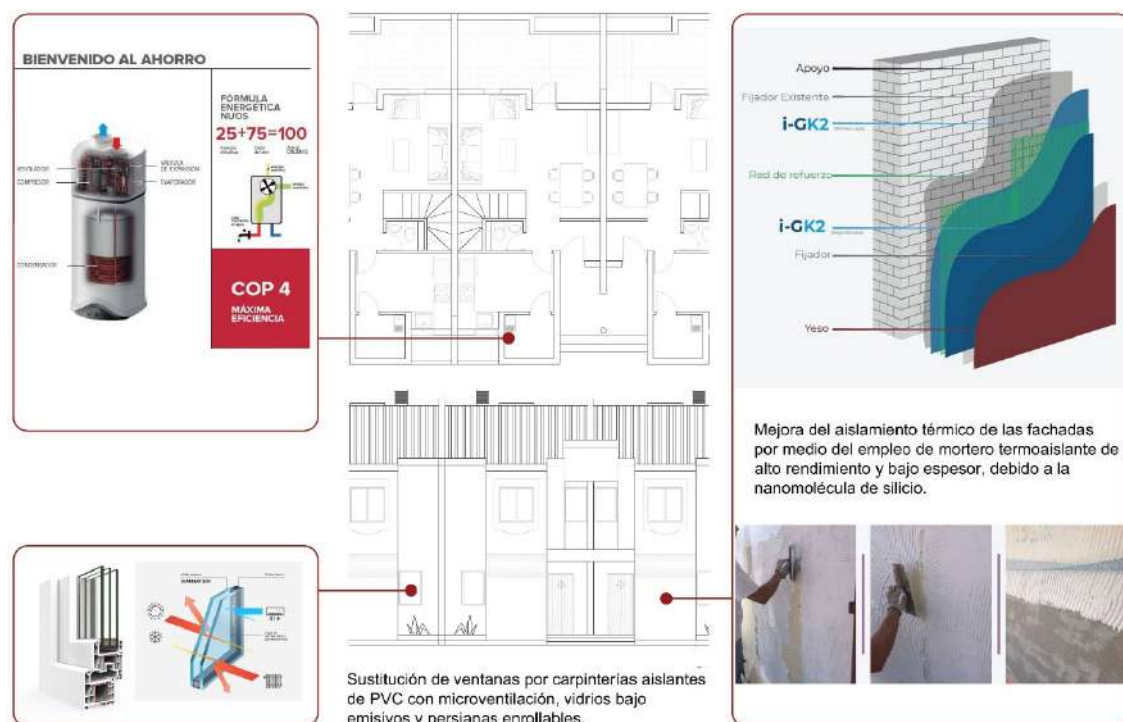


Figura 2. Esquema de medida de mejoras a aplicar en la rehabilitación energética del bloque de viviendas VPP situadas en la zona climática A2, aplicando en fachadas mortero termoaislante de alto rendimiento y bajo espesor, compuesto por una mezcla monocomponente y premezclada de altísimo rendimiento debido a la nanomolécula de silicio. Fuente: Elaboración propia.

5. Discusión

Las alternativas propuestas ofrecen importantes ventajas frente a las soluciones convencionales:

- **Eficiencia y sostenibilidad:** La sustitución de materiales derivados del petróleo (como el EPS o XPS utilizados generalmente en el SATE) por compuestos basados en nanotecnología permite reducir el volumen de insumos, disminuir el impacto ambiental (Arthuz-López, L. y Pérez-Mora, W 2019) y optimizar el ciclo de vida de la intervención.
- **Optimización económica:** La aplicación de recubrimientos térmicos y morteros innovadores reduce significativamente los costes asociados a la adquisición e instalación de materiales, al tiempo que disminuye los plazos de ejecución.
- **Aplicación práctica y sin inconvenientes:** La facilidad de aplicación de estas soluciones (similar a la de una pintura o mortero) permite intervenir en la envolvente de los edificios sin necesidad de demoliciones ni desalojo de los ocupantes, eliminando además el ruido y las molestias a los usuarios típicas de los métodos convencionales.

A pesar de las ventajas evidentes, la incorporación de tecnologías disruptivas ha generado cierta reticencia entre los técnicos de la Administración, quienes manifiestan dudas sobre la durabilidad y eficacia de productos aplicados en capas ultrafinas o la capacidad de los contratistas locales para aplicar estos productos de forma adecuada. Sin embargo, la existencia de ensayos y experiencias positivas en contextos similares refuerza la viabilidad de estas soluciones.

6. Conclusiones

6.1. Adaptación climática

La rehabilitación energética de las VPP debe adaptarse a las características climáticas y a las necesidades específicas de cada edificio. En climas cálidos (alfa3) sin presencia de equipos de climatización, la intervención basada en recubrimientos térmicos con nanotecnología resulta más adecuada que los métodos convencionales, al evitar problemas de sobrecalentamiento y optimizar el uso de recursos. Mientras que en zonas templadas (A2), las medidas de aislamiento pasivo demuestran ser efectivas para mejorar tanto el ahorro energético como el confort.

6.2. Balance costo-beneficio

Las soluciones nanotecnológicas ofrecen, en general, ahorros del 30-50% en materiales, con menor impacto ambiental y plazos de ejecución reducidos.

6.3. Innovación y sostenibilidad

La integración de tecnologías innovadoras permite lograr un equilibrio óptimo entre coste, impacto medioambiental y rendimiento energético, promoviendo una rehabilitación verdaderamente sostenible y competitiva.

6.4. Conclusión global

La rehabilitación energética de VPP exige abandonar enfoques estandarizados. Las soluciones basadas en nanotecnología, adaptadas a condiciones climáticas y estructurales específicas, representan un avance hacia la sostenibilidad integral, combinando eficiencia, bajo coste y respeto al medio ambiente.

7. Referencias

- Custom Materials Inc. (2023). *What are the latest advancements in nanotechnology-based insulation materials?* Custom Materials Inc. Recuperado de: <https://custommaterials.com/nanotechnology-based-insulation-materials-advancements-thermal-performance-sustainability/>
- Martin del Toro, E. (2023) Sobrecalentamiento por exceso de aislamiento en edificios de climas cálidos y sin climatización, en *Sustentable & Sostenible*. Recuperado de: <https://blog.deltoroantunez.com/2023/09/sobrecalentamiento-exceso-aislamiento.html>
- Martin del Toro, E. (2022) Pinturas termorefectivas, en *Sustentable & Sostenible*. Recuperado de: <https://blog.deltoroantunez.com/2022/12/pinturas-termorefectivas.html>
- Arthuz-López, L. y Pérez-Mora, W (2019). *Alternativas de bajo impacto ambiental para el reciclaje del poliestireno expandido a nivel mundial*, en *Informador técnico*, Vol. 83, N° 2, 2019, págs. 209-219.

Estrategias de diseño eficiente y reducción de la huella de carbono embebida de estructuras de hormigón y caso de estudio en proyectos de Neinor Homes.

LA DESCARBONIZACIÓN Y LA ECONOMÍA CIRCULAR PARA UNA GESTIÓN EFICIENTE DE LOS RECURSOS NATURALES

Laura Orfali Soria¹, César Bartolomé Muñoz²

¹ Arquitecta, Responsable de Sostenibilidad en Edificación en IECA, lorfali@ieca.es

² Ingeniero de caminos canales y puertos, Director de IECA Tecnología y Promoción, cbartolome@ieca.es

Resumen

Los compromisos europeos en materia ambiental y en concreto la aprobación de la directiva europea relativa a la eficiencia energética en los edificios (Directiva (UE) 2024/1275) obligan a prestar especial atención a las emisiones de gases efecto invernadero generadas por la actividad de la construcción incorporando este criterio como requisito obligatorio en los proyectos. Por tanto, en este artículo se recogen las principales recomendaciones de diseño orientadas a reducir la huella de carbono embebida en los elementos constructivos de hormigón armado en proyectos de edificación, partiendo de la optimización de la estructura e incluyendo la adecuada selección de materiales de menor impacto ambiental, siempre que las exigencias mecánicas y prestaciones del elemento lo permitan. La eficiencia de estas medidas se muestra en un caso de estudio realizado por IECA para la promotora NEINOR HOMES sobre la huella embebida de forjados de hormigón.

Palabras clave: carbono embebido; hormigón de baja huella ambiental; optimización del diseño

Abstract

European commitments in environmental matters and specifically the approval of the European directive on energy efficiency in buildings (Directive (EU) 2024/1275) require special attention to be paid to greenhouse gas emissions generated by construction activity, incorporating this criterion as a mandatory requirement in projects. For this reason, this article includes the main design recommendations aimed at reducing the carbon footprint of reinforced concrete construction elements in building projects, starting with the optimisation of the structure and including the appropriate selection of materials with a lower environmental impact, provided that the mechanical and performance requirements of the element allow it. The effectiveness of these measures is illustrated in a case study carried out by IECA for the developer NEINOR HOMES on the embedded footprint of concrete slabs.

Keywords: embodied carbon, low-carbon concrete, design optimisation

1. Introducción

El sector de la edificación es uno de los principales contribuyentes al cambio climático con un porcentaje que se acerca al 40% del total de las emisiones a nivel europeo. Bajo el marco del Pacto Verde Europeo, que marca como objetivo final conseguir la neutralidad climática para 2050, la reciente aprobación de la directiva europea relativa a la eficiencia energética de los edificios (EPBD por sus siglas en inglés) obliga cuantificar en un primer paso y posteriormente limitar la huella de carbono asociada a un proyecto de edificación a lo largo de todo su ciclo de vida atendiendo por tanto a ambos tipos de emisiones, las operativas, asociadas al consumo energético de los edificios en su fase de uso, y las embebidas en los propios materiales de la construcción.

Como se refleja en la Figura 1, las emisiones operativas se reducirán sustancialmente a medida que los sistemas y equipos de los edificios se vayan electrificando y a su vez el suministro de la red eléctrica se vaya descarbonizando. Aunque las emisiones embebidas en los materiales también disminuirán su impacto absoluto a medida que la industria reduzca las emisiones asociadas a los procesos de producción de los materiales de construcción, las previsiones estiman que esta reducción no será tan intensa como en el caso de las emisiones operativas, reflejando la importancia que se debe de prestar a este tipo de emisiones. Por lo tanto, la aproximación a esta problemática debe ser holística, valorando la interrelación de los diferentes elementos estructurales y constructivos y en relación con el rendimiento energético del edificio.



Figura 1. Trayectoria estimada del impacto relativo de las emisiones operativas frente a las embebidas en el periodo 2020-2050. Fuente: LETI Climate Emergency Design Guide. <https://www.leti.uk/cedg>

1.1. Elementos intensivos en carbono.

Para poder establecer estrategias eficientes con relación a su potencial de reducción de emisiones, en primer lugar, hay que identificar los elementos más intensivos en carbono dentro de un edificio (ver figura 2). Datos obtenidos de diferentes estudios apuntan a la estructura de los edificios y su fachada como los elementos de mayor impacto. Dentro de lo que supone la estructura, los elementos más intensivos en carbono son los forjados, las cimentaciones, así como los núcleos y muros verticales, por ser elementos que conllevan la aplicación de una mayor cantidad de material.

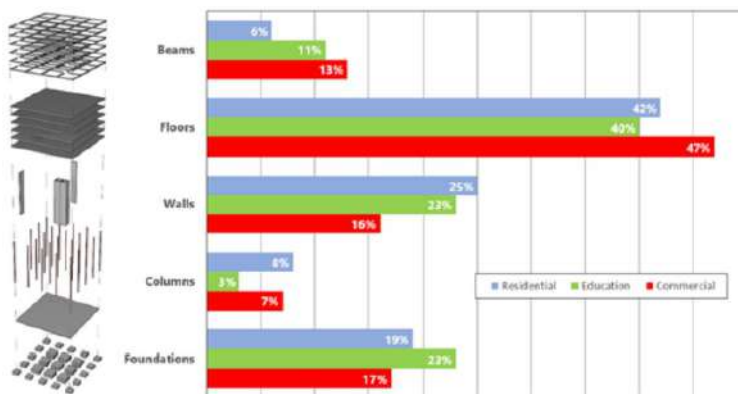


Figura 2. Impacto relativo de los diferentes elementos estructurales respecto a la huella de carbono total de una estructura de hormigón en edificios de tipología residencial, comercial y colegios. Fuente: Embodied Carbon, Structural Sensitivity Study. BUROHAPPOLD ENGINEERING. <https://www.istructe.org/IStructE/media/Public/Resources/case-study-embodied-carbon-routes-to-reduction-20200406.pdf>

En el caso de los edificios de hormigón, el uso masivo que se hace de este material dentro del edificio, por encima del 70% del consumo total de materiales, implica que su impacto en las emisiones del edificio sea muy elevado y por tanto tiene el mayor potencial para reducir impactos.

2. Estrategias de reducción de la huella de carbono embebida en las estructuras de hormigón y caso de estudio

En efecto, la reducción de la huella de una estructura radica de la optimización de los recursos empleados, tanto en el tipo de material utilizado como en su cantidad. En este sentido, este apartado explicará los factores principales, derivados en gran medida de la tipología del edificio, que influyen en el dimensionamiento de la estructura y repercuten en la huella ambiental.

2.1. Las cargas de diseño

El dimensionamiento de una estructura debe responder a su capacidad de resistir el peso propio de esta y las sobrecargas de uso. La optimización del peso propio se puede realizar evaluando distintas tipologías estructurales, por ejemplo, optando por forjados esbeltos y ligeros frente a forjados macizos o mediante la optimización del factor de forma del elemento estructural como podría ser en el caso de los pilares.

Las sobrecargas de uso vienen determinadas por el uso al que se destinará el edificio teniendo un efecto directo sobre la cantidad de material empleado. En este caso, los valores de la sobrecarga vienen determinados por la normativa y en principio no son modificables, si bien, dentro de un enfoque de economía circular, en el que se prioriza alargar la vida útil de los edificios, es necesario evolucionar hacia diseños capaces de adaptarse a futuros usos, por lo que se recomienda revisar las sobrecargas de uso utilizadas en proyecto para considerar posibles futuros usos sin tener que modificar la estructura, aunque esto suponga una penalización de la huella de carbono embebida de la estructura.

2.2. Las luces entre pilares

La retícula estructural también suele venir determinada por el uso del edificio ya que ciertas actividades requieren espacios más diáfanos aumentando las distancias entre apoyos. En términos de carbono, a menores luces, menor canto de forjado y, por lo tanto, reducciones significativas en la huella de carbono total de la estructura (tanto de forjados como indirectamente de las cimentaciones y la fachada). Sin embargo, siguiendo el mismo razonamiento anterior, considerando el principio de un diseño flexible a múltiples usos, se recomienda encontrar el equilibrio entre la huella de carbono embebida y la funcionalidad del espacio, implementando luces suficientemente amplias, y considerando los 7-9m como luces óptimas para equilibrar estos dos parámetros.

2.3. La altura entre forjados

Al igual que los parámetros anteriores, ciertos usos requieren una altura mayor entre forjados aumentando en consecuencia la superficie de fachada. Sin embargo, el aumento de altura no solo permite reconvertir un edificio de un uso a otro, sino que también pueden reducir ciertos consumos operativos como la iluminación, por ejemplo, introduciendo una mayor cantidad de luz natural. Estrategia que, por otro lado, puede aumentar el consumo en climatización, por lo que un análisis detallado es necesario para determinar en qué medida influye el aumento de altura entre los forjados sobre el carbono embebido y operativo del edificio quedando fuera del alcance de este artículo.

2.4. Tipología estructural

Por lo general, las soluciones de forjado aligeradas y pretensadas son preferibles frente a las macizas y armadas, por hacer un uso óptimo del hormigón y reducir el peso de este elemento estructural. Asimismo, las soluciones pretensadas utilizan un acero de mayor calidad mecánica con una huella de carbono similar al acero utilizado en las barras corrugadas. Por lo tanto, se reduce la cuantía de acero total y la huella de carbono. Por otro lado, las soluciones pretensadas son, con carácter general, más esbeltas, reduciendo el volumen total de hormigón del forjado.

No obstante, es importante entender que cada proyecto requiere de un análisis individual en el que además de buscar la solución de menor huella de carbono que, en primer lugar, asegure el

cumplimiento con los requisitos prestacionales del proyecto: arquitectura, adecuación estructural, soluciones eficientes en las instalaciones, requisitos de protección contra incendios, etc. En segundo lugar, se tiene que considerar las implicaciones en la ejecución: facilidad, tiempos de ejecución, tradición constructiva de cada zona, disponibilidad de mano de obra cualificada, etc.

2.5. Optimización de la resistencia mecánica del hormigón

Cada elemento estructural exige al material una resistencia característica mínima y está sometido a una clase de exposición ambiental diferente por lo que requiere de un tipo de hormigón específico. Esto presenta una oportunidad para optimizar el material elegido en función de los requisitos individuales de cada elemento estructural.

Los hormigones de alta resistencia suelen tener una huella de carbono mayor, por lo que, como norma general, se recomienda no incrementar la resistencia característica del hormigón para lograr una seguridad superior a la reglamentariamente establecida. Sin embargo, en algunos casos, aumentar el nivel de resistencia daría como resultado grandes ahorros en material reduciendo en consecuencia el impacto ambiental total. Así, en determinados elementos estructurales de un edificio muy solicitados a compresión (pilares y muros de carga), la utilización de un hormigón de alta resistencia redonda en una menor huella de carbono para el elemento estructural, puesto que permiten un diseño más esbelto con un menor consumo de materiales (tanto del hormigón como de las cuantías de armado). Por el contrario, para elementos solicitados a flexión como es el caso de los forjados, se recomienda prescribir la mínima resistencia exigida.

2.6. Empleo de hormigones adecuados con menor huella ambiental

Entre el 80 y el 90 % de la huella de carbono de un hormigón proviene del cemento utilizado en su fabricación. Por lo tanto, la reducción de la huella de carbono de un hormigón pasa necesariamente por dos estrategias. En primer lugar, elegir un tipo de cemento que satisfaga los requisitos prestacionales del hormigón y, a la vez, tenga la menor huella de carbono posible. En segundo lugar, optimizar el contenido de cemento de la mezcla siempre y cuando se satisfagan los requisitos de resistencia y de durabilidad del material.

Como criterio general, un cemento tiene una menor huella ambiental cuanto menor sea su factor clínker, es decir, su relación clínker/cemento. La reducción del factor clínker se consigue mediante la introducción de adiciones en la composición del cemento. Ahora bien, esta incorporación de adiciones supone un cambio en las prestaciones del cemento. En general, un cemento altamente adicionado tiene una evolución más lenta de sus resistencias, mientras que un cemento portland desarrolla su capacidad mecánica de manera más rápida, por lo que la elección de un tipo de cemento u otro dependerá, primero, de las exigencias mecánicas para el hormigón y de la clase de exposición ambiental a la que va a estar sometido.

3. Caso de estudio: reducción de la huella de carbono embebida de forjados de hormigón armado

Para demostrar el grado de eficiencia de las estrategias de diseño descritas anteriormente se presentan a continuación los resultados de un estudio realizado por IECA para la promotora NEINOR HOMES sobre las estrategias de reducción de la huella de carbono en edificios de hormigón. Dentro del alcance de este estudio se ha evaluado en detalle las estrategias de reducción del impacto ambiental de los forjados, siendo elementos intensivos en carbono. En el análisis se han estudiado cuatro tipologías estructurales de forjado con el objetivo de poder realizar una mejor toma de decisiones en fase de diseño.

Los forjados se han estudiado teniendo en cuenta las luces de diseño correspondientes a un rango de 5-7m, y el uso residencial que se le daría al edificio, estableciendo las sobrecargas de uso en 2kN/m². Por tanto, en cuanto a la optimización del diseño se ha valorado la optimización del canto del forjado en primer lugar y posteriormente la utilización de hormigones adicionados como materiales de menor huella ambiental. Para este ejercicio de optimización se ha considerado el riesgo por punzonamiento en el análisis, descartando aquellos cantos de forjado que requieran la implementación de armadura de punzonamiento por la complejidad que implica su ejecución.

Los resultados del análisis de optimización del canto de forjado se detallan en los gráficos de la Figura 3. que muestran la huella de carbono del forjado analizado en función del canto para las diferentes luces de diseño representadas en líneas de color, y remarcando en un cuadrado los cantos de forjado determinados como óptimos en cada una de las casuísticas.

Una vez determinado el canto óptimo, como segundo paso en la reducción de emisiones del forjado se explora la posibilidad de mejorar la huella de carbono mediante la utilización de hormigones con cementos adicionados. Para ello, se ha realizado una comparativa entre la huella correspondiente a una dosificación genérica utilizando un CEM I y cementos adicionados evaluando los CEM II/B, CEM III/A, CEM IV/A y CEM V, siendo éstos más comúnmente utilizados en estructuras, pero habiendo otros cementos adicionales disponibles en el mercado que se podrían analizar.

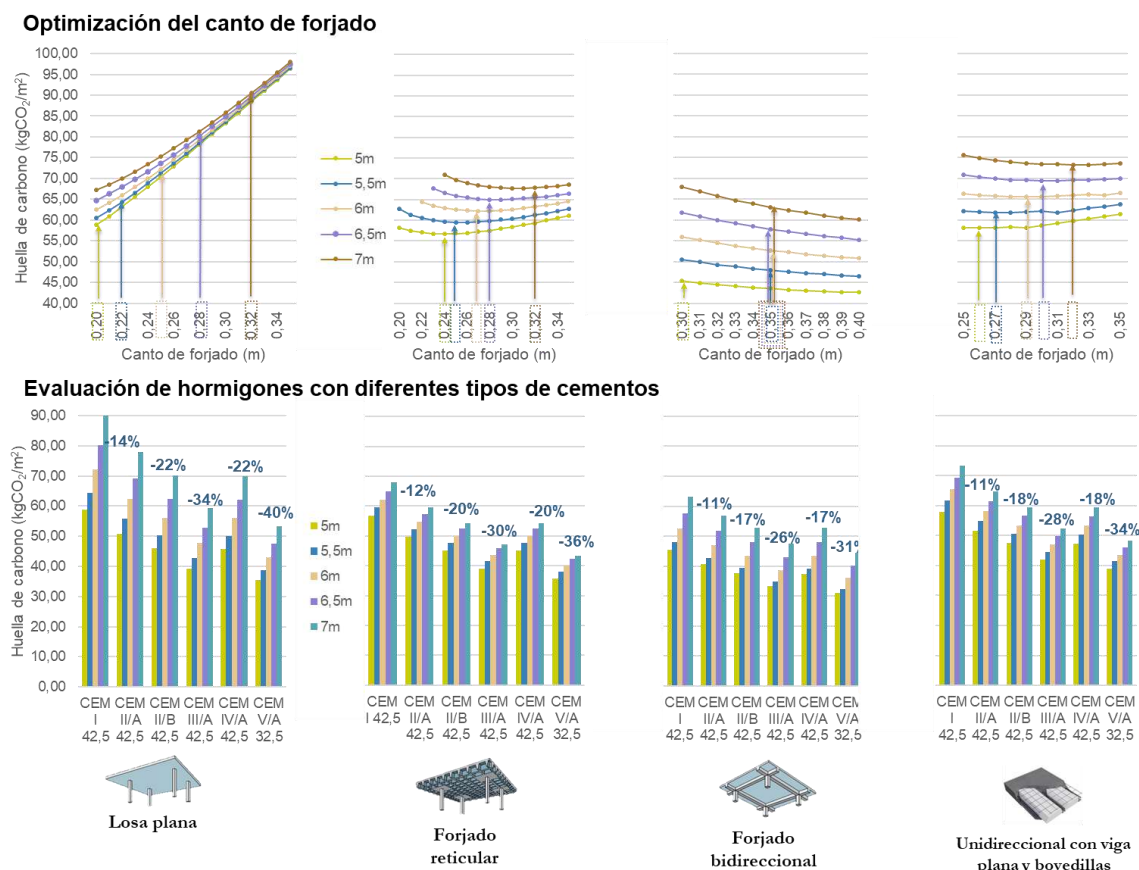


Figura 3. Optimización del canto de forjado en función de la luz de diseño y la tipología estructural. Evaluación de la reducción de emisiones por sustitución del tipo de cemento. Fuente: elaboración propia IECA

En términos generales se puede decir que los forjados bidireccionales tienen una ventaja significativa en cuanto a su huella de carbono en comparación con las otras tipologías de forjado. Sin embargo, esta tipología requiere de una altura mínima de descuelgue de la viga de canto para ser “rentable” en términos ambientales lo cual, en un edificio residencial, supone una limitación importante. Además, La mejoría que presentan los forjados de viga de canto frente a otras tipologías es más significativa a medida que se reducen las luces de diseño. A partir de los 6m o 6,5m, aunque el forjado de viga de canto sigue manteniendo una menor huella de carbono, la diferencia frente al forjado reticular o el bidireccional disminuye por lo que se recomienda considerar estas opciones como posibles soluciones a emplear dado el menor canto requerido en estas tipologías, siendo más compatibles con la funcionalidad de un espacio residencial.

Las tipologías de forjado reticular y el unidireccional con viga plana y bovedilla tienen un impacto similar con una ligera ventaja del unidireccional en luces de diseño más reducidas (5-5,5m) y siendo ligeramente preferible el reticular para luces mayores (6.5-7m).

La losa armada se presenta como una solución de “referencia” en este estudio ya que comparativamente es la que más cantidad de material contiene y por tanto presenta una huella de carbono más elevada. Sin embargo, para luces muy reducidas de diseño (5m), es una solución que optimiza bastante la cuantía de acero empleada resultando en una huella de carbono bastante competitiva en comparación con el resto de las tipologías, y solo ligeramente más elevada.

El riesgo a punzonamiento condiciona el canto mínimo de las losas armadas y los forjados reticulares suponiendo un “coste en carbono” para estas tipologías de forjado que aumenta con el incremento en las luces de diseño.

Se puede concluir que existen tres parámetros de diseño principales que influyen en la huella de carbono del forjado: las luces de diseño, el canto de forjado y el tipo de material empleado. El potencial de reducción de cada uno de ellos se muestra en el siguiente gráfico:

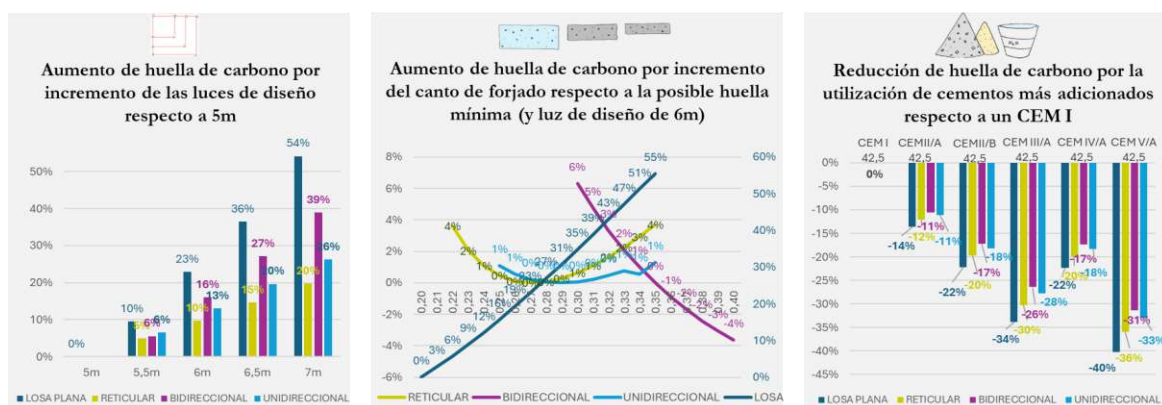


Figura 4. Influencia de los principales parámetros de diseño sobre la huella de carbono de cuatro tipologías de forjado. Fuente: Elaboración propia IECA.

El incremento de las luces de diseño implica un incremento considerable en la huella de carbono del forjado. En edificios residenciales, donde no resulta crítico conseguir espacios diáfanos, la reducción de las luces de diseño podría ser una estrategia importante en la reducción de la huella de carbono total del edificio pero a su vez penalizar la adaptabilidad a futuros usos.

En términos de la elección del material, la utilización de un tipo de cemento más adicionado redonda en una reducción de la huella de carbono constante, independientemente de las luces de diseño o el canto del forjado.

4. Conclusiones

Los objetivos de descarbonización en el contexto europeo obligan a prestar atención al impacto de los edificios a lo largo de su ciclo de vida poniendo el foco en el impacto de los materiales de la construcción o emisiones embebidas. Para poder reducir de manera eficiente estos impactos es importante identificar aquellos elementos intensivos en carbono dentro de un edificio, e implementar estrategias de diseño eficiente de esos elementos junto con el empleo de materiales de menor huella ambiental. En el caso de estructuras de hormigón, para establecer las estrategias de diseño eficiente hace falta entender los parámetros de diseño que influyen en el dimensionamiento de la estructura. En concreto para los forjados de hormigón, sería importante considerar los tres parámetros principales mencionados, siempre que se cumpla con las exigencias prestacionales y funcionales del elemento.

5. BIBLIOGRAFÍA

London Energy Transformation Initiative, LETI. (2020). *CLIMATE EMERGENCY DESIGN GUIDE*.
<https://www.leti.uk/cedg>

BuroHappold Engineering (2020). *EMBODIED CARBON, STRUCTURAL SENSITIVITY STUDY*.
<https://www.istructe.org/IStructE/media/Public/Resources/case-study-embodied-carbon-routes-to-reduction-20200406.pdf>

Consideraciones de diseño estructural de los sistemas modulares

HERRAMIENTAS Y PROCESO PARA LA SOSTENIBILIDAD INTEGRAL: LA INDUSTRIALIZACIÓN Y LA DIGITALIZACIÓN.

Maria Piqueras Blasco¹, Ivan Cabrera i Fausto²

¹ Doctor Arquitecto, Profesor Asociado, Universitat Politècnica de València, mapibla1@doctor.upv.es

² Doctor Arquitecto, Profesor Titular, Universitat Politècnica de València, ivcabfau@mes.upv.es

Resumen

Los sistemas modulares en la construcción ofrecen una alternativa eficiente y versátil a los métodos tradicionales, promoviendo la sostenibilidad y la optimización de materiales. Estos sistemas involucran la fabricación de componentes estructurales en un entorno controlado y su posterior encaje final, contrastando con el proceso convencional. Aunque su montaje industrializado y ensamblado en taller agiliza el proceso constructivo, plantea desafíos en el diseño estructural. La construcción prefabricada no cuenta con pautas de diseño específicas, y se apoya en las directrices establecidas por la construcción tradicional para llevar a cabo su implementación. Este artículo ofrece una visión de las particularidades estructurales de la construcción modular, destacando factores de riesgo, mecanismos de fallo y regulaciones aplicables en España. Los resultados muestran unas ventajas evidentes en términos de eficiencia medioambiental debido a su rápida construcción. Estructuralmente, los principales desafíos se muestran en las cargas laterales y su efecto de balanceo.

Palabras clave: Construcción prefabricada; sistemas modulares; desafíos; diseño estructural.

Abstract

Modular systems in construction offer an efficient and versatile alternative to traditional methods, promoting sustainability and material optimisation. These systems involve the manufacture of structural components in a controlled environment and their subsequent final assembly, in contrast to the conventional process. Although their industrialised assembly and assembly in the workshop streamlines the construction process, they pose challenges in structural design. Prefabricated construction has no specific design guidelines, and relies on the guidelines established by traditional construction for its implementation. This article provides an overview of the structural particularities of modular construction, highlighting risk factors, failure mechanisms and regulations applicable in Spain. The results show clear advantages in terms of environmental efficiency due to its rapid construction. Structurally, the main challenges are shown to be lateral loads and their rocking effect.

Key words: Prefabricated construction; modular systems; challenges; structural design.

1. Introducción

Los sistemas modulares son una práctica constructiva enmarcada dentro de la construcción prefabricada, debido a su montaje industrializado y ensamblado en taller (Lacey, Chen, Hao, & Bi, 2018). Según su grado de prefabricación, existen aquellos módulos que se conforman a partir de elementos individuales, sistemas panelados o unidades volumétricas (Yu & Chen, 2018). Durante el desarrollo de esta investigación, el estudio y análisis se centrará en las unidades volumétricas como el sistema principal a considerar.

Se entiende por módulo prefabricado aquel elemento en que el esquema estructural se repite durante el proyecto. Independientemente de que el proyecto se componga de módulos con diferentes dimensiones o incluso variantes, el diseño constructivo se forma a partir de los mismos elementos y sistemas, los cuales tienden a tener una geometría rectangular (Álvarez, 2003). Por tanto, la construcción modular se define como la fabricación de componentes estandarizados, que una vez ensamblados en casi su totalidad en un taller externo (*off site*) se transportan e instalan en el emplazamiento final (Lim, Ling, Tan, Chong, & Thurairajah, 2022).

Los sistemas constructivos modulares han ganado popularidad en la industria de la construcción debido a su eficiencia y versatilidad, involucrando a la fabricación de componentes estructurales en una ubicación centralizada para luego ensamblarlos en el sitio de construcción. Esta metodología difiere del enfoque tradicional de construcción in situ, donde los elementos se ensamblan paso a paso en el lugar final. De hecho, la construcción prefabricada no cuenta con pautas de diseño específicas, y se apoya en las directrices establecidas por la construcción tradicional para llevar a cabo su implementación.

Los sistemas modulares ofrecen numerosos beneficios, pero también presentan desafíos únicos en términos de diseño estructural. Por ello, y con el fin de promover el avance, la mejora y el impulso de la industria de la construcción modular, es esencial entender la configuración estructural de estos sistemas. El objetivo de esta contribución es establecer una base técnica sobre los principales factores de riesgo, el comportamiento y los mecanismos de fallo.

Las ventajas de la construcción modular residen sobre todo en la reducción de plazos, aprovechamiento del material y mejora de la calidad (Rogan, Lawson, & Bates-Brkljac, 2000). Esto se produce debido a que prácticamente todo el proceso se desarrolla en taller, y como consecuencia, el seguimiento del proceso, fabricación y montaje, se realiza de forma más exhaustiva. Esto provoca mayores estándares de calidad y eficiencia durante la producción (Boyd, Khalfan, & Maqsood, 2013). En términos de sostenibilidad, la fabricación en taller de los sistemas modulares prefabricados conlleva una significativa reducción de al menos un 70% en la generación de residuos en comparación con la construcción convencional (Lawson, Ogden, & Bergin, 2012). Ésta es una cifra muy elevada, teniendo en cuenta que los residuos tienen un alto impacto ambiental.

A pesar de las numerosas ventajas que ofrece la construcción modular en relación a la metodología constructiva tradicional, existe todavía cierta resistencia en su utilización. De hecho, según estudios, hay suficiente evidencia para demostrar que el sistema modular satisface de una forma más eficiente la demanda constructiva. Un ejemplo ilustrativo es el caso de países como el Reino Unido, donde en el 2004 un 25% de las viviendas sociales fueron ejecutadas utilizando métodos de construcción *off-site* (Boyd et al., 2013).

La investigación trata de ofrecer una visión de las particularidades estructurales de la construcción modular, destacando factores de riesgo, mecanismos de fallo y regulaciones aplicables en España.

2. Resultados. Consideraciones de diseño estructural

En los últimos años, la construcción prefabricada, y en concreto los sistemas modulares, han incrementado su popularidad. Sobre todo, esto se debe a su eficacia y flexibilidad, al mismo tiempo que, la fabricación en entornos controlados y las múltiples ventajas en conceptos como la sostenibilidad han potenciado todavía más su uso. No obstante, la comprensión de la respuesta estructural es necesaria para un buen uso y un aprovechamiento óptimo. Los edificios contruidos a partir de sistemas modulares pueden experimentar múltiples peligros, como sismo, incendio, viento, explosión o incluso actividad del transporte (Gardoni & LaFave, 2016). Cada

uno de estos peligros tiene unas cargas asociadas, y se refleja en el edificio de una manera. La forma en la que los sistemas modulares se comportan, y la transmisión de las cargas entre las conexiones fomentan diferentes respuestas estructurales. Por ello, el comportamiento de los módulos viene determinado por diferentes peligros, los cuales tienen asociados múltiples criterios de diseño y estrategias de mitigación.

2.1. Factores de riesgo para la estructura

Las cargas, bien sean cargas verticales u horizontales, muertas, vivas o accidentales, al igual que las condiciones ambientales influyen en la resistencia y la capacidad de soporte. Estas cargas ejercen presión sobre los diferentes componentes y pueden llegar a ser un riesgo si no se consideran durante el cálculo.

La resistencia es la capacidad de una estructura para soportar cargas y tensiones sin sufrir deformaciones ni colapsar. Viene determinada por la forma y por la materialidad de la estructura. De modo que, para garantizar una buena resistencia, es necesario el desarrollo de un diseño adecuado, el cual está determinado por la geometría y las conexiones estructurales. Lo que se pretende a través de la configuración de los módulos es una óptima distribución de cargas y la utilización de materiales ligeros, sin comprometer a la resistencia de la estructura.

Para determinar la resistencia de los módulos, hay que tener en cuenta que un módulo individual tiene que tener la suficiente estabilidad y resistencia por sí solo, qué ocurre cuando se ensamblan varios módulos. Una característica particular de la arquitectura modular, a diferencia de la construcción convencional, es la duplicidad de los elementos estructurales. Es decir, en el momento que se unen varios módulos, tanto los elementos verticales como los horizontales, se multiplican. Esta característica es nombrada como viga-agrupada o pilar-agrupado (Figura 1) (Ye, Giriunas, Sezen, Wu, & Feng, 2021).

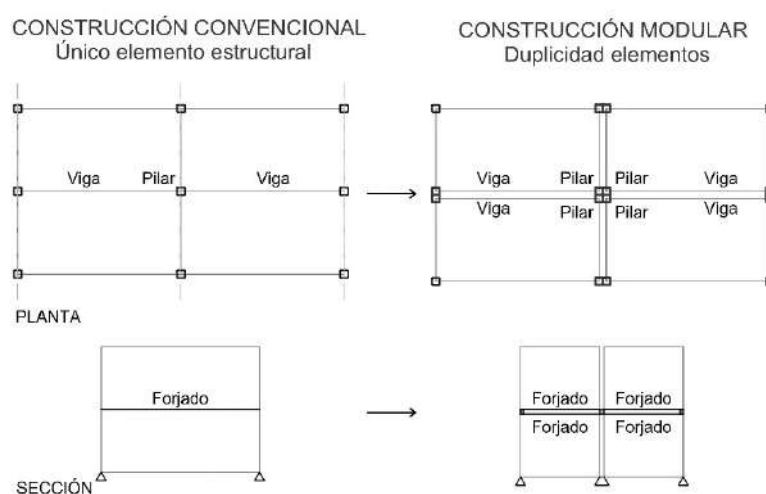


Figura 1. Esquema comparativo entre la construcción convencional y la construcción modular donde se aprecia la duplicidad de elementos. Fuente: Elaboración propia.

El transporte y la manipulación de los sistemas modulares constituyen un aspecto crítico que debe considerarse en el diseño estructural. Estos módulos están diseñados para ser ensamblados en taller, transportados hasta el emplazamiento y finalmente izados para su instalación definitiva. Este proceso logístico, que abarca desde la planificación del transporte hasta la coordinación en obra, implica desafíos técnicos específicos. Entre ellos destacan el comportamiento estructural durante la manipulación y los posibles mecanismos de fallo asociados, aspectos analizados en diversos estudios recientes (Shan & Pan, 2022).

En cuanto al transporte, hay que tener en cuenta factores como las restricciones de carga, las dimensiones de los módulos para el desplazamiento, y el embalaje. En el transporte por carretera, la carga viene determinada a partir de coeficientes de aceleración. Normalmente, estos coeficientes suelen ser de 0,8g hacia adelante, 0,5g hacia atrás y 0,5g transversalmente (Lacey et al., 2018).

Sin duda, un factor crucial que afecta a los módulos es la carga lateral de viento. Esto se debe a las fuerzas significativas que puede generar sobre los sistemas modulares, pero también de forma específica sobre los elementos de conexión. Por ello, es necesario considerar este efecto y aplicar los criterios de diseño específicos para el cálculo y la mitigación de los efectos generados por la carga.

La aplicación de los criterios de diseño considera la estabilidad, la resistencia y la capacidad de servicio (Mendis et al., 2007), y se basa en las deformaciones, entre plantas y de todo el edificio, y las vibraciones. Según el Documento Básico de Seguridad Estructural, los límites de desplazamiento horizontal se sitúan en $1/500$ de la altura total del edificio cuando hablamos de desplome total, o $1/250$ de la altura de la planta cuando hablamos de desplome local (Ministerio de Fomento. Gobierno de España, 2019). Por tanto, lo que se pretende es asegurar una estructura estable que no exceda las limitaciones de deformación, y que evite vibraciones que puedan llegar a molestar a los usuarios y al funcionamiento.

La fuerza lateral de viento ejerce una presión significativa, que puede generar momentos, esfuerzos cortantes y deformaciones. Cuanto más alto sea el edificio, más importancia recaerá. Por todo ello, será imperativo tener en cuenta la carga y dimensionar los componentes y conexiones para asegurar la seguridad.

2.2. Comportamientos y mecanismos de fallo

La estabilidad atiende a la capacidad de la estructura para mantener su equilibrio, forma y posición sin volcar o desplomarse, bajo diferentes condiciones de carga. La aplicación de cargas laterales tiene una afectación específica sobre los módulos, e influye todavía más a aquellas estructuras cuya relación de esbeltez es superior a 5. Por eso, los criterios de diseño se basan principalmente en la estabilidad, la resistencia y la capacidad de servicio, teniendo en cuenta la deformación entre pisos, la deformación general y la vibración (Lacey et al., 2018).

La respuesta particular de los sistemas modulares es el comportamiento de balanceo, un efecto que se produce cuando se aplican fuerzas laterales que provocan un efecto de balanceo o inclinación (Figura 2). En el momento que se aplican este tipo de cargas, las responsables de absorber y transferir son las conexiones entre módulos, las cuales deberán tener un buen diseño para garantizar la estabilidad del sistema. Además, la demanda se vuelve mayor para las conexiones entre módulo; es decir, el pilar del módulo deberá resistir la carga de gravedad acumulada de los pisos superiores, en caso que los haya, la carga inducida por el balanceo y la carga lateral externa (Ye et al., 2021).

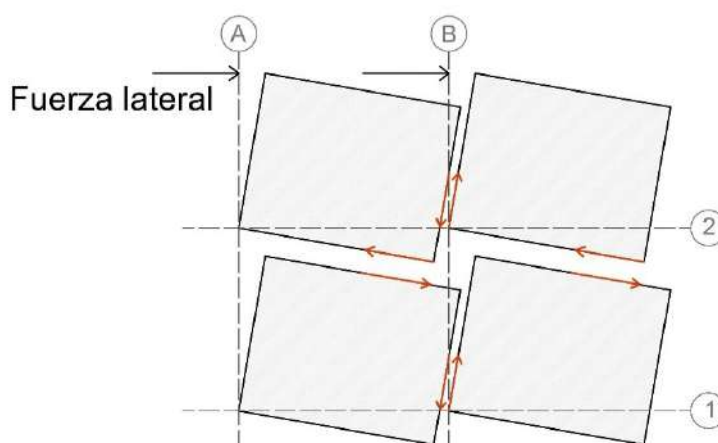


Figura 2. Esquema visual del comportamiento de balanceo. Fuente: elaboración propia.

Las conexiones son las encargadas de garantizar la integridad estructural. Para ello, deben tener la suficiente resistencia al corte, al mismo tiempo que deben existir sistemas de arriostramiento. Esto proporcionará estabilidad al conjunto.

Además de otros aspectos, es importante tener en cuenta la estabilidad lateral, especialmente en situaciones de sismicidad. Uno de los elementos cruciales en este contexto es la reducción

de la masa. La razón detrás de esto es que cuanto menor sea la masa de la estructura, menor será la magnitud de fuerza generada durante un evento sísmico. Ello se debe a que la fuerza sismorresistente está directamente relacionada con el peso de la estructura.

Otro comportamiento que puede llegar al fallo de los sistemas modulares es el colapso progresivo, y se refiere a la propagación secuencial de daños y colapso en un edificio o estructura debido a la incapacidad de una parte de la misma para resistir cargas. Este fenómeno ocurre cuando fallan los componentes verticales que soportan la carga (Thai, Ngo, & Uy, 2020). Es decir, un daño que inicialmente se produce de forma localizada puede propagarse de forma gradual y desencadenar el colapso global de todo el sistema estructural.

2.3. Normativa y regulación aplicable en España

Al igual que la construcción convencional, los sistemas modulares deben cumplir con la normativa y las regulaciones vigentes que garantizan la seguridad y calidad de las edificaciones. Aunque actualmente no existe una normativa específica exclusivamente para la construcción modular, esta debe ajustarse a los mismos requisitos técnicos y legales que se exigen en la edificación tradicional. Por tanto, el cumplimiento de las normativas generales es obligatorio, y los sistemas modulares deben ofrecer las mismas garantías en cuanto a seguridad, habitabilidad y calidad (Piqueras Blasco, 2024).

3. Discusión

Los sistemas modulares en la construcción ofrecen numerosas ventajas, incluyendo una mayor eficiencia en tiempo y costos, así como una mayor flexibilidad y sostenibilidad en comparación con los métodos de construcción tradicionales. Sin embargo, es crucial abordar adecuadamente las consideraciones estructurales al utilizar estos sistemas. La modularidad implica la fabricación de componentes estándar en condiciones controladas de fábrica, lo que puede limitar la complejidad y la variabilidad en el diseño estructural. Las investigaciones en construcción modular han experimentado un crecimiento, lo que denota la capacidad de entendimiento del sistema, no solo por parte de técnicos, sino también de contratistas, y por supuesto, de promotores (Gunawardena, Ngo, Mendis, & Alfano, 2016).

Las consideraciones estructurales en los sistemas modulares no solo abarcan la resistencia ante cargas verticales producidas por el peso propio o la sobrecarga de uso, cargas habitualmente consideradas de forma sistemática en el cálculo, sino que también hacen hincapié en los mecanismos de fallo provocados por cargas laterales, como el viento o el sismo (Chen, Khan, Khan, Javed, & Liu, 2021). Estos factores de riesgo son especialmente relevantes en los sistemas modulares, ya que pueden inducir movimientos de balanceo en la estructura modular, lo que podría comprometer su estabilidad y seguridad.

Además, el transporte y la manipulación de los componentes modulares también pueden generar vibraciones que deben ser tenidas en cuenta. Estas vibraciones, aunque pueden parecer insignificantes, tienen el potencial de afectar la integridad estructural de los módulos, especialmente si se repiten de manera continua o si alcanzan amplitudes significativas. El deterioro gradual de la estructura debido a estas vibraciones podría eventualmente conducir a fallas catastróficas o colapsos inesperados.

Por lo tanto, es fundamental realizar e incorporar medidas de diseño que minimicen los efectos de las cargas laterales y las vibraciones, asegurando la estabilidad y durabilidad de la estructura modular. Esto puede implicar el uso de sistemas de sujeción robustos, el diseño de conexiones adecuadas para resistir las fuerzas laterales, y la implementación de técnicas de mitigación de vibraciones durante el transporte y la instalación de los módulos. Además, es fundamental realizar un seguimiento continuo de la integridad estructural a lo largo de la vida útil de la construcción modular, mediante inspecciones regulares y mantenimiento para prevenir posibles problemas antes de que se conviertan en riesgos para la seguridad.

4. Conclusiones

La creciente popularidad de los sistemas modulares en la construcción ha abierto nuevas posibilidades en términos de eficiencia, flexibilidad y sostenibilidad. Sin embargo, junto con sus numerosas ventajas, surge la necesidad de abordar cuidadosamente las consideraciones estructurales inherentes a este nuevo enfoque constructivo.

De esta revisión, se sintetizan las siguientes conclusiones:

- La conclusión principal de la mayoría de las investigaciones indica que los sistemas modulares son construcciones más eficientes que la construcción convencional.
- Las cargas laterales son las acciones que más afectan a la construcción modular.
- El mecanismo de fallo más severo es el colapso progresivo debido a la inesperada consecución del fenómeno.
- No hay normas específicas para los sistemas modulares; por ello, se deben regir por las normas habituales de estructuras, dando lugar a posibles vacíos en consideraciones estructurales

Junto a todo ello, es importante comprender que la arquitectura modular no implica una carencia de proyecto arquitectónico. Más bien, representa un enfoque alternativo que ofrece otro punto de partida para la expresión creativa. Al trabajar dentro de parámetros modulares, los arquitectos encuentran oportunidades para fusionar funcionalidad y estética de otra manera, llevando a la vida diseños que se adaptan con flexibilidad a las necesidades cambiantes y desafíos contemporáneos.

5. Referencias

- Álvarez, J. L. B. (2003). *Estudio relativo a la construcción modular* (Universitat Politècnica de Catalunya). Recuperado de <http://hdl.handle.net/2099.1/6198>
- Boyd, N., Khalfan, M. M. A., & Maqsood, T. (2013). Off-Site Construction of Apartment Buildings. *Journal of Architectural Engineering*, 19(1), 51-57. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ae.1943-5568.0000091](https://doi.org/10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000091)
- Chen, Z., Khan, K., Khan, A., Javed, K., & Liu, J. (2021). Exploration of the multidirectional stability and response of prefabricated volumetric modular steel structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 184, 106826. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.106826>
- Gardoni, P., & LaFave, J. M. (2016). Multi-hazard approaches to civil infrastructure engineering. En *Multi-Hazard Approaches to Civil Infrastructure Engineering*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29713-2>
- Gunawardena, T., Ngo, T., Mendis, P., & Alfano, J. (2016). Innovative Flexible Structural System Using Prefabricated Modules. *Journal of Architectural Engineering*, 22(4), 1-7. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ae.1943-5568.0000214](https://doi.org/10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000214)
- Lacey, A. W., Chen, W., Hao, H., & Bi, K. (2018). Structural response of modular buildings – An overview. *Journal of Building Engineering*, 16(July 2017), 45-56. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.12.008>
- Lawson, R. M., Ogden, R. G., & Bergin, R. (2012). Application of modular construction in high-rise buildings. *Journal of Architectural Engineering*, 18(2), 148-154.
- Lim, Y. W., Ling, P. C. H., Tan, C. S., Chong, H. Y., & Thurairajah, A. (2022). Planning and coordination of modular construction. *Automation in Construction*, 141(July), 104455. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104455>
- Mendis, P., Ngo, T., Haritos, N., Hira, A., Samali, B., & Cheung, J. (2007). Wind loading on tall buildings. *Electronic Journal of Structural Engineering*, 7, 41-54. <https://doi.org/10.56748/ejse.641>
- Ministerio de Fomento. Gobierno de España. (2019). Documento Básico SE. Seguridad estructural. *Código Técnico de la Edificación*, 1-39.
- Piqueras Blasco, M. (2024). *Estructuras prefabricadas y modulares para ampliación vertical de edificios residenciales existentes* (Universitat Politècnica de València). <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/207110>
- Rogan, A., Lawson, R., & Bates-Brkljac, N. (2000). *Value and Benefits Assessment of Modular Construction*. Steel Construction Institute.
- Shan, S., & Pan, W. (2022). Progressive collapse mechanisms of multi-story steel-framed modular structures under module removal scenarios. *Structures*, 46(July), 1119-1133. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.10.106>
- Thai, H. T., Ngo, T., & Uy, B. (2020). A review on modular construction for high-rise buildings. *Structures*, 28(October), 1265-1290. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.09.070>
- Ye, Z., Giriunas, K., Sezen, H., Wu, G., & Feng, D. C. (2021). State-of-the-art review and investigation of structural stability in multi-story modular buildings. *Journal of Building Engineering*, 33(March 2020), 101844. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101844>
- Yu, Y., & Chen, Z. (2018). Rigidity of corrugated plate sidewalls and its effect on the modular structural design. *Engineering Structures*, 175(April), 191-200. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.08.039>

Metodología de optimización de proyectos en clave de sostenibilidad rentable con simulación energética dinámica

HERRAMIENTAS Y PROCESO PARA LA SOSTENIBILIDAD INTEGRAL: LA INDUSTRIALIZACIÓN Y LA DIGITALIZACIÓN

Pablo Muñoz Hernández ¹

¹ Cofundador y CEO de Espacios Evalore SLP, pmunoz@evalore.es

Resumen

La optimización energética con simulación dinámica es una herramienta esencial en la descarbonización que adecuadamente en el proceso de diseño, permite reducir costos de operación y de inversión, mejorando la eficiencia del proyecto, el confort térmico y la calidad ambiental interior. A diferencia de los certificados energéticos tradicionales, esta metodología evalúa en detalle la demanda y el consumo energético, considerando condiciones reales de uso y comportamiento horario. Las simulaciones energéticas dinámicas permiten realizar análisis bioclimáticos que facilitan la toma de decisiones estratégicas en la construcción. Estos análisis permiten optimizar el diseño considerando factores clave como la orientación, la compactidad, la naturaleza de la envolvente, las instalaciones térmicas y de generación energética. La optimización energética a través de la simulación dinámica es un imprescindible si queremos lograr el máximo potencial del edificio en clave de rendimiento energético, disminución de emisiones y confort para los usuarios, con la mínima inversión posible.

Palabras clave: sostenibilidad; optimización; simulación; energética; digitalización.

Abstract

Energy optimization with dynamic simulation is an essential tool in the decarbonization that, when used properly in the design process, allows reducing operating and investment costs, improving project efficiency, thermal comfort and indoor environmental quality. Unlike traditional energy performance certificates, this methodology provides a detailed evaluation of both energy demand and consumption, considering real usage conditions and hourly behavior. Dynamic energy simulations allow bioclimatic analyses that facilitate strategic decision making in construction. These analyses facilitate design optimization by considering key factors such as orientation, compactness, the nature of the envelope, thermal installations and energy generation. Energy optimization through dynamic simulation is a must if we want to achieve the maximum potential of the building in terms of energy performance, emissions reduction and user comfort, with the minimum possible investment.

Keywords: sustainability; optimization; simulation; energy; digitization.

1. ¿Por qué llevar a cabo un análisis energético complejo?

Hay una serie de decisiones arquitectónicas cuyo impacto en el rendimiento energético de nuestros edificios y, por ende, en las emisiones de carbono asociadas, es superlativo. Si bien, en la mayoría de proyectos estas decisiones se toman de manera ajena a criterios de sostenibilidad, dando como resultado edificaciones poco eficientes y con deficientes condiciones de confort.

En el contexto actual de descarbonización y eficiencia energética, la optimización de proyectos arquitectónicos se ha convertido en una estrategia esencial para reducir el consumo de energía y mejorar el rendimiento de los edificios. La realización de un análisis energético complejo, como la simulación energética dinámica, garantiza que estos criterios de sostenibilidad se incorporen desde el principio. Asimismo, un estudio energético permite comprender qué decisiones tienen mayor peso en el rendimiento energético del edificio, permitiéndonos optar por aquellas que maximizan el impacto positivo frente a otras cuyas implicaciones constructivas pueden ser más difíciles de asumir y su beneficio directo no tan elevado.

Para evidenciar el valor añadido de esta metodología, se presenta una tabla comparativa (Tabla 1) entre los certificados energéticos tradicionales y la simulación energética dinámica. La simulación dinámica destaca por su mayor precisión, personalización de variables y análisis horario. Esto permite optimizar el diseño, el dimensionado de sistemas y el rendimiento energético del edificio.

Tabla 1. Comparativa entre certificados energéticos tradicionales y simulación energética dinámica. Basado en IDAE (2020), DesignBuilder Software (2024) y experiencias profesionales de Evalore (elaboración propia).

Aspecto	Certificados energéticos	Simulación energética dinámica
Condiciones climáticas	Datos por capitales de provincia	Archivo climático específico del lugar, o poblaciones cercanas, teniendo en cuenta el efecto isla de calor o el cambio climático
Ocupación	Perfiles genéricos	Número de personas en cada hora del día
Horarios de uso	Condiciones fijas	Variabilidad horaria real
Cargas internas, equipos eléctricos, iluminación	Perfiles genéricos	Perfiles personalizados: datos horarios de potencia
Cargas térmicas de las instalaciones	No	Se dimensionan por espacio del proyecto
Confort térmico	No se considera	Según estándares internacionales (ASHRAE 55) a nivel horario, considerando la temperatura radiante
Envolvente y sistemas	Criterios simplificados	Modelización detallada de materiales y sistemas HVAC
Resultados obtenidos	Índices de referencia	Resultados adaptados al uso real

Frente a los certificados energéticos tradicionales, la simulación dinámica permite una personalización horaria de variables de uso, envolvente y sistemas, ofreciendo un análisis mucho más ajustado a la realidad operativa del edificio.

2. Metodología de optimización de proyectos en clave de sostenibilidad rentable con simulación energética dinámica

2.1. Conceptos clave

Para desarrollar la metodología, definiremos dos conceptos clave: demanda energética y consumo energético.

La **demanda energética** de un edificio es la cantidad de energía necesaria para calefactar o refrigerar sus espacios interiores y alcanzar condiciones de confort térmico. Está determinada principalmente por las características de su **envolvente térmica**, como el aislamiento de fachadas y cubierta, la compacidad del volumen edificado, la tipología de carpinterías, la hermeticidad y las protecciones solares (ISO 52000-1:2017; Pérez-Lombard et al., 2008).

Por otro lado, el **consumo energético** es el uso real de energía por parte de las instalaciones del edificio para satisfacer dicha demanda. Este consumo depende no solo de la demanda energética, sino también del rendimiento y eficiencia de los sistemas activos (Pérez-Lombard et al., 2008; Fabbri & Tronchin, 2011).

La reducción de la demanda energética se centra en estrategias pasivas de diseño, mientras que la disminución del consumo implica mejorar la eficiencia de los sistemas técnicos y su correcta regulación. Ambos enfoques deben abordarse de forma conjunta para lograr una optimización energética integral. En este sentido, la simulación energética dinámica permite analizar simultáneamente ambos aspectos, facilitando una optimización global del diseño.

2.2. Consideraciones Energéticas Fundamentales

Entre los aspectos fundamentales a considerar para la optimización energética se encuentran:

- En fase de anteproyecto:
 - Orientación: Se emplea simulación dinámica para optimizar la captación solar y minimizar la sobreexposición, reduciendo la demanda energética y mejorando el confort sin aumentar costes.
 - Compacidad: Se analizan configuraciones volumétricas para minimizar la superficie expuesta, reduciendo pérdidas térmicas y optimizando la demanda de calefacción y refrigeración.
 - Contexto urbano y relación de vanos con el mismo: Se optimiza la proporción de vanos respecto a opacos para maximizar luz natural y ventilación cruzada, reduciendo el consumo energético.
- En fase de proyecto básico y ejecutivo:
 - Envolvente e inercia térmica interior: Se optimiza el aislamiento y la capacidad de almacenamiento térmico para mejorar la estabilidad térmica y reducir oscilaciones de temperatura.
 - Ventilación natural y mecánica: Se modelan estrategias de ventilación pasiva y mecánica para garantizar calidad del aire y eficiencia con el menor consumo energético.
 - Sistemas térmicos: La simulación permite ajustar calefacción, refrigeración y distribución térmica para optimizar el confort con la mínima inversión energética.
 - Sistemas de generación renovable: Se evalúa el potencial energético del emplazamiento para integrar renovables con la máxima eficiencia y reducir la huella de carbono.

2.3. Proceso de optimización energética

La simulación energética permite obtener resultados cuantificables y comparables del comportamiento del edificio. Para ello se genera un modelo matemático digital, considerando la geometría (modelo 3D), el régimen de uso y la envolvente del edificio. El proceso de optimización energética se basa en una metodología estructurada por fases, apoyada en herramientas avanzadas de simulación dinámica. En particular, se emplea el software DesignBuilder, que utiliza el motor EnergyPlus para simular con alta precisión el comportamiento energético del edificio de forma horaria a lo largo del año, siguiendo una metodología validada ampliamente en la literatura técnica (Crawley et al., 2001). Esta herramienta modela geometría, orientación, materiales, sistemas activos y pasivos, condiciones reales de uso y climalocal, lo que proporciona una visión detallada del rendimiento energético. Integrar esta metodología en fases tempranas del diseño, cuando aún no se han definido aspectos como la orientación, la compacidad o la proporción de huecos en fachada, permite evaluar mejoras con un coste marginal o incluso nulo, ampliando la ventana de oportunidad para la optimización (Pérez-Lombard et al., 2008; Attia et al., 2012).

Una vez definida la envolvente térmica y las cargas internas del edificio, se realiza un análisis integral que incluye el estudio de la geometría, el soleamiento, las sombras, y la evaluación del aislamiento térmico. Se optimiza el diseño de las ventanas considerando su ubicación, tamaño y factor solar, y se valoran medidas como la incorporación de sistemas de recuperación de calor

en ventilación. La simulación se realiza día a día a nivel horario, permitiendo detectar el comportamiento en los días más desfavorables y cuantificar las horas de discomfort térmico estacional, especialmente en verano e invierno.

Este enfoque permite comparar distintas estrategias pasivas y activas para mejorar el rendimiento energético global. Además, los resultados se analizan también desde una perspectiva económica, facilitando la toma de decisiones equilibradas entre eficiencia, sostenibilidad y coste. La simulación dinámica se convierte así en una herramienta clave para adaptar las soluciones a las características específicas de cada proyecto, optimizando el confort y la rentabilidad a lo largo del ciclo de vida del edificio. A continuación, se presentan casos prácticos que ilustran la aplicación de la metodología.

3. Casos Prácticos

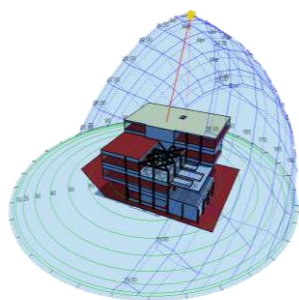


Figura 1. Modelo de optimización simulación energética dinámica. Fuente: Elaboración propia.

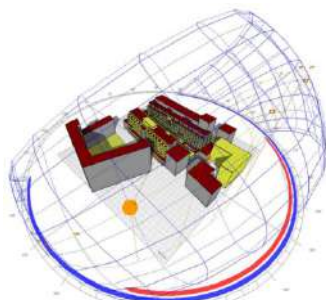


Figura 2. Modelo de optimización simulación energética dinámica de edificio residencial-apartotel. Fuente: Elaboración propia.

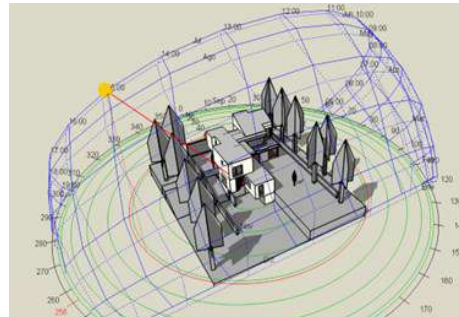


Figura 3. Modelo de optimización simulación energética dinámica de edificio residencial-apartotel. Fuente: Elaboración propia.

3.1. Optimización de Edificio de Oficinas

Para este caso de estudio (Figura 1), se realizó una simulación energética de un edificio de oficinas en Alicante, que busca obtener la certificación de sostenibilidad de edificios LEED. Esta certificación contempla la optimización del rendimiento energético del edificio, siguiendo los requisitos obligatorios de la Norma ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1–2010, (ASHRAE, 2010).

A través de la simulación con el software Design Builder, se logró analizar la demanda de refrigeración y de calefacción, iluminación, equipos de oficina, y agua caliente sanitaria. Además del estudio de balance térmico, se realizaron los siguientes ajustes: aumento del factor solar del vidrio de la doble piel de fachada; reducción del grosor del aislamiento en cubierta, forjado exterior y fachada; y aumento del factor solar del vidrio exterior.

Se realizó una comparación entre el consumo eléctrico y coste operacional anual de la propuesta planteada por el equipo de diseño y la propuesta optimizada (Figura 4). Para ello, se emplearon como referencia los costes indicados por la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (2023). La propuesta optimizada, además de haber reducido el coste de la inversión en 95.310€, permite reducir el consumo energético en 1.887 €/año.

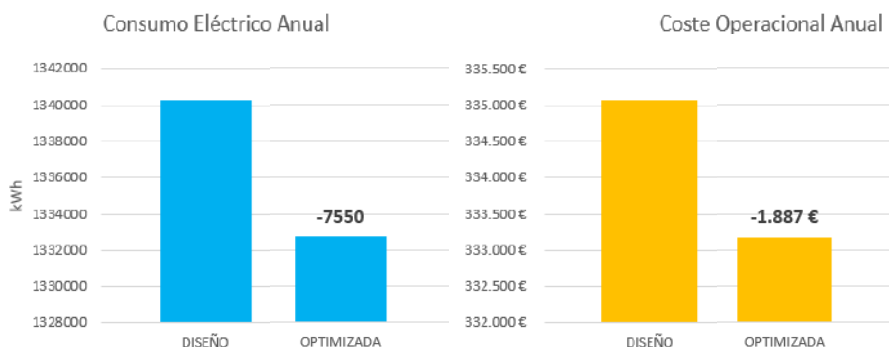


Figura 4. Comparativa coste consumo eléctrico anual del diseño vs propuesta optimizada, y coste consumo operacional anual del diseño vs propuesta optimizada. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, se compararon las emisiones de CO₂ anuales de la propuesta planteada por el equipo de diseño respecto a la propuesta optimizada. La propuesta optimizada permite reducir las emisiones de CO₂ en 2.061 kg/año (Figura 5).

La propuesta optimizada presenta un retorno estimado de la inversión superior al 18% anual y un periodo de amortización inferior a cinco años, lo que refuerza la viabilidad económica de las medidas implementadas.

A partir del análisis realizado, se han obtenido las siguientes conclusiones: aumentar el factor solar del vidrio exterior aumenta el consumo energético, aumentar la transmitancia lumínica del vidrio exterior reduce el consumo eléctrico de iluminación, y la reducción del aislamiento en cubierta, en forjado exterior y fachada reduce el consumo energético global.

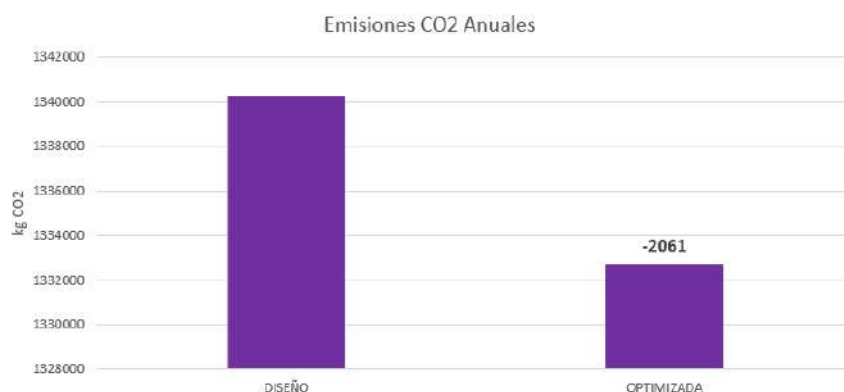


Figura 5. Emisiones de CO₂ Anuales del diseño vs propuesta optimizada. Fuente: Elaboración propia.

3.2. Optimización de Edificio Residencial Apartotel

En este caso de estudio (Figura 2), se realizó una simulación energética dinámica de un edificio de coliving en Valencia. La implementación de estrategias pasivas, tales como la reducción del aislamiento térmico, la optimización del factor solar del vidrio en todas las ventanas y la instalación de protecciones solares, junto con ajustes en el diseño de las instalaciones, permitió reducir significativamente la inversión inicial. Entre las decisiones adoptadas destaca la eliminación del sistema de recuperación de calor, ahorrando 130.000 € en la inversión. En conjunto, las medidas aplicadas redujeron más de 500.000 € en inversión y 16.036 €/año en consumo energético, sin comprometer el confort ni el desempeño del edificio. A su vez, estas medidas se enmarcan dentro de la estrategia global del proyecto para obtener la certificación BREEAM ES (NC).

3.3. Optimización de Casa Unifamiliar

En el análisis energético de una vivienda ubicada en Girona (Figura 3), se llevó a cabo el dimensionamiento del sistema fotovoltaico y la simulación energética dinámica del edificio, con el objetivo de maximizar su eficiencia. A través de la implementación de estrategias pasivas, como el incremento del aislamiento térmico, la optimización del factor solar de las ventanas, la instalación de persianas exteriores y la ventilación natural nocturna en verano, se logró una reducción significativa de las horas de desconfort térmico, en 506 horas anuales, sin necesidad de recurrir a sistemas activos de refrigeración. Estas estrategias redujeron la demanda energética en un 20% sin generar costes adicionales, optimizando el rendimiento térmico global. Además, las mejoras introducidas se tradujeron en un ahorro superior a 10.000 € en costes de inversión, garantizando un equilibrio óptimo entre sostenibilidad, confort interior y rentabilidad económica del proyecto.

4. Conclusiones

Los tres casos analizados –el edificio de oficinas en Alicante, el apartotel en Valencia y la vivienda unifamiliar en Girona– demuestran cómo la simulación energética dinámica permite identificar estrategias diferenciadas en función del uso y contexto del edificio. En el primer caso, se optimizó la envolvente y los sistemas térmicos cumpliendo con los requisitos LEED a la vez que se maximizaba el rendimiento energético; en el segundo, se priorizó la reducción de la inversión

inicial mediante medidas pasivas y ajustes de sistemas; y en el tercero, se mejoró el confort térmico estacional mediante estrategias pasivas sin recurrir a climatización activa. **En todos ellos se obtuvieron beneficios ambientales y económicos para el promotor.**

La simulación energética dinámica es una herramienta fundamental para la optimización de proyectos, permitiendo un diseño más eficiente y sostenible. A diferencia del certificado energético, que únicamente justifica el rendimiento del edificio, la simulación posibilita realizar ajustes estratégicos en la fase de diseño. La comparativa de los casos presentados demuestra que la metodología de optimización basada en simulación energética tiene un impacto directo en el diseño de edificaciones sostenibles, al facilitar decisiones informadas desde las etapas iniciales del proyecto. Los resultados evidencian que su aplicación se adapta a distintas tipologías y puede reducir notablemente el consumo energético, las emisiones de CO₂ y los costes operativos, contribuyendo al cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad y descarbonización.

La integración de estas metodologías en el proceso de diseño es clave para lograr edificaciones más eficientes y responsables con el entorno, como recogen investigaciones recientes sobre simulación energética en diseño sostenible (Pérez-Lombard, Ortiz & Pout, 2008). La optimización energética puede abordarse desde fases tempranas del proyecto para maximizar su impacto en la reducción de costes de inversión y operación (cuanto antes se inicie, mayor será la ventana de oportunidad). En esta contribución se ha empleado el software DesignBuilder, con motor EnergyPlus, que permite un análisis bioclimático detallado considerando variables geométricas, climáticas y de uso real. No todas las herramientas de simulación ofrecen este nivel de precisión o detalle horario, por lo que la elección del software condiciona directamente el alcance y fiabilidad del análisis (Crawley et al., 2008).

5. Referencias

- Attia, S., De Herde, A., & Hensen, J. L. M. (2012). Selection criteria for building performance simulation tools: contrasting architects' and engineers' needs. *Journal of Building Performance Simulation*, 5(3), 155–169. <https://doi.org/10.1080/19401493.2010.547671>
- IDAE. (2020). Guía práctica para la certificación energética de edificios. Nueva metodología y herramientas. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. <https://www.idae.es>
- DesignBuilder Software. (2024). DesignBuilder – Building performance simulation software. <https://designbuilder.co.uk/>
- Evalore. (2024). Casos prácticos y experiencia profesional en consultoría energética y simulación dinámica.
- ASHRAE. (2010). ASHRAE Standard 90.1 – *Energy standard for buildings except low-rise residential buildings*. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1>
- Crawley, D. B., Lawrie, L. K., Winkelmann, F. C., Buhl, W. F., Huang, Y. J., Pedersen, C. O., ... & Glazer, J. (2001). EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and Buildings*, 33(4), 319–331. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00114-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00114-6)
- Crawley, D. B., et al. (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment*, 43(4), 661–673. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.027>
- Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. (2023). Precios de mercado 2022. <https://www.cnmc.es/estadistica/precios-mercado-2022>
- DesignBuilder Software. (2024). DesignBuilder – Building performance simulation software. <https://designbuilder.co.uk/>
- U.S. Green Building Council. (2024). LEED rating system. <https://www.usgbc.org/leed>
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>
- Fabbri, K., & Tronchin, L. (2011). Indoor environmental quality and energy performance of buildings: A review. *Building and Environment*, 46(11), 2195–2202. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.04.008>
- ISO. (2017). ISO 52000-1:2017 - Energy performance of buildings — Overarching EPB assessment — Part 1: General framework and procedures. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/65646.html>

Identificación y priorización de los aspectos clave en el proceso de transformación de un edificio.

LA REHABILITACIÓN Y REGENERACIÓN COMO INSTRUMENTOS PARA LOS NUEVOS PARADIGMAS SOCIALES

Silvia Soutullo¹, José Antonio Ferrer², Lara de Diego³

¹ Doctora Ciencias Físicas, investigadora senior, silvia.soutullo@ciemat.es

² Doctor Ciencias Físicas, jefe de unidad, ja.ferrer@ciemat.es

³ Licenciada Ciencias Biológicas, investigadora senior, lara.dediego@ciemat.es

Resumen

La renovación energética de edificios es un aspecto clave a la hora de abordar la transformación climática de nuestras ciudades. Es necesaria una hoja de ruta con objetivos claros, alcanzables y contextualizados localmente, capaz de generar una planificación que optimice las sinergias entre recursos, necesidades, urbanismo, microclima y medioambiente. Pero para ello se requieren directrices generales que abarquen varios dominios, permitiendo identificar y priorizar aspectos y actores clave. Para paliar este gap, se ha aplicado una metodología cualitativa, basada en encuestas con expertos de diversos sectores y localizaciones, que identifica los aspectos principales que impulsan o bloquean el proceso de transformación, resaltando los actores implicados en cada fase del proceso. Esta aproximación permite centrarse en la experiencia/conocimiento de los expertos más que en la cuantificación de casos concretos, destacando los aspectos clave que deben afrontarse.

Palabras clave: transformación edificios; encuestas; pilares; factores impulsores y bloqueantes; actores

Abstract

The energy renovation of buildings is a key aspect in addressing the climate transformation of our cities. A roadmap with clear, achievable and locally contextualized objectives is needed, capable of generating planning that optimises synergies between resources, needs, urbanism, microclimate and environment. Nevertheless, this requires general guidelines that cover several domains, allowing to identify and prioritise key aspects and actors. To bridge this gap, a qualitative methodology has been applied, based on surveys with experts from various sectors and locations, which identifies the main aspects that drive or block the transformation process, highlighting the actors involved in each phase of the process. This approach allows to focus on the experts' experience/knowledge rather than on the quantification of specific cases, highlighting the key aspects that need to be covered.

Keywords: building transformation; surveys; pillars, driving and blocking factors, stakeholders

1. Introducción

El crecimiento demográfico y el desarrollo económico producido en las ciudades, unidos a la baja eficiencia de los edificios y las infraestructuras de energía, la baja contribución de las energías renovables en el mix energético, o la inexistencia y rigidez de los sistemas de gestión y control, está dando como resultado elevados consumos energéticos y emisiones de gases, así como fuertes desigualdades entre los ciudadanos (Santamouris & Vasilakopoulou, 2021). Para paliar estos efectos, es necesario potenciar modelos urbanos con edificios e instalaciones eficientes, transporte público sostenible, generación renovable local, espacios públicos verdes, aumento de empleos locales o una gestión urbana integral (Division, 2015). Esta concepción urbana presenta múltiples desafíos que abarca numerosos sectores, presentando retos técnicos y no técnicos que pueden ser extraídos mediante un proceso iterativo de encuestas y discusión (Gohari et al., 2024). La identificación de los aspectos que deben ser tenidos en cuenta debe estar contextualizada localmente, aunque se identifican como pilares principales los factores técnicos, económicos, infraestructuras, ambientales, movilidad, gobernanza y sociales (Soutullo et al., 2024).

El sector de la edificación representa uno de los principales contaminantes y consumidores de energía (IEA, 2019), por lo que la implementación de medidas de eficiencia energética y sostenibilidad tiene un gran potencial de ahorro y reducción del impacto ambiental. El proceso de transformación de edificios requiere diseños pasivos basados en los recursos locales disponibles, la integración de fuentes renovables in situ o muy próximas, la gestión optimizada de todos los flujos y la implicación de sus usuarios (BUILD UP Portal, 2018). Sin embargo, el camino para la implementación de estos edificios sigue presentando números retos y obstáculos que deben ser priorizados y considerados previamente para lograr una transformación exitosa. En este artículo se propone una metodología cualitativa basada en el análisis de encuestas específicas dirigidas a expertos en el marco de un curso de capacitación realizado por el CIEMAT, cuya temática se centra en la edificación eficiente y sostenible mediante técnicas de integración de las tecnologías renovables en edificios y diseños sostenibles en la región latinoamericana. El objetivo principal de esta investigación es priorizar los retos, las barreras y los impulsores, generando una información que pueda ser empleada para orientar el desarrollo de metodologías integrales, mecanismos de gobernanza y planificaciones que persigan la neutralidad energética y climática de los edificios.

2. Metodología

Se ha desarrollado una metodología cualitativa basada en la generación, formulación y análisis de preguntas dirigidas a expertos del sector de la edificación y la energía, en países de la región de América Latina y el Caribe (LAC), y España. Esta metodología permite comprender ciertos factores del proceso de transformación en base a la experiencia y puntos de vista de los participantes, los cuales aportan información sobre numerosas facetas del proceso, abarcando diferentes contextos sociales, políticos, económicos y climáticos.

El punto de partida de este proceso es la identificación de las preguntas clave. Para ello se ha basado tanto en la bibliografía existente como en las conversaciones semiestructuradas en un marco abierto con varios expertos del sector de la edificación y la energía. Posteriormente se han generado tres paquetes de preguntas que han sido respondidas por los participantes del curso de capacitación, escogidos por su experiencia y por representar a diferentes grupos de actores relevantes del proceso de transformación. Finalmente, se ha procesado la información generada mediante el análisis de los datos previamente codificados, identificando patrones, tendencias y medias que permitan mapear la situación existente.

La elección de este tipo de enfoque permite capturar los conocimientos, las opiniones y experiencias de diferentes actores del proceso general de transformación del edificio. El desarrollo de esta metodología se ha efectuado en el seno de la actividad formativa realizada por el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) en colaboración con el Centro de Formación de La Antigua (Guatemala) de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), en el seno del programa INTERCOONECTA (AECID, 2022).

2.1. Países y sectores participantes

En la actividad de formación participaron expertos del sector de la edificación y la energía así como investigadores del Programa EUROCLIMA+, abarcando diferentes actores y sectores del proceso de transformación, con un total de 23 participantes. Se contó con la participación de expertos de España y diferentes países de la región LAC, como Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Perú, República Dominicana y Uruguay. Los sectores que contribuyeron en esta actividad engloban áreas desde la edificación y la eficiencia energética (sectores con mayor número de participantes) hasta la energía, gubernamental, militar, certificaciones, academia, medioambiente, obras públicas o consultoría.

2.2. Identificación de los Pilares Clave, Actores y Fases

El objetivo principal de la metodología participativa implementada es identificar los aspectos clave del proceso de transformación de edificios mediante la generación de una base de datos basada en encuestas orientadas y análisis posteriores. En este proceso se ha analizado la bibliografía existente, evaluando las experiencias de los expertos participantes y analizando los requisitos del proceso de transformación de un edificio en un edificio de consumo casi nulo.

Del análisis anterior se han identificado varios aspectos clave, agrupados para esta investigación en ocho pilares:

- **Diseño del edificio**, que define la volumetría, orientación, compacidad, ratios de muros y huecos, envolvente, materiales o estrategias pasivas que lo componen.
- **Eficiencia energética**, definida en las instalaciones activas, en las estrategias pasivas, en la conexión con vehículos eléctricos y en el resto de las infraestructuras.
- **Integración de fuentes renovables**, tanto en el propio edificio como en redes energéticas cuya generación renovable esté próxima al edificio.
- **Confort y calidad ambiental**, que determina si las condiciones climáticas y ambientales en el interior del edificio están dentro de los rangos.
- **Gestión y control**, caracterizado por los sistemas de medida y monitorización que permiten optimizar el funcionamiento del edificio según sus necesidades.
- **Económico y financiero**, caracterizado por los costes, los aspectos del mercado, las inversiones, las ayudas, la rentabilidad o la financiación.
- **Social**, teniendo en cuenta la participación y la colaboración de los usuarios, la existencia de comunidades energéticas, los prosumidores o los ratios de vulnerabilidad.
- **Legislativas**, debidos a las normativas, las leyes o las certificaciones necesarias.

También ha permitido identificar un conjunto de actores y de fases del proceso de transformación:

- **Actores**: ciudadanía, industria, administraciones, academia, financiero, servicios energéticos y sector inmobiliario.
- **Fases del Proceso**: planificación, diseño, implementación, operación y evaluación.

2.3. Encuestas

Una vez establecidos los pilares clave, los actores implicados y las fases del proceso, se quiere analizar qué importancia tienen y qué grado de influencia ejercen (positiva o negativa). Para ello se proponen tres paquetes de preguntas en los cuales se pide a los participantes que puntúen las diferentes opciones. En todos los paquetes se da la posibilidad a los participantes, de incluir alguna opción más a las propuestas si lo consideran necesario. También se pide que cada participante justifique sus puntuaciones.

- **Paquete 1: priorización de los pilares clave**. Se propone puntuar la importancia, el nivel de desafío o las lagunas que conllevan cada uno de los ocho pilares propuestos (1 - poco importante y 9 - muy importante).
- **Paquete 2: priorización de factores impulsores y bloqueantes**. Se propone puntuar el nivel de impulsión o de bloqueo que cada uno de los ocho pilares ejerce sobre el proceso (1 - poco importante y 5 - muy importante).
- **Paquete 3: identificación de actores**. Se propone puntuar la importancia de cada actor propuesto en cada una de las fases del proceso de transformación (1 - poco importante y 8 - muy importante).

3. Resultados

El procesado y análisis de la información generada en las encuestas proporciona una idea sobre qué tipo de aspectos deben ser tenidos en cuenta en el proceso de transformación de un edificio, identificando la importancia asociada a cada pilar, según los participantes, así como el nivel de desafío o las lagunas que conllevan. Los resultados aportados por el Paquete 1 identifican el diseño, la eficiencia energética y los aspectos económicos y financieros como los factores más importantes a tener en cuenta; mientras que los aspectos legislativos, sociales y de confort y calidad ambiental, son los considerados menos importantes. Algunos participantes consideran necesario incluir el tratamiento del agua, la accesibilidad y adopción de la tecnología o el uso del edificio como nuevos pilares. También se destaca la importancia de considerar la sostenibilidad como pilar transversal. Se identifica como principal desafío la obtención de una financiación y unos incentivos que potencien esta transformación. Por el contrario, los temas relativos al confort y la calidad del aire suponen un bajo nivel de desafío. Las mayores lagunas o deficiencias se han obtenido en la eficiencia energética y en el aspecto legislativo. Sin embargo, los pilares relativos al confort y el aspecto social son aquellos con menos lagunas a la hora de conseguir edificios de consumo casi nulo. La Figura 1 muestra las medias de las puntuaciones obtenidas para cada pilar, identificando mediante líneas de colores, la importancia del pilar (verde), los desafíos que genera (rojo) y las lagunas que conlleva (amarillo).

Pilares del proceso de transformación

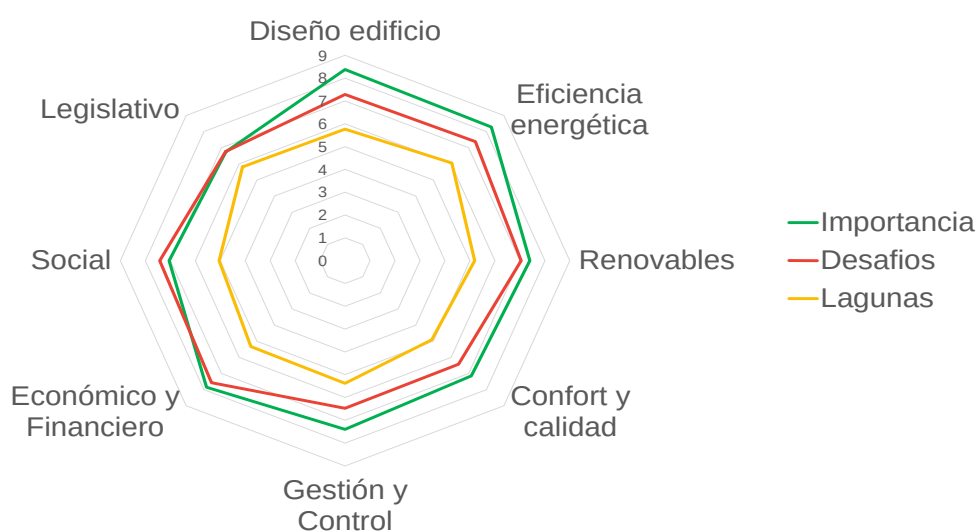


Figura 1. Diagrama radial de las calificaciones obtenidas en los ocho pilares clave para priorizar su importancia (verde), el nivel de desafío (rojo) o el nivel de deficiencias (amarillo) que conlleva.

El Paquete 2 resalta los factores impulsores y bloqueantes más influyentes en la transformación de un edificio. Los primeros son aquellos que impulsan la adopción de medidas o establecen unas condiciones de partida favorables para lograr el éxito en el proceso. Por el contrario, los segundos se refieren a los aspectos que dificultan, bloquean o retrasan el proceso de transformación. La Figura 2 muestra los factores impulsores (verde) y los bloqueantes (rojo) para cada uno de los ocho pilares propuestos. Los aspectos que más facilitan este proceso son las medidas de eficiencia energética, el diseño del propio edificio y la inclusión e integración de energías renovables. En el lado opuesto se identifican los aspectos sociales, de gestión y legislativos, como aquellos que menos impulsan el proceso. Como factores que más bloquean o retrasan la implementación de medidas de transformación están el mal diseño del edificio, los factores económicos y legislativos. Por el contrario, los aspectos sociales, el confort y la gestión se identifican como los aspectos que menos dificultan el proceso.

Factores Impulsores y Bloqueantes



Figura 2. Diagrama radial de las calificaciones obtenidas por los ocho pilares clave con respecto a los factores que impulsan (verde) o bloquean y dificultan (rojo) el proceso de transformación de un edificio.

Finalmente, el Paquete 3 identifica a los actores más influyentes en cada una de las fases del proceso. Estos resultados se muestran mediante un gráfico de colores en la Figura 3. La máxima influencia se representa con colores verdes mientras que la mínima se muestra en colores rosas.

Importancia actores en fases

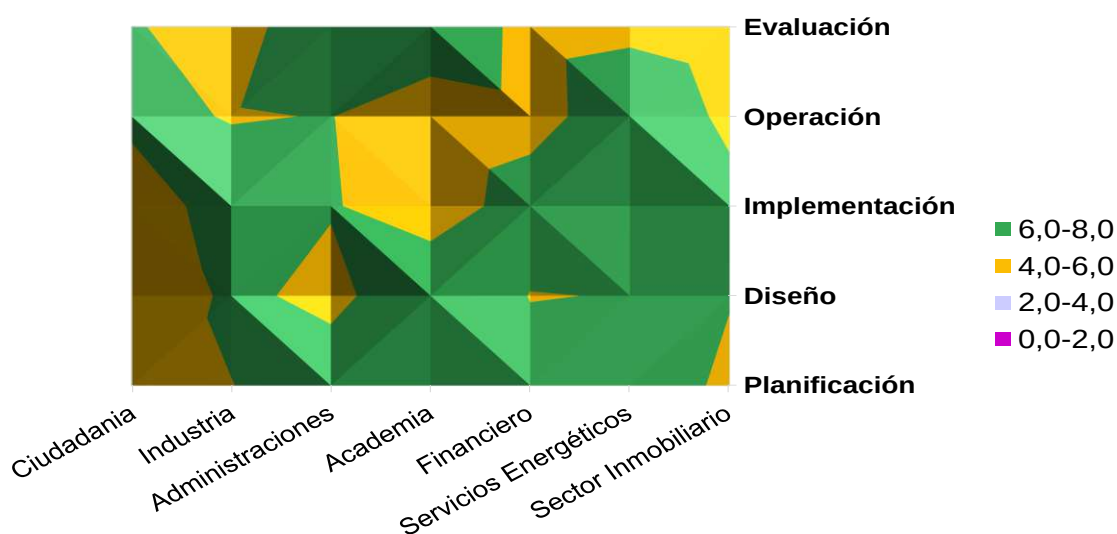


Figura 3. Diagrama superficial de colores que indica la importancia de cada actor (eje Y) en cada una de las fases del proceso de transformación de un edificio (eje X).

En la fase de planificación son las administraciones las entidades más influyentes, mientras que la ciudadanía es la que menos influye. En la fase de diseño el papel más influyente recae en la academia, manteniéndose los ciudadanos como los actores menos determinantes. En la fase de implementación son las entidades financieras y la industria los actores más relevantes, siendo los ciudadanos y la academia los menos influyentes. En la fase de operación son las entidades de servicios energéticos las más relevantes, siendo la academia el actor menos relevante. Por último, en la fase de operación es la academia el actor más influyente, siendo el sector inmobiliario el que menos influencia ejerce.

En este Paquete, algunos participantes han resaltado la posibilidad de considerar a los consultores y a los técnicos vinculados con la construcción como posibles agentes a tener en cuenta en el proceso. En cuanto a las fases, algunos participantes identifican una fase previa a la planificación que haga un análisis de la situación inicial, así como una fase posterior a la implementación referente al análisis de la situación post ejecución.

4. Conclusiones

La priorización de los aspectos clave, las barreras y los impulsores en el proceso de transformación de un edificio sigue representando un reto en muchas situaciones. Sin embargo, esta identificación es clave a la hora de planificar medidas de mejora integrales que sean eficientes y que satisfagan todos los requisitos demandados por los usuarios. Con este objetivo, se ha desarrollado una metodología cualitativa fundamentada en el procesado de información derivada de tres paquetes de encuestas realizadas a expertos del sector energético y de los edificios, procedentes de España y diferentes países de América Latina y el Caribe. Este análisis ha identificado como pilares clave los aspectos técnicos y económicos, destacando la importancia de combinar un diseño adaptado al entorno con medidas eficientes económicamente viables. Globalmente, el principal desafío radica en la baja accesibilidad a financiación e incentivos que posibiliten la implementación de las medidas necesarias para reducir las demandas y los consumos del edificio; mientras que las mayores lagunas se encuentran en la mala aplicación de las medidas de eficiencia energética por la baja disponibilidad de tecnología local asequible, datos o el desconocimiento de los usuarios, así como por la baja disponibilidad de leyes flexibles que estén adaptadas al contexto y las necesidades locales. A nivel latinoamericano el diseño del edificio es considerado un pilar y un desafío más importante que en España, donde los aspectos financieros y sociales cobran más relevancia. Por otro lado, los factores económico y social son menos valorados como lagunas en Latinoamérica frente a España. La adaptación tecnológica del edificio es el factor que más impulsa su transformación. Siendo necesarios diseños adaptados al entorno local y el uso final, la implementación de medidas eficientes y la integración de renovables. Sin embargo un mal proceso de adaptación tecnológica es el principal factor bloqueante junto con los factores económicos y legislativos. La sostenibilidad del edificio final requiere considerar todo el ciclo de vida del mismo. Finalmente, se identifican a los principales actores en las fases del proceso de transformación. Destacan las administraciones en la planificación; la academia en el diseño; las entidades financieras y la industria en la implementación; las entidades de servicios energéticos en la operación y la academia en la fase de evaluación.

5. Referencias

- Agencia Española para la Cooperación y el Desarrollo (AECID). (Noviembre 2022). Programa Interconecta: Eficiencia Energética e integración de las Energías Renovables en entornos habitados. (s.f.) <https://interconecta.aecid.es/programaci%C3%B3n-de-actividades/eficiencia-energ-tica-e-integraci-n-de-las-energ-as-renovables-en-entornos-habitados>
- Gohari, S., Soutullo Castro, S., Ashrafián, T., Konstantinou, T., Giancola, E., Prebreza, B., Aelenei, L., Murauskaite, L., Liu, M. (2024). Unraveling the implementation processes of PEDs: Lesson learned from multiple urban contexts. *Sustainable Cities and Society*, 106, 105402. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105402>
- International Energy Agency and the United Nations Environment Programme (IEA). (2019). 2019 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector. *Global Alliance for Buildings and Construction*. https://iea.blob.core.windows.net/assets/3da9daf9-ef75-4a37-b3da-a09224e299dc/2019_Global_Status_Report_for_Buildings_and_Construction.pdf
- Build Up Portal. (2018). Zero Energy Building Definitions and Policy Activity. An International Review. IPEEC Building Energy Efficiency Taskgroup. <https://build-up.ec.europa.eu/sites/default/files/content/766.pdf>
- Santamouris, M., & Vasilakopoulou, K. (2021). Present and future energy consumption of buildings: Challenges and opportunities towards decarbonisation. *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 1, 100002. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2021.100002>
- Soutullo, S., Ferrer, J.A., Seco, O., López, H., Sánchez, M.N., Vitale, M.J., Reyes, A.L., Correa, E.N., & De Diego, L. (2024). Sustainable transformation in the Latin American and Caribbean districts through the implementation of a qualitative methodology. Challenges and key aspects to be addressed. *Journal of Cleaner Production*, 472, 143336. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143336>
- Division, I.A.E. (2015). District energy in cities: unlocking the potential of energy efficiency and renewable energy. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/9317>

Sistemas fotovoltaicos integrados (BIPV) en la renovación de edificios antiguos

LA REHABILITACIÓN Y REGENERACIÓN COMO INSTRUMENTOS PARA LOS NUEVOS PARADIGMAS SOCIALES

Irene Del Hierro López¹, Lorenzo Olivieri²

¹ Arquitecta, Investigadora del Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónica, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, irene.delhierrolop@upm.es

² Doctor Ingeniero, Profesor Titular del Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónica, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, lorenzo.olivieri@upm.es

Resumen

La edificación es uno de los principales responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero, debido a un consumo energético que supera los límites sostenibles. En particular, los edificios antiguos son los más prevalentes y presentan los peores índices de eficiencia energética, lo que convierte su renovación en una necesidad y oportunidad clave para impulsar la transición energética. En este contexto, esta investigación analiza el estado del arte sobre la renovación energética de edificios históricos mediante la implementación de sistemas fotovoltaicos integrados (BIPV), y presenta una selección de casos de estudio relevantes en los que se han realizado rehabilitaciones utilizando estos sistemas. A través de este análisis, se demuestra la viabilidad de integrar los sistemas solares fotovoltaicos en la renovación de edificios antiguos, evidenciando su capacidad para armonizar con el conjunto construido garantizando la conservación, el respeto, la valorización y la preservación de sus valores históricos y arquitectónicos.

Palabras clave: Renovación; Edificios antiguos; BIPV; Sistemas fotovoltaicos, Fuentes de energía renovables.

Abstract

The building sector is a significant contributor to greenhouse gas emissions, primarily due to energy consumption that surpasses sustainable limits. Old buildings, in particular, are prevalent and demonstrate the poorest energy efficiency, positioning their renovation as both a necessity and a strategic opportunity to advance the energy transition. In this context, the present research provides an extensive review of the state of the art concerning the energy renovation of old buildings through the integration of Building Integrated Photovoltaic (BIPV) systems. Furthermore, it presents a selection of pertinent case studies in which such systems have been employed in the rehabilitation of these structures. The findings underscore the technical and practical feasibility of incorporating these photovoltaic systems in the renovation of old buildings, highlighting their capacity to seamlessly integrate with the existing built environment while ensuring the conservation, respect, and preservation of their historical and architectural values.

Key words: Renovation; Old Building; BIPV; Photovoltaics systems; Renewable Energy Solutions.

1. Introducción

La edificación desempeña un papel fundamental en la transición energética, ya que es responsable del 36% de las emisiones de gases efecto invernadero y del 40% del consumo total de energía (*In Focus: Energy Efficiency in Buildings - European Commission*, 2020). La Unión Europea ha promovido diversas medidas para hacer frente a esta situación, entre las cuales destaca el Pacto Verde, cuyo objetivo es conseguir que Europa sea el primer continente climáticamente neutro para el año 2050 (*The European Green Deal - European Commission*, 2021). El primer paso marcado en esta iniciativa es el plan de acción llamado Objetivo 55, el cual establece una reducción del 55% de emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2030, con respecto a los niveles de 1990. Para conseguir este objetivo, se ha desarrollado el paquete de medidas denominado "Fit for 55", cuyo propósito es la revisión y actualización de la normativa vigente en la Unión Europea, con el fin de establecer regulaciones más estrictas y, en consecuencia, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (*Objetivo 55*, 2025). En este contexto destaca la revisión de la Directiva de Eficiencia Energética en Edificios (*Energy Performance of Buildings Directive*, 2024), que establece medidas progresivas para lograr la descarbonización completa del parque inmobiliario de la Unión Europea para 2050. Entre ellas, se reconoce el papel clave de la energía solar en la descarbonización del parque edificatorio, estableciendo la obligatoriedad de integrar sistemas solares en todos los edificios públicos y no residenciales nuevos de más de 250m² a partir de 2026, y de manera progresiva a partir de 2027 para los edificios públicos y no residenciales existentes, dependiendo de su tamaño y viabilidad técnica y económica. Otra directiva revisada es la Directiva sobre Fuentes de Energía Renovables (*Renewable Energy Directive*, 2024), para 2030 un aumento del 32% al 42,5% del aporte mínimo de las fuentes de energía renovables (FER) en el consumo final bruto de energía de la UE, con la aspiración de alcanzar el 45%. La promoción del uso de FER en el entorno construido es fundamental para acelerar la transición energética, ya que su empleo produce una reducción del uso de fuentes más contaminantes y, por tanto, una disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero. En estrecha relación con esta iniciativa, la Unión Europea ha creado la estrategia Renovation Wave, cuyo propósito es incrementar la tasa de renovación de los edificios existentes para mejorar su eficiencia energética. Esto responde a la necesidad de acelerar la modernización del parque edificado, dado que la tasa de renovación actual se sitúa entre el 1 % y el 2 % anual (*Renovation Wave*, 2020).

Para alcanzar los diferentes objetivos marcados por la Unión Europea, los edificios antiguos juegan un papel fundamental, ya que representan una parte significativa del parque edificado y, en muchos casos, se encuentran entre las construcciones menos eficientes desde el punto de vista energético. Estas edificaciones presentan un elevado potencial de renovación, con aproximadamente 110 millones de edificios que requieren rehabilitación únicamente en el territorio europeo (Artola et al., 2016; Peluchetti et al., 2021). Esto representa una oportunidad estratégica, ya que la rehabilitación energética de estos inmuebles es fundamental para reducir sus emisiones y contribuir al cumplimiento de los objetivos climáticos establecidos por la UE.

A su vez, en la Unión Europea, la energía solar ha sido una de las FER de mayor crecimiento en los últimos años, impulsada por su accesibilidad, flexibilidad de uso y reducción significativa de costes. Los sistemas fotovoltaicos (FV) empleados en el entorno construido se suelen clasificar en dos categorías principales: sistemas fotovoltaicos adheridos (BAPV) y sistemas fotovoltaicos integrados en edificios (BIPV). Los BAPV consisten en módulos FV convencionales instalados sobre cubiertas o fachadas mediante estructuras de soporte, sin desempeñar funciones arquitectónicas ni constructivas. A pesar de su amplia adopción y eficiencia en la generación de energía, su falta de integración con el entorno edificado representa una limitación en términos de aceptación y viabilidad estética. En contraste, los BIPV sustituyen elementos tradicionales de la envolvente del edificio, combinando la generación de electricidad con funciones adicionales como aislamiento térmico, control solar y protección estructural. Su versatilidad permite su implementación en cubiertas, fachadas, lucernarios y barandillas, ofreciendo diversas opciones estéticas y arquitectónicas (Masson et al., 2023). En los últimos años, se han logrado avances significativos en la fabricación de estos sistemas, lo que ha dado lugar a una amplia variedad de soluciones con diferentes tamaños, colores, texturas y formas, así como características mecánicas, térmicas, lumínicas y eléctricas, mejorando su integralidad en el entorno construido (Borja Block et al., 2024). Sin embargo, el uso de estas soluciones constructivas sigue siendo marginal en comparación con los sistemas BAPV, debido a diversas barreras, como son la económica, política y social.

Debido a su flexibilidad, los sistemas BIPV representan una oportunidad clave y una de las tecnologías más idóneas para en la renovación energética de edificios antiguos. En muchas ocasiones, estos edificios poseen un valor histórico significativo, por lo que su rehabilitación debe garantizar la conservación de sus atributos patrimoniales. Gracias a sus calidades estéticas, estos sistemas pueden integrarse armoniosamente en la edificación y su entorno construido, garantizando la preservación de sus características y el equilibrio entre conservación y renovación. Además, su carácter reversible, principio fundamental en intervenciones de este tipo, permite su eventual retirada sin afectar la estructura original. Sin embargo, a pesar de sus ventajas, persiste una significativa reticencia hacia el uso de sistemas fotovoltaicos en proyectos de rehabilitación, debido a la percepción errónea de que la tecnología solar está necesariamente vinculada a los módulos convencionales, cuya estética, marcada por la visibilidad de las células fotovoltaicas, resulta poco atractiva desde el punto de vista patrimonial. Por último, es importante señalar que la inclusión de estas instalaciones en un proceso de rehabilitación requiere una autorización previa de la administración competente, un trámite que suele ser complejo y prolongado.

Este trabajo tiene el objetivo visibilizar el uso de sistemas BIPV en la renovación energética de edificios históricos, mediante el análisis de casos de estudio reales que demuestran como esta tecnología puede adaptarse e integrarse con el conjunto construido y preservar sus valores, al mismo tiempo que contribuyen a mejorar su sostenibilidad.

2. Metodología

Con el fin de conseguir el objetivo la investigación se ha estructurado en dos fases principales: (1) el análisis del estado de la investigación y de las soluciones comerciales para la renovación de edificios históricos con sistemas BIPV; y (2) la identificación y selección de casos de estudio reales en los que se hayan implementado estos sistemas.

- Fase 1: se ha procedido a realizar una búsqueda sobre las publicaciones y proyectos de investigación que analizan las renovaciones energéticas en edificios históricos. Para la búsqueda de artículos, se utilizaron las plataformas ScienceDirect y MDPI, empleando y combinando las palabras claves 'renovation', 'historic building', 'historical building', 'heritage', 'BIPV', 'building integrated PV' y 'sensitive areas'. A partir de los resultados obtenidos, se han seleccionado las publicaciones más relevantes para el foco de estudio. Además, algunos de estos estudios derivan de proyectos de investigación directamente relacionados con el objeto de estudio, como el proyecto 'BIPV meets History', liderado por el centro de investigación EURAC Research, lo que ha permitido un análisis más profundo y detallado.
- Fase 2: se ha llevado a cabo una búsqueda exhaustiva e internacional de casos de estudio reales donde se hayan empleado sistemas BIPV para las renovaciones energéticas de edificios históricos. Para ello, se han empleado las plataformas 'IPV Integrated Photovoltaic', 'HiBER atlas' y 'Solarchitecture', que tienen el fin de dar visibilidad a las posibilidades de integración de la tecnología fotovoltaica en el entorno construido. Estas plataformas proporcionan detalles tanto sobre los edificios y su valor histórico, como sobre las intervenciones realizadas para mejorar su comportamiento energético.

El resultado de esta búsqueda fue la selección de 41 casos de estudio, los cuales han sido analizados en profundidad, centrándose en la intervención BIPV realizada y en la manera en la que se integra con el conjunto construido, teniendo en cuenta que en algunas ocasiones existen restricciones de actuación derivadas de su valor histórico.

3. Casos de estudio

Para esta comunicación, se ha seleccionado un ejemplo representativo de cada intervención BIPV realizada en un edificio con valor histórico de los 41 casos de estudio internacionales seleccionados. Este enfoque permite ofrecer una visión completa de las intervenciones BIPV posibles, destacando su adaptabilidad las especificidades de cada caso, considerando tanto las características formales como las posibilidades de intervención dependiendo del grado de protección de los edificios en cuestión. Los casos de estudio seleccionados se describen a

continuación y las imágenes de las intervenciones realizadas se encuentran en las plataformas 'IPV Integrated Photovoltaic' y 'Solarchitecture'.

- La Isla Certosa, ubicada en Venecia, Italia, con un periodo de construcción que se desconoce y donde en el año 2020 se realizaron obras de renovación donde se integró una cubierta fotovoltaica opaca. Actualmente, el complejo se destina a oficinas e investigación, y la energía generada por la cubierta BIPV es suficiente para cubrir todas sus necesidades energéticas, con una producción anual de 211 MWh. Los módulos BIPV seleccionados, de silicio monocristalino, son de color terracota, con el objetivo de respetar la imagen original de la edificación e integrarse armónicamente con el conjunto construido. Lo característico de esta intervención es que estas islas se encuentran en la lista de los lugares protegidos por la UNESCO y la red Natura 2000, lo que implica las correspondientes normativas de conservación.
- El Solar Silo es un edificio construido en el año 1850 en el área industrial de Basel, Suiza, al cual se le realizó una renovación energética integral en el año 2014 para cumplir las funciones de su nuevo uso de oficinas e investigación. En esta rehabilitación se integraron una cubierta y una fachada fotovoltaicas, utilizando módulos opacos en una diversa gama cromática (azul, verde, gris y dorado), con el fin de recoger datos de generación eléctrica para su posterior comparación. Este sistema BIPV tiene una producción anual de unos 16 MWh, que permite cubrir alrededor del 37% del consumo eléctrico total. Aunque el edificio no está protegido, forma parte de un área de conservación, por lo que tiene que respetar e integrarse con el conjunto construido.
- Ayuntamiento de Alzira, en Valencia, España, cuya construcción data de los siglos XVI-XVII, fue objeto de obras de renovación energética entre los años 2011 y 2015. En esta intervención, se añadió un lucernario FV integrado al patio interior con módulos semitransparentes que permiten la entrada de luz natural y, al mismo tiempo, convierten la radiación solar en energía eléctrica para su uso en el mismo edificio. La producción anual de esta instalación es de unos 7 MWh, empleados en el mismo edificio. Debido a su importancia histórica, este edificio está declarado Bien de Interés Cultural (BIC), lo cual demuestra la viabilidad de emplear este tipo de tecnologías incluso en edificios de gran valor patrimonial y con el máximo nivel de protección.
- Edificio de oficinas Die Mobiliar, ubicado en la ciudad de Bern, Suiza y construido en los años 80. No presenta ningún tipo de protección, lo que permite una mayor flexibilidad en el diseño de una renovación con sistemas BIPV. Aun así, es una construcción con más de 40 años de historia que debe ser preservada. Entre 2013 y 2017 se llevaron a cabo las obras de rehabilitación, en las que se optó por integrar lamas BIPV en la fachada del edificio. Estas protecciones solares cuentan con módulos semitransparentes que permiten regular la entrada de luz en el interior de las oficinas, además de generar energía. En la renovación energética realizada, además de la instalación BIPV, se dispusieron en cubierta módulos FV estándar, con una producción total de ambos sistemas de unos 117 MWh. Además, las lamas están equipadas con un motor que permite su rotación, ajustándose a la posición del Sol, y asegurando no solo la máxima captación de energía posible, sino también un confort lumínico óptimo en los espacios interiores.

Esta selección representa algunas de las opciones más relevantes para la integración de sistemas PV en edificios antiguos, y con diferentes grados de protección. Sin embargo, esta recopilación no tiene la pretensión de ser exhaustiva, ya que existen numerosos casos adicionales que también demuestran las posibilidades de intervención con BIPV en edificios antiguos, como por ejemplo en Teatro del Centro Harbourfront, en Toronto, Canadá, donde se integró un muro cortina fotovoltaico, o en la marquesina BIPV de la recepción del complejo Ütia da Ju, en San Martino di Badia en Italia, situado dentro de un área de conservación.

4. Resultados y Discusión

Los casos de estudio analizados en este trabajo permiten identificar ciertas correlaciones y diferencias en el uso de sistemas BIPV en edificios históricos. En primer lugar, se destaca la localización geográfica de estos ejemplos, todos ellos situados en Europa. Esta concentración puede explicarse por diversos factores clave, siendo uno de los más relevantes los marcos

legislativos. Europa cuenta con normativas y directrices específicas para la implementación de sistemas BIPV. Un ejemplo destacado es la norma EN 16883:2017 sobre la conservación del patrimonio cultural (EN 16883:2017. Conservation of Cultural Heritage-Guidelines For Improving the Energy Performance of Historic Buildings, 2017), que, aunque no tiene carácter vinculante, ofrece una guía útil para profesionales, administraciones y propietarios en los procesos de renovación energética de edificios protegidos, asegurando la preservación de sus valores históricos. Al centrarse en países específicos, Suiza destaca por sus diversas normativas y protocolos orientados a alcanzar la neutralidad climática para 2050, impulsando el uso de sistemas BIPV en zonas de valor patrimonial. Este país ha desarrollado guías y herramientas, como un catastro solar (Polo López et al., 2021), para fomentar la adopción de sistemas solares integrados. Otro factor que favorece un mayor empleo de sistemas BIPV en Europa es que la mayoría de las empresas fabricantes de estos sistemas están ubicadas en este territorio, a diferencia de las que producen módulos FV convencionales, cuya producción se concentra en su inmensa mayoría en Asia. Las empresas europeas que operan en este sector son de gran envergadura y renombre, y sus productos innovadores las han consolidado como referentes en el mercado global actual de BIPV.

Al centrarnos en el empleo de los sistemas BIPV en estos edificios, se han seleccionado diferentes intervenciones BIPV con el fin de visibilizar la flexibilidad de estos sistemas y su capacidad de adaptarse a diferentes zonas y características específicas de cada edificación. Teniendo en cuenta esto, es necesario aclarar que la utilización de estas instalaciones en edificios históricos no es tan equilibrada, como se observa al comparar con el resto de los ejemplos, donde 33 de los 41 edificios han empleado sistemas BIPV en cubiertas. En aquellos edificios con valor cultural y patrimonial, los sistemas BIPV suelen instalarse principalmente en tejados, ya sea mediante módulos opacos tipo teja o lucernarios FV. Esto se debe a que estas zonas son menos visibles desde el entorno urbano lo que facilita su integración con el conjunto construido (Di Rocco et al., 2024). Además, los tejados suelen ofrecer una elevada disponibilidad de recurso solar. En ocasiones, debido al grado de protección de los edificios, se prioriza la colocación de estos sistemas en faldones interiores o patios, como se observa en el caso del Ayuntamiento de Alzira, para garantizar así el respeto y la continuidad de sus valores históricos. Por otro lado, la inclusión de sistemas BIPV en fachadas es menos frecuente en la renovación de edificios históricos, debido a la complejidad de integrarlos estéticamente con el conjunto construido y preservar sus valores. Además, las fachadas suelen presentar una mayor probabilidad de ser sometidas a sombras proyectadas por edificios y elementos urbanos cercanos, lo que podría afectar el rendimiento de los sistemas FV. Por estas razones, la actuación con sistemas BIPV en fachada se descarta con frecuencia. A pesar de esto, existen ejemplos de intervenciones en fachadas en edificios antiguos, con muros cortina, fachadas ventiladas, o elementos externos FV, como el Solar Silo y el edificio de oficinas Die Mobiliar, analizados previamente.

A pesar del notable crecimiento y desarrollo de los sistemas BIPV en los últimos años, es necesario señalar que su difusión y utilización aún enfrenta diversas barreras. Aunque el precio de estos sistemas ha disminuido considerablemente desde sus inicios, facilitando su expansión en el mercado, el coste sigue siendo uno de los principales factores que llevan a descartar estas instalaciones. Cabe destacar que, en muchos casos, el análisis económico se limita a comparar únicamente el coste inicial de inversión de estas soluciones con respecto a las tradicionales, sin tener en cuenta que los sistemas BIPV son sistemas activos que generan energía, lo que implica beneficios económicos a lo largo de toda su vida útil. En cambio, las soluciones pasivas tradicionales sólo presentan un coste inicial sin generar ningún beneficio a lo largo del tiempo. Un análisis económico más detallado, basado en el valor actual neto a lo largo de la vida útil del sistema, probablemente proporcionaría resultados significativamente diferentes. Además, existen barreras sociales derivadas del desconocimiento de la población sobre la existencia de estos sistemas y la falta de profesionales especializados en BIPV, lo que dificulta tanto el diseño como la instalación de estos sistemas (Zhou et al., 2024). Estas barreras pueden mitigarse mediante una mayor educación desde edades tempranas y la implementación de actividades divulgativas con el objetivo de generar compromiso y conciencia, así como la investigación aplicada y la creación de programas de formación especializada para profesionales del sector.

5. Conclusión

Esta investigación tiene como objetivo promover, visibilizar e impulsar la adopción de sistemas BIPV en la renovación energética de edificios históricos, demostrando, a través de ejemplos prácticos, que su implementación es viable. La rehabilitación de este tipo de edificios no solo es una necesidad urgente, sino también una valiosa oportunidad para reducir significativamente el impacto ambiental del entorno construido, dado su alto grado de difusión e ineficiencia energética. Mientras que las rehabilitaciones tradicionales permiten reducir la demanda energética y, por ende, el consumo de energía de las ciudades, las renovaciones que, además de mejorar el comportamiento pasivo, integran sistemas FV, permiten ir un paso más allá, promoviendo la valorización del recurso energético más abundante y accesible: la energía solar. Este enfoque sienta las bases para la creación de edificios, distritos y ciudades con un balance energético positivo. Es imperativo adecuar estas construcciones a las necesidades de la sociedad contemporánea, del mismo modo que en otros sectores de alto impacto ambiental se han implementado transformaciones tecnológicas para mejorar su eficiencia. Los sistemas BIPV tienen el potencial de impulsar la transición energética del entorno construido, posibilitando la modernización de edificios antiguos sin comprometer sus valores históricos. Gracias a su capacidad de integración estética con el entorno arquitectónico, estas tecnologías constituyen una solución viable para mejorar la sostenibilidad del patrimonio construido.

6. Referencias

- Artola, I., Rademaekers, K., Williams, R., & Yearwood, J. (2016). *Boosting Building Renovation: What potential and value for Europe?* European Parliament.
- Borja Block, A., Escarre Palou, J., Courtant, M., Virtuani, A., Cattaneo, G., Roten, M., Li, H.-Y., Despeisse, M., Hessler-Wyser, A., Desai, U., Faes, A., & Ballif, C. (2024). Colouring solutions for building integrated photovoltaic modules: A review. *Energy and Buildings*, 314, 114253. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114253>
- Di Rocco, A. R., Bottino-Leone, D., Troi, A., & Herrera-Avellanosa, D. (2024). Application of the Guidelines for the Integration of Photovoltaics in Historic Buildings and Landscapes to Evaluate the Best Practices of the Historic Building Energy Retrofit Atlas. *Buildings*, 14(2), 499. <https://doi.org/10.3390/buildings14020499>
- EN 16883:2017. Conservation of Cultural Heritage-Guidelines For Improving the Energy Performance of Historic Buildings, Comité Europeen de Normalisation (2017).
- Energy Performance of Buildings Directive*. (2024). [European Commission]. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
- In focus: Energy efficiency in buildings—European Commission*. (2020, febrero 17). https://commission.europa.eu/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-02-17_en
- Masson, G., de l'Epine, M., & Kaizuka, I. (2023). *Trends in Photovoltaic Applications 2023* (Report IEA-PVPS T1-43: 2023; IEA PVPS, p. 96). International Energy Agency. https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2023/10/PVPS_Trends_Report_2023_WEB.pdf
- Objetivo 55*. (2025, febrero 24). Consilium. <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/fit-for-55/>
- Peluchetti, A., Guazzi, G., Lucchi, E., Dall'Orto, I., & Polo López, C. S. (2021). Criteria for building types selection in preserved areas to pre-assess the Building Integrated Photovoltaics solar potential -The case study of Como land area. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 863(1), 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/863/1/012003>
- Polo López, C. S., Troia, F., & Nocera, F. (2021). Photovoltaic BIPV Systems and Architectural Heritage: New Balance between Conservation and Transformation. An Assessment Method for Heritage Values Compatibility and Energy Benefits of Interventions. *Sustainability*, 13(9), 5107. <https://doi.org/10.3390/su13095107>
- Renewable Energy Directive*. (2024). https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en
- Renovation wave*. (2020). https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en
- The European Green Deal—European Commission*. (2021, julio 14). European Commission. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- Zhou, A., Thomaschke, R., Wessels, A., Glunz, S., Speck, T., & Kiesel, A. (2024). (Not) in my city: An explorative study on social acceptance of photovoltaic installations on buildings. *Technology in Society*, 79, 102725. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102725>

Mejora de la eficiencia energética en edificaciones mediante el estudio de la dependencia angular de la reflectancia y la transmitancia en sistemas de acristalamiento habituales

LA DESCARBONIZACIÓN Y LA ECONOMÍA CIRCULAR PARA UNA GESTIÓN EFICIENTE DE LOS RECURSOS NATURALES

Jorge Omar Álvarez Pérez^{1*}, Pablo Santafé Gabarda² y María del Mar Barbero-Barrera³

¹ Instituto de Óptica “Daza de Valdés”. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). C/Serrano, 121. 28006 Madrid. Doctor. jorge.alvarez@csic.es (autor de correspondencia).

² Instituto de Óptica “Daza de Valdés”. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). C/Serrano, 121. 28006 Madrid. Doctor. pablo.santafe@csic.es

³ Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Avda. Juan de Herrera, 4. 28040 Madrid. Doctora Arquitecta. Profesora Titular. mar.barbero@upm.es

Resumen

La iluminación, refrigeración y calefacción son los mayores consumidores de energía en el uso de las edificaciones. Sin embargo, la optimización de los sistemas de acristalamiento puede reducir significativamente el consumo energético asociado a estos. Los modelos de simulación energética de las edificaciones únicamente tienen en cuenta los valores de reflectancia y transmitancia de los acristalamientos a las geometrías de referencia 0°: directa ó 0°: difusa, ignorando la variación de estas propiedades ópticas con el ángulo de iluminación. Con el objetivo de adecuar el comportamiento real y previsto de las edificaciones, se ha realizado la caracterización de las propiedades ópticas de algunos de los acristalamientos más habituales, tomando medidas ópticas de transmitancia y reflectancia a diferentes ángulos de incidencia y colección, tanto en visible como en infrarrojo cercano. Se espera que estos datos se incorporen a las bases de datos para mejorar la predicción de los modelos de simulación energética.

Palabras clave: Eficiencia energética; Sistema de acristalamiento; Reflectancia; Transmitancia; Caracterización óptica

Abstract

Lighting, cooling, and heating systems are the primary energy consumers in building operations. However, optimizing glazing systems can significantly reduce the energy consumption associated with these factors. Energy simulation models for buildings typically consider only the reflectance and transmittance values of glazing at reference geometries of 0°: direct or 0°: diffuse, disregarding the variation of these optical properties with the angle of illumination. To align the actual and predicted performance of buildings, a detailed characterization of the optical properties of some of the most commonly used glazing types has been conducted. This characterization involved optical measurements of transmittance and reflectance at various angles of incidence and collection, both in the visible and near-infrared ranges. It is expected that these data can be incorporated into databases to enhance the predictive accuracy of energy simulation models.

Key words: Energy efficiency; glazing materials; reflectance; transmittance; optical characterization

1. Introducción

La iluminación, junto con los sistemas de calefacción y refrigeración, representa uno de los principales consumidores de energía durante la fase de uso de los edificios. Este consumo puede mitigarse de manera significativa mediante la optimización de las envolventes arquitectónicas y, en particular, de los sistemas de acristalamiento (Arasteh et al., 2006; Mustafa et al., 2024; Mo et al., 2024). En este contexto, es fundamental resaltar las discrepancias observadas entre los resultados de las simulaciones y el desempeño real de las edificaciones (Rubin et al., 1999; Roos et al., 2001).

Esto se debe, en parte, a que en la mayoría de las bases de datos solo se contemplan mediciones de reflectancia y transmitancia con incidencia normal. Esta aproximación contradice la experiencia real, en la que el sol cambia de posición en el cielo a lo largo del día, variando su ángulo de incidencia sobre las fachadas. De esta forma, las condiciones operativas de los sistemas de acristalamiento varían tanto durante el día como durante el año y su consideración en simulación debería ser dinámica, adecuándose a un amplio rango de ángulos de incidencia respecto a la normal de su superficie.

Esta circunstancia podría solventarse con una selección de materiales de acristalamiento en base a la evaluación de las propiedades de transmitancia y reflectancia (distribuciones angulares, espaciales y espectrales) de las superficies. De tal forma que, la incorporación de estas propiedades en la simulación dinámica de edificios, puede ser de gran utilidad para la selección informada de los materiales más adecuados.

Esta investigación tiene como objetivo caracterizar sistemas de acristalamiento mediante la medición de magnitudes bidireccionales de reflectancia y transmitancia en diversos ángulos de incidencia y colección. Para ello, se han seleccionado muestras representativas de los principales fabricantes para su caracterización desde el punto de vista óptico. En esta contribución se presentan el procedimiento de medición y parte de los resultados obtenidos. Estos tienen como objetivo formar parte de un reservorio público de datos accesible para su implementación en la mejora de los softwares de simulación empleados en edificación.

2. Estudio experimental y procedimiento de medida

2.1. Muestras de acristalamiento

Se dispone para este estudio de un conjunto formado por 66 muestras pertenecientes a dos familias de vidrios diferentes, vidrios sencillos o monolíticos y unidades de vidrio aislante.

En cuanto a los primeros, el espesor de las muestras está comprendido entre 4 mm y 12 mm, habiéndose aplicado en una de sus caras un tratamiento superficial de control solar y/o de baja emisividad en forma de lámina delgada mediante técnicas de deposición de pulverización catódica por magnetrón. Además de éstas, también se han empleado vidrios laminados con una intercara de polivinilo de butiral.

Por otro lado, se han analizado las denominadas Unidades de Vidrio Aislante (IGU, por sus siglas en inglés), compuestas de un mínimo de dos láminas de vidrio paralelas separadas por una cámara herméticamente sellada que no supera los 20 mm para evitar problemas de convección, rellena, en este caso, con un 90% de gas argón, aunque también puede emplearse otro gas inerte. Todos los ejemplares disponibles presentan un espesor total comprendido entre 24 mm y 26 mm para los dobles y de 41 mm a 44 mm para los ejemplares triples. El espesor de las láminas de vidrio que los conforman varía, según ejemplar, entre 4 mm y 6 mm, reservándose el de mayor espesor para la aplicación de un tratamiento solar en contacto con el gas inerte de la cámara. Las muestras de vidrios formadas por los IGU presentan una superficie para cada ejemplar de 20 cm × 30 cm, teniendo algunos 20 cm × 20 cm. Los vidrios monolíticos, presentan unas superficies comprendidas entre 10 cm × 10 cm y 20 cm × 30 cm.

2.2. Proceso experimental

Las mediciones se han realizado en el gonioespectrofotómetro instalado en el Instituto de Óptica “Daza de Valdés” del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IO-CSIC), el cual está ampliamente descrito en la literatura (Rabal et al., 2012; Bernad et al., 2015). Este sistema

ha sido modificado de acuerdo con los requerimientos específicos de las mediciones presentadas en este trabajo. Un esquema del montaje experimental actual se muestra en la Figura 1.

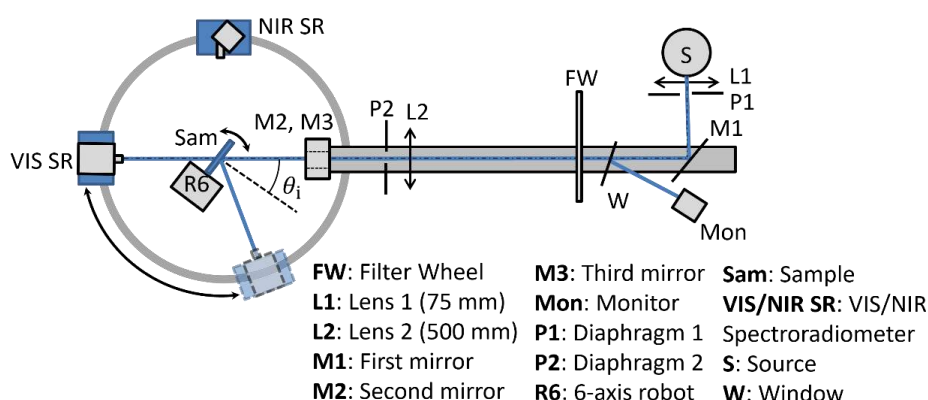


Figura 1. Esquema cenital del gonioespectrofotómetro. Fuente: elaboración propia.

Se utiliza una lámpara de xenón como fuente de luz (S), cuya radiancia espectral es muy uniforme a lo largo de los rangos visible (VIS) e infrarrojo cercano (NIR). Un sistema óptico Köhler dirige el haz hacia las muestras de acristalamiento, generando una irradiancia uniforme sobre su superficie. El brazo robótico de 6 ejes orienta las muestras en diferentes ángulos respecto al haz de irradiación, que permanece fijo. Cada espectrorradiómetro (VIS/NIR) está montado sobre una plataforma móvil independiente que puede rotar alrededor de la muestra mediante una rueda dentada.

Se han medido la reflectancia y la transmitancia espectral de distintos sistemas de acristalamiento en un rango de longitudes de onda comprendido entre 380 nm y 2500 nm, considerando diferentes ángulos de incidencia (de 0° a 70°). Para las mediciones de reflectancia, el espectrorradiómetro VIS, de 380 nm a 780 nm, (o NIR, de 900 nm a 2500 nm) sigue la reflexión especular, mientras que para las mediciones de transmitancia se mantiene fijo a 180° del haz de irradiación para capturar la luz transmitida regular. Se realiza un procedimiento completo de medición para cada magnitud (reflectancia o transmitancia) y cada rango espectral (VIS o NIR).

Cabe señalar que, si bien las mediciones de reflectancia y transmitancia espectral se han realizado siguiendo un procedimiento riguroso, estas no se ajustan completamente a los requerimientos establecidos por la normativa de referencia del International Glazing Database (IGDB). Esta desviación se debe a las limitaciones técnicas inherentes a los espectrorradiómetros empleados. No obstante, los resultados obtenidos proporcionan información interesante para el desarrollo de modelos de simulación energética de edificaciones.

La radiancia espectral de la muestra se mide con el espectrorradiómetro colocado a 180° del haz de irradiación, retirando la muestra del trayecto del haz al inicio de cada medición.

La correcta alineación de las muestras ha sido posible mediante el concurso de dos láseres situados a $\pm 45^\circ$ del haz incidente, haciendo coincidir la intersección de los dos haces en la superficie expuesta de la muestra al haz incidente de luz, para reflectancia, y en la superficie trasera o transmitida, para transmitancia.

3. Resultados

Los resultados preliminares de este estudio pueden verse en la Figura 2 y en la Figura 3. En ellas se puede analizar, por un lado, la diferencia en el comportamiento espectral entre los vidrios monolíticos y las unidades de vidrio aislante (IGU). Como era previsible, los sistemas de doble acristalamiento exhiben valores de reflectancia significativamente superiores a los de los vidrios monolíticos, evidenciando así su capacidad limitada para absorber la radiación solar, especialmente en rangos espectrales fuera del visible.

En efecto, llama la atención que conforme aumenta el ángulo de incidencia, lo hace también la reflectancia, de tal forma que, a un ángulo de 60°, la reflectancia NIR es, en la mayor parte del espectro, superior al 60%, en comparación con una incidencia de 5°. Este hecho podría ser

explicado mediante la Ley de Fresnel, ya que, al pasar de un medio menos denso a otro más denso, como es el caso de aire/vidrio, la reflectancia aumenta a partir del denominado ángulo de Brewster que, en este tipo de medidas, es de 56° .

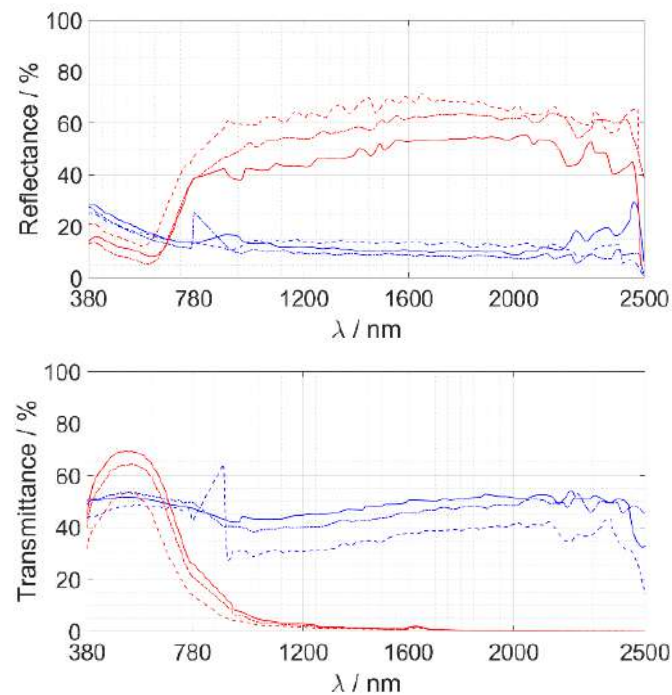


Figura 2. Transmitancia espectral (arriba) y reflectancia espectral (abajo) de una muestra de acristalamiento monolítico (curvas azules) y una IGU (curvas rojas) a $\theta_i = 5^\circ$ (línea continua), $\theta_i = 30^\circ$ (línea con guiones y puntos) y $\theta_i = 60^\circ$ (línea discontinua). Fuente: Elaboración propia.

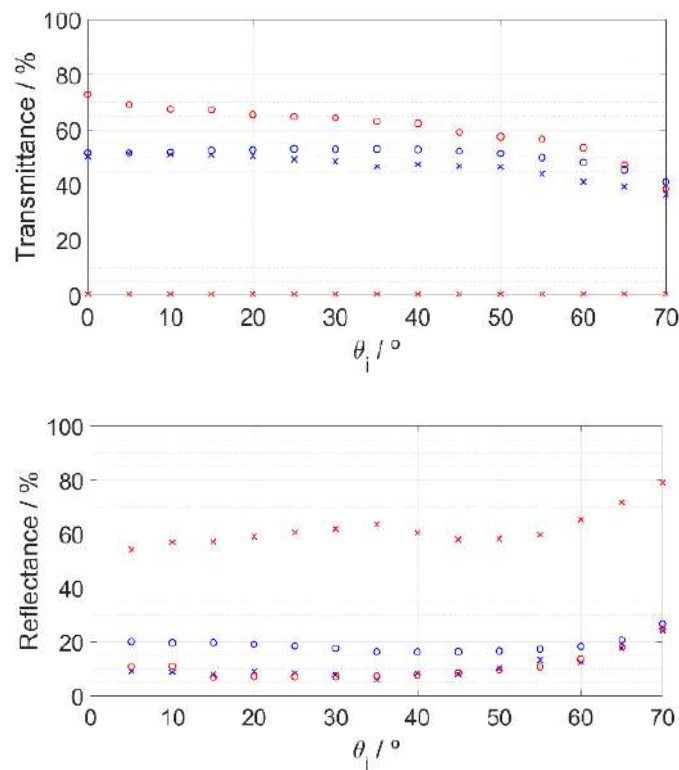


Figura 3. Transmitancia (arriba) y reflectancia (abajo) a diferentes ángulos de incidencia. Los marcadores en forma de círculo representan una longitud de onda de 550 nm, mientras que los marcadores en forma de cruz corresponden a una longitud de onda de 1998 nm. Los marcadores azules corresponden a una muestra monolítica y los rojos a una IGU. Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusiones

En las medidas de reflectancia y transmitancia de muestras de acristalamiento a distintos ángulos de incidencia realizadas en este estudio se han identificado una serie de complicaciones y limitaciones que se deben tener en cuenta. La primera de ellas es la influencia de los haces reflejados y transmitidos de segundo orden y superiores, generados por las láminas plano-paralelas que forman los vidrios, que en las medidas a grandes ángulos de incidencia de los acristalamientos IGU se separan completamente en la detección, impidiendo la correcta caracterización de la reflectancia y la transmitancia. Las mediciones de transmitancia a altos ángulos de incidencia muestran una complejidad adicional debido al efecto de escalón generado por la refracción del haz a través de la muestra de acristalamiento, efecto que se acentúa en muestras más gruesas. En medidas de transmitancia, también es importante tener en cuenta la rotación de la muestra sobre el eje de referencia, situado en la cara trasera de la misma, para evitar que el haz de iluminación incida por el borde de la muestra, lo que puede generar discrepancias en la medida.

Este estudio tiene como finalidad la caracterización precisa y detallada de materiales y sistemas de acristalamiento que desempeñan un papel clave en la eficiencia energética de las edificaciones. Para ello, se han llevado a cabo mediciones de reflectancia y transmitancia bajo diversas condiciones, prestando especial atención a su comportamiento frente a diferentes ángulos de incidencia de la radiación. Los resultados obtenidos subrayan la relevancia de considerar estas variables angulares para lograr simulaciones energéticas más precisas y realistas del comportamiento de los edificios. Además, se ha evidenciado que la caracterización de sistemas de acristalamiento tipo IGU (unidad de vidrio aislante) presenta una mayor complejidad técnica. Sin embargo, esta dificultad puede abordarse eficazmente caracterizando cada unidad de vidrio por separado.

Los datos generados a partir de esta investigación no solo contribuirán al avance del conocimiento en el ámbito de la física de la edificación, sino que también tienen una aplicación directa en el desarrollo y mejora del software de simulación energética de edificaciones aportando datos reales obtenidos a distintas geometrías, buscando reducir el salto entre las simulaciones y el comportamiento real de las edificaciones. Con este objetivo, los resultados serán integrados en una base de datos de acceso público, lo que facilitará su consulta y uso por parte de investigadores, profesionales del sector y desarrolladores de software, promoviendo así una mayor precisión y fiabilidad en los modelos de simulación empleados en el diseño arquitectónico eficiente energéticamente.

5. Agradecimientos

Esta contribución forma parte del proyecto TED2021-129661B-C21, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y la Unión Europea "NextGenerationEU"/PRTR.

6. Referencias

- Arasteh, D., Selkowitz, S., Apte, J., & LaFrance, M. (2006). Zero energy windows.
- Bernad, B., Ferrero, A., Pons, A., Hernanz, M. L., & Acosta, J. C. (2015, March). Upgrade of goniospectrophotometer GEFE for near-field scattering and fluorescence radiance measurements. In *Measuring, Modeling, and Reproducing Material Appearance 2015* (Vol. 9398, pp. 105-115). SPIE.
- Mo, Y., Wang, C., Kassem, M. A., Wang, D., & Chen, Z. (2024). Optimizing Window Configurations for Energy-Efficient Buildings with Aluminum Alloy Frames and Helium-Filled Insulating Glazing. *Sustainability*, 16(15), 6522.
- Mustafa, J., Alqaed, S., Sharifpur, M., & Meyer, J. (2024). Optimization of window solar gain for a building with less cooling load. *Case Studies in Thermal Engineering*, 53, 103890.
- Rabal, A. M., Ferrero, A., Campos, J., Fontecha, J. L., Pons, A., Rubiño, A. M., & Corróns, A. (2012). Automatic goniospectrophotometer for the absolute measurement of the spectral BRDF at in-and out-of-plane and retroreflection geometries. *Metrologia*, 49(3), 213.
- Roos, A., Karlsson, J., van Nijnatten, P. A., Hutchins, M. G., Polato, P., Nichelatti, E., ... & Anderson, C. (2001, November). Angular-dependent optical properties of coated glazings: validation of two predictive algorithms. In *Solar and Switching Materials* (Vol. 4458, pp. 19-28). SPIE.
- Rubin, M., Powles, R., & Von Rottkay, K. (1999). Models for the angle-dependent optical properties of coated glazing materials. *Solar Energy*, 66(4), 267-276.



Hacia los 25 años de la política arquitectónica de la Unión Europea

LA CALIDAD ARQUITECTÓNICA DESDE LA NORMATIVA. HACIA UNA NUEVA VISIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD

Estanislau Vidal-Folch de Balanzó¹

¹ Director del Área de Fomento de la Delegación del Gobierno en Catalunya
e.vidal-folch@correo.gob.es

Resumen

La política arquitectónica europea en unos meses cumplirá 25 años, coincidiendo con la capitalidad mundial de la arquitectura de Barcelona en 2026. En la Unión Europea, esta política forma parte de la agenda europea para la cultura.

Desde la cultura, esta política europea se ha desarrollado sobre dos pilares. Por un lado, los documentos políticos del Consejo, que han invitado a la Comisión y a los Estados miembros a actuar a favor de la calidad arquitectónica. Por otro lado, se ha desarrollado una acción para difundir buenas prácticas, al más alto nivel, como medio para reconocer los principales hitos europeos en este campo: el Premio de Arquitectura Contemporánea de la Unión Europea-Premio Mies van der Rohe. En los años 2001, 2008, 2013, 2018 y 2021 se han dado los hitos de estas políticas (Figura 1). En el futuro, sería conveniente que convergiesen las diferentes iniciativas y que se diera más reconocimiento al premio de arquitectura europea.

Palabras clave: política arquitectónica europea; agenda europea de cultura; dos pilares; documentos políticos; buenas prácticas.

Abstract

The European architectural policy is about to turn 25 years old, coinciding with Barcelona's status as world capital of architecture in 2026. In the EU, this policy is part of the European agenda for culture.

This European policy has been developed through two pillars. On the one hand, the political documents of the Council have invited the Commission and the Member States to act in favour of architectural quality. On the other hand, an action to disseminate good practices, at their highest level, for the purpose of recognizing major European milestones in this field: the European Union Prize for Contemporary Architecture-Mies van der Rohe Award. In the years 2001, 2008, 2013, 2018 and 2021 the milestones of these policies have been given (Figura 1). In the future, it would be desirable for the different initiatives to converge and for the European Architecture Prize to be given greater recognition.

Keywords: European architectural policy; the European agenda for culture; two pillars; political documents; good practices.

1. Los dos pilares

La política arquitectónica europea en unos meses cumplirá 25 años, coincidiendo con la capitalidad mundial de la arquitectura de Barcelona en 2026. En la Unión Europea, la política arquitectónica forma parte de la agenda europea para la cultura, basada en el capítulo cultural del Tratado Europeo (Unión Europea, 2016) (bajo el principio de subsidiariedad), y se ha enriquecido con acciones europeas (investigación, estrategias y legislación) basadas en otros capítulos del Tratado.

Desde la cultura, esta política europea se ha desarrollado sobre dos pilares. Por un lado, los documentos políticos del Consejo, que han invitado a la Comisión y a los Estados miembros a actuar a favor de la calidad arquitectónica. Por otro lado, se ha desarrollado una acción para difundir buenas prácticas, al más alto nivel, como medio para reconocer los principales hitos europeos en este campo: el Premio de Arquitectura Contemporánea de la Unión Europea-Premio Mies van der-Rohe.

Hacia los 25 años de política arquitectónica de la Unión Europea

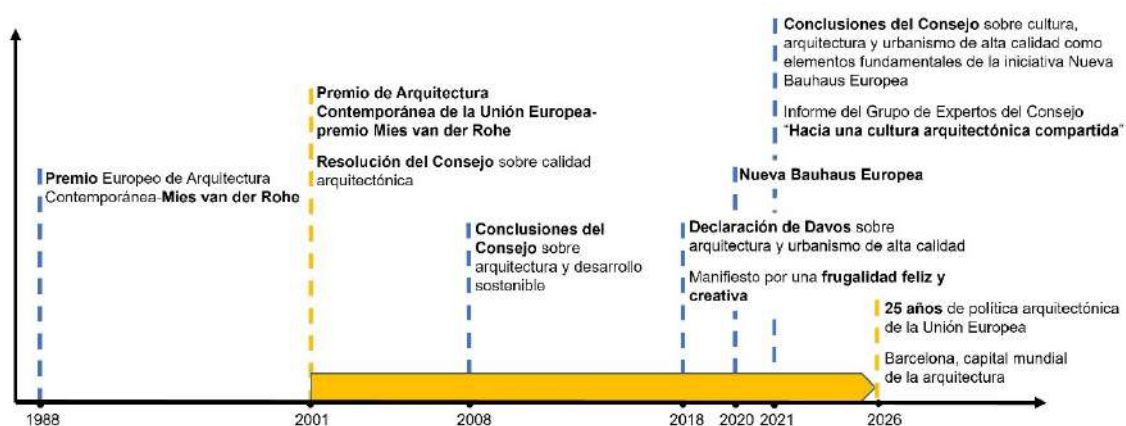


Figura 1. Cronograma de los 25 años de política arquitectónica de la Unión Europea. Fuente: Elaboración propia.

1.1. Primer pilar

En cuanto a los documentos políticos, el primero se aprobó hace 24 años. El Consejo de la Unión Europea (2001), bajo la Presidencia sueca, destacó la calidad arquitectónica como parte integrante tanto del entorno urbano como del rural, así como la necesaria ejemplaridad de los edificios públicos. La arquitectura se definió como una actividad intelectual, cultural, artística y profesional. El servicio de arquitectura se definió como un servicio profesional que es a la vez cultural y económico.

La Resolución también subrayó las características comunes que comparten las ciudades europeas, como la importancia de la continuidad histórica, la calidad de los espacios públicos, la diversidad social y la riqueza de la diversidad urbana. Asimismo, la Resolución subrayó que una arquitectura de calidad, al mejorar el entorno vital y la relación entre los ciudadanos y su entorno, ya sea rural o urbano, puede contribuir eficazmente a la cohesión social, la creación de empleo, la promoción del turismo cultural y el desarrollo económico regional.

En 2008, el Consejo, bajo la presidencia francesa, adoptó unas Conclusiones (Consejo de la Unión Europea, 2008). En 2008, ya se hizo hincapié en el desarrollo sostenible, la necesidad de ir más allá de las normas del código técnico y una tímida crítica de la expansión urbana. La arquitectura puede desempeñar un papel integrador e innovador en la implementación del desarrollo urbano sostenible. El desarrollo urbano sostenible, por último, ofrece una oportunidad para la creación, la innovación, la renovación de estilos arquitectónicos y la reapropiación y reinterpretación de las prácticas tradicionales. Las Conclusiones instaron, entre otras cosas, a diseñar para la arquitectura, además de las normas técnicas, un enfoque que incluya objetivos económicos, sociales, culturales y ambientales generales; fomentar la innovación y la

experimentación en el desarrollo sostenible en arquitectura, urbanismo y paisajismo, especialmente en el marco de las políticas o programas europeos y en la contratación de obras públicas; mejorar el conocimiento del sector arquitectónico y su contribución al desarrollo sostenible, especialmente en términos estadísticos; sensibilizar a la opinión pública sobre el papel de la arquitectura y el urbanismo en la creación de un entorno vital de alta calidad y fomentar la participación ciudadana en el desarrollo urbano sostenible.

En 2013, cinco años después de las Conclusiones, la Presidencia irlandesa hizo balance de su aplicación. El balance de 2013 se resumió en el Informe Preliminar sobre la aplicación de las Conclusiones del Consejo sobre Arquitectura: Contribución de la Cultura al Desarrollo Sostenible 2008/C 319/05. Durante el balance, dos cuestiones clave aparecían como cruciales para el futuro desarrollo de las políticas arquitectónicas, como también se desprendía de la encuesta que la presidencia envió a los Estados Miembros.

La concienciación pública y el compromiso político son factores vitales para el fomento eficaz de una buena calidad arquitectónica y espacial. Existe una necesidad urgente de ampliar el interés por la arquitectura más allá del ámbito profesional: es igualmente un reto para las ONG y los responsables políticos actuar conjuntamente y crear una demanda de un entorno vital bien diseñado por parte de los ciudadanos de la UE. Un nuevo pacto público-privado para la arquitectura sería deseable.

La investigación y el diseño deberían reforzarse y apoyarse mediante financiación subvencionable. Se debe prestar especial atención y apoyo a:

- la fase de proceso y diseño de los proyectos;
- una fase de pruebas, previa a la fase final de diseño y construcción;
- la evaluación posterior a la finalización y la difusión de los resultados.

Se podría haber esperado que la secretaría del Consejo (UE), de nuevo siete años después de las Conclusiones de 2008, promoviera un documento de políticas entre 2014 y 2015 para avanzar. Sin embargo, sin el apoyo de una red europea, como el Foro Europeo de Políticas Arquitectónicas de 2008, esto no sucedió.

Posteriormente, sin embargo, el gobierno suizo, atento al vacío existente, se alzó en 2018 proponiendo la Declaración de Davos (Ministros de Cultura et al., 2018) en favor de la alta calidad arquitectónica, que finalmente fue firmada por los gobiernos

Davos ya menciona brevemente la pérdida de calidad del entorno urbano, la urbanización acelerada, la trivialización de la construcción, la falta de valores de diseño y el uso irresponsable del suelo, y propone, en favor de la cohesión social, la sostenibilidad ambiental y el bienestar de todos, una Baukultur europea de alta calidad.

La Declaración de Davos, adoptada por los ministros europeos de cultura y las partes interesadas (como el Consejo de Arquitectos de Europa, ACE) en enero de 2018 (aunque España la firmó el 21 de marzo de 2019), destacó el papel central de la cultura en el entorno urbano y abogó por un enfoque de calidad integrado para la forma en que las personas configuran su entorno. La Declaración hizo referencia específicamente al término y concepto alemán de Baukultur, que incluye arquitectura, patrimonio, espacio público, paisaje, infraestructura y una cultura de proceso, entre otros.

En consonancia con la Declaración de Davos de 2018, se ha desarrollado recientemente el Sistema de Calidad de Davos Baukultur para ofrecer una definición integral de Baukultur de alta calidad. Este sistema permite su evaluación mediante la revisión de los sistemas existentes, la investigación y las observaciones. El Sistema de Calidad de Davos Baukultur ofrece ocho criterios fundamentales de calidad, cada uno de los cuales describe un aspecto de la Baukultur de alta calidad: gobernanza, funcionalidad, medio ambiente, economía, diversidad, contexto, sentido de pertenencia y belleza. Cada criterio está vinculado a un principio de calidad, mientras que un conjunto de preguntas clave permite evaluar un lugar para determinar su calidad futura. De hecho, el estudio realizado por el Grupo de Expertos de los Estados Miembros en el marco del Consejo sobre calidad arquitectónica, hizo suyos en su trabajo, realizado por mandato del Consejo (Open Method of Coordination Group of Member State Experts, 2021) esos ocho criterios.

En el año 2021, sobre la base de este estudio y de la iniciativa la Nueva Bauhaus Europea se adoptan unas conclusiones (Consejo de la Unión Europea, 2021).

La Nueva Bauhaus Europea es una iniciativa transdisciplinaria que conjuga tres dimensiones relacionadas entre sí: la estética, la sostenibilidad y la inclusión. Parte de un planteamiento participativo y aspira a implicar a todas las personas de toda la Unión, incluyendo las que pertenecen a grupos desfavorecidos, en consonancia con la Agenda 2030 de las Naciones Unidas y el objetivo del Pacto Verde Europeo de no dejar a nadie atrás

1.2. Segundo Pilar

El Premio de Arquitectura Contemporánea de la Unión Europea – Premio Mies van der Rohe se otorga cada dos años para reconocer y recompensar la producción arquitectónica de calidad en Europa. Organizado conjuntamente con la Comisión Europea, el Premio de Arquitectura Contemporánea de la Unión Europea – Premio Mies van der Rohe es uno de los premios de arquitectura europeos más prestigiosos.

En 2001, el antiguo Premio Mies van der Rohe de Arquitectura Europea (creado en 1988) se convirtió en el premio oficial de arquitectura de la Unión Europea. En esta etapa, se creó además una nueva categoría: la Mención Especial al Arquitecto Emergente.

De esta manera, el Premio destaca la importante contribución de los profesionales europeos al desarrollo de nuevas ideas y tecnologías. Al mismo tiempo, ofrece tanto a particulares como a instituciones públicas la oportunidad de comprender mejor el papel cultural de la arquitectura en la construcción de nuestras ciudades. Además, el Premio se propone fomentar la arquitectura de dos maneras importantes: estimulando una mayor circulación de arquitectos profesionales en toda la Unión Europea en respuesta a encargos transnacionales y apoyando a jóvenes arquitectos en el inicio de sus carreras.

Para comprender la verdadera magnitud del Premio, es necesario proporcionar algunos datos relevantes. Hemos de recurrir al Atlas del Premio de Arquitectura Contemporánea de la Unión Europea – Premio Mies van der Rohe 1988-2015, según el cual durante este período se nominaron 2.881 proyectos, lo que muestra la gran cantidad de arquitectura de calidad que se produce en Europa. Estos proyectos se han clasificado en 19 programas (Vivienda colectiva, Vivienda unifamiliar, Cultura, Educación, Funeraria, Gobierno y cívica, Salud, Religión, Bienestar social, Deporte y ocio, Efímero, Infraestructuras, Paisaje, Urbanismo, Comercio, Alimentación y alojamiento, Industria, Oficinas, Efímero). Se establecieron 143 etiquetas para explicar mejor sus características (desde: Ganador del Premio, Ganador de la categoría Arquitecto Emergente, Finalista, hasta: m²; Construcción (nueva, regeneración, ampliación); Cliente (público, privado, mixto); Tejido urbano (centro histórico, nueva periferia, tejido urbano consolidado, frente marítimo, sector industrial de primera generación, sector industrial de segunda generación, suburbano, aislado; edad promedio de los ganadores y género). 1.724 estudios, 38 países y 1.186 emplazamientos participaron en el Premio entre esas fechas.

Cabe destacar la importancia del papel del comité asesor del Premio, compuesto por 16 instituciones europeas y responsable de numerosos aspectos organizativos.

Tres organismos son responsables de la organización del Premio, con el apoyo de la Comisión Europea: la Fundació Mies van der Rohe, el Ayuntamiento de Barcelona y un Comité asesor: compuesto de estas organizaciones europeas: Architekturzentrum Wien, Viena; Danish Architecture Centre, Copenhague; DESSA Gallery, Ljubljana; German Architecture Museum, Frankfurt; Fundació Mies van der Rohe, Barcelona; Hungarian Contemporary Architecture Centre, Budapest; Cité de l'Architecture et du patrimoine, París; Museum of Architecture, Varsovia; Museum of Estonian Architecture, Tallinn; Museum of Finnish Architecture, Helsinki; Museum of Architecture and Design, Ljubljana; National Museum of Art, Architecture and Design, Oslo; RIBA, London; The Berlage, Delft; and Triennale di Milano, Milán. El Comité es responsable de las decisiones más importantes, como la composición del jurado, la selección de expertos y cualquier cambio necesario para mejorar la eficiencia en cualquier momento.

La Dirección General de Cultura de la Comisión Europea ha puesto en marcha otras iniciativas que refuerzan este segundo pilar. Lo ha hecho con propuestas como Living Spaces y, también, con una apertura más clara de su programa Europa Creativa para los estudiantes y profesionales de la arquitectura.

Living Spaces es un programa de aprendizaje entre iguales diseñado para que las autoridades locales y regionales aprendan a planificar e implementar políticas y proyectos arquitectónicos de alta calidad.

De julio de 2023 a noviembre de 2024, el programa ha organizado el intercambio de buenas prácticas entre las ciudades, regiones, Estados miembros y partes interesadas relevantes de la Unión Europea. Cabe decir que esta iniciativa también se podría desarrollar en el entorno del Premio Mies van der Rohe.

2. Hacia el futuro

Mientras se espera un desarrollo mayor y continuado de la iniciativa de la Comisión Europea Nueva Bauhaus Europea durante este mandato de la Comisión, de sus programas y de su gobernanza, incluyendo una mayor capilaridad de los puntos de contacto estatales, se observa que iniciativas paralelas tienen recorrido propio.

2.1. El proceso de Davos, con dinámica propia

El Gobierno suizo ha continuado desarrollando su propuesta dando a la gobernanza de ésta una estructura: la Alianza de Davos sobre la Baukultur (2023).

Es una red para el diálogo interdisciplinario a nivel internacional de cooperación entre las autoridades, el sector de la construcción y el inmobiliario, y la sociedad civil mediante un intercambio continuo. Los miembros de la Alianza se comprometen con los objetivos de la Declaración de Davos y actúan de acuerdo con los ocho criterios del Sistema de Calidad de Davos Baukultur.

La Alianza se propone afrontar los retos globales de la planificación y la construcción mediante una Baukultur de alta calidad. El objetivo es un enfoque sostenible y orientado a la calidad, con edificios, infraestructuras, espacios públicos y paisajes que beneficien a todos.

Los grupos de trabajo de la Alianza abordan temas como la economía circular, las renovaciones energéticamente eficientes de alta calidad o un sistema de certificación, y desarrollan conjuntamente propuestas sobre cómo proceder. Su secretaría está gestionada por el Foro Económico Mundial y actúa como enlace con el sector privado.

2.2. La frugalidad, un movimiento de abajo a arriba

El sector en Francia se ha movilizado. Es necesario tener en cuenta ahora el movimiento por la arquitectura frugal, un movimiento de abajo a arriba. El concepto de la arquitectura frugal, se ha impulsado a través del Manifiesto por una frugalidad feliz y creativa, publicado en 2018 por los arquitectos Alain Bornarel, Dominique Gauzin-Müller y Philippe Madec.

La Arquitectura Frugal es una arquitectura ecológica, respetuosa con el medio ambiente y mucho menos consumidora de energía, que busca la renovación en lugar de nuevas construcciones con el objetivo de crear edificios neutros, o mejor aún, de energía positiva, "¡menos es suficiente!" (Gauzin-Müller, Bornarel y Madec, 2018).

En 2018, se formalizó el manifiesto de arquitectura frugal que hoy en día reúne a 16 000 personas en 90 países entre los cuales 500 en España, entre profesionales y ciudadanos.

La frugalidad tiene 4 principios: garantizar un uso adecuado del suelo, ahorrar energía, elegir materiales de origen biológico y geológico, reciclar los conocimientos y técnicas vernáculos tradicionales y aplicar nuevos procesos de diseño y construcción.

3. Reflexiones finales

¿Vamos a una confluencia de iniciativas políticas? Se trata de un debate aún no abierto. Quizás sería lo más eficiente. ¿Vamos, los europeos, a dar más relevancia a nuestro premio de arquitectura de la UE? Tendría sentido.

4. Referencias

- Confederación Suiza. Oficina Federal de Cultura (2023). *Alianza de Davos sobre la Baukultur*. <https://www.bak.admin.ch/bak/en/home/baukultur/konzept-baukultur/erklaerung-von-davos-und-davos-prozess/davos-baukultur-allianz-2023.html>
- Consejo de la Unión Europea. (2001). *Resolución del Consejo de 12 de febrero de 2001 sobre la calidad arquitectónica en entornos urbanos y rurales (2001/C 73/04)*. DOUE C 73/6 de 6.3.2001: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001G0306\(03\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001G0306(03))
- Consejo de la Unión Europea. (2008). *Conclusiones del Consejo sobre la arquitectura: la contribución de la cultura al desarrollo sostenible*. DOUE C 319/13 de 13.12.2008: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52008XG1213\(02\)&from=GA](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52008XG1213(02)&from=GA)
- Consejo de la Unión Europea. (2021). *Conclusiones del Consejo sobre la cultura y la arquitectura y el entorno construido de alta calidad como elementos esenciales de la iniciativa Nueva Bauhaus Europea* (2021/C 501 I/03). DOUE CI 501/13, de 13.12.2021: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv:OJ.CI.2021.501.01.0013.01.SPA>
- Gauzin-Müller, D., Bornarel, A. y Madec, P. (2018). Frugalité Heureuse & Creative, dans l'architecture et le ménagement des territoires. *Manifiesto por una frugalidad feliz y creativa*: <https://frugalite.org/es/manifiesto-por-una-frugalidad-feliz/>; <https://frugalite.org/ca/manifest-per-una-frugalitat-felic/>
- Ministros de Cultura y jefes de las Delegaciones de los países firmantes del Convenio Cultural Europeo y de los estados observadores del Consejo de Europa, representantes de la UNESCO, del ICCRON, del Consejo de Europa, de la Comisión Europea, del Consejo de Arquitectos de Europa, del Consejo de Europa de Urbanistas, de ICOMOS International y de Europa NOSTRA. (2018). *Declaración de Davos. Hacia una Baukultur de alta calidad para Europa*: <https://davosdeclaration2018.ch/wp-content/uploads/sites/2/2023/06/2022-05-27-082324-declaracion-de-davos-2018-def-es.pdf>; <https://davosdeclaration2018.ch/wp-content/uploads/sites/2/2023/06/2022-06-27-103550-davos-declaration-2018-catalan.pdf>
- Open Method of Coordination Group of Member State Experts. (2021) *Towards a Shared Culture of Architecture*. Publications Office of the European Union, 2021: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/bd7cba7e-2680-11ec-bd8e-01aa75ed71a1/language-en>
- Unión Europea. (2016). *Artículo 167 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea (TFUE)*. DOUE C 202/121 de 7.6.2016: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:12016E167>

Construir vivienda social en clave sostenible

Viviendas de la Fundació Habitat3 en Gimnàs Social Sant Pau e Illa Sibèria

NUEVAS FORMAS DEL HABITAR: LA VIVIENDA COMO UNA OPORTUNIDAD PARA EL SECTOR Y LA SOCIEDAD

Elisabet Capdeferro¹, Ramón Bosch² y Maria Sisternas³

¹ Arquitecta, autora del proyecto, arquitectura@boschcapdeferro.com

² Arquitecto, autor del proyecto, arquitectura@boschcapdeferro.com

³ Arquitecta, responsable de la promoción, Fundació Hàbitat3, msisternas@habitat3.cat

Resumen

Los casos prácticos de los proyectos de construcción del “Gimnàs Social Sant Pau” y “Illa Sibèria” demuestran que el compromiso del sector con la sostenibilidad y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) puede ir de la mano con el compromiso social. Pensar y ejecutar soluciones innovadoras en la construcción sostenible no debería limitarse a las viviendas para personas con alto poder adquisitivo. La dimensión social de la sostenibilidad debe ser real y se deben aportar soluciones y crear iniciativas para que las personas con situación de mayor vulnerabilidad no se queden atrás en términos de mejora energética y sostenibilidad. El reto está en construir con altos criterios de sostenibilidad medioambiental sin que las personas más vulnerables les suponga un gasto que, en muchos casos, es inalcanzable.

Palabras clave: social; sostenibilidad; asequible; vivienda

Abstract

The case studies of the construction projects “Gimnàs Social Sant Pau” and “Illa Sibèria” demonstrate that the construction sector’s commitment to sustainability and the Sustainable Development Goals (SDGs) can go hand in hand with social engagement. Designing and implementing innovative solutions in sustainable construction should not be limited to housing for individuals with high purchasing power. The social dimension of sustainability must be genuine, providing solutions and fostering initiatives to ensure that those in the most vulnerable situations are not left behind in terms of energy efficiency and sustainability improvements. The challenge lies in building with high environmental sustainability standards without imposing costs that are often unaffordable for the most vulnerable populations.

Key words: social; sustainability; affordable; housing

1. El sector de la construcción en el contexto actual

Hablar de construcción en el contexto actual sin ahondar de manera decidida en cuestiones como el acceso a la vivienda, la insuficiente investigación en el campo de nuevas tipologías que respondan a las necesidades reales de la población, la calidad de los espacios en los que residimos, la huella de carbono asociada a nuestra actividad o la urgencia de tomar medidas a favor de la lucha contra el cambio climático resultaría probablemente anacrónico. Todas éstas, entre otras, son cuestiones que es necesario atender desde nuestro sector y que comportan una evolución considerable del ejercicio de la profesión tal y como la habíamos conocido, añadiéndose a la larga lista de responsabilidades propias de nuestra disciplina.

Desde hace ya más de una década, el departamento responsable del Programa para el Medio Ambiente de las Naciones Unidas publica anualmente un informe sobre la brecha de emisiones, proponiendo medidas para evitar las peores consecuencias derivadas de este fenómeno.

Como parte de este esfuerzo de análisis de la cuestión, el sector de la construcción ha sido señalado como el más contaminante del planeta, siendo el responsable de más del 34% de la demanda energética y de alrededor del 37% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a nivel global. Paralelamente en julio de 2020 el Consejo Europeo acordó un instrumento excepcional de recuperación temporal conocido como Next Generation EU, dotado con 750.000 millones de euros para el conjunto de los estados miembros y que en España se articuló básicamente a través de dos instrumentos: el Mecanismo para la Recuperación y la Resiliencia (MRR) y el REACT-EU, ambos dirigidos a una recuperación sostenible y resiliente, al tiempo que se promueven las prioridades climáticas y digitales de la Unión. Más allá de las políticas globales o regionales que fomenten nuevas experiencias en la dirección expuesta, los profesionales de la arquitectura y la construcción tenemos la posibilidad y también la responsabilidad de poner en práctica nuevos ensayos en este sentido y responder de la mejor forma posible al reto inmenso que tenemos delante.

1.1. La reducción de la huella de carbono en la construcción

Podemos dividir el conjunto de emisiones de gases de efecto invernadero (básicamente CO₂) del sector de la construcción en dos grandes ámbitos diferenciados. En primer lugar, hablamos de la energía gris o energía incorporada en el proceso de construcción de los edificios. Este primer conjunto de emisiones se refiere a las derivadas de la extracción de la materia prima en su lugar de origen, así como su transporte, manipulación y transformación, puesta en obra, posterior demolición y posible reciclaje al final de la vida útil del edificio. En segundo lugar, hablamos de energía operativa para referirnos a las emisiones imputables al consumo energético necesario para alcanzar el nivel de confort deseado durante su periodo de servicio.

La progresiva presión ejercida por las directivas europeas de Eficiencia Energética en los edificios, el principio DNSH, el Reglamento 2020/852 y la normativa que acompaña a los Fondos del Mecanismo de Recuperación y Resiliencia contribuirán a reducir de manera significativa las emisiones relacionadas con la energía operativa de los edificios de nueva construcción. Podemos concluir, por lo tanto, que la batalla futura en el camino para conseguir la reducción de la huella de carbono del sector se dará en el campo de la energía incorporada. Podemos sintetizar las estrategias básicas para la reducción de la huella de carbono de los edificios a partir de dos procesos simultáneos:

- Con el objetivo de reducir la energía operativa, cabría esperar una cadena de decisiones ordenadas durante el proceso de diseño consistentes en un primer lugar y de modo preferente en la adopción de estrategias pasivas para optimizar posteriormente los mínimos sistemas activos necesarios, y permitir como último paso su funcionamiento con energías renovables y producidas in situ en la medida de lo posible.
- En lo que se refiere a la reducción de la energía incorporada, es imprescindible el desarrollo de sistemas constructivos basados en el uso de materiales de bajo impacto y de origen local, así como la máxima reducción posible de los residuos durante el proceso de construcción teniendo en cuenta además la reciclabilidad de los materiales y el alargamiento de la vida útil de las soluciones propuestas.

Es importante pensar y ejecutar los proyectos de construcción con criterios de eficiencia energética, no solo para una mayor sostenibilidad del medio ambiente sino también para

garantizar el confort climático y energético de los futuros habitantes . El reto, sin embargo, está en implementar estos criterios de sostenibilidad sin que la población más vulnerable quede atrás.

1.2. La situación de la vivienda social en España

La Constitución Española (CE) y también el Estatuto de Autonomía de Cataluña coinciden en su artículo 47 acerca del derecho al disfrute de una vivienda digna y adecuada. Ambas interpelan a los poderes públicos en su deber de promover las condiciones necesarias que garanticen la igualdad en el ejercicio de los derechos y de establecer las normas pertinentes para hacer efectivo el referido derecho.

Sin embargo, el parque de viviendas sociales en España es escaso. Se estima que solo el 3,4% es de alquiler social (Observatorio de vivienda y suelo, 2024), cuando la media europea es del 15%. Actualmente en Cataluña, donde se sitúa el caso práctico, hay unas 60.000 viviendas de alquiler social. Partiendo de estas cifras se necesitarían 230.000 viviendas más de alquiler social para llegar a los estándares europeos.

2. Proyectos de impacto social y medioambiental

Ante esta necesidad de proveer de vivienda a colectivos vulnerables (personas inscritas en el Registro de solicitantes de VPO, personas atendidas por las entidades del Tercer Sector Social o colectivos específicos como jóvenes o personas mayores) el Ayuntamiento de Barcelona, la Fundació Hàbitat 3 y la promotora social Coyoacán están promoviendo dos edificios de vivienda protegida en suelos de titularidad municipal. Estos proyectos, Gimnàs Social Sant Pau e Illa Sibèria, se basan en un modelo de inversión de impacto que moviliza recursos privados para posibilitar la construcción y gestión de viviendas asequibles con un retorno social significativo para la ciudad y las personas beneficiarias.

Ambos proyectos han sido concebidos con la convicción que la arquitectura puede ser un elemento transformador y cohesionador. Ambos aspiran a crear edificios óptimos para la gestión social a largo plazo por su voluntad de diseñar entornos que favorezcan la interacción, la inclusión y el bienestar colectivo. A través de la definición del espacio físico, la arquitectura puede incidir en la manera en que las personas se relacionan, trabajan, viven y disfrutan de su entorno. La capacidad de la Fundació Hàbitat 3 para articular proyectos sociales de convivencia exitosos, con una adecuada mezcla de usos y una gestión de proximidad y presencial en los propios edificios, permite imaginar espacios adaptados a las necesidades de los residentes y pensados para que el acceso a estas viviendas sea el primer paso para el acceso a otros muchos derechos como la sanidad, la educación y la participación en la comunidad. La colaboración de una entidad social que trabaja acompañando a las personas en situación de vulnerabilidad permite entender que, a partir de la seguridad que proporciona tener una vivienda digna, puede comenzar el proceso de recuperación del bienestar personal y del sentido de la propia vida.

Además, los proyectos abordan la reducción de la huella de carbono mediante dos estrategias complementarias: una tipología pasante que facilita la captación y disipación pasiva de energía y un sistema constructivo basado en el uso de madera como material con una baja energía incorporada, con el objetivo irrenunciable de proporcionar espacios cómodos, agradables, útiles, bellos y significativos que acojan y mejoren, en la medida de lo posible, la vida de sus usuarios al tiempo que se incorporan al paisaje y la historia del contexto en el que se sitúan.

2.1. Illa Sibèria, 42 viviendas de alquiler social en el barrio del Poblenou de Barcelona

Illa Sibèria es una iniciativa pionera para desarrollar vivienda protegida fruto de un concurso de promoción delegada licitado por el Ayuntamiento de Barcelona en el año 2019. La promoción se basa en un modelo de inversión novedoso: el Ayuntamiento de Barcelona, propietario del suelo, lo cede por 75 años, pasados los cuales las viviendas pasan a formar parte del parque de vivienda de titularidad municipal. La Fundació Hàbitat 3 gestiona las viviendas con criterio social.

La parcela se encuentra en la manzana delimitada por la calle Badajoz, Dr. Trueta, Àvila y la Avenida Icaria, cuyo plan urbanístico sitúa la edificación en forma de “L”, generando una esquina singular, levantada sobre un zócalo porticado a doble altura (Figura 1). El proyecto se ubica en una manzana del Poblenou con usos mixtos: oficinas, viviendas de “alto standing”, un frente consolidado con viviendas rehabilitadas y dos parcelas para VPO. El tejido urbano sigue la trama

propia del Ensanche Cerdà, aunque la manzana es más larga por la inclinación de la avenida Icaria, hecho que el planeamiento aprovecha para colocar un pasaje público en su interior.

La manzana en cuestión corresponde al emplazamiento de la antigua fábrica de la Siberia, una de las más singulares del barrio de Poblenou, dedicada a la producción industrial de barras de hielo. La industria del frío supuso una auténtica revolución en los sectores de la alimentación y el consumo doméstico de la época y permitió dejar atrás la técnica de los pozos de hielo. Su importancia es equiparable a la de otras industrias de destilación de alcoholes y bebidas como la Fábrica Moritz o la Damm. La Siberia fue creada a principios del siglo XX por los industriales Christensen y Corominas (con arquitectura de Bernadí Martorell) y durante la Guerra Civil española fue colectivizada, como otras muchas fábricas barcelonesas.

El proyecto, cuyos detalles se pueden consultar en el repositorio referenciado, fija cinco núcleos de comunicaciones verticales y tres pasajes cubiertos que comunican el patio interior de la manzana con el tejido urbano de las calles adyacentes. A partir de estas premisas, el proyecto crea una estructura modular de madera laminada sobre un zócalo de hormigón en contacto con el terreno, configurando un conjunto de 42 viviendas pasantes que se benefician de la ventilación cruzada a través de fachadas opuestas y con la presencia de un espacio bioclimatizado de uso particular con la mejor orientación posible.

El diseño de esta estructura parte de la optimización de las secciones de los elementos de madera estructural a base de paneles de forjado triapoyados de modo similar a las antiguas naves existentes en el mismo pasaje y reconvertidas en viviendas, sumando dos crujías de dimensiones iguales y que responden al reparto de la longitud de fachada disponible teniendo en cuenta la ventilación obligatoria del número de piezas del programa (cuatro piezas por vivienda correspondientes a una cocina-comedor-salón, dos dormitorios y la galería bioclimatizada, con núcleo húmedo interior de baño y lavadero).



Figura 1: Imagen exterior del proyecto de Illa Sibèria. Fuente: bosch.capdeferro arquitectura



Figura 2: Imagen interior del proyecto de Illa Sibèria. Fuente: bosch.capdeferro arquitectura

El uso de madera laminada para la construcción de la estructura permite reducir la energía incorporada del edificio. A su vez, la ventilación cruzada a través de fachadas opuestas y la presencia de la galería bioclimatizada (Figura 2), junto con un correcto diseño de la envolvente para garantizar unos buenos aislamientos y estanqueidades, permiten reducir de manera significativa la energía operativa prevista para las viviendas.

Por otra parte, es posible reducir la energía correspondiente a la demanda de calefacción de los espacios interiores gracias a la conexión de la instalación comunitaria del edificio al sistema de agua caliente distribuida a escala de distrito (DistriClima), y también contar con el excedente de energía eléctrica producida por el campo fotovoltaico situado en la cubierta.

Finalmente, el proyecto prevé un sistema de regeneración de aguas grises, así como la instalación de depósitos de laminación de aguas pluviales para evitar la saturación de la red pública de saneamiento en caso de episodios de lluvias torrenciales.

2.2. Gimnàs Social Sant Pau, reconstrucción del equipamiento deportivo y 36 viviendas de alquiler social en Barcelona

Este proyecto se construye en un solar que acumulaba varios usos precarios. El origen del proyecto lo motiva la tensión social creada por el anuncio del desahucio de un complejo deportivo

y duchas gestionado por la Cooperativa del Gimnàs Social Sant Pau, que atiende a personas vulnerables del barrio de Ciutat Vella de Barcelona con un servicio de duchas, piscina y espacio de gimnasio con unas condiciones bastante negligidas por la falta de inversión y mantenimiento desde hace muchos años. Este complejo se encuentra en el lugar de los antiguos baños populares de la ciudad, construidos después de la Guerra Civil para promover hábitos de higiene cuando la miseria y la pobreza assolaban la Barcelona de la posguerra.

La promoción es fruto de la colaboración entre el Ayuntamiento de Barcelona, la Fundació Hàbitat 3, el Gimnàs Social Sant Pau y la promotora social Coyoacán, para responder a la petición de la entidad para salvar la actividad y encontrar una manera alternativa de construir en la finca. La antigua propiedad, según el planeamiento vigente, tenía derecho a hacer pisos de venta libre y tenía licencia para derribar el gimnasio, hecho que hubiera dejado el barrio sin un equipamiento de referencia para las personas más vulnerables.

El proyecto, cuyos detalles se pueden consultar en el repositorio referenciado, contempla la reconstrucción del local municipal en plantas sótano, baja y altillo para albergar un equipamiento público con piscina y gimnasio, así como treinta y seis viviendas sociales en las seis plantas superiores, configurando una propuesta que puede ser considerada un punto de encuentro en muchos sentidos. En relación con los agentes impulsores del proyecto, esta operación significa un caso excepcional de colaboración público-privada en la ciudad de Barcelona, que cuenta con un parque de vivienda social muy escaso. La histórica labor del Gimnasio Social Sant Pau y la necesidad de preservar su actividad hizo posible la alineación entre entidades privadas con compromiso social y la capacidad de gestión de la Fundació Hàbitat 3. Juntos hicieron posible la compra de la finca sin llegar a materializar los aprovechamientos urbanísticos que permite el planeamiento (vivienda de *“alto standing”*), sustituyéndolos por VPO.

La operación ha permitido que la propiedad se convierta en parte del Patrimonio Municipal a un precio razonable, al tiempo que se impulsa la promoción delegada en derecho de superficie de un edificio de uso mixto con un zócalo público y unas plantas piso que alojarán familias vulnerables, jóvenes menores de 35 años, demandantes de viviendas social, etc.

A nivel urbano, la particular situación del solar sobre la traza de la muralla de Barcelona y por lo tanto en la frontera entre la densa ciudad antigua y el tejido urbano del nuevo ensanche Cerdà, explica en buena medida las directrices geométricas que organizan el proyecto. Éstas pretenden construir el acuerdo posible, fruto de la divergencia entre las líneas de propiedad de las parcelas intramuros y la traza oblicua de la antigua muralla (hoy Ronda de Sant Pau) en este punto, organizando la estructura y por lo tanto también los espacios interiores a partir de tres crujías coincidentes con el parcelario interior, absorbiendo la irregularidad de la traza de la calle en el espacio de galerías concebidas como filtro en la fachada principal.

En el caso de las plantas inferiores, donde el edificio incorpora el programa de reconstrucción del gimnasio preexistente derribado, el proyecto sitúa la piscina en el espacio interior de manzana coincidiendo con su ubicación original, aunque a una cota inferior para permitir el acceso a su cubierta desde la calle y a través de la planta baja del equipamiento. La organización expuesta de tres crujías contiguas organiza por una parte la zona de vestuarios de la planta sótano y en una posición central, aislando de forma natural los recorridos secos y húmedos, y por otra las plantas bajas y altillo cediendo dos de las luces para el programa de equipamiento municipal y una tercera para acceso y servicios comunes del programa residencial. En las plantas superiores, las viviendas se organizan asimismo en tres grupos correspondientes a los tres muros de carga de las plantas inferiores, conteniendo cada uno de ellos dos viviendas pasantes con acceso desde el núcleo de comunicaciones verticales situado en el límite de la profundidad edificable.

La sección del proyecto es singular y deliberadamente diseñada para agrupar 2 pisos superpuestos, creando una galería a doble espacio de uso comunitario cada 12 viviendas (Figura 3). Ello responde a las necesidades de un proyecto social comprometido con la mezcla de contingentes diferentes y complementarios. De este modo, cada residente o unidad familiar dispone de su espacio privativo a escala doméstica y de un gran espacio multiuso abierto al interior de manzana con doble altura y grandes aberturas. El diseño final de este espacio será trabajado y consensuado con las entidades a las que atiende la Fundació Hàbitat3 para definir un compromiso de uso que no genere ruidos u ocupaciones indebidas y que permita crear un espacio de socialización que actúe como extensión natural de las propias viviendas (Figura 4).



Figura 3 (izquierda): Imagen de la galería comunitaria del proyecto Gimnàs Social Sant Pau. Fuente: bosch.capdeferro arquitectura.

Figura 4 (derecha): Imagen interior de las viviendas del proyecto Gimnàs Social Sant Pau. Fuente: bosch.capdeferro arquitectura.

La organización de las viviendas permite optimizar los elementos estructurales de madera laminada (material que garantiza una drástica reducción de la energía incorporada) configurando espacios genéricos a modo de habitaciones disponibles para albergar el programa deseado por cada usuario con hasta dos dormitorios dobles. La ventilación cruzada por fachadas opuestas y a través de espacios bioclimatizados (galería captadora y de filtro para uso privado en la fachada principal y espacio colectivo compartido a doble altura en la fachada interior) resulta clave para la reducción del cálculo de la energía operativa estimada de las viviendas tanto en invierno como en verano. Como complemento a las estrategias descritas para la reducción de la huella de carbono del edificio, el proyecto propone el reciclaje de aguas grises del gimnasio y de las viviendas para la descarga de inodoros, riego y mantenimiento de zonas comunes, así como la creación a futuro de una comunidad energética en la que la producción eléctrica de las placas fotovoltaicas situadas en la cubierta del edificio alimenten la maquinaria necesaria para la deshumectación del gimnasio y piscina, que puede ceder a cambio su calor residual para reducir la demanda de calefacción de las viviendas.

3. Conclusiones: Sostenibilidad, también social

Estos casos prácticos demuestran que el compromiso con los Objetivos de Desarrollo Sostenible puede ir de la mano con el compromiso social. Ambos proyectos hacen una apuesta para reducir la huella de carbono, constituyen un ejemplo de diseño con criterios bioclimáticos y conjugan la gestión sostenible del alquiler social con tipologías innovadoras que aprovechan la luz natural y la ventilación cruzada, proponiendo unas soluciones constructivas que facilitarán el mantenimiento a largo plazo. La gestión social de estas viviendas permitirá un conocimiento exhaustivo del impacto de estas medidas y su sentido social y económico a largo plazo.

4. Repositorios

Si están interesados en conocer con más detalle los proyectos les invitamos a consultar los siguientes repositorios:

Repositorio proyecto Illa Sibèria:

<https://drive.google.com/file/d/12P6xwkvYFT62tHa63G8FtdVP-04fCmWR/view?usp=sharing>

Repositorio proyecto Gimnàs Social Sant Pau:

https://drive.google.com/file/d/1fjldJ7ePVSiY8TefS3KTmI94W7a818u/view?usp=drive_link

5. Referencias

Observatorio de vivienda y suelo. Boletín especial Vivienda Social 2024 (2024). Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana; Dirección General de Vivienda y Suelo.
https://www.mivau.gob.es/recursos_mfom/comodin/recursos/observatoriodeviviendaysueloboletnespecialvivienda-social2024_0.pdf

Formación especializada en arquitectura sostenible

El Máster en Sostenibilidad Arquitectónica de la Universidad Nebrija

LA DESCARBONIZACIÓN Y LA ECONOMÍA CIRCULAR PARA UNA GESTIÓN EFICIENTE DE LOS RECURSOS NATURALES

Alejandro Bosqued Navarro¹

¹ Dr. Arquitecto, Profesor y Director del Master Universitario en Sostenibilidad Arquitectónica: Diseño y Gestión, abosqued@nebrija.es

Resumen

La formación especializada en arquitectura sostenible es esencial para responder al desafío global del cambio climático y a la demanda creciente del sector por profesionales cualificados. El Máster Universitario en Sostenibilidad Arquitectónica: Diseño y Gestión de la Universidad Nebrija ofrece una metodología innovadora basada en proyectos integradores que abarcan no solo la construcción, sino también el marketing, la comercialización, la economía circular y el análisis de rentabilidad económica. Esta visión holística garantiza que los egresados sean capaces de gestionar proyectos sostenibles integralmente, evaluando desde la eficiencia energética hasta la viabilidad económica. El programa responde a políticas ambientales actuales como el Green Deal europeo y contribuye activamente a la transición sostenible del sector. Esta contribución destaca la importancia de la formación especializada para promover prácticas sostenibles e innovadoras en la construcción, generando profesionales multidisciplinares capaces de liderar cambios positivos hacia un futuro más sostenible.

Palabras clave: Arquitectura sostenible; Formación especializada; Economía circular; Visión holística; Rentabilidad inmobiliaria.

Abstract

The global challenge of climate change and increasing demand for qualified professionals highlight the importance of specialized training in sustainable architecture. The Master's Degree in Architectural Sustainability: Design and Management at Nebrija University provides an innovative methodology based on integrated projects, covering not only construction but also marketing, project profitability analysis, circular economy, and other interconnected fields. Unlike traditional architectural programs, this master's offers a holistic vision that integrates technical, economic, and environmental aspects into a comprehensive education. Through practical, real-world projects, graduates gain multidisciplinary skills, preparing them to address market demands and support the construction sector's sustainable transition aligned with current global policies such as the European Green Deal. This contribution emphasizes how specialized postgraduate education fosters sustainability, innovation, and multidisciplinary collaboration, producing architects capable of driving positive transformations towards a more sustainable built environment.

Keywords: Sustainable architecture; Holistic vision; Circular economy; Sustainable marketing; Project profitability.

1. Importancia de la formación en arquitectura sostenible

La construcción sostenible se ha convertido en una prioridad global ante los retos del cambio climático y el impulso de normativas más ecológicas. Iniciativas europeas como el **Green Deal** (Comisión Europea, 2019) y los fondos **Next Generation** están promoviendo cambios profundos en el sector de la edificación para mejorar la eficiencia energética e incorporar energías renovables. En este contexto, existe una creciente **demanda de profesionales cualificados** en sostenibilidad arquitectónica, capaces de liderar proyectos que cumplan con estos objetivos (Archdaily, 2024). Sin embargo, actualmente el sector de la construcción sufre una **escasez de especialistas** con la formación adecuada para afrontar estas nuevas necesidades (Saint-Gobain, 2025).

La respuesta a este desafío pasa por la **formación especializada**. Dotar a arquitectos e ingenieros de conocimientos avanzados en sostenibilidad no solo mejora sus competencias individuales, sino que tiene un impacto multiplicador en el sector: cada profesional formado puede implementar soluciones innovadoras en múltiples proyectos, elevando el estándar de sostenibilidad en la construcción. Por ello, la **educación superior** juega un papel fundamental, ofreciendo programas académicos diseñados para cubrir las áreas emergentes que la práctica tradicional de la arquitectura no aborda por completo (como la eficiencia energética integral, la economía circular o la gestión sostenible de proyectos). Este enfoque formativo alineado con la sostenibilidad resulta clave para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en el ámbito urbano y arquitectónico, y para responder a las exigencias de las administraciones y la sociedad en su conjunto. En suma, **formar expertos en arquitectura sostenible** es invertir en un futuro donde nuestras ciudades y edificios sean respetuosos con el medio ambiente y aporten bienestar a sus usuarios (Grant, Elizabeth J., 2020; McKinsey&Company, 2016).

2. El Máster Universitario en Sostenibilidad Arquitectónica: Diseño y Gestión (Universidad Nebrija)

Conscientes de esta necesidad, la Universidad Nebrija ha lanzado el *Máster Universitario en Sostenibilidad Arquitectónica: Diseño y Gestión*, un programa pionero orientado a formar profesionales capaces de concebir, diseñar y gestionar proyectos de arquitectura sostenible de forma integral. Se trata de un máster oficial de un año (60 ECTS) que aborda la sostenibilidad desde todos los ángulos, combinando conocimientos técnico-constructivos con habilidades de gestión y evaluación económica. El objetivo es **formar profesionales en arquitectura sostenible, desde el análisis de viabilidad hasta la gestión completa de proyectos**, atendiendo así a la demanda laboral generada por las políticas verdes actuales. La sociedad, las empresas y las administraciones públicas *“necesitan profesionales cualificados y capacitados para este nuevo contexto... en un sector con falta de profesionales con una especialización acorde a estas nuevas necesidades”*, (Universidad Nebrija, 2024) y este máster viene a cubrir precisamente ese vacío de especialización.

2.1. Metodología y visión holística del programa

Uno de los aspectos más destacados del máster es su **enfoque pedagógico práctico y transversal**. El estudiante aprende mediante la **metodología propedéutica**, es decir, un recorrido formativo progresivo donde los conocimientos se van integrando y aplicando sobre un proyecto real. A lo largo del curso, el alumno desarrolla un **proyecto transversal de arquitectura sostenible**, en el que va incorporando las lecciones de cada módulo para obtener una visión completa del ciclo de vida de un proyecto sostenible. Gracias a esta dinámica, el programa permite *“abordar desde una visión holística la sostenibilidad en urbanismo y edificación”*, (Boletín Oficial del Estado BOE, 2024) cubriendo todas las etapas **desde el análisis del clima y la ordenación del territorio hasta el análisis de la rentabilidad** inmobiliaria del proyecto. En otras palabras, el máster conecta las dimensiones técnicas, ambientales y económicas de la arquitectura sostenible en un único proceso formativo.

Esta formación ofrece una visión holística que capacita al egresado para entender no solo el diseño eficiente, sino también su contexto urbano, normativo, económico y social. A través de un proyecto integrador, el alumno adquiere experiencia práctica, evalúa la viabilidad técnica y económica de sus decisiones, y desarrolla competencias para coordinar equipos y equilibrar innovación ambiental con factibilidad económica.

2.2. Ámbitos clave que abarca el máster

El plan de estudios de este máster es notable por cubrir múltiples ámbitos interrelacionados de la sostenibilidad, brindando al estudiante un perfil multidisciplinar poco habitual en la formación arquitectónica convencional. En particular, la formación abarca las siguientes áreas clave:

- Diseño bioclimático y eficiencia energética: principios de arquitectura bioclimática, estrategias de diseño pasivo y activo, así como sistemas avanzados de instalaciones para reducir el consumo energético de los edificios. Estas competencias permiten concebir proyectos alineados con la descarbonización y la resiliencia climática.
- Gestión del ciclo de vida y territorio: evaluación del impacto medioambiental de los proyectos, urbanismo sostenible y ordenación del territorio, junto con herramientas de BIM aplicadas a la sostenibilidad para modelar y analizar edificios durante todo su ciclo de vida. Se incluyen también nociones de facility management, de modo que el egresado pueda gestionar la fase de uso y mantenimiento de los edificios con criterios sostenibles.
- Viabilidad económica y financiación de proyectos sostenibles: análisis de costes, beneficios y retorno de la inversión de las iniciativas arquitectónicas sostenibles, asegurando su rentabilidad. El programa hace especial hincapié en aspectos como la viabilidad técnica y económica de la propuesta y la gestión de subvenciones y financiación asociada, preparando al alumno para aprovechar instrumentos como los fondos europeos u otras ayudas verdes que impulsen sus proyectos.
- Marketing y propuesta de valor verde: desarrollo de la propuesta de valor de proyectos sostenibles y estrategias de comercialización del producto arquitectónico resultante. Esta formación en marketing y comunicación especializada permite al arquitecto traducir las cualidades técnicas de su diseño (eficiencia, salud, ahorro operativo) en mensajes atractivos para clientes e inversores, facilitando la aceptación en el mercado de la construcción sostenible.
- Economía circular y criterios ESG: integración de los principios de economía circular en la construcción (reutilización de materiales, minimización de residuos) y conocimiento de los criterios ESG (ambientales, sociales y de buen gobierno) que cada vez más influyen en la valoración de activos inmobiliarios. El máster incorpora contenidos específicos sobre taxonomía verde europea, ESG y economía circular en la edificación, dotando al estudiante de herramientas para diseñar con materiales sostenibles, gestionar residuos de obra y cumplir estándares internacionales de sostenibilidad corporativa.

Como se aprecia, esta formación especializada no se limita a lo técnico-constructivo, sino que cubre campos como el marketing, las finanzas o la economía circular que tradicionalmente están fuera del currículo de un arquitecto. Esta amplitud temática responde a la realidad de que la sostenibilidad en construcción es un objetivo multidimensional: tan importante es proyectar bien un edificio eficiente, como saber comunicar su valor, conseguir los recursos para materializarlo y garantizar que será rentable y beneficioso a largo plazo. El resultado es un profesional versátil, capaz de dialogar con ingenieros, economistas, comerciales y autoridades, y de impulsar proyectos integrales que marquen diferencias positivas en el sector.

Es importante mencionar que los resultados concretos relacionados con la calidad, satisfacción de los agentes implicados, empleabilidad y satisfacción de los egresados serán evaluados una vez que el máster esté completamente implantado.

3. Impacto esperado en el sector de la construcción

La implantación de programas como este máster de Nebrija tiene un **impacto muy significativo en el sector de la construcción sostenible**. En primer lugar, contribuye a subsanar la brecha de especialistas disponibles (Acaroglu, Leyla. 2023; Barnard, Lucy. 2023): cada promoción de egresados suma nuevos profesionales altamente capacitados para atender la demanda actual y futura de proyectos verdes. Dado que organismos internacionales y gobiernos están exigiendo estándares medioambientales más estrictos en edificaciones (por ejemplo, edificaciones de consumo casi nulo, uso de materiales con baja huella de carbono, certificaciones ambientales, etc.), las empresas constructoras e inmobiliarias **necesitan incorporar perfiles con esta experticia**. Los titulados de este máster podrán asumir roles de **consultores ambientales, jefes**

de proyecto sostenible o gestores de innovación dentro de firmas de arquitectura e ingeniería, aportando esa visión integral que combina diseño y gestión.

En segundo lugar, se espera que estos profesionales actúen como **agentes de cambio** dentro del sector. Gracias a su formación transversal, estarán en posición de **integrar consideraciones de sostenibilidad en cada etapa** de la construcción: desde la planificación urbanística hasta la gestión post-ocupación. Podrán traducir criterios técnicos de sostenibilidad a un lenguaje comprensible para clientes, promotores e inversores, facilitando la toma de decisiones informadas. De hecho, el programa enfatiza que el egresado podrá *“desenvolverse con soltura... pudiendo hablar un ‘idioma’ adaptado a su clientela objetiva, sin obviar la especialización técnica necesaria”* (Universidad Nebrija, 2024). Esto significa que sabrá justificar ante un cliente por qué invertir en ciertas soluciones sostenibles es beneficioso no solo para el medio ambiente sino también para su bolsillo (por ahorro energético, mayor valor del activo, mejora de imagen corporativa, etc.). Esta capacidad de **comunicación eficaz entre lo técnico y lo comercial** es crucial para vencer reticencias y lograr que más promotores apuesten por la construcción sostenible.

Asimismo, la presencia de profesionales formados en economía circular y gestión ambiental dentro de los equipos proyectuales permitirá **acelerar la adopción de prácticas innovadoras**. Por ejemplo, podrán implementar evaluaciones de ciclo de vida en proyectos, introducir materiales reciclados o basados en bioeconomía, diseñar estrategias de reducción de emisiones de carbono en obra, o aplicar estándares **ESG** en la gestión de portafolios inmobiliarios. En conjunto, el **impacto esperado** es la elevación del estándar general de la construcción: obras más eficientes, saludables y respetuosas con el entorno, concebidas y dirigidas por expertos que entienden tanto de arquitectura como de sostenibilidad en todas sus facetas.

Finalmente, cabe destacar el **efecto tractor** que la formación especializada puede tener: estos nuevos expertos no solo ejecutarán proyectos sostenibles, sino que también difundirán conocimientos y sensibilizarán a colegas y clientes. Al participar en foros como el Congreso *Construir en Clave Sostenible 2025*, darán visibilidad a las ventajas y posibilidades de una edificación responsable, inspirando a otros profesionales a actualizarse. Así, la influencia de un máster como el de Nebrija trasciende a sus propios alumnos, contribuyendo a crear una **cultura sectorial** más comprometida con los objetivos climáticos y sociales actuales.

4. Conclusiones finales

La formación especializada en sostenibilidad arquitectónica, como la ofrecida por la Universidad Nebrija, resulta imprescindible para afrontar los desafíos actuales y futuros del sector. La visión integral y multidisciplinar de este máster permite formar profesionales capacitados para gestionar proyectos sostenibles desde una perspectiva económica, ambiental y social. Al trascender los aspectos puramente técnicos, este enfoque impulsa la innovación, facilitando la incorporación de principios de economía circular, marketing sostenible y rentabilidad inmobiliaria. En definitiva, una formación holística en arquitectura sostenible genera profesionales capaces de liderar la transformación del sector hacia un modelo constructivo más responsable y consciente con las necesidades sociales y ambientales actuales.

5. Referencias

- Archdaily. (2024). *SOSTENIBILIDAD Y CIRCULARIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN: LA CRECIENTE DEMANDA DE PROFESIONALES CUALIFICADOS*. <https://www.archdaily.cl/cl/1020857/sostenibilidad-y-circularidad-en-la-construccion-la-creciente-demanda-de-profesionales-cualificados>
- Acaroglu, Leyla. (2023). Closing the Corporate Sustainability Skills Gap. *Medium* <https://medium.com/disruptive-design/closing-the-corporate-sustainability-skills-gap-c8fe1dfe7469>
- Barnard, Lucy. (2023). Going green: The rise of sustainability qualifications in construction. *Construction Briefing* https://www.constructionbriefing.com/news/going-green-the-rise-of-sustainability-qualifications-in-construction/8028474.article?utm_source=chatgpt.com&zephrosott=i1RHa8
- Boletín Oficial del Estado BOE. (2024). *PLAN DE ESTUDIOS CONDUCENTE AL TÍTULO DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN SOSTENIBILIDAD ARQUITECTÓNICA: DISEÑO Y GESTIÓN*. <https://www.boe.es/boe/dias/2024/10/18/pdfs/BOE-A-2024-21398.pdf>

- Comisión Europea. (2019). *EL PACTO VERDE EUROPEO*. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es
- Grant Elizabeth J. (2020). Mainstreaming environmental education for architects: the need of basic. *Buildings & Cities* <https://journal-buildingscities.org/articles/10.5334/bc.41>
- McKinsey&Company. (2016). *THE CIRCULAR ECONOMY: MOVING FROM THEORY TO PRACTICE*. <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/sustainability/our%20insights/the%20circular%20economy%20moving%20from%20theory%20to%20practice/the%20circular%20economy%20moving%20from%20theory%20to%20practice.pdf>
- Saint-Gobain. (2025). *SUSTAINABLE CONSTRUCTION BAROMETER*. <https://www.saint-gobain.com/sites/saint-gobain.com/files/media/document/OBS-Sustainable-Construction-Barometer-2025.pdf>
- Universidad Nebrija. (2024). *MÁSTER UNIVERSITARIO EN SOSTENIBILIDAD ARQUITECTÓNICA: DISEÑO Y GESTIÓN*. <https://www.nebrija.com/programas-postgrado/master/proyectos-arquitectura-sostenible/>



La rehabilitación del patrimonio rural como estrategia de inclusión social y regeneración del territorio a través de la convocatoria de un concurso de arquitectura y posterior encargo para estudiantes y recién graduados

El caso de Erre de Muro en Puente Viesgo, Cantabria

LA REHABILITACIÓN Y REGENERACIÓN COMO INSTRUMENTOS PARA LOS NUEVOS PARADIGMAS SOCIALES

Víctor Blanco García¹, Beatriz Salido Fortuna², Lucía Santos Buceta³

¹ Arquitecto y socio fundador de Pico Tres Estudio, victor.blanco@picotresestudio.com

² Arquitecta y socia fundadora de Pico Tres Estudio, beatriz.salido@picotresestudio.com

³ Arquitecta y socia fundadora de Pico Tres Estudio, lucia.santos@picotresestudio.com

Resumen

Erre de Muro es el proyecto ganador de la tercera edición del concurso Arte Público organizado por la fundación EDP en colaboración con el municipio de Puente Viesgo, el Gobierno de Cantabria y la Colección de arte Los Bragales. El concurso está enfocado a estudiantes de último curso y recién graduados, promoviendo el talento joven y sus nuevas visiones. Se trata de una propuesta que busca convertir la Casona-Palacio de los Bustillo y Ceballos de Vargas en un centro de arte y cohesión social con un enfoque integrador, una intención dinamizadora y una visión sostenible. Desde el proceso de ideación hasta la propuesta arquitectónica, se trata de un ejemplo de buenas prácticas de regeneración del territorio a través de la rehabilitación del patrimonio rural como estrategia de inclusión social.

Palabras clave: rehabilitación del patrimonio; participación ciudadana; espacio público; identidad rural; arquitectura sostenible

Abstract

Erre de Muro is the winning project of the third edition of the Public Art competition, organized by the EDP Foundation in collaboration with the municipality of Puente Viesgo, the Government of Cantabria, and the Los Bragales Art Collection. The competition is aimed at final-year students and recent graduates, promoting young talent and their fresh perspectives. This proposal aims to transform the Palace of the Bustillo and Ceballos de Vargas family into a hub for art and social cohesion, with an integrative approach, dynamic intention, and sustainable vision. From the conceptualization to the architectural design, it serves as an example of best practices in territorial regeneration through the rehabilitation of rural heritage as a strategy for social inclusion.

Keywords: Heritage rehabilitation; citizen participation; public space; rural identity; sustainable architecture

1. Arte Público, un instrumento de inclusión social

Erre de Muro es un proyecto de rehabilitación del patrimonio rural y regeneración del territorio de Vega de Pas, desarrollado en el marco de la tercera edición del concurso Arte Público, una iniciativa de la Fundación EDP junto con el municipio de Puente Viesgo, el Gobierno de Cantabria y la Colección de arte Los Bragales.

1.1. La iniciativa

Arte Público es un programa innovador, creado e impulsado por la Fundación EDP, que promueve la transformación del espacio público en poblaciones rurales, a través del urbanismo y el desarrollo territorial sostenible. La iniciativa fomenta la inclusión social y el desarrollo local a través del arte, el diseño y la arquitectura, construyendo espacios públicos innovadores que contribuyen a la generación de riqueza y valor compartido, capaces de fijar población frente al Reto Demográfico. De esta forma, el programa no solo pretende dotar de mejores instalaciones a los territorios, sino también crear en ellos un contexto integrador que fomente la participación de la comunidad local. (Fundación EDP, 2024).

Es un ejemplo de colaboración público-privada, que va más allá de la financiación, con las diferentes partes trabajando de manera conjunta durante todas las fases del proyecto.

En una primera fase, la Fundación EDP organiza una colaboración con un Ayuntamiento del medio rural que propone la intervención en un solar o edificio con el fin de implementar un proyecto integrador, donde la participación ciudadana es fundamental. En la segunda fase, la Fundación EDP presenta a concurso dicha intervención, enfocado a estudiantes de último año y recién graduados. Tras la elección del proyecto ganador, el Ayuntamiento pone en marcha el desarrollo del proyecto y su ejecución, junto con el equipo autor. Ejemplo de este programa es la Central Artística de Bueño, y su propuesta ganadora en la edición Arte Público 2020.

Diferentes medios han reconocido tanto la iniciativa de Arte público como el proyecto Erre de Muro por su impacto y su calidad social, innovadora y arquitectónica (Calero, 2025, Lafraya, 2024; Ordiz, 2024; Tectónica, 2024).

1.2. El concurso

El objetivo de esta iniciativa es la recuperación de una parcela en la población rural de Vargas en la que existe actualmente una casona de interés patrimonial en estado de abandono: el Palacio de Los Bustillo y Ceballos. Se trata de transformar dicho espacio en un centro cultural distintivo y estimulante que funcione como punto catalizador territorial, que sirva de imán para visitantes y, al mismo tiempo, ofrezca una infraestructura accesible y conectada con la comunidad de Vargas (fig. 1).

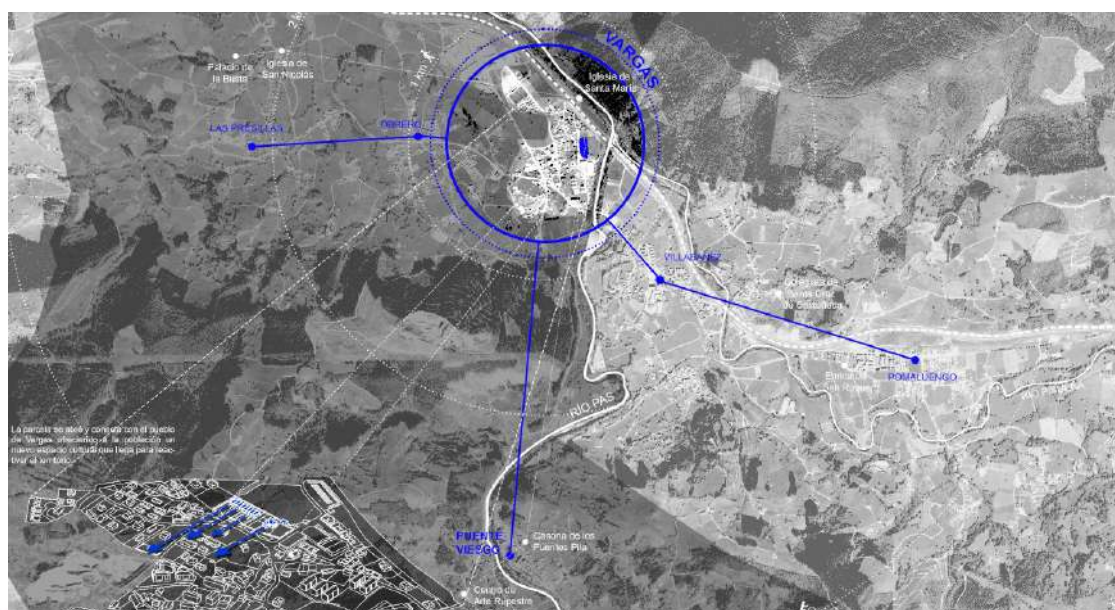


Figura 1. Plano de situación y axonometría de la población de Vargas. Fuente: Elaboración propia.



tamente
rado ha
el sector
el medio

llo de la
oncurso
lturales,
éfalo

1.3. Participación ciudadana

El proceso de participación ciudadana es una pieza clave en todas las fases de desarrollo de la iniciativa. En primer lugar, la Fundación EDP lleva a cabo un estudio detallado previo al concurso de arquitectura a través de cuatro grupos de interés -comunidad escolar, asociaciones culturales, personas mayores y agentes económicos-, con sesiones presenciales y otros métodos participativos accesibles, para generar un diálogo y entender el posicionamiento y las oportunidades de la ciudadanía con respecto al proyecto. El informe de resultados forma parte de las bases del concurso, y la participación continúa dando cabida a los habitantes de Puente Viesgo en las presentaciones de los proyectos finalistas y decisión del jurado, en el que también estaban representados. Además, la Fundación EDP junto con el Ayuntamiento de Puente Viesgo organizan sesiones con el equipo ganador para contar con la ciudadanía en las siguientes fases de desarrollo del proyecto. Por último, la ejecución de la obra incluirá una evaluación de impacto social con la **metodología SROI (Social Return on Investment)**, lo que permitirá medir su contribución al desarrollo a largo plazo.

2. Erre de muro, proyecto ganador de Arte Público

2.1. Concepto

El proceso de participación ciudadana descrito en el apartado anterior construye el programa del proyecto y desvela los puntos de la parcela de mayor interés para los habitantes de Vargas. El cierre perimetral de la finca es el elemento más destacado y el que más debate genera. Todos coinciden en su alto valor patrimonial, pero entran en conflicto a la hora de imaginar un futuro abierto y cerrado al mismo tiempo. La propuesta surge entonces de la necesidad de abrir la parcela para integrarla en la vida local y el deseo de conservar la identidad del muro.

El nuevo edificio, por tanto, se separa de las edificaciones existentes, pero continúa las trazas marcadas por la Casona, conservando su protagonismo en la parcela. Con el mismo objetivo, la nueva edificación se desarrolla en una discreta pieza longitudinal en planta baja (fig. 2).

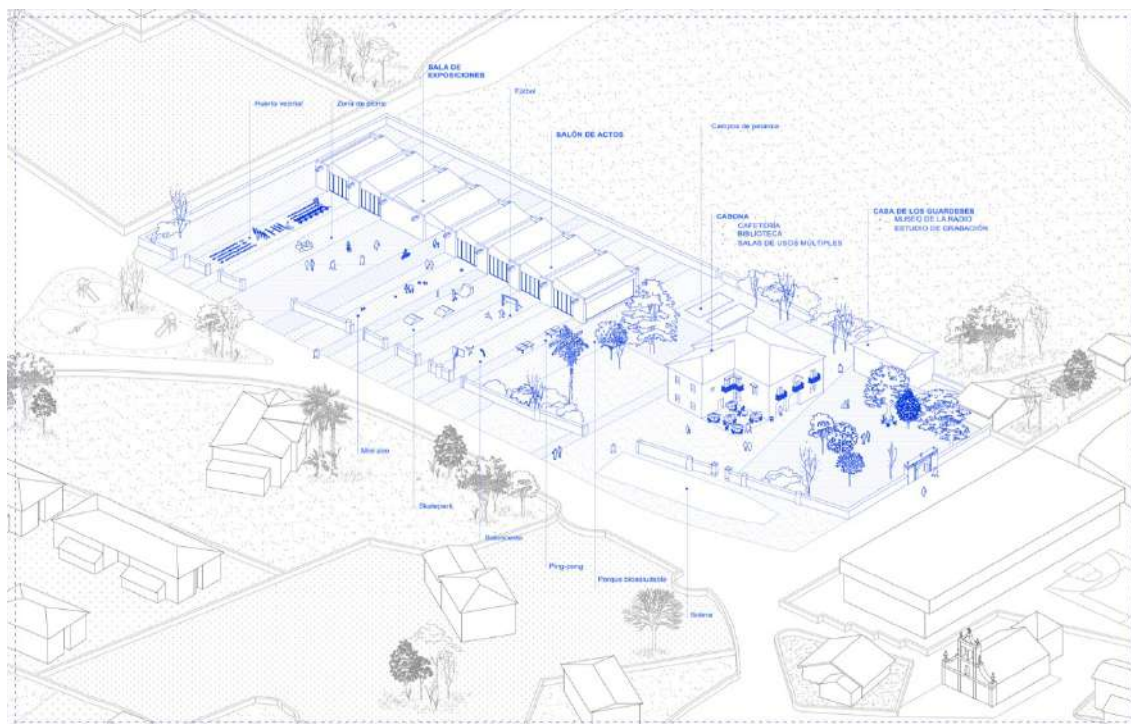


Figura 2. Axonometría del conjunto con intervenciones y programas. Fuente: Elaboración propia.

La estrategia es sencilla: recortar y recolocar. Se abren una serie de hendiduras en el cierre de la parcela que desdibujan el límite y conectan la parcela con el pueblo de Vargas. Entre esas aperturas se cuelan una serie de bandas que, a través del pavimento, dan respuesta a las voces de Vargas (fig. 3).

El “nuevo” edificio renace de los escombros. Las piedras que se retiran del muro se reutilizan para levantar la estructura de una pieza alargada y flexible que recoge el auditorio y la sala de exposiciones. La construcción tradicional se funde con técnicas contemporáneas para dar una imagen que aúna costumbre e innovación, pasado y futuro. El muro continúa en alzado; y el límite desdibujado de la parcela ensalza las piedras de un pueblo que cuenta en ellas su historia.



Figura 3. Infografía del espacio público organizado en franjas y el edificio de nueva planta. Fuente: Elaboración propia.

2.2. Programa

El programa principal se divide en tres edificaciones. El Palacio contiene la biblioteca en su planta superior y las salas de reunión en la parte inferior. También acoge la cafetería y su terraza, generando una pequeña plaza pública conectada con las edificaciones dotacionales de Vargas.

La Casa de los guardeses alberga el museo y el estudio de grabación de radio.

En el nuevo edificio se ubican el auditorio, el espacio expositivo y los espacios de gestión. Se resuelve con una pieza alargada flexible que sigue las trazas del Palacio y se divide siguiendo un sencillo esquema que aprovecha al máximo la superficie construida. Al norte encontramos el espacio museístico, ubicado en el extremo más tranquilo de la parcela, con vistas al entorno colindante. Al sur se ubica el auditorio con capacidad para 200 personas, con el Palacio como telón de fondo. Se aprovecha la pendiente del graderío para generar los camerinos bajo el escenario (fig. 4).



Figura 4. Maqueta del conjunto. Fuente: Elaboración propia.

Pero el uso de la parcela va más allá del programa edificado. Las sugerencias de los usuarios se escriben en los materiales del pavimento. Cada franja responde a un deseo. Y el trabajo de compilación de antojos se transforma en un parque en el que cada rincón es imprescindible.

2.3. Territorio

El Palacio de los Bustillo y Ceballos se encuentra rodeado de usos públicos (colegio, polideportivo, capilla y zonas verdes con juegos infantiles) constituyéndose como punto neurálgico de esta comunidad. Y, a una escala mayor, la Casona es un elemento incluido dentro del sistema del valle del Pas. Su implantación como centro cultural estimulará sinergias e impulsará la activación de este eje en el territorio.

El proyecto da una respuesta global a su entorno. La escala paisajística se resuelve con la materialidad del edificio, que combina el hormigón con la construcción tradicional de piedra. Además, la forma y apariencia de la cubierta refleja los tonos grises y azules del cielo y el verde de las montañas que le rodean. El respeto a las preexistencias construidas y vegetales, el planteamiento del jardín con zonas que recogen la fauna y la flora de la zona, y las estrategias sostenibles, favorecen también el reencuentro de la Casona con su paisaje.

2.4. Estrategias sostenibles

Desde su concepción, el proyecto tiene una ambición ecológica y respetuosa con el medio ambiente. En primer lugar, el elemento constructivo principal es la piedra reciclada del muro perimetral de la parcela con la que se levantan los muros portantes del nuevo edificio. El empleo de este material reduce la huella ecológica de la intervención. Además, se busca que todos los demás materiales como la madera de las vigas sean igualmente de producción próxima. (Fig.5)

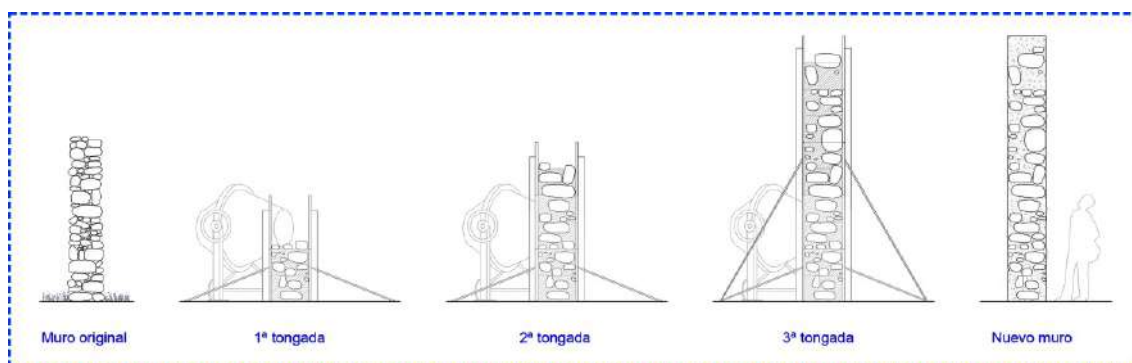


Figura 5. Sistema constructivo muros de hormigón ciclópeo. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se tienen en cuenta diversas estrategias de diseño pasivo que responden a las necesidades energéticas del edificio. El espesor de los muros garantiza una gran inercia térmica. Las cubiertas inclinadas vierten el agua de lluvia en los canalones que, a través de las gárgolas, vuelcan sobre una canalización enterrada que conduce el agua hasta un gran depósito. Con esta agua se alimenta el riego de los jardines, así como todos los inodoros de la parcela (fig. 6 y 7).

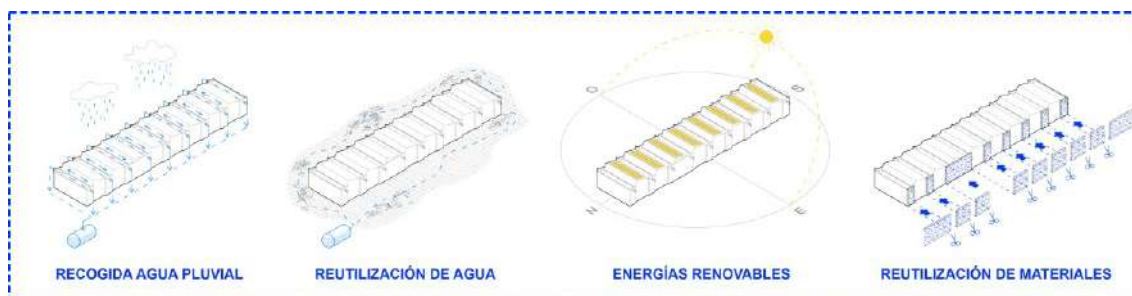


Figura 6. Estrategias de sostenibilidad integradas en el proyecto. Fuente: Elaboración propia.

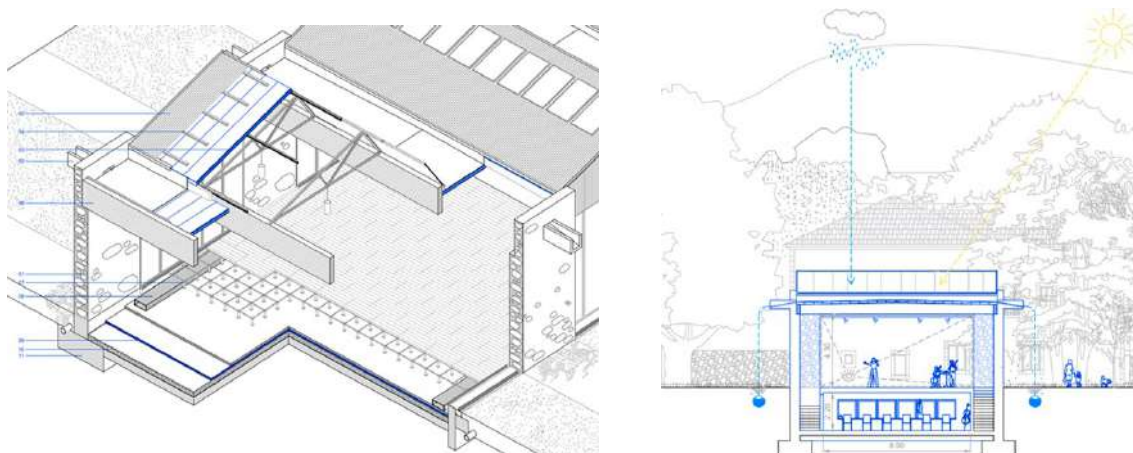


Figura 7. Detalles constructivos del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

La entrada de luz cenital, tan valiosa en la zona expositiva, se produce desde el norte, por lo que no solo se garantiza un aporte lumínico constante, sino que se evitan el sobrecalentamiento y efecto invernadero en los días más soleados. En la cara sur de las cubiertas se instalan placas solares fotovoltaicas que permiten aprovechar al máximo la energía solar (fig. 8).



Figura 8. Infografías del espacio expositivo flexible para la colección de arte Los Bragales y del salón de actos donde el telón de fondo es la Casona. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la rehabilitación de las edificaciones existentes, se decide realizar la mínima intervención que permita hacerlas habitables, manteniendo su identidad y carácter patrimonial. De esta manera, en la Casona y Casa de los Guardeses se respetan los muros de carga de mampostería, así como la escalera central de piedra, mientras que los elementos de tabiquería de fábrica, añadidos recientemente, se modifican para dar lugar a la nueva distribución.

3. Conclusiones

Iniciativas como Arte Público demuestran el poder de la colaboración público-privada: la Fundación EDP junto con el municipio de Puente Viesgo, el Gobierno de Cantabria y la Colección de arte Los Bragales. Este sistema permite que proyectos de impacto social se lleven a cabo más allá de las grandes ciudades y que los habitantes de zonas rurales tengan acceso directo a la cultura sin perder de vista el objetivo de la construcción sostenible.

Las encuestas a los ciudadanos fueron fundamentales para definir la idea del proyecto. Fueron sus peticiones las que ayudaron a organizar la parcela en franjas funcionales y la división de opiniones acerca del muro perimetral resultó clave e inspiró la concepción de Erre de Muro. Además, los vecinos pudieron ver las tres propuestas finalistas y debatir sobre ellas y ahora, antes de que comience la ejecución del proyecto, de nuevo podrán dar voz a sus ideas en una sesión de participación ciudadana. El nuevo centro cultural reflejará las necesidades y aspiraciones populares y el hecho de haber participado en el proceso habrá sentado las bases de un proyecto con alma, bien acogido y que quedará arraigado en la identidad cultural del pueblo.

4. Referencias

- Fundación EDP. (2024). *Arte público*. <https://www.fundacionedp.es/es/transicion-sostenible/arte-publico/>
- Calero, Juan Francisco. Innovaspain. (2025). *Erre de Muro: urbanismo sostenible, talento joven y participación ciudadana para hacer realidad sueños en la España rural*. <https://www.innovaspain.com/erre-de-muro-urbanismo-sostenible-talento-joven-y-participacion-ciudadana-para-hacer-realidad-suenos-en-la-espana-rural/>
- Lafraya, Conchi. La Vanguardia. (2024). *Tres Jóvenes arquitectos de Madrid remodelarán un palacio en Cantabria al imponerse ante 21 proyectos*. <https://www.lavanguardia.com/local/madrid/20241218/10213855/tres-jovenes-arquitectos-madrid-remodelaran-palacio-cantabria-imponerse-21-proyectos.amp.html>
- Ordiz Polo, Patricia. Ecoconstrucción. (2024). *Un Proyecto de tres recién graduados de las universidades politécnicas de Madrid y Sevilla, ganador del concurso "Arte Público" de la Fundación EDP*. <https://www.ecoconstruccion.net/noticias/un-proyecto-de-tres-recien-graduados-de-las-universidades-politecnicas-de-madrid-y-se-BVSO6>
- Tectónica (2024). *Proyecto ganador para la transformación de la Casona de Puente Viesgo por la Fundación EDP*. <https://tectonica.archi/articulos/proyecto-ganador-para-la-transformacion-de-la-casona-de-puente-de-viesgo-por-la-fundacion-edp/>

Cámaras Acústicas Ultrasónicas (CAUs) para mejorar la calidad de la construcción en el sector de la edificación

Uso y aplicación de medios digitales innovadores para la detección de infiltraciones de aire y pérdidas de energía en la envolvente construida

HERRAMIENTAS Y PROCESO PARA LA SOSTENIBILIDAD INTEGRAL: LA INDUSTRIALIZACIÓN Y LA DIGITALIZACIÓN

José Carlos González García¹, Mariana Pérez Abendaño², Encarnación Encinas del Amor³

¹ Arquitecto ETSAM | ARUP Building Envelope Designer, Arup, jose.gonzalez@arup.com

² Líder de Arup Acústica España | ARUP Acoustics, Arup, mariana.perez@arup.com

³ Ingeniera Acústica | ARUP Acoustics, Arup, encarni.encinas@arup.com

Resumen

La falta de hermeticidad del cerramiento exterior e interior es uno de los principales problemas de pérdida energética en edificios residenciales y comerciales, además de ser fuente de ruido y afectar la calidad del aire interior. El uso de cámaras acústicas se presenta como herramienta digital innovadora para mejorar la estanquidad de la envolvente construida. Arup ha investigado las ventajas del rango ultrasónico en comparación con otros dispositivos que operan en el rango audible y requieren cámaras más grandes y con mayor número de micrófonos. Se presentan los resultados derivados de la investigación en el uso de cámaras acústicas ultrasónicas en el entorno construido. El “paper” plantea un posible camino a futuro para continuar investigando sobre estos dispositivos y regularizando su normativa, con la intención de utilizar estas cámaras como complemento para la identificación efectiva de fugas dentro de la metodología del “Blower Door Test” según norma ISO 9972.

Palabras clave: Cámaras Acústicas Ultrasónicas; Detección de Infiltración de Aire; Pérdidas de Energía; Envolvente Construida; Construcción Sostenible.

Abstract

The lack of airtightness of the exterior and interior envelope is one of the main problems of energy loss in residential and commercial buildings, in addition to being a source of noise and affecting indoor air quality. The use of acoustic cameras is an innovative digital tool to improve the airtightness of the building envelope. Arup has investigated the advantages of the ultrasonic range compared to other devices that operate in the audible range and require bigger camera sizes with a larger number of microphones. The results derived from this research into the use of ultrasonic acoustic cameras in the built environment are presented. The paper proposes a possible future path to continue researching on these devices and its standardization, with the intention of using these devices as a complement for the effective identification of air leaks within the methodology of the “Blower Door Test” according to ISO 9972.

Key words: Ultrasonic Acoustic Cameras; Air Leak Detection; Energy Loss; Building Envelope; Sustainable Construction.

1. Introducción

Las cámaras acústicas forman parte de una nueva serie de herramientas digitales, desarrolladas en el siglo XXI, que supone un avance pionero para la localización visual de fuentes de sonido, generalmente planteadas en edificación exclusivamente en el rango audible como medio de caracterización y localización de fuentes sonoras. Estas nuevas herramientas digitales ofrecen una gran variedad de nuevas posibilidades para su aplicación en construcciones industrializadas y más allá del campo de la Acústica para la Edificación (“Building Acoustics”).

Arup ha investigado sobre las posibilidades del uso de cámaras acústicas en el rango de los ultrasonidos, como sistema de detección visual de los puntos de infiltración de aire y agua en las envolventes de los edificios. Esta metodología está siendo ya ampliamente aplicada para la identificación de fugas en tuberías con gases presurizados dentro de instalaciones industriales.

1.1. Taxonomía Europea

En el contexto de la construcción sostenible y eficiente, la hermeticidad de las envolventes de los edificios juega un papel esencial en la conservación de la energía y la calidad del ambiente interior.

Según el criterio 2 de la Taxonomía Europea para actividades de nueva construcción, en cuanto a lo que respecta a la mitigación del cambio climático: “Los edificios de más de 5000m2 tendrán que someterse a pruebas de hermeticidad e integridad térmica al finalizar la construcción, informando de cualquier desviación en los niveles de rendimiento establecidos en la etapa de diseño o de los defectos identificados en el cerramiento a los inversores y clientes.”

El ensayo de “Blower Door Test” es la prueba habitual para la cuantificación de permeabilidad al aire tanto de la envolvente como de recintos concretos. Sin embargo, la identificación de los puntos de mejora es una actividad generalmente complicada que requiere ensayos adicionales.

2. Objetivos

El objetivo de las mediciones era evaluar el uso potencial de las cámaras acústicas de ultrasonidos para detectar fugas en aplicaciones de edificios. Se han realizado mediciones acústicas en las oficinas de Arup Madrid y en un emplazamiento externo en diciembre de 2023.

Para la realización de las pruebas, se diseñaron dos procedimientos diferentes (Figura 1):

- **Protocolo 1:** Apantallamiento total del hueco de una puerta con una membrana.
- **Protocolo 2:** Apantallamiento de una junta abierta de umbral con la misma membrana.

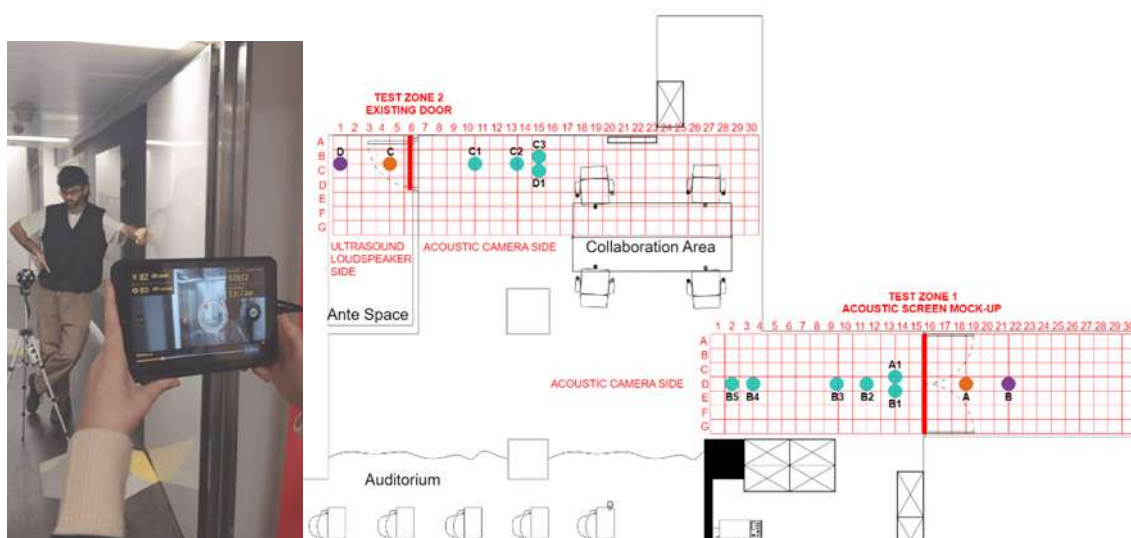


Figura 1. Detección de la fuente emisora con la cámara de ultrasonidos (izq.) y posiciones del emisor y receptor en las pruebas realizadas en las oficinas de Arup (der.). Fuente: Elaboración propia.

3. Metodología

Para el desarrollo de la metodología planteada y la realización de las siguientes pruebas, Arup ha contado con la colaboración de:

- **Prosaris**, “start-up” canadiense especializada en ultrasonidos para la detección de fugas en tuberías industriales. Prosaris compartió su modelo de cámara OL1 para la realización de estos ensayos.

El material de atenuación se utilizó de forma diferente en cada procedimiento:

- **Protocolo 1 – Apantallamiento total**, mediante su instalación en un marco ajustable sobre el hueco de una puerta en posición abierta.
- **Protocolo 2 – Apantallamiento parcial**, añadiendo una membrana que cubra el umbral de otra puerta, para comprobar si es posible detectar fugas al ir añadiendo perforaciones.

Se realizan primero las pruebas sobre las membranas instaladas sin daños, para posteriormente ir introduciendo perforaciones de distinto diámetro (primero con una aguja, luego con un punzón y finalmente con una tijera) con la intención de ver la facilidad de detección con la cámara acústica de Prosaris. Las mediciones consistieron en:

- Evaluar las posibles fugas existentes en el sistema de separación de cada procedimiento.
- Perforación de los sistemas para comprobar si se detectaban en diferentes condiciones controladas.
- Mediciones de ruido de fondo
- Evaluar la potencia sonora de fondo recibida por la cámara sin elemento separador.

Se identificaron tanto las posiciones del emisor como del receptor en el recinto emisor y receptor y se utilizaron los siguientes dispositivos para esta función (Figura 2):

- **En el recinto emisor:** Sonosphere L56, emisor esférico de ultrasonidos y Sonaphone T de Sonotec, que actúa generando la señal ultrasónica a 40kHz.
- **En el recinto receptor:** Mediante el uso de la cámara acústica Prosaris OL1, junto a su software asociado, como receptor de señal.

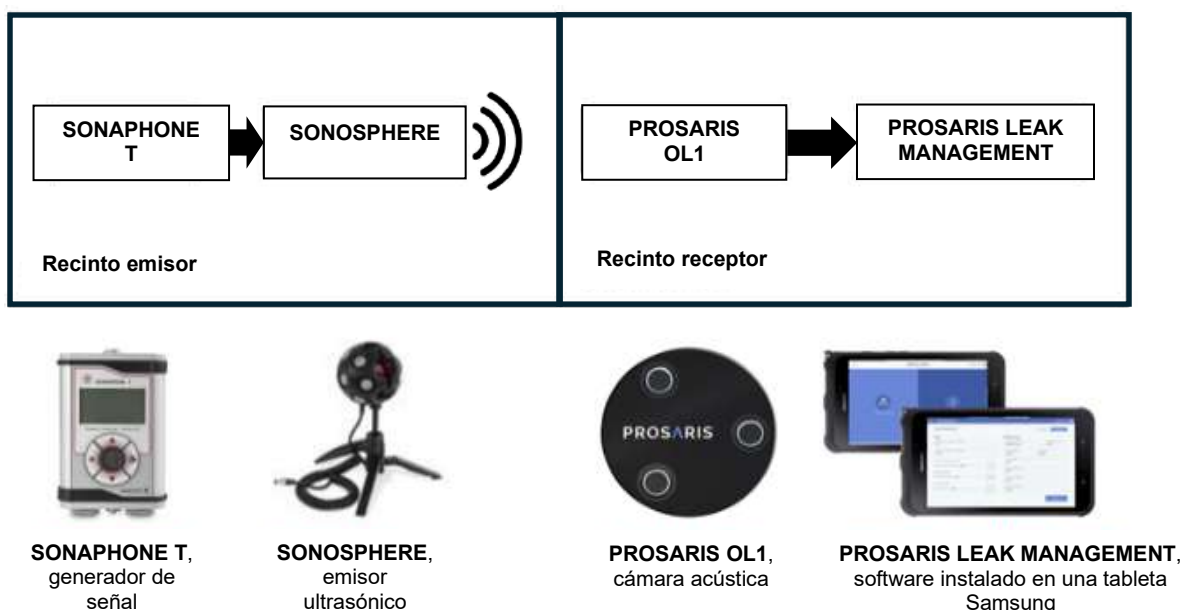


Figura 2. Dispositivos utilizados para la realización de las pruebas de detección de fugas. Fuente: "Elaboración propia".

Los tipos de medición establecidos en la metodología fueron los siguientes:

1. **Condiciones existentes:** medir el elemento de separación con la fuente encendida para encontrar posibles fugas iniciales.
2. **Detección de fugas:** perforando la membrana incorporada (según cada tipo de procedimiento) para averiguar si se detectan dichas fugas.
3. **Ruido de fondo:** medición ambiental con la fuente apagada.
4. **Potencia de la fuente:** medición de la emisión del nivel de presión sonora de la fuente, cuando no hay ningún elemento separador entre la fuente y la cámara.

4. Construcción de prototipos

Como parte del protocolo 1, se construyó sobre un marco ajustable una pantalla acústica con la membrana atenuante como medio de aislar el recinto emisor del receptor (Figura 3).



Figura 3. Montaje del apantallamiento total sobre el hueco de puerta abierta. Fuente: "Elaboración propia".

Para el protocolo 2, se instaló una banda de la misma membrana cubriendo el umbral interior con la puerta en su posición cerrada (Figura 4).

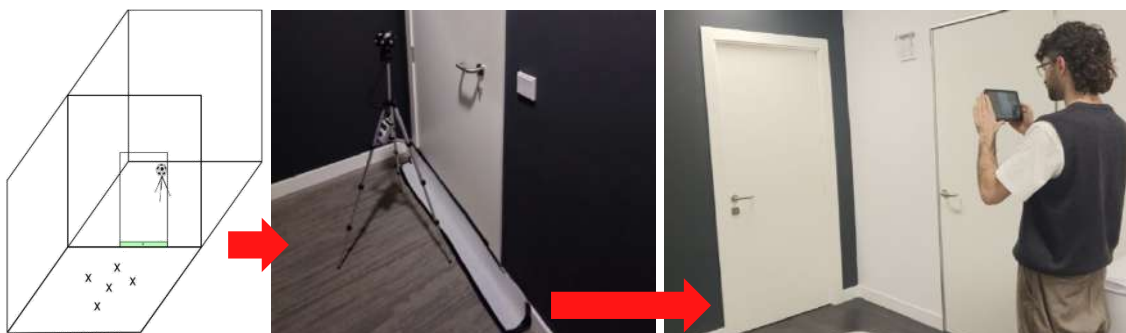


Figura 4. Montaje del apantallamiento parcial en el umbral con puerta cerrada. Fuente: "Elaboración propia".

5. Resultados

Las pruebas realizadas muestran que el uso de un altavoz de ultrasonidos con una señal de 40 kHz (sinusoidal) y una cámara acústica ajustada para la detección a este rango de frecuencia tiene potencial para la detección visual de fugas en aplicaciones de construcción. La cámara acústica ha sido capaz de aportar información visual y cuantitativa sobre la ubicación e intensidad de las fugas. El control sobre la estanquidad de las muestras se ha ejercido mediante las acciones correctivas iniciales y la posterior introducción controlada de daños sobre las membranas (conociendo, por tanto, de antemano el defecto que debería detectar la cámara). Durante las pruebas, es notable resaltar que la cámara fue capaz de detectar pequeños defectos en la instalación de la pantalla y en las juntas de la puerta. La relación entre la estanquidad de las muestras y las anomalías acústicas evaluadas ha sido principalmente cualitativa (detección sí/no), a pesar de que la cámara de Prosaris es capaz de aportar también muchos otros datos cuantitativos de referencia como el caudal que supone cada fuga en m^3/h o el coste asociado a la pérdida energética. Este valor de referencia ha permitido, a nuestro equipo técnico de trabajo, identificar con facilidad la magnitud de la fuga y documentar con precisión los pequeños fallos de

montaje iniciales, que inicialmente no estaba previsto. En cualquier caso, el objetivo del presente estudio no ha sido cuantificar con precisión las fugas sino valorar el potencial de las cámaras acústicas de ultrasonidos para la detección visual de defectos en la construcción. Los resultados de la detección interna de fugas muestran que:

- Alrededor del 90% de las mediciones aplicables fueron positivas. Se detectaron tanto defectos de montaje imprevistos (Figura 3) como los daños puntuales introducidos de forma controlada sobre la membrana.
- Alrededor del 10% (4 casos) de las mediciones aplicables fueron negativas. No se detectaron fugas porque el altavoz estaba ajustado a un nivel de potencia sonora bajo (<25dB) o apagado, o bien porque la perforación era pequeña (del tamaño de una aguja).



Figura 3. Detección visual de la señal de 40kHz, mostrándose el pico de frecuencia en la cámara acústica (izq.). La filtración de sonido detectada se debe a un resalte de la junta de goma pre-existente, que genera una discontinuidad que impide el cierre hermético de la puerta del Protocolo 2. Fuente: Elaboración propia.

En el 16,67% del número total de mediciones (Figura 4) la evaluación de fugas no era aplicable (N/A) ya que se midieron también los parámetros de ruido de fondo y potencia de la fuente. Los defectos de montaje y los daños provocados se detectaron fácilmente con las siguientes excepciones. No se detectaron fugas con el altavoz ajustado a los niveles de potencia sonora más bajos (< a 25dB), directamente apagado o con perforaciones del tamaño de una aguja.

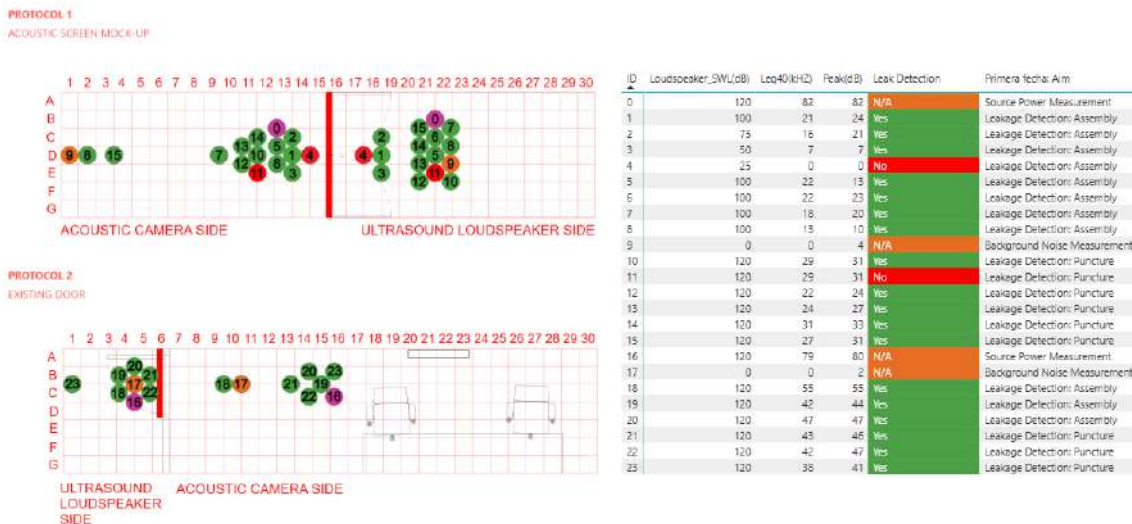


Figura 4. Diagrama de resultados para ambos protocolos de ensayo. En verde: Detección de fugas (por defectos de montaje o perforaciones/daños provocados en la membrana). En naranja: mediciones no aplicables a fugas. En rojo: Daños no detectados. Fuente: Elaboración propia.

El uso de la cámara acústica ha permitido evidenciar de forma visual aquellas zonas por las que se producía el paso de la señal autogenerada a 40kHz dentro del recinto emisor, tanto a través de las perforaciones realizadas con este propósito como de aquellos errores de montaje iniciales. Aunque ha sido posible detectar, con éxito, las fugas en los conjuntos sometidos a prueba, es necesario seguir investigando y recopilando datos acústicos para llegar a mejores conclusiones en diferentes entornos.

6. Discusión

El uso de cámaras acústicas, como herramienta digital, facilita la visualización del sonido. La interpretación y cuantificación de los datos es más sencilla y directa en comparación con los métodos analógicos. Es una tecnología de reciente aparición que está expandiéndose con rapidez para muy diversas aplicaciones, aún a falta de esfuerzos por su estandarización. Las cámaras acústicas hacen uso del “beamforming” como técnica que permite enfocar la detección de sonido en una dirección específica, mejorando la precisión y la calidad de la detección. En este contexto, se utilizan modelos de regresión para analizar y predecir la relación entre las características del sonido detectado y la ubicación de la fuente de sonido. Esto va más allá de una correlación, ya que implica la creación de modelos que pueden hacer predicciones con datos. El sonido recorre predominantemente los mismos caminos que el aire en el método de presurización por ventilador o ensayo de “Blower Door Test”. Es esperable que, como parte de la presurización del recinto, se generen ultrasonidos a determinadas frecuencias a través de los puntos de fuga que serían fácilmente detectables a través de “beamforming” con cámaras acústicas de ultrasonido. En la actualidad, varias empresas de nueva creación y compañías de cámaras acústicas están desarrollando métodos alternativos para la identificación de fugas en la envolvente del edificio, principalmente mediante la detección de sonido audible, es decir, obviando las frecuencias ultrasónicas que comienzan por encima de los 20kHz. En este sentido, el Centro Aeroespacial Alemán o «Deutsches Zenter für Luft» (DLR) está llevando a cabo un interesante trabajo de investigación. Asimismo, es relevante el trabajo reciente sobre este campo de las universidades, como la de Vrije en Bélgica, con publicaciones recientes de tesis doctorales.

7. Conclusión

Los resultados positivos, en las pruebas realizadas, indican que el uso de cámaras acústicas de ultrasonidos debería investigarse en más detalle. Se plantea aquí un posible uso como método de prueba complementario a los típicos ensayos de presurización de “Blower Door Test”. Este tipo de tecnología puede contribuir en la labor de identificación y corrección de fugas en edificios de nueva construcción, según requerido por la Taxonomía Europea, o en edificios existentes. El uso del ultrasonido introduce ventajas adicionales frente a cámaras acústicas de rango audible:

- **Procesamiento en tiempo real y resultados en directo:** Estudios más rápidos.
- **Número reducido de micrófonos:** Las frecuencias más bajas (audibles o infrasónicas) requieren un gran número de micrófonos) para la formación de haces.
- **Dispositivo más económico:** Número reducido de micrófonos, que optimiza el coste.
- **Niveles de potencia sonora emitidos más elevados:** Sin protección hasta 110 dB.
- **Es posible realizar pruebas con ocupantes:** El emisor ultrasónico no es audible.
- **Interferencia mínima con el ruido:** Utilizable en entornos extremadamente ruidosos.
- **Dispositivo compacto:** Tamaño de bolsillo y ligereza.
- **Mejor distinción de las fuentes sonoras:** Las bajas frecuencia son difíciles de diferenciar frente a los ultrasonidos. Si se aumenta el rango dinámico (DNR), se crean artefactos o imágenes fantasma, que son perturbaciones en la imagen acústica.

8. Referencias

European Commission (2021). *Commission Delegated Regulation (EU) 2021/2800 supplementing Regulation (EU) 2020/852 by establishing the technical screening criteria:* <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/852/oj/eng>

Prosaris (2024): Smart Solutions Catalogue: Let's build a smart sustainable future: <https://irp.cdn-website.com/53c5df41/files/uploaded/Prosaris-Smart-Solutions-Catalogue.pdf>

Björn, A., Pernpeintner, J., Diel M. & Kölsch, B. (2024, June 26) *Locating air leakages in building envelopes – Acoustic camera and lock-in thermography air leak detection*. 27. Kölner Sonnenkolloquium, Jülich. <https://elib.dlr.de/206356/>

Vandendriessche, J. (2024) Towards smart acoustic cameras for simultaneous sound localization and recognition [Master's thesis, Vrije Universiteit Brussel]. https://cris.vub.be/ws/portalfiles/portal/113060933/Vandendriessche_Jurgen_thesis.pdf

Estudio de variables críticas en la síntesis hidrotermal de nuevos materiales de construcción más sostenibles

LA DESCARBONIZACIÓN Y LA ECONOMÍA CIRCULAR PARA UNA GESTIÓN EFICIENTE DE LOS RECURSOS NATURALES

Noelia Cotón¹, Alice K. M. Morita², Jacinto Alonso-Azcárate³, José Manuel Moreno-Maroto⁴

¹ PhD, Técnico de investigación, noelia.coton@uam.es

² PhD, Investigadora postdoctoral, alice.martins@uam.es

³ PhD, Catedrático de Universidad, jacinto.alonso@uclm.es

⁴ PhD, Profesor Ayudante Doctor, josemanuel.moreno@uam.es

Resumen

En este trabajo se presenta un estudio llevado a cabo con caolín tratado hidrotermalmente bajo diferentes condiciones, investigando el tamaño de reactor, la relación líquido/sólido, el efecto del lavado de las muestras tras el tratamiento hidrotermal y la posterior temperatura de secado. Se ha estudiado cómo influyen estas condiciones en las principales propiedades tecnológicas de los materiales obtenidos. Los resultados indican que se han obtenido áridos ligeros que muestran mejoras en la resistencia mecánica con respecto a anteriores estudios y además la capacidad de zeolitización se mantiene o es incluso superior en algunas muestras. Son resultados prometedores que pueden servir como base a otros estudios con diferentes tipos de arcillas para su eventual uso en el sector de la construcción.

Palabras clave: zeolitas; tratamiento hidrotermal; caolín; áridos ligeros; materiales de construcción.

Abstract

This paper presents a study conducted with kaolin treated hydrothermally under different conditions, investigating reactor size, the liquid/solid ratio, the effect of washing the samples after hydrothermal treatment, and the subsequent drying temperature. The study explores how these conditions affect the main technological properties of the obtained materials. The results indicate that lightweight aggregates have been produced, showing improvements in mechanical strength compared to previous studies, and furthermore, the zeolitization capacity is maintained or even superior in some samples. These are promising results that could serve as a basis for further studies with different types of clays for their eventual application in the construction sector.

Key words: zeolites; hydrothermal treatment; kaolin; light-weight aggregates; construction materials.

1. Introducción

El desarrollo de materiales avanzados está en continuo crecimiento en la Unión Europea, pero es muy importante, además, que se inviertan esfuerzos en lograr que los materiales avanzados sean sostenibles. Para el sector de la construcción esto cobra un sentido incluso mayor, ya que ambientalmente aún está lejos de ser eficiente, debido a la cantidad de residuos que genera, el enorme consumo de agua y energía, así como la emisión de gases nocivos para el medio ambiente (AMI2030, 2022; European Comision, 2020). Concretamente, la industria de la cerámica es una de las que más impactos negativos genera (Tibrewal *et al.*, 2023), por lo que es vital buscar alternativas en la producción para mejorar los procesos de fabricación, especialmente en lo referente al consumo de energía ya que estos procesos implican en su mayoría temperaturas por encima de 1200 °C (Vinai y Soutsos, 2019). Se han propuesto ya varias mejoras que incluyen procesos tecnológicos de materias primas ricas en aluminosilicatos sometidas a más bajas temperaturas y activación alcalina, así como el desarrollo de compuestos de geopolímeros y zeolitas (Rozek *et al.*, 2019). Las zeolitas son minerales microporosos de gran interés industrial, ya que poseen un alto poder de intercambio iónico y capacidades adsorbentes y descontaminantes, propiedades que no poseen los materiales de construcción convencionales.

Recientemente, Moreno-Maroto y Alonso-Azcárate, 2024 han desarrollado un método a partir del cual se desarrollan áridos ligeros que contienen zeolitas mediante el tratamiento hidrotermal de arcillas, el cual se podría adaptar con relativa facilidad a la industria cerámica. Mediante este método no sólo se obtienen materiales ligeros con resistencia mecánica elevada, sino también con capacidad de absorción y descontaminación, gracias a las propiedades propias de las zeolitas desarrolladas en la estructura.

El presente estudio pretende explorar y mejorar los resultados obtenidos por Moreno-Maroto y Alonso-Azcárate, 2024, quienes explican un método novedoso para la manufactura de materiales de construcción basándose en el tratamiento hidrotermal de especímenes granulados. En dicho artículo, los autores obtuvieron material con fases zeolitizadas entre 15% y 23%, para diversos tratamientos hidrotermales con muestras del mismo caolín cocidas a 600 °C. Además, reflejan valores de resistencia mecánica de entre 2.7 MPa y 6.3 MPa. En este estudio que presentamos, pretendemos alcanzar y, si es posible, superar dichos valores mediante la reducción de recursos como la cantidad de agua y el tiempo de los tratamientos.

2. Materiales y procedimiento experimental

El material arcilloso empleado en este estudio es el caolín, suministrado por Caobar (Taracena, España). Como ya se ha mencionado anteriormente, el principio de la metodología llevada a cabo es la que desarrollaron Moreno-Maroto y Alonso-Azcárate, 2024. Los resultados de granulometría, análisis químico y mineralogía del material de base se pueden consultar en dicho artículo. A la hora de diseñar este trabajo se ha propuesto estudiar cómo varía la resistencia mecánica, la densidad y la mineralogía de los materiales resultantes en función del tamaño del reactor empleado, de la relación líquido/sólido (L/S) aplicada durante el tratamiento hidrotermal, del posterior lavado o no de los áridos obtenidos tras el tratamiento hidrotermal y de la temperatura de secado.



Figura 1. Representación esquemática del proceso de elaboración de los materiales de este trabajo. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 1 se muestra un esquema del proceso de fabricación de los materiales que se han empleado en este estudio. Se han mezclado unos 200 g de caolín con un 33% de agua destilada, correspondiente a su humedad óptima (Moreno-Maroto y Alonso-Azcárate, 2024) de tal forma que se pudiese moldear fácilmente la arcilla con el objetivo de fabricar manualmente unos gránulos esféricos, en este caso, con diámetro medio de 9.50 ± 0.60 mm. Una vez obtenidos los

gránulos, se secaron en estufa a 105 °C durante 24 h y, una vez secos, se calcinaron en una mufla SNOL 30/1300 a 600 °C durante 1 hora. Una vez calcinados los áridos, se procedió a realizar los tratamientos hidrotermales. En todos los casos se han empleado aproximadamente 20 g de áridos. Se introdujeron en unos frascos ISO de vidrio borosilicato con tapón de PP de la marca DURAN que hicieron la función de reactores y se añadió a cada uno, en función de la relación L/S deseada, la cantidad correspondiente de NaOH 4M (2, 4, 8 y 12 ml/g). Todos los tratamientos hidrotermales se han realizado en una estufa a 90 °C durante 24 h. Después del tratamiento hidrotermal, se retiró el sobrenadante de la disolución de NaOH y posteriormente (sólo para las muestras deseadas) se lavaron con agua destilada hasta obtener pH neutro. Finalmente, se secaron durante 24 h, estudiándose las siguientes temperaturas de secado: 60, 90, 105 y 120 °C.

La resistencia mecánica (S) se ha medido con una prensa Nannetti FM 96. Antes de proceder a su rotura, y para asegurar la validez de los resultados, se han medido los diámetros de 10 áridos con un calibre en su posición de equilibrio y a continuación se han colocado en la misma posición entre los platos de la prensa para su rotura. El resultado obtenido se ha calculado como el promedio de los 10 ensayos a través de la Ec. (1) (Moreno-Maroto *et al.*, 2017, Yashima *et al.*, 1987, Li *et al.*, 2000 y Moreno-Maroto *et al.*, 2019):

$$S = (2.8 \cdot F_c) / (\pi \cdot d^2) \quad (1)$$

En donde F_c es la fuerza de rotura, en Newtons (N) y d es el tamaño de la diagonal a través de la que se ejerce la fuerza durante el ensayo de rotura, en mm.

La mineralogía se ha determinado mediante un estudio cuantitativo de Difracción de Rayos X (DRX) con Refinamiento Rietveld para verificar las distintas fases de los materiales resultantes. El equipo y software empleados fueron un difractómetro PANalytical X'Pert Pro y PANalytical X'Pert HighScore Plus, respectivamente.

Para el cálculo de la densidad (ρ) de los áridos, se ha tomado como referencia el estándar EN-1097-6 (European Committee for Standardization, 2013). Para ello se ha empleado un picnómetro de agua y se han obtenido los valores de las densidades según la siguiente ecuación (2):

$$\rho = \rho_w \cdot M_4 / [M_1 - (M_2 - M_3)] \quad (2)$$

En donde M_1 es la masa de los áridos saturados de agua con la superficie seca, M_2 es la masa del picnómetro más los áridos saturados de agua después de 24 h de inmersión, M_3 es la masa del picnómetro lleno de agua, M_4 es la masa de los áridos completamente secos (todas las masas expresadas en g) y ρ_w es la densidad del agua a temperatura ambiente (23 ± 3 °C), en g/cm³.

3. Resultados y discusión

En la Figura 2 se muestran los resultados de los ensayos de resistencia mecánica en función del tamaño del reactor (a) y de si los áridos han sido lavados o no después del tratamiento hidrotermal (b). Se puede observar en la Figura 2a que, para relaciones L/S de 2 y 4 ml/g, la resistencia mecánica del material es ligeramente mayor para los tratamientos hidrotermales que han sido llevados a cabo en los frascos de 500 ml. En la Figura 2b se puede observar el comportamiento de la resistencia mecánica de las muestras tratadas hidrotermalmente en frascos de 250 ml en función de si éstas han sido lavadas o no después del tratamiento hidrotermal para una relación L/S = 8 ml/g. Se observa que, con independencia de la temperatura de secado, las muestras no lavadas presentan mejores resistencias al aplastamiento. Por otro lado, en líneas generales, la resistencia mecánica aumenta conforme lo hace la temperatura en las muestras lavadas, no existiendo una tendencia clara cuando no se hace el lavado.

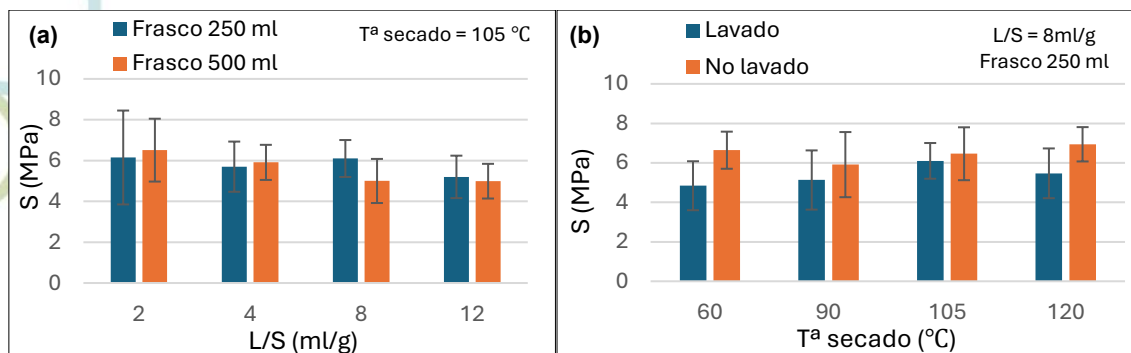


Figura 2. (a) Resistencia mecánica en función de la relación L/S para los dos tamaños de reactores estudiados y una temperatura de secado de 105 °C. (b) Resistencia mecánica en función de la temperatura de secado para las muestras lavadas hasta pH neutro y para aquellas que no han sido lavadas para una relación L/S = 8 ml/g. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1 se pueden ver los resultados de tamaño, resistencia mecánica y densidad de las muestras. El código asignado a cada muestra se interpreta de la siguiente manera: las cifras anteriores a la primera letra se corresponden con la relación L/S, la letra “S” (*small*) corresponde al frasco de 250 ml, mientras que la letra “B” (*big*) corresponde al frasco de 500 ml, la siguiente cifra se corresponde con la temperatura de secado y, por último, la letra “W” quiere decir que la muestra fue lavada hasta pH neutro (si el nombre no tiene “W”, se corresponde con una muestra sin lavar después del tratamiento hidrotermal). Las condiciones que se han estudiado en este trabajo (tamaño de reactor, relación L/S, temperatura de secado y lavado o no de las muestras) muestran una clara mejoría en los valores de resistencia mecánica con respecto a los resultados obtenidos por Moreno-Maroto y Alonso-Azcárate, 2024. En ese estudio, los autores obtuvieron valores de resistencia mecánica entre 2.74 y 6.34 MPa para muestras sin aditivos, mientras que en nuestro estudio los valores están entre 4.84 y 6.94 MPa.

Tabla 1. Tamaño, resistencia mecánica y densidad de los áridos obtenidos. El dato de ρ del caolín calcinado se muestra a modo de comparación (* extraído de Moreno-Maroto y Alonso-Azcárate, 2024). Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Diámetro (mm)	S (MPa)	ρ (g/cm ³)
Caolín 600 °C	8.53 ± 0.50	0.53 ± 0.09	1.48*
2S105W	8.87 ± 0.97	6.15 ± 2.30	1.70
2B105W	8.78 ± 0.93	6.51 ± 1.54	1.67
4S105W	8.63 ± 0.79	5.70 ± 1.23	1.73
4B105W	8.78 ± 0.36	5.91 ± 0.86	1.72
8S105W	8.83 ± 0.57	6.10 ± 0.91	1.71
8B105W	8.61 ± 0.79	5.00 ± 1.08	1.71
12S105W	9.03 ± 0.85	5.20 ± 1.04	1.69
12B105W	8.87 ± 0.48	4.99 ± 0.85	1.69
8S60	8.78 ± 0.56	6.64 ± 0.94	1.77
8S60W	8.94 ± 0.65	4.84 ± 1.24	1.75
8S90	8.91 ± 0.68	5.91 ± 1.65	1.74
8S90W	9.07 ± 0.77	5.13 ± 1.50	1.70
8S105	8.51 ± 0.69	6.46 ± 1.34	1.71
8S120	8.52 ± 0.62	6.94 ± 0.87	1.70
8S120W	8.65 ± 0.73	5.47 ± 1.26	1.68

En la Figura 3 se observan los datos del estudio mineralógico, obtenidos mediante DRX con Refinamiento Rietveld de las fases mineralógicas presentes en las muestras. Se puede observar que en todos los tratamientos hidrotermales se ha favorecido la formación de zeolitas (especialmente zeolita A), presentando entre 17.5-22.6% de zeolitización, valores que son del orden o un poco superiores a los ya obtenidos por Moreno-Maroto *et al.* en las muestras sin aditivos Moreno-Maroto y Alonso-Azcárate, 2024.

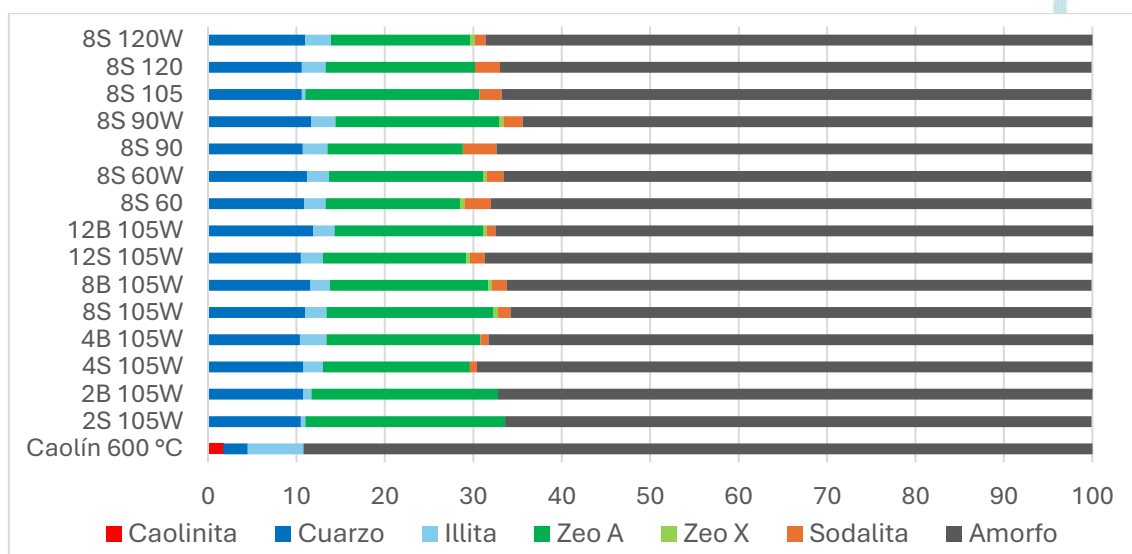


Figura 3. Composición mineralógica de los materiales obtenidos. Se incluyen los datos del caolín calcinado a 600 °C a modo de comparación (datos extraídos de Moreno-Maroto y Alonso-Azcárate, 2024) Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la densidad que se muestran en la Tabla 1 indican que las muestras cumplen con el criterio de densidad para *áridos ligeros*, ya que el valor para todas está por debajo de los 2,0 g/cm³ que establece la norma para su catalogación como tales (European Committee for Standardization, 2002). Este resultado es otro indicativo de la potencial aplicación de las muestras de este trabajo en el ámbito de la construcción.

4. Conclusiones

Se ha estudiado la influencia de varias condiciones durante el tratamiento hidrotermal alcalino de gránulos de caolín calcinados a baja temperatura. Se observa que la resistencia mecánica de los áridos ligeros resultantes aumenta con respecto a trabajos previos realizados en el mismo material (Moreno-Maroto y Alonso-Azcárate, 2024): se obtienen valores entre 5.91 y 6.94 MPa en muestras sin lavar después del tratamiento hidrotermal. Son especialmente relevantes los resultados de ensayos hechos con una relación L/S = 2 ml/g, ya que se obtienen valores superiores a 6 MPa. Esto implica condiciones favorables de sostenibilidad y ahorro de recursos ya que, por una parte, sería innecesario lavar las muestras, con la consecuente reducción de gasto de agua y, por otra parte, se ahorraría en la cantidad de NaOH empleada. Además, el hecho de que la capacidad de zeolitización de las muestras sea alta, también es un valor añadido ya que potencia el uso de estos áridos como descontaminantes. Por tanto, la resistencia mecánica elevada y el poder de zeolitización, hacen que estos áridos puedan tener cabida en el sector de la construcción, a lo que habría que añadir la eficiencia energética en su fabricación (temperaturas de fabricación mucho más bajas de las habituales).

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido llevado a cabo con la financiación de los proyectos de investigación: (1) ¿Y si la Zeolitización es la solución? Desarrollando un método Eficiente para abordar la Urgente necesidad de materiales de construcción Sostenibles (ZEUS), ref.: PID2023-146912OA-I00 financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER, UE y (2) el proyecto denominado “Hydrothermal Synthesis of Sustainable Advanced Materials from Construction and Demolition Wastes (HydroMat)” con ref. SI4/PJI/2024-00154, financiado por la Comunidad de Madrid a través del convenio-subservención directa para el fomento y la promoción de la investigación y la transferencia de tecnología en la Universidad Autónoma de Madrid. También se agradece a todo el equipo de investigación que participa de los proyectos mencionados.

6. Referencias

- AMI2030 (2022). Materials 2030 Roadmap. Advanced Materials Initiative 2030. December 2022. https://www.ami2030.eu/wp-content/uploads/2022/12/2022-12-09_Materials_2030_RoadMap_VF4.pdf.
- European Commission (2020) 98 Final. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: A new Circular Economy Action Plan for a Cleaner and more Competitive Europe. Brussels, 11/03/2020. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0017.02/DOC_1&format=PDF.
- European Committee for Standardization (2002). EN 13055-1, 2002. Lightweight aggregates. Part 1: Lightweight aggregates for concrete, mortar and grout, *European Committee for Standardization*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0028813>
- European Committee for Standardization (2013). EN 1097-6:2013: Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 6: Determination of particle density and water absorption. *European Committee for Standardization*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0052839>.
- Li, Y., Wu, D., Zhang, J., Chang, L., Fang, Z., & Shi, Y. (2000) Measurement and statistics of single pellet mechanical strength of differently shaped catalysts, *Powder Technol.*, 113 (1-2), 176–184. [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(00\)00231-X](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(00)00231-X).
- Moreno-Maroto, J.M., & Alonso-Azcárate, J. (2024). Hydrothermal zeolitization: Towards a paradigm shift for producing stronger and more sustainable construction materials. *Construction and Building Materials*, 427, 136269. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136269>.
- Moreno-Maroto, J.M., González-Corrochano, B., Alonso-Azcárate, J., Martínez García, C. (2019) A study on the valorization of a metallic ore mining tailing and its combination with polymeric wastes for lightweight aggregates production. *J. Clean. Prod.* 212, 997–1007. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.057>.
- Moreno-Maroto, J.M., González-Corrochano, B., Alonso-Azcárate, J., Rodríguez, L., & Acosta, A. (2017). Development of lightweight aggregates from stone cutting sludge, plastic wastes and sepiolite rejections for agricultural and environmental purposes. *J. Environ. Manag.*, 200, 229–242. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.085>.
- Rozeq, P., Krol, M., & Mozgawa, W. (2019). Geopolymer-zeolite composites: A review. *J. Clean. Prod.* 230, 557–579, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.152>.
- Tibrewal, K., Venkataraman, C., Phuleria, H., *et al.* (2023). Reconciliation of energy use disparities in brick production in India, *Nature Sustainability*, 6, 1248–1257. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01165-x>.
- Vinai, R., & Soutsos, M. (2019). Production of sodium silicate powder from waste glass cullet for alkali activation of alternative binders, *Cement and Concrete Research*, 116, 45–56, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.11.008>.
- Yashima, S., Kanda, Y., & Sano, S. (1987). Relationship between particle size and fracture energy or impact velocity required to fracture as estimated from single particle crushing. *Powder Technol.* 51, 277–282. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(87\)80030-X](https://doi.org/10.1016/0032-5910(87)80030-X).

Síntesis de Materiales Avanzados Sostenibles a partir de Residuos de Construcción y Demolición

LA DESCARBONIZACIÓN Y LA ECONOMÍA CIRCULAR PARA UNA GESTIÓN EFICIENTE DE LOS RECURSOS NATURALES

Alice Kimie Martins Morita¹, Noelia Cotón², Jacinto Alonso-Azcárate³, José Manuel Moreno-Maroto⁴

¹ PhD, Investigadora posdoctoral, alice.martins@uam.es

² PhD, Técnico de laboratorio, noelia.coton@uam.es

³ PhD, Catedrático de Universidad, jacinto.alonso@uclm.es

⁴ PhD, Profesor Ayudante Doctor, josemanuel.moreno@uam.es

Resumen

La incorporación de residuos como materias primas y el uso de tecnologías que reduzcan los gastos energéticos son estrategias que permiten una mejor gestión de los recursos naturales. Una posibilidad de incorporar esas estrategias en la construcción sostenible es mediante la adopción del proceso de zeolitización de mezclas de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) y caolín. Dicho proceso se basa en el tratamiento hidrotermal alcalino de gránulos esféricos, previamente calcinados a bajas temperaturas (600 °C). En el presente trabajo, se evaluó la aplicación de dicho proceso mediante el estudio de diferentes mezclas de caolín y RCD (0 - 100%) y concentraciones de soluciones de NaOH (2, 4 y 6 M). Los resultados indicaron que es posible incorporar RCD en la fabricación de materiales de construcción, los cuales presentaron, además de mejoras tecnológicas, beneficios en cuanto al ahorro energético y material, contribuyendo para la gestión eficiente de los recursos naturales.

Palabras clave: zeolitización; caolín; tratamiento hidrotermal; economía circular

Abstract

Using waste as raw materials and adopting technologies that reduce energy consumption are strategies that permit better managing natural resources. One possibility to incorporate such strategies in the sustainable construction is to adopt the zeolitization process of mixtures of Construction and Demolition Waste (CDW) and kaolin. This process is based on the alkaline hydrothermal treatment of spherical granules, previously fired at low temperatures (600 °C). In the present work, different mixtures of kaolin and CDW (0 - 100%) and NaOH solution concentrations (2, 4 and 6 M) were studied.. The results indicated that it is possible to incorporate CDW in the production of construction materials, which present better technological properties and advantages regarding energetic and material economy, contributing to an efficient management of natural resources.

Key words: zeolitization; kaolin; hydrothermal treatment; circular economy.

1. Introducción

El sector de la construcción es responsable por aproximadamente el 50% de las materias primas extraídas, el 30% del consumo de agua, el 35% de los residuos generados (>800 Mt/año), el 40% del consumo de energía y el 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero en la Unión Europea (UE) (AMI2030, 2022; European Commission, 2020). Estos números indican la necesidad de mejorar los procesos de producción de materiales de construcción, así como promover la circularidad del principal flujo de residuos en la UE: los residuos de construcción y demolición (RCD).

En este sentido, el desarrollo de materiales avanzados sostenibles (MAS) busca incorporar mejoras significativas desde una perspectiva tecnológica, ambiental, económica y social en las etapas de diseño, fabricación y rendimiento de los productos (Samani et al., 2015). Considerando la etapa de fabricación, diferentes métodos ya han sido propuestos, incluyendo el uso de bajas temperaturas, la activación alcalina y la geopolimerización a partir de materias primas ricas en aluminosilicatos (Davidovits, 1982; 2008). Algunas variantes de geopolímeros que están atrayendo interés en los últimos años son los llamados composites de geopolímero y zeolita (GZC) [(Rozek et al., 2019)

Las zeolitas incluyen una familia de diferentes minerales microporosos de interés industrial por su alta porosidad, capacidad de intercambio iónico y propiedades adsorbentes, que pueden sintetizarse artificialmente mediante tratamiento hidrotermal sobre materias primas ricas en aluminosilicatos (Akhtar et al., 2014). Así, la presencia de zeolita en los GZCs confiere al material capacidad adsorbente y descontaminante, representando una mejora tecnológica frente a los materiales de construcción habituales.

Considerando lo mencionado, una línea de investigación que se está desarrollando actualmente para el desarrollo de MAS es la zeolitización de especímenes macroscópicos calcinados a bajas temperaturas, utilizando tratamiento hidrotermal y materias primas como caolín y residuos plásticos (Moreno-Maroto and Alonzo-Azcárate, 2024; Moreno-Maroto et al., 2024). Con el proceso desarrollado (Fig. 1), es posible obtener un alto grado de zeolitización (20% a 80%) y un aumento significativo en la resistencia mecánica de los materiales.

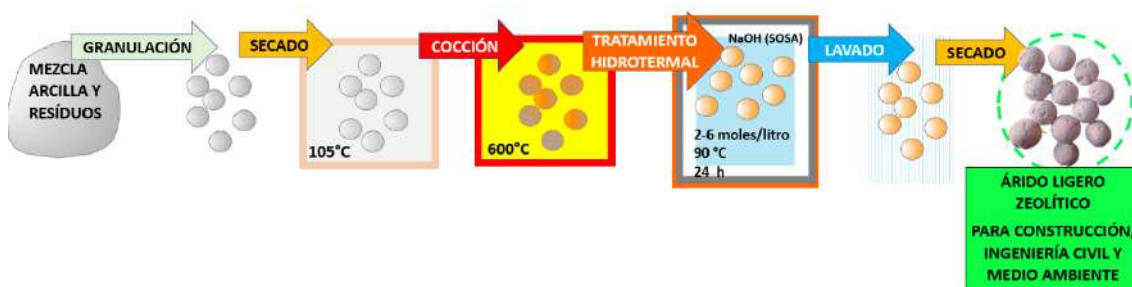


Figura 1. Detalle de las etapas del proceso de zeolitización utilizando tratamiento hidrotermal. Fuente: elaboración propia.

El presente estudio está orientado a profundizar esta línea de investigación, buscando evaluar el empleo de RCD en la fabricación de materiales estructurales mediante la zeolitización hidrotermal de muestras macroscópicas calcinadas a baja temperatura. Los RCD estudiados son aquellos ya separados en plantas de reciclaje de este tipo de residuos, no siendo necesaria cualquier etapa posterior de tratamiento y gestión. En este sentido, se propone abordar el desarrollo de MAS centrándose en: (1) reducir significativamente el consumo energético en la producción, (2) favorecer la circularidad mediante la aplicación de RCD en las formulaciones, y (3) obtener un material avanzado para la construcción sostenible, accesible y de bajo coste.

2. Metodología

2.1. Materias primas

Se utilizaron dos materias primas para la fabricación de los materiales: caolín y árido mixto de residuos de construcción y demolición (RCD). El caolín fue suministrado por Caobar, S.A. (Taracena, España). Sus parámetros de tamaño de partícula según resultados de difracción láser (equipo Coulter® LSTM 230) son: tamaño medio de partícula = 8,3 µm; d10 = 0,3 µm; d90 = 18,2 µm. La mineralogía del caolín según determinación cuantitativa por Difracción de Rayos X (DRX) con refinamiento Rietveld es: caolinita = 84,9%; illita = 2,5%; cuarzo = 2,6%.

La muestra de RCD mixto fue suministrada por la empresa Acciona, procedente de la planta de reciclaje de residuos de construcción Santa Quiteria, ubicada en Barcelona (España). Tras molienda en molino de bolas, la muestra presentaba los siguientes parámetros granulométricos: tamaño medio de partícula = 26,18 µm; d10 = 2,2 µm y d90 = 185,9 µm. Su mineralogía siguiendo la misma técnica anterior es: amorfo = 29,1%; calcita = 23,4%; cuarzo = 17,9%; arcillas = 16,4%; plagioclasa = 9,7%; feldespato alcalino = 2,2%; dolomita = 0,9%; yeso = 0,4%.

2.2. Granulación, calcinado y tratamiento hidrotermal

En una **primera etapa**, se prepararon cinco formulaciones (mezclas homogéneas) en seco: a) 100% caolín (RCD0); b) 25% RCD + 75% caolín (RCD25); c) 50% RCD + 50% caolín (RCD50); d) 75% RCD + 25% caolín (RCD75); e) 100% RCD (RCD100). Se tomó una porción de cada mezcla y se determinó el límite plástico (LP) (ASTM, 2017). , a partir del cual se determinó el contenido óptimo de humedad (W_{OP}) para la granulación posterior como $W_{OP} = LP \times 1,234$ (Moreno-Maroto et al., 2017) . De acuerdo con los resultados del W_{OP} , los diferentes porcentajes de CDW en las mezclas con caolín no afectaron significativamente la cantidad de agua a añadir, permaneciendo alrededor de 32%.

A partir de la masa húmeda se formaron manualmente gránulos esféricos de ~ 10 mm de diámetro. Se secaron en horno durante 24 horas a 105 °C y luego se calcinaron en una mufla durante 1 hora a 600 °C.

Para el tratamiento hidrotermal, considerando una relación líquido/sólido de L/S = 8 mL/g, se introdujeron alrededor de 20 g de las muestras cocidas en un reactor de acero con vaso de teflón y se cubrieron con aproximadamente 160 mL de solución de NaOH 4 M. Cada reactor, debidamente cerrado, se colocó en una estufa a 90°C durante 24 horas. Posteriormente, se eliminó el sobrenadante básico, y el material resultante se lavó repetidamente con agua destilada hasta pH neutro, eliminando nuevamente el sobrenadante. Finalmente, las muestras se secaron en una estufa a 105°C.

En una **segunda etapa**, se repitió la preparación de los gránulos considerando la formulación que maximizaba la producción de zeolitas (37,9% de RCD y 62,1% de caolín), y se evaluó el uso de diferentes concentraciones de NaOH para el tratamiento hidrotermal: 2, 4 y 6 M. Todos los procedimientos de preparación, tratamiento hidrotermal, lavado y secado de gránulos se mantuvieron iguales a aquellos adoptados en la primera etapa.

2.3. Caracterización de los materiales obtenidos

Se determinó la resistencia al aplastamiento y la composición mineralógica cuantitativa por DRX-Rietveld en los gránulos antes y después del tratamiento hidrotermal.

La resistencia al aplastamiento (S) de los gránulos se determinó mediante carga vertical sobre especímenes individuales utilizando una prensa Nannetti® FM 96. Cada gránulo se midió diametralmente con un calibre en su posición de equilibrio y luego se colocó sobre el plato inferior de la prensa, de manera que por desplazamiento vertical se aplastara contra el plato superior, registrándose la carga de rotura. La prueba se realizó sobre 10 especímenes de cada formulación, siendo el resultado final el promedio de los obtenidos según la Eq.1:

$$S = (2,8 \cdot F_c) / (\pi \cdot d^2) \quad (\text{Eq.1})$$

donde: F_c es la fuerza de rotura, en N; d es la dimensión de la diagonal del espécimen sobre la que se aplica la carga verticalmente, en mm.

Considerando los 10 especímenes analizados, los resultados se evaluaron estadísticamente según la prueba t de Student y el análisis de varianza (ANOVA).

La mineralogía del caolín y de las muestras se ha determinado cuantitativamente mediante DRX con refinamiento Rietveld sobre muestras en polvo. Para ello, una fracción representativa de las muestras se molió previamente por debajo de 53 μm en un mortero de ágata. El equipo y las condiciones utilizadas fueron: difractómetro PANalytical® modelo X'Pert Pro; 45 kV, 40 mA, radiación CuK α y un sistema de rendijas (soller – máscara – divergencia – antidispersión) de 0,04 rad – 10 mm – 1/8° – 1/2°, con un detector Xcelerator y módulo Bragg-Brentano HD.

3. Resultados y discusión

En la **primera etapa**, considerando que se buscó maximizar la generación de zeolitas en las formulaciones, los resultados indicaron que la mejor mezcla debería presentar entre 25 (RCD25 4M) y 50% de RCD (RCD50 4M) (Tabla 1).

Tabla 1. Producción de zeolitas y resistencia mecánica de las diferentes formulaciones estudiadas. Fuente: Elaboración propia.

ID	% RCD	[NaOH] (mol/L)	Σ zeolita (%)	Resistencia mecánica (MPa)
RCD0 4M	0	6	12,9	5,44 $\pm$ 1,33
RCD25 4M	25	6	18,7	4,29 $\pm$ 1,62
RCD50 4M	50	6	18,7	4,65 $\pm$ 1,19
RCD75 4M	75	6	8,5	3,63 $\pm$ 1,32
RCD100 4M	100	6	0	1,88 $\pm$ 1,13
RCD37.9 6M	37,9	6	21	4,24 $\pm$ 1,91
RCD37.9 4M	37,9	4	22,7	3,65 $\pm$ 0,95
RCD37.9 2M	37,9	2	17,1	3,35 $\pm$ 0,76

Un ajuste polinomial de los datos de la primera etapa indicó que el punto de máxima producción de zeolitas se podría obtener para una formulación que contiene 37,9% de RCD. Además, se observó que la adición de porcentajes superiores a 60% de RCD permite producir cantidades similares de zeolitas a aquellas formulaciones conteniendo solo caolín (RCD0 4M).

Se destaca que los gránulos que no se sometieron al tratamiento hidrotermal no presentaron producción de zeolitas y sus resistencias mecánicas fueron inferiores a 0,48 $\pm$ 0,09 MPa. Esto demuestra que el tratamiento hidrotermal aumenta significativamente la resistencia de los gránulos y permite la zeolitización.

Respecto a la **segunda etapa**, primeramente, se validó la maximización en la producción de zeolitas para la formulación conteniendo 37,9% de RCD (Tabla 1, RCD37.9 4M). Adicionalmente, se observó que la mayor producción de zeolitas ocurrió para el tratamiento utilizando NaOH 4 M, en comparación con concentraciones mayores o menores (6 o 2 M).

Por otro lado, se verificó una reducción en los promedios de los valores de resistencia mecánica cuando se incorporaron diferentes proporciones de RCD en las formulaciones, así como cuando se redujo la concentración de la solución de NaOH empleada (Tabla 1). Sin embargo, los resultados de resistencia mecánica observados, en todos los casos, fueron superiores a aquellos obtenidos por el árido ligero comercial Argex AR 4/10 – 550 (Moreno-Maroto et al., 2019).

Consecuentemente, se concluye que es posible reutilizar RCD en formulaciones para la producción de MAS mediante la zeolitización, favoreciendo la producción de zeolitas cuando se adicionan 37,9% de estos residuos en mezclas con caolín. Aunque se haya observado una reducción en la resistencia mecánica cuando se comparan formulaciones conteniendo RCD con aquellas producidas apenas con caolín, los valores aún son superiores a aquellos obtenidos por materiales convencionales, y la incorporación de materiales reciclados torna el material producido más sostenible.

Respecto a los cambios mineralógicos que se produjeron durante la cocción y el tratamiento hidrotermal (Figura 2), se observa que dicho tratamiento ha causado la disminución de la fase amorfa a favor de la cristalización de minerales del grupo de las zeolitas, especialmente zeolita A. La cristalización de dichas fases puede suponer una importante ventaja tecnológica, ya que las zeolitas (y específicamente la zeolita A), presentan alta capacidad adsorbente y catalítica, entre otras. Con ello, el material obtenido podría emplearse por ejemplo como árido ligero con capacidad descontaminante.

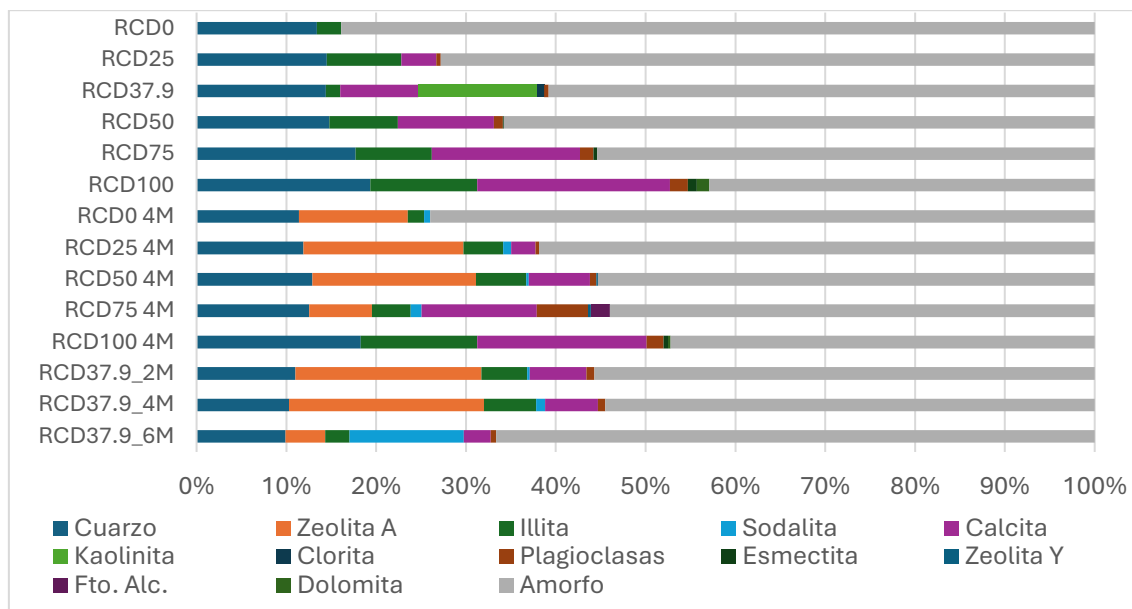


Figura 2. Composición mineralógica de las formulaciones estudiadas. Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusión

El presente estudio presentó un método sostenible e innovador para producir Materiales Avanzados Sostenibles (MAS), basado en el método de zeolitización hidrotermal recientemente publicado por Moreno-Maroto and Alonzo-Azcárate (2024)., en este caso investigando mezclas con un RCD mixto. Las principales conclusiones se resumen en que: (a) es posible incorporar RCD en la producción de MAS, maximizándose la cristalización de zeolitas cuando se emplean mezclas con 37,9% de RCD; (b) la reducción en la concentración de la solución de NaOH adoptada en el tratamiento hidrotermal no parece afectar significativamente la resistencia mecánica de los especímenes; (c) el proceso de zeolitización propuesto permite ahorro energético, mediante el uso de temperaturas más bajas que las usuales, y promueve la economía circular, a través de la incorporación de RCD; (d) los materiales desarrollados presentan propiedades tecnológicas superiores comparadas con los materiales convencionales, además de ser más sostenibles, circulares y de bajo coste. Así, la adopción del método propuesto es una alternativa prometedora para incorporar RCD en la producción de nuevos materiales de construcción.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido llevado a cabo con la financiación de: (1) el proyecto denominado "Hydrothermal Synthesis of Sustainable Advanced Materials from Construction and Demolition Wastes (HydroMat)" con ref. SI4/PJI/2024-00154, financiado por la Comunidad de Madrid a través del convenio-subservención directa para el fomento y la promoción de la investigación y la transferencia de tecnología en la Universidad Autónoma de Madrid; (2) el proyecto "¿Y si la Zeolitización es la solución? Desarrollando un método Eficiente para abordar la Urgente necesidad de materiales de construcción Sostenibles" (ZEUS), ref.: PID2023-146912OA-I00 financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER, UE. Los ensayos se han desarrollado con el apoyo de las estudiantes del Máster en Gestión de Residuos y Aguas Residuales para la Recuperación de Recursos de la Universidad Autónoma de Madrid: Karen Fernández Vargas y Aury Jennifer Afonso Espinoza. También se agradece a todo el equipo de investigación que participa de los proyectos mencionados.

6. Referencias

- Akhtar, F., Andersson, L., Ogunwumi, S., Hedin, N., Bergström, L. (2014) Structuring adsorbents and catalysts by processing of porous powders, *Journal of the European Ceramic Society* 34(7), 1643-1666, <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2014.01.008>.
- AMI2030 (2022) *Materials 2030 Roadmap*. Advanced Materials Initiative 2030. December 2022. https://www.ami2030.eu/wp-content/uploads/2022/12/2022-12-09_Materials_2030_RoadMap_VF4.pdf.
- ASTM (2017)., *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
- Davidovits, J. (1982). *Mineral Polymers and Methods of Making Them*, p. 6. United States; Patent no. 4.349.386, 1982.
- Davidovits, J. (2008). *Geopolymer: Chemistry and Applications*. June 2008, second ed. ISBN-13: 978-2951482012.
- European Commission, 2020. COM (2020) Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: A new Circular Economy Action Plan for a Cleaner and more Competitive Europe. Brussels, 11/03/2020. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0017.02/DOC_1&format=PDF.
- Moreno-Maroto, J.M. & Alonso-Azcárate, J. (2024). Hydrothermal zeolitization: Towards a paradigm shift for producing stronger and more sustainable construction materials, *Constr. Build. Mater.* 427, 136269. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136269>.
- Moreno-Maroto, J.M., Govea, J.M., Poza, P., Regadío, M., Cuevas, J., Ruiz, A.I., Fernández, R., Alonso-Azcárate, J. (2024) Hydrothermal Manufacture of Zeolitic Lightweight Aggregates from Clay and Marine Plastic Litter. *Applied Sciences*, 14(17):7674. <https://doi.org/10.3390/app14177674>
- Moreno-Maroto, J.M., González-Corrochano, B., Alonso-Azcárate, J., Martínez García, C. (2019) A study on the valorization of a metallic ore mining tailing and its combination with polymeric wastes for lightweight aggregates production, *Journal of Cleaner Production* 212, 997-1007, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.057>.
- Moreno-Maroto, J.M., Gonzalez-Corrochano, B., Alonso-Azcarate, J., Rodríguez, L., Acosta, A. (2017) Development of lightweight aggregates from stone cutting sludge, plastic wastes and sepiolite rejections for agricultural and environmental purposes, *J. Environ. Manag.* 200, 229–242, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.085>
- Rozek, P., Krol, M., Mozgawa, W. (2019) Geopolymer-zeolite composites: A review, *J. Clean. Prod.* 230, 557–579, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.152>.
- Samani, P., Mendes, A., Leal, V., Miranda Guedes, J., Correia, N (2015) A sustainability assessment of advanced materials for novel housing, *Build. Environ.* 92, 182–191, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.04.012>.

Entretroncos

Agua: de riesgo a recurso en la pequeña escala

LA DESCARBONIZACIÓN Y LA ECONOMÍA CIRCULAR PARA UNA GESTIÓN EFICIENTE DE LOS RECURSOS NATURALES

Marina Bernardo Vercher¹ y Isabel Señor Prats²

¹ Arquitecta. marina@versea.es

² Arquitecta. isabel@versea.es

Resumen

El proyecto *Entretroncos* surge de una iniciativa ciudadana en Valencia que integra aseos públicos sostenibles en el Jardín del Turia, un entorno histórico protegido. Su diseño modular se adapta a una zona inundable, permitiendo la circulación natural del agua sin generar obstáculos. A través de una envolvente permeable y materiales sostenibles (cerramientos de material de producción local compuesto por 50% de cáscara de arroz reciclada), los módulos garantizan la resiliencia frente a eventos climáticos extremos y que favorecen la recarga de acuíferos mediante sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS). Además, incorpora un sistema de recirculación de aguas grises que reduce significativamente el consumo de agua potable. El proyecto también prioriza la accesibilidad universal y la inclusión, eliminando categorías de género y asegurando espacios adaptados a diversas necesidades. Su diseño muestra que es posible integrar innovación, sostenibilidad, inclusión y eficiencia hídrica en infraestructuras públicas de pequeña escala.

Palabras clave: Gestión del agua; SUDS; resiliencia; inclusión; reciclaje.

Abstract

Entretroncos project is a citizen-led initiative in Valencia that integrates sustainable public restrooms into the Turia Garden, a protected historical site. Its modular design adapts to a flood-prone area, allowing natural water flow without creating obstacles. Through a permeable skin and sustainable materials (locally produced enclosures composed of 50% recycled rice husk), the modules ensure resilience against extreme weather events and promote aquifer recharge using sustainable urban drainage systems (SUDS). Additionally, the project includes a greywater recirculation system that significantly reduces potable water consumption. It also prioritizes universal accessibility and inclusion, eliminating gender-based categories and providing spaces adapted to diverse needs. Its design shows that innovation, sustainability, inclusion, and water efficiency can be successfully integrated into small-scale public infrastructure.

Keywords: Water management; SUDS; resilience; inclusion; recycle.

1. Introducción

El proyecto “Entretroncos” se plantea como caso práctico, y surge como una iniciativa ciudadana en los presupuestos participativos DECIDIMVLC de la ciudad de Valencia en 2018, con el objetivo de proporcionar servicios higiénicos públicos en el Jardín del Turia, un entorno histórico protegido como Bien de Interés Cultural (BIC) (Banyes Públicos en el Jardí del Túria, 2018). Los primeros cuatro módulos se finalizaron en 2020, y se prevé la construcción en 2025 de cuatro más, estando los proyectos ya presentados.

Los módulos se sitúan en el parque del antiguo cauce del río, por lo que la gestión del agua pluvial y fluvial recibida es un eje articulador del proyecto, configurando tanto su imagen como su funcionamiento. Su diseño de baja huella de carbono respeta el entorno natural, gestiona el agua recibida, y ofrece una solución sostenible y accesible para todos los usuarios.



Figuras 1 y 2. Aseos en los tramos VII y IV del Jardín del Turia. Fotografía: Germán Cabo.

Los edificios tienen como objetivo dialogar con el parque y sus sendas, permitiendo una continuidad entre el exterior y el interior donde se desdibujan los límites y el parque se introduce dentro del edificio (Figuras 1 y 2). La senda que da acceso a ellos los atraviesa, generando un recorrido a través del espacio abierto interior protegido por la celosía estructural que define el proyecto (Figura 3). La verticalidad de estos elementos y su acabado, mediante el empleo de un material basado en la cáscara de arroz, evoca los troncos de los árboles, y la permeabilidad al aire y al agua permite no perder nunca la referencia al parque que lo envuelve, manteniendo el vínculo con la luz natural, las fragancias y la brisa mediante una ventilación natural continua, y una visibilidad que mejora la seguridad especialmente para los colectivos vulnerables.

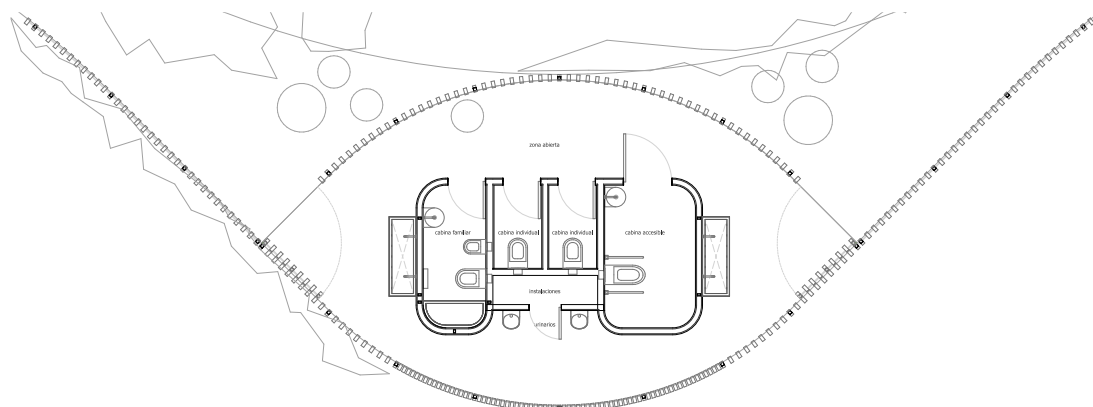


Figura 3. Planta de distribución de un módulo de aseos. Fuente: Elaboración propia.

2. El agua: de riesgo a recurso

2.1. Resiliencia y adaptabilidad al entorno

El Jardín del Turia es una zona inundable (parque fluvial), por lo que el diseño de los aseos considera la adaptabilidad a estos eventos mediante estrategias comprobadas. En episodios recientes de lluvias intensas, la estructura ha demostrado su eficacia permitiendo el paso del agua sin acumulaciones dañinas, manteniendo su funcionalidad y minimizando los efectos de las inundaciones en la infraestructura (Figura 4). La posición de los módulos es siempre en la dirección paralela a la corriente, y ligeramente elevada respecto al resto del jardín, para mejorar la circulación natural del agua.

La celosía estructural permeable de la envolvente abierta exterior permite la circulación de agua pluvial y fluvial por escorrentía sin oponer resistencia a la presión hidráulica, llegando a poder inundarse completamente, siendo materiales industrializados (acero galvanizado y *Ecofiber Stone Composite*) que permiten inmersión y secado rápido, sin quedar dañados ni en superficie, ni en estructura interna.

Las cabinas interiores están abiertas por arriba y por abajo, y tienen microaberturas entre lamas, minimizando la oposición al agua. Además, la geometría curva del perímetro facilita el empuje lateral del agua actuando como tajamar (Figura 5).



Figura 4. Aseos tras la DANA de octubre de 2024. Fuente: Elaboración propia.

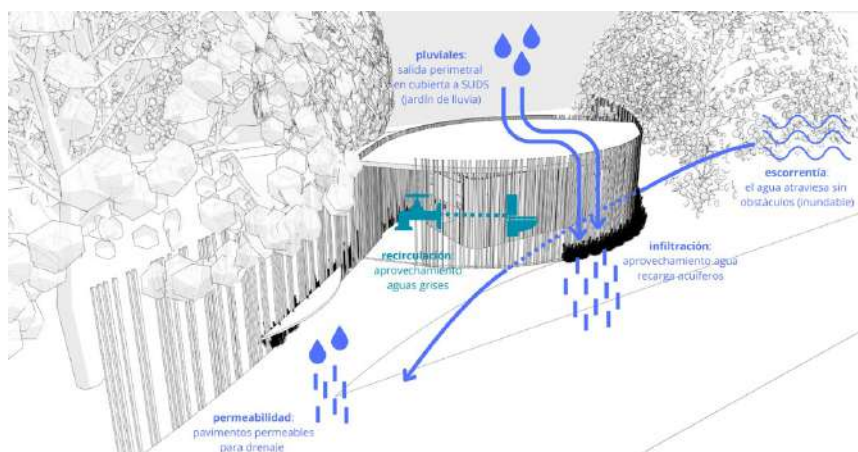


Figura 5. Esquema de gestión del agua en módulos de aseos. Fuente: Elaboración propia.

2.2. Drenaje sostenible

Las aguas pluviales del edificio y de su área próxima se gestionan de manera sostenible mediante SUDS, sin canalizar en ningún caso. Las aguas de la cubierta plana se recogen mediante una inclinación a un agua, con salida en todo su perímetro a través de la celosía. El pavimento interior tiene la misma pendiente en la misma dirección, por lo que ambas superficies expulsan el agua al exterior, donde se infiltra en el jardín de lluvia perimetral, que se ha trabajado con un filtro de gravas sobre el que se han dispuesto mirtos y glicinias con tierra vegetal, que fijan la tierra natural con sus raíces, además de acompañar con sus aromas a los usuarios, y de enredarse entre la celosía.

El pavimento exterior es una tierra morterenga de albero, que es permeable permitiendo la infiltración de agua al terreno. Estos diferentes tipos de infiltración empleados, aún con su pequeña escala, favorecen el drenaje natural del agua y la recarga de los acuíferos.

2.3. Recirculación de aguas grises

El sistema de tratamiento de aguas grises de los lavabos permite su reutilización en inodoros, reduciendo el consumo de agua potable y ahondando en la gestión eficiente del agua. A partir de los estudios de caudales para este caso, se estima que la demanda de agua potable se reduce en un 50% mediante esta operación.

Se emplea una depuración físico-química para reunir las garantías sanitarias necesarias para su uso. La primera fase es una depuración física a través de un filtro que retiene sólidos, y la segunda es una depuración química mediante productos basados en oxígeno activo, que se aplica de manera automática mediante una bomba dosificadora. El mantenimiento cotidiano se realiza por parte de las personas responsables de la limpieza de los aseos.

3. Economía circular

3.1. Construcción en seco

La construcción de los módulos se ha realizado con materiales industrializados y con uniones en seco. Este proceso permite el desmontaje de la construcción pieza a pieza de todos los elementos empleados excepto la solera y cimentación. Esto posibilita su reutilización futura en otro contexto o en otra obra, así como su fácil reciclaje. También contribuye a la reversibilidad de la intervención en un entorno de interés patrimonial.

3.2. Materiales sostenibles y de proximidad

El material principal empleado, que actúa como revestimiento y como cerramiento de todo el módulo es el *Ecofiber Stone Composite*. Dicho material se produce en el área metropolitana de Valencia, y está realizado en un 50% de cáscara de arroz, obtenida de los productores locales de la zona de la Albufera, con un 40% de piedra y un aditivo de PVC. Dicho material además incorpora su propio excedente de mermas en la mezcla, y emplea un 60% de energía renovable en su fabricación. Es también un material 100% reciclable (Plásticos Vítors, 2022). La subestructura interna empleada es acero galvanizado, 100% reciclable.

3.3. Demanda energética

La reducción de la demanda energética se basa principalmente en la adaptación al clima mediterráneo. La suavidad del clima permite la configuración abierta del módulo, sin necesidad de climatización ni hermeticidad. A su vez, no es necesaria el agua caliente para los lavabos, por lo que la demanda energética en fase de uso se limita a la iluminación.

La iluminación es toda de bajo consumo LED, con sensores crepusculares para las zonas comunes, y sensores de presencia en el interior de las cabinas (Figuras 6 y 7).



Figuras 6 y 7. Iluminación nocturna LED. Fotografía: Germán Cabo.

4. Inclusión, accesibilidad y seguridad

Uno de los principios fundamentales del proyecto es la accesibilidad universal y la inclusión, trabajando la perspectiva de género desde diferentes enfoques.

4.1. Distribución funcional sin categorías de género

Las cabinas están diseñadas según forma de uso (de pie, sentado, familiar, accesible), promoviendo la integración y la no discriminación del colectivo LGTBIQ+.

La iconografía diseñada para los aseos responde a esta organización, y se realiza mediante un grabado en láser en el mismo material para minimizar el vandalismo (Figuras 8 y 9).



Figuras 8 y 9. Interior de aseos e iconografía. Fotografía: Germán Cabo.

4.2. Espacio adaptado a colectivos diversos y vulnerables.

Se ha creado un espacio adaptado a la infancia, con una cabina familiar con inodoro infantil, cambiador, asiento de bebés, y lavamanos a una altura apta para los niños. También se ha creado una zona de descanso, apta para la lactancia.

El aseo con inodoro accesible es común, sin estar asociado a ningún sexo, permitiendo una mejor integración del colectivo con movilidad reducida. Dispone también de un lavamanos propio para el vaciado de sondas, así como de copas menstruales.

4.3. Diseño abierto y seguro

Los lavabos exteriores comunes permiten mayor seguridad gracias a la visibilidad desde el exterior de día y de noche, garantizando además la ventilación y luz natural. El diseño abierto y ventilado mejora la experiencia del usuario; evita olores y reduce el impacto lumínico en la transición del espacio exterior al interior.

La apertura también garantiza que los sonidos se escuchen desde el interior al exterior y viceversa, incluso en las cabinas, ahondando en la percepción de seguridad.

5. Objetivos de desarrollo sostenible

El diseño del proyecto incorpora criterios ambientales, sociales y funcionales alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, a través de las soluciones técnicas empleadas previamente definidas. A continuación, se detallan los ODS a los que contribuye de forma directa.

5.1. ODS 6: Agua Limpia y Saneamiento

La gestión eficiente del agua, mediante el drenaje sostenible, que gestiona el agua pluvial y fluvial de manera natural, son prácticas que contribuyen directamente a este ODS. Además, al implementar un sistema de recirculación de aguas grises, se reduce la huella hídrica y se favorece un uso más racional del agua en entornos urbanos.

5.2. ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles

El proyecto busca integrar una infraestructura pública que respete el entorno natural del Jardín del Turia y, al mismo tiempo, ofrezca un servicio urbano accesible y eficiente. Al centrarse en el diseño permeable y resiliente al clima (en una zona inundable), el proyecto contribuye al concepto de ciudades sostenibles que integran la naturaleza en su desarrollo y se adaptan a los desafíos ambientales, como el cambio climático.

5.3. ODS 12: Producción y Consumo Responsables

El uso de un material principal compuesto por un 50% de cáscara de arroz local reciclada, subraya el compromiso con la economía circular y la reducción de residuos. El diseño modular y la construcción en seco, que facilitan el desmontaje, la reutilización y el reciclaje de materiales, son aspectos que reflejan un enfoque responsable de la producción y el consumo.

5.4. ODS 13: Acción por el Clima

La adaptabilidad al entorno inundable y la permeabilidad estructural ayudan a mitigar los impactos de las inundaciones, promoviendo una infraestructura resiliente que puede soportar los efectos del cambio climático. Además, al integrar soluciones de drenaje sostenible que permiten la absorción natural del agua, el proyecto contribuye a la reducción de los riesgos climáticos.

5.5. ODS 5: Igualdad de Género

El proyecto promueve la inclusión y la accesibilidad, un principio que se materializa en la distribución funcional sin categorías de género. El diseño abierto permite una mayor seguridad para los colectivos más vulnerables.

5.6. ODS 10: Reducción de las Desigualdades

El proyecto, al incorporar un diseño accesible y seguro para todos, promueve la inclusión social y contribuye a reducir las desigualdades en el acceso a los servicios públicos. La accesibilidad universal de las instalaciones y la configuración espacial inclusiva aseguran que cualquier persona, sin importar sus capacidades, edad, o género, pueda hacer uso de los aseos de manera segura y digna.

5.7. ODS 3: Salud y Bienestar

La creación de espacios higiénicos y seguros en entornos públicos mejora la calidad de vida de las personas que utilizan estos servicios. Además, un diseño ventilado y accesible contribuye al bienestar físico y mental de los usuarios, garantizando que el acceso a los servicios higiénicos sea seguro, saludable y adecuado.

6. Conclusión

El proyecto *Entretroncos* de aseos públicos integra estrategias de gestión eficiente de recursos hídricos, diseño resiliente en un entorno protegido, y economía circular. Gracias a la utilización de materiales reciclables y reciclados y a la optimización de recursos hídricos, el proyecto ha logrado reducir significativamente su huella de carbono. Además, su diseño inclusivo ha permitido aumentar la percepción de seguridad y accesibilidad en el espacio público, beneficiando a una amplia diversidad de usuarios. Su enfoque innovador muestra que es posible combinar funcionalidad, sostenibilidad, resiliencia y compromiso social en la arquitectura pública, también en los proyectos de pequeña escala.

7. Referencias

Plásticos Viters, S.A. (2022). Declaración Ambiental de Producto: TARIMATEC Deck Hueca, Deck Maciza, Vertical Mont Blanc, Vertical Annapurna, Vertical Aris y Perfil de terminación (EPD N° S-P-07588). The International EPD® System. <https://www.environdec.com/library/epd07588>

Banys Públicos en el Jardí del Túria (2018). PRESUPUESTOS PARTICIPATIVOS DECIDIMVLC. <https://decidimvlc.valencia.es/budgets/2/investments/1003>

La visión estratégica en la regeneración urbana

El planteamiento de Getafe Rehabilita y el impulso hacia el concepto de ciudad-Laboratorio de Innovación Urbana Metropolitana

LA REHABILITACIÓN Y REGENERACIÓN COMO INSTRUMENTOS PARA LOS NUEVOS PARADIGMAS SOCIALES

Sonia Puente Landázuri ¹, Alejandro López Parejo ²

¹ Arquitecta Urbanista, Coordinadora General de Urbanismo y Espacio Público en el Ayuntamiento de Getafe, sonia.puente@ayto-getafe.org.

² Arquitecto Urbanista, Coordinador del Área de Hogares y Regeneración en EMSV Getafe, alejandro.lopez.ohs@emsvgetafe.org.

Resumen

Getafe, en torno a los 200.000 habitantes, es uno de los municipios situados en la conocida como “primera corona metropolitana de Madrid”. La ciudad, que linda con el término municipal de Madrid al norte, se caracteriza por su tejido industrial, y un parque residencial, cuyo origen mayoritariamente procede de los años 60 y 70, al igual que buena parte de las ciudades españolas. Esto hace especialmente interesante para la ciudad, el desarrollo de procesos y estrategias de regeneración integrada. En esta comunicación se muestra el proceso de antecedentes, necesidades e impulsos previos al desarrollo de una visión conjunta de ciudad en torno a la regeneración urbana, así como las fases de identificación, diagnóstico y propuestas dentro de la Estrategia Getafe Rehabilita, en el marco de Getafe Laboratorio Urbano-Metropolitano.

Palabras clave: Getafe; Regeneración; Laboratorio Urbano; Estrategia.

Abstract

Getafe, with around 200,000 inhabitants, is one of the municipalities located in what is known as the ‘first metropolitan area of Madrid’. The city, which borders the municipality of Madrid to the north, is characterised by its industrial fabric and a residential park, the majority of whose origins date back to the 1960s and 1970s, as is the case for a large part of Spanish cities. This makes the development of integrated regeneration processes and strategies particularly interesting for the city. This paper shows the process of background, needs and impulses prior to the development of a joint vision of the city around urban regeneration, as well as the phases of identification, diagnosis and proposals within the Getafe Rehabilita Strategy, in the framework of the Getafe Urban-Metropolitan Laboratory.

Key words: Getafe; Regeneration; Urban Laboratory; Strategy.

“Del número de ciudades imaginables, hay que excluir aquellas en las cuales se suman elementos sin un hilo conductor que los conecte, sin una norma interna, una perspectiva, un discurso. Ocurre con las ciudades lo que en los sueños: todo lo imaginable puede ser soñado, pero hasta el sueño más inesperado es un acertijo que esconde un deseo, o bien su inversa, un temor.”

Las ciudades invisibles. Ítalo Calvino, 1972

1. Getafe, laboratorio de innovación urbana-metropolitana en el Sur de Madrid

1.1. Marco histórico

Getafe es uno de los municipios situados en el cinturón metropolitano de Madrid. Con una población en torno a los 200.00 habitantes, la ciudad destaca por su tejido empresarial, vinculado con la aeronáutica y el sector aeroespacial, así como por la presencia de las Universidades Carlos III (en adelante, UC3M) que cuenta con un campus de referencia en el ámbito Jurídico, de Derecho, Filosofía y las Ciencias Sociales, así como un campus de investigación de materiales de la Universidad Politécnica de Madrid, situado en el límite Sur del municipio. Esta situación, sumada a la excepcional conexión a través de las redes de transporte, la convierten en un ámbito de especial interés en la vertebración metropolitana del Sur de Madrid, con un potencial de regeneración y cohesión territorial vinculado al suelo industrial en desuso (Ajurieguerra et Al, 2019).

Desde el periodo desarrollista del siglo pasado, Getafe ha absorbido tradicionalmente una enorme cantidad de población procedente de las migraciones internas, principalmente desde Extremadura, Andalucía y Castilla la Mancha, como consecuencia del periodo autárquico de la dictadura (Gómez Mendoza, 1997). Así, el municipio, fue adquiriendo mayor peso en la industria pesada, vivió su esplendor industrial durante las primeras décadas de la democracia española, con metalúrgicas, industrias de componentes y un tejido empresarial vinculado con su base aérea, por entonces operada por el Ministerio de Defensa en colaboración con CASA (Construcciones Aeronáuticas SA) (Fernández Gómez, 2004). Industrias como Ericsson, ABB, John Deere, Kelvinator o la propia CASA, fueron, durante los años setenta y ochenta la punta de lanza de una industria, en parte responsable de los niveles de contaminación de la época en el municipio. Fruto de esta situación surge, a partir de los años 80 y 90, la necesidad de peatonalizar y poner en valor el casco urbano del municipio como lugar centrado en los servicios, la restauración y ámbito común de intercambio cultural y social. A diferencia de otros municipios del Sur de Madrid, el casco urbano de Getafe ha sufrido grandes transformaciones sin una especial degradación.

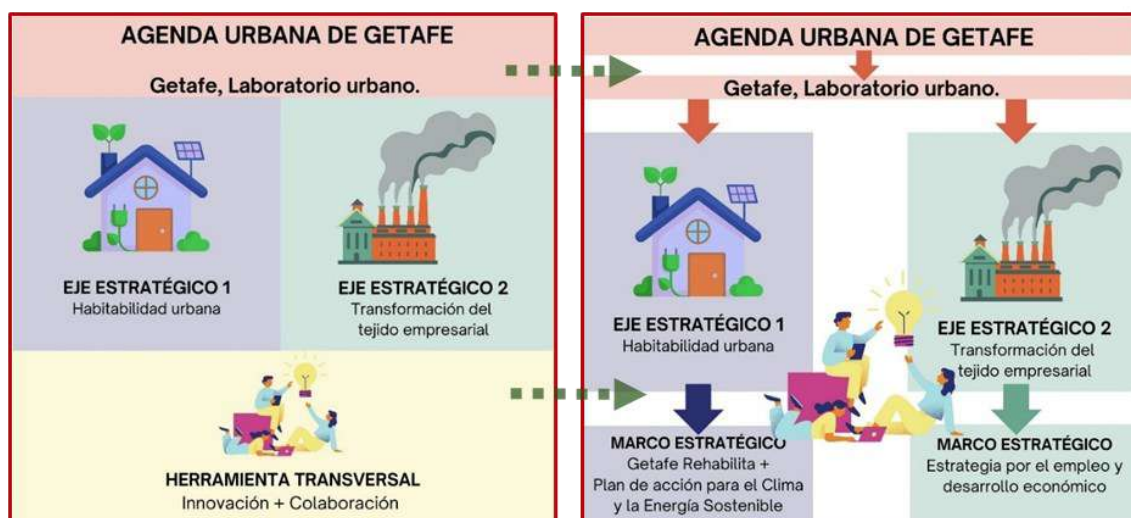
La prevalencia de una estrategia política vinculada a corporaciones continuistas, unida a la voluntad de innovación en el ámbito urbano y de la ciudad, realizando, en 2007, uno de los primeros PMUS del país (Vega Pindado, 2019), llevan a que el municipio desarrolle una extensa red peatonal de manera anticipada, incluso, a la propia capital y al resto de municipios de su entorno. Getafe es hoy un municipio de referencia en el ámbito de la docencia con más de 26.500 estudiantes diarios solo en la UC3M, pero también una ciudad en busca de su relato para este cambiante siglo XXI. La Academia, la cultura, la aeronáutica y la regeneración se perfilan así, como las cuatro líneas clave del futuro del municipio.

1.2. Marco estratégico integrado: Getafe Laboratorio Urbano Metropolitano (GLUM)

Getafe ha sido testigo de una profunda transformación a lo largo del siglo XX, pasando de ser un entorno rural, a convertirse en un núcleo estratégico industrial, que conforma una entidad muy arraigada en su población, conjuntamente con la Base Aérea Militar. Con una superficie muy equilibrada entre suelo destinado al uso residencial (1.217.69 Ha), e industrial, (1.1782 Ha), el binomio vida – trabajo ha estado históricamente muy imbricado en su sociedad. Esto, que puede parecer una desventaja a priori, se convierte en una fortaleza, en un momento de emergencia climática declarada, donde la mezcla de usos impera como valor sostenible, reduciendo movilidads y mejorando la calidad de vida de las personas. Así hoy, Getafe persigue el objetivo de ofrecer un proyecto de vida pleno para las personas que lo habitan, desde una visión intergeneracional, mediante la identificación de una serie de oportunidades clave para avanzar hacia una transformación urbana, con base en la innovación, respetuosa con el medio ambiente, socialmente inclusiva y que aporte un desarrollo económico sostenido.

Con este objetivo, “vida y trabajo en Getafe”, se establece el marco estratégico de la Agenda Urbana, del que surge la iniciativa Getafe Laboratorio Urbano Metropolitano (GLUM) (ver figuras 1 y 2), como herramienta para situar al territorio y la ciudad al servicio de la innovación permanente poniendo a las personas en el epicentro de las decisiones.

Así, la hoja de ruta definida establece dos ejes estratégicos generales partir de los cuales y con la innovación como herramienta transversal, se estructura la planificación y el desarrollo de nuestro territorio.



Figuras 1 (izq.) y 2 (der.). Ilustración sobre estratégicos de AUG y marcos de estrategia. Fuente: elaboración propia.

En el marco del primer eje estratégico, centrado en la habitabilidad urbana: Getafe aborda el reto desde una mirada amplia y global que entiende por este concepto la calidad de vida de las personas en los diferentes espacios que conforman el día a día de nuestra población, desde una mirada intergeneracional. La vivienda, el espacio público y los equipamientos, conformando una red de servicio público. En esta perspectiva global, Getafe apuesta por el laboratorio urbano metropolitano como herramienta transversal, con capacidad transformadora.

Alineados con esta estrategia territorial, Getafe ha liderado proyectos tractores como el Energy Poverty Intelligence Unit (EPIU) (García, 2024), perteneciente al programa Urban Innovative Actions (UIA) de la Comisión Europea. Este proyecto pone el foco en la innovación, la regeneración y la descarbonización urbana, como herramientas clave para ofrecer a la población de Getafe un alto índice en calidad de vida. Además de los recursos que ha proporcionado a los hogares, EPIU ha generado corrientes positivas de transferencia de información y buenas prácticas a nivel europeo. En esta línea, Getafe participa en la Red Innovation Transfer Networks (URBACT), que ha impulsado la colaboración de la ciudad en el proceso participativo del Plan Estratégico de la Red de Iniciativas Urbanas (RIU).

En la presente comunicación, nos centraremos en abordar el primer Eje Estratégico: la mejora de la habitabilidad, en las tres escalas: barrio, ciudad y área metropolitana, a través de la herramienta estratégica Getafe Rehabilita.

2. Getafe Rehabilita, línea estratégica y proceso

2.1. Un eje estratégico: habitabilidad urbana

Este eje se centra en regenerar el entorno urbano (tanto el espacio público como el parque edificado) para hacerlo más accesible, inclusivo y resiliente frente al cambio climático, con el horizonte de ofrecer mayor calidad de vida a las personas. Alineados y recogidos en este eje estratégico, cabe destacar dos documentos clave de la planificación de la ciudad: El plan Getafe Rehabilita así como el Plan de Acción contra el Clima.

Getafe Rehabilita responde a los desafíos planteados por el envejecimiento de la población y la necesidad de mitigar los efectos del cambio climático, priorizando acciones en barrios históricos y áreas que requieren una mayor intervención. Además, fomenta la cohesión social mediante la creación de espacios públicos inclusivos y accesibles, apoyando un desarrollo urbano que favorezca la convivencia y la calidad de vida de los vecinos.

El Plan de Acción para el Clima y la Energía Sostenible (PACES) refuerza este impulso con medidas concretas para reducir la huella de carbono y fomentar la eficiencia energética. Este plan se centra en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 40% para el año 2030, fomentar el uso de energías renovables, mejorar la eficiencia energética en al menos un 27%, y adaptar la ciudad a los efectos del cambio climático.

2.2. El proceso para alcanzar la estrategia

Getafe Rehabilita surge de una serie de procesos y circunstancias vinculadas con la necesidad de articular una visión de ciudad en torno a la regeneración urbana.

Su potencial radica no solo en el proceso metodológico, sino también por una mezcla entre los procesos participativos tradicionales y el concepto y planteamientos de “regeneración de paisaje urbano”, en línea con otras experiencias (Ajuriaguerra et Al, 2024).

El proceso de articulación de Getafe Rehabilita (López-Parejo, 2024), la estrategia de rehabilitación y regeneración del entorno construido de Getafe da comienzo, como se indicaba anteriormente, con el impulso del proyecto europeo EPIU Hogares Saludables. Esto permite identificar tres factores clave en la respuesta institucional a la lucha contra la pobreza energética, pero también, en la regeneración urbana integral (Tabla 1, indicadores y escalas):

Tabla 1. Recopilación de indicadores por líneas de trabajo (Entender, Atender, Actuar) y escalas de actuación de la estrategia en base al proyecto EPIU (Hogar, Edificio, Barrio). Fuente: Elaboración propia.

Escala	Gestión de datos, diagnóstico (Entender)	Servicios de atención a la ciudadanía (Atender)	Respuesta y actuaciones sobre el terreno (Actuar)	Ind.
Hogar	9	4	5	18
Edificio	5	6	4	15
Barrio	3	3	3	9
Total	17 indicadores	13 indicadores	12 indicadores	

Además, y ahondando en el seguimiento de las actuaciones según los indicadores de la Agenda Urbana Española, se identifican los siguientes como clave para evaluar y monitorizar la evolución e implementación de la Estrategia (Tabla 2, indicadores de seguimiento):

Tabla 2. Recopilación de indicadores de la Agenda Urbana integrados, según escala (Hogar, Edificio, Barrio). Fuente: Elaboración propia.

Escala	Indicadores de la Agenda Urbana Española a integrar en el seguimiento y evolución:	Indicador
Edificio/Barrio	2.4.3. Superficie de suelo urbano sujeta a actuaciones de recuperación, rehabilitación o mejora.	01
Edificio/Barrio	2.5.2. Presupuesto de las actuaciones de regeneración urbana previstas en barrios vulnerables desde el punto de vista social, económico o ambiental	02
Edificio/Barrio	2.5.3. Presupuesto de las actuaciones en materia de rehabilitación urbana acogidas planes públicos de vivienda.	03
Edificio	2.6.2. Superficie de edificios sujetos a actuaciones de rehabilitación.	04
Hogar	2.6.3. Número de viviendas sujetas a actuaciones de rehabilitación.	05
Barrio	3.3.2. Superficie de suelo urbano en la que se prevén realizar actuaciones de mejora o creación de zonas verdes y/o espacios abiertos basados en modelos autóctonos y criterios bioclimáticos.	06
Edificio	4.1.2. Consumo de energía por la edificación, infraestructuras y servicios públicos.	07
Hogar/Edificio/Barrio	6.1.2 Presupuesto invertido en actuaciones realizadas en barrios vulnerables desde el punto de vista social, económico o ambiental.	08
Barrio	[Indicador interno] - Número de actuaciones ejecutadas en el marco de GLUM (cuantitativo)	09
Interno	[Indicador interno] - Número de reuniones interdepartamentales realizadas en el marco de GLUM	10
Total	10 indicadores	

En base a esos antecedentes y líneas de trabajo, a finales del año 2022, se comienzan a articular las “Mesas de rehabilitación” (Ciudad Sostenible, 2023), como vector de catalización, por un lado, de los intereses y diagnóstico a nivel municipal, y por otro, del contacto y escucha a la ciudadanía, entidades de reconocido prestigio y academia. Un proceso participado permitió no solo generar un debate más profundo y de interés, sino proporcionar mayor respaldo a legitimar la iniciativa y desarrollo de las propuestas planteadas.

Se celebraron entre enero y septiembre de 2023 una serie de mesas temáticas (Diagnóstico, Herramientas y Financiación), y en las que participaron distintos agentes identificados por la coordinación y el grupo motor liderado por MADC (Estudio Miguel Ángel Díaz Camacho, como coordinadores de las mesas), COAM (Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid), OC3R (Observatorio Ciudad 3R) y URJC (Universidad Rey Juan Carlos). El grupo motor trabajó de manera sectorial en esas mesas temáticas, junto a representantes de las delegaciones municipales (Vivienda, Urbanismo y Bienestar, principalmente), representantes del tejido social y vecinal (FFAAVV Getafe), y a otras entidades como representantes del sector de la rehabilitación o colegios profesionales. La metodología de trabajo siguió las guías existentes como la “Guía para estrategias locales de rehabilitación urbana” del MIVAU.

Fruto de ese proceso (Figura 3) se identifican: (1) los ámbitos prioritarios para la rehabilitación y regeneración urbana, denominados “conjuntos homogéneos”, (2) las soluciones a escala edificio que permiten generar una base de catálogo de soluciones en fachada, vinculada con la tipología edificatoria de los conjuntos homogéneos identificados, (3) las directrices o buenas prácticas en materia de regeneración del entorno urbano, a aplicar prioritariamente en los ámbitos identificados.

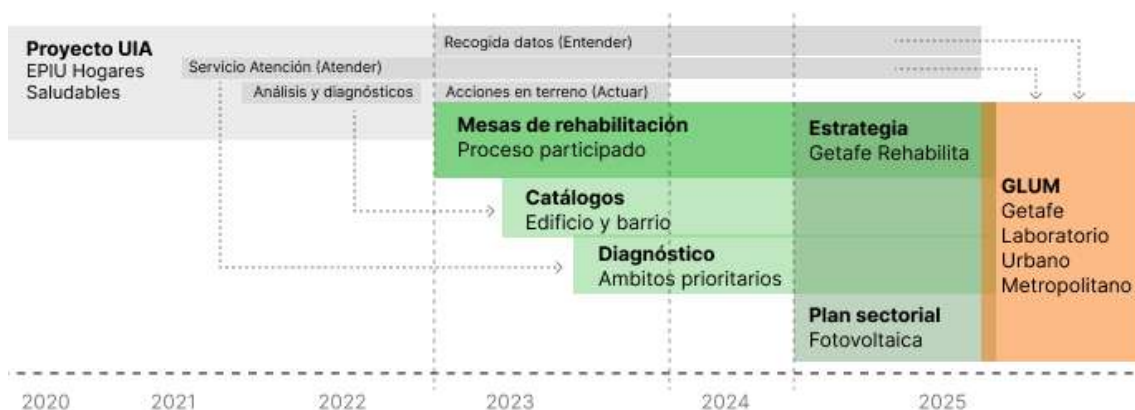


Figura 3. Diagrama del proceso estratégico de Getafe Rehabilita. Fuente: elaboración propia.

Como desarrollo posterior a las citadas mesas, y continuando con el desarrollo de la “Guía de rehabilitación”, se impulsa desde la Corporación Municipal el desarrollo de una “Estrategia” de rehabilitación en base a lo anterior. Se trabaja de manera transversal entre las delegaciones de Vivienda, Mantenimiento y Urbanismo, habiendo incorporado recientemente a Educación, para la articulación de estas líneas entre 2023 y 2024, y que durante 2025 se trasladan con actuaciones y aplicaciones concretas (10 en curso de la mano de Urbanismo y Mantenimiento), aplicando la metodología y criterios de adaptación del entorno construido a aquellos ámbitos prioritarios a nivel municipal y los conjuntos homogéneos de nivel prioritario. Incluyendo la información e intercambio continuo a través de herramientas de participación comunitaria, como la creación de una nueva Comunidad Energética Residencial y la realización de talleres y eventos públicos para la puesta en común y recopilación de necesidades vecinales. Todo ello articulado con la base de las metodologías ya desarrolladas en el marco de la Agenda Urbana y las distintas guías existentes, permitiendo así trasladar las directrices y buenas prácticas del documento estratégico a las actuaciones en curso y futuras, cuya implementación se medirá con los indicadores señalados con anterioridad.

3. Conclusiones

En conclusión, Getafe Rehabilita supone un impulso de gran relevancia a la visión de ciudad en torno a la regeneración de barrios por distintos motivos:

- Una articulación transversal que va más allá de un único área o departamento vinculado a la edificación (incluyendo a Urbanismo, Mantenimiento y Bienestar, entre otros).
- Una visión transversal en cuanto a las necesidades ciudadanas: utilizando el vector de la Pobreza Energética para la toma de datos gracias a proyectos previos, para afrontar la rehabilitación y regeneración edificatoria desde una perspectiva de eficiencia energética, incluyendo las características y casuísticas familiares de cara a la toma de datos y las actuaciones a escala hogar y edificio.
- Una perspectiva integrada en cuanto a las actuaciones y sus escalas: desde el hogar hasta el barrio, pasando por el edificio.
- La articulación de una visión de ciudad en torno a la regeneración del entorno construido, especialmente en los barrios más consolidados, donde se aglutina la clase trabajadora, redistribuyendo los esfuerzos municipales en todas las escalas de actuación, con el objetivo de no dejar a nadie atrás.
- El impulso hacia un concepto de ciudad Laboratorio de Innovación Urbana Metropolitana (GLUM), que aspira a impulsar políticas y metodologías transferibles a ciudades intermedias de circunstancias similares en el ámbito mediterráneo.

4. Referencias

- Ajuriaguerra, M. Á., Illanes, R., & López-Parejo, A. (2024). *Regeneración del paisaje urbano y la identidad colectiva en los barrios del desmantelamiento industrial madrileño. El caso de San Cristóbal*. En *Actas del XI Seminario Internacional G+I PAI sobre el Patrimonio de la Arquitectura y de la Industria* (pp. 20-41). Universidad Politécnica de Madrid. https://gipai.aq.upm.es/wp-content/uploads/2024/04/Actas-XI_.pdf
- Ajuriaguerra, M. Á., López-Parejo, A., & Areco, E. (2019). *La transformación del suelo vacante industrial como principio para la cohesión y regeneración de los municipios del sur de Madrid*. En XIII CTV 2019 Proceedings: XIII International Conference on Virtual City and Territory: "Challenges and paradigms of the contemporary city" (p. 8485). Universidad Politécnica de Cataluña. <https://doi.org/10.5821/ctv.8485>
- Ciudad Sostenible. (2023, febrero 17). *Jornada de expertos en la Mesa de Rehabilitación Municipal de Getafe*. Ciudad Sostenible. <https://www.ciudadostenible.eu/rehabilitacion-en-getafe/>
- Fernández Gómez, Julio A. (2004): «Buscando el pan del trabajo: sobre la industrialización franquista y sus costes sociales, Villaverde (Madrid 1940- 1965) ». Miño y Dávila, Madrid.
- García, M. (2024, septiembre 11). *How urbanism can contribute tackling summer energy poverty in cities*. UIA. <https://uia-initiative.eu/en/news/how-urbanism-can-contribute-tackling-summer-energy-poverty-cities-1>
- Gómez Mendoza, Antonio (1997): «El fracaso de la autarquía: la política económica y la posguerra mundial (1945-1959)». *Espacio Tiempo y Forma. Serie V, Historia Contemporánea*, Nº 10. <https://doi.org/10.5944/etfv.10.1997.2936>.
- López-Parejo, A. (2024). *Getafe rehabilita desde la sostenibilidad y el enfoque social*. Ciudad Sostenible, 52,(pp.32-37). <https://www.ciudadostenible.eu/wp-content/uploads/2024/09/CS52-OK.pdf>
- MIVAU – Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana (2022). *GUÍA PARA ESTRATEGIAS LOCALES DE REHABILITACIÓN URBANA*. Observatorio Ciudad 3R. https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/AUE/doc/132_guia_estrategias_rehabilitacion.pdf
- Vega, M. P. (2019). *Los planes de movilidad urbana sostenible en España (PMUS): Dos casos paradigmáticos: San Sebastián-Donostia y Getafe*. (Tesis doctoral) Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Geografía e Historia. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/16750>

Ciudades habitables. Evolución del espacio verde en la trama urbana.

Casos de estudio: Barrios de vivienda pública de La Paz y La Fama en la ciudad de Murcia.

Antonio Jesús Martínez-Espinosa¹, José María Mateo Torres², Francisco Javier Benito Saorín³, Isabel Miñano Belmonte⁴

¹ Dr. Arquitecto, investigador en Urdecon, amartinez@urdecon.es

² Arquitecto, investigador en Urdecon, jmateo@urdecon.es

³ Dr. Ingeniero de la edificación, director de I+D en Urdecon, fjbenito@urdecon.es

⁴ Dra. Ingeniero de la edificación, investigadora en Urdecon, innovacion@urdecon.es

Resumen

La creciente presión del vehículo privado sobre el espacio público no solo ha transformado el tejido urbano, sino que ha reducido la accesibilidad, la calidad ambiental y la equidad en el uso del suelo. Esta investigación analiza cómo la ocupación progresiva del espacio urbano por el automóvil impacta la habitabilidad de los barrios, proponiendo estrategias de recuperación basadas en modelos de urbanismo ecológico y movilidad sostenible. La presión por el estacionamiento, especialmente en barrios sin sótanos destinados a este uso, como en muchas promociones de vivienda social del siglo XX, ha generado una progresiva pérdida de superficies verdes y espacios públicos de convivencia. Esta investigación cuantifica y evalúa el impacto de esta situación, en los casos de estudio de los barrios de La Paz y La Fama, considerando la reducción del índice biótico del suelo y la transformación de la percepción del entorno urbano. Además, se analiza cómo la ocupación progresiva del espacio público por el vehículo privado altera la relación de los ciudadanos con su ciudad y compromete su confort urbano a lo largo del tiempo.

Palabras clave: urbanismo; ciudad; movilidad sostenible

Abstract

The growing invasion of private vehicles in our cities, to the detriment of pedestrian and recreational space, makes it urgent to rethink urban occupation models and their impact on quality of life. The pressure for parking, especially in neighbourhoods without basements for this use, as in many social housing developments of the 20th century, has generated a progressive loss of green areas and public spaces for coexistence. This research quantifies and evaluates the impact of this situation, in the case studies of the neighbourhoods of La Paz and La Fama, considering the reduction of the biotic index of the soil and the transformation of the perception of the urban environment. It also analyses how the progressive occupation of public space by private vehicles alters citizens' relationship with their city and compromises their urban comfort over time.

Key words: urbanism; city; sustainable mobility

1. Introducción

1.1. El vehículo privado en nuestras ciudades

Desde la aparición del vehículo particular a finales del siglo XIX, este ha ido ganando protagonismo en nuestras ciudades, haciendo que estas sean cada vez más extensas y dispersas. En el contexto actual, en el que existe una inquietud por repensar las ciudades desde la forma de habitarlas, surge el concepto “Post car city” que plantea una visión con una jerarquía de modos de movilidad alternativos al vehículo privado: a pie, en bici, transporte público y vehículos colectivos (Brau, 2018).

Esta investigación analiza el impacto de la invasión del vehículo privado en el espacio público y cómo las ciudades han adaptado su diseño para absorber la creciente demanda de aparcamiento en superficie. Se estudian dos barrios de vivienda social: La Paz (década de 1960), con un tejido más disperso, zonas verdes y plazas duras, y La Fama (década de 1970), caracterizado por bloques en H y un espacio libre dominado por plazas duras. Ambos fueron concebidos con áreas destinadas al peatón, pero su configuración ha cambiado con el tiempo debido al aumento del estacionamiento. Empleando una metodología de análisis basada en una selección concreta de indicadores cuantitativos de la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona (Rueda & Aguado, 2013), en adelante AEU, y otros cualitativos de *Projects for Public Spaces* (PPS, 2005), en adelante PPS, se analiza la evolución del espacio público, la relación con el vehículo privado y cómo esto es percibido por la ciudadanía (Gehl, 2010).

Esta investigación propone un enfoque innovador al analizar el impacto del vehículo privado en barrios de vivienda social en Murcia, combinando métricas ecológicas (cuantitativas) y percepción ciudadana (cualitativas). Su valor radica en cuantificar la pérdida de espacio público y sugerir intervenciones realistas y replicables en contextos similares, de gran utilidad para políticas de regeneración urbana y movilidad sostenible.

1.2. Objetos de estudio

Los barrios objeto de estudio se encuentran en las proximidades del centro urbano de la ciudad de Murcia, alineados a lo largo de un mismo eje: la Avenida de La Fama. Su ubicación repercute en un uso elevado del vehículo privado, tanto por parte de los residentes como de personas externas al barrio, lo que contribuye a una mayor presión sobre el espacio urbano.

Promovido por la Obra Sindical del Hogar y la Arquitectura, en adelante OSH, y con una extensión aproximada de 170.000 m², el **barrio de La Paz** comienza la construcción de su primera fase en 1961 con 1500 viviendas sujetas a políticas de vivienda social. En la segunda fase, aprobada en 1967, se construyen 140 viviendas distribuidas en 7 torres (García-Martín, 2013).

Al igual que el anterior, el **barrio de La Fama**, fue promovido por la OSH, con una extensión aproximada de 55.000 m² y un total de 688 viviendas distribuidas en 15 bloques (Espinosa, 2023).

2. Objetivos

1. Cuantificar el impacto que ha tenido la transformación del espacio público a favor del vehículo privado y en detrimento del peatón.
2. Analizar las posibilidades de transformar el índice biótico del suelo recuperando pavimento duro a cambio de zonas verdes.
3. Determinar cómo afecta la percepción del entorno colonizado por los vehículos a la ciudadanía.

3. Metodología

3.1. Recopilación, digitalización y procesamiento de datos

La metodología comienza con la recopilación de datos a partir de Fuentes Primarias Escritas (FPe): Archivo General de la Región de Murcia (AGRM) y en el Archivo Municipal de Murcia (AMM), y Construidas (FPc) (visitas a los conjuntos), además del visualizador IDERM del geoportal de la infraestructura de datos espaciales de la Región de Murcia (Sitmurcia, 2004) para estudiar su evolución. Durante las visitas a los conjuntos, se realizaron encuestas a los vecinos con el objetivo de conocer su percepción del entorno. Los grupos encuestados en cada barrio

los formaron adultos con edades comprendidas entre los 23 y los 62 años. Por otro lado, los datos gráficos se digitalizan y procesan en QGIS para calcular indicadores cuantitativos. Los resultados cuantitativos y cualitativos obtenidos se comparan para evaluar la consistencia y divergencias entre ambos enfoques de análisis.

3.2. Sistema de indicadores

La selección de indicadores se basa en su capacidad para medir el impacto urbano en el ecosistema y la vida cotidiana, priorizando variables como índice biótico, accesibilidad peatonal y aparcamiento, según Rueda & Aguado (2013). Se emplea la Certificación del Urbanismo Ecológico por su enfoque específico en tejidos existentes, seleccionando los indicadores de la Tabla 1 para analizar la relación entre espacio público, aparcamiento, índice biótico y zonas verdes.

Tabla 1. Relación de indicadores cuantitativos seleccionados del documento Certificación del Urbanismo Ecológico de la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. Fuente: Elaboración propia.

Bloque	Indicador	Código
Movilidad y Servicios	Espacio viario peatonal	MVS.03.14
	Dotación de plazas de aparcamiento para vehículos	MVS.03.17
Espacios Verdes y Biodiversidad	Índice biótico del suelo	EV.B. 05.25
	Espacio verde por habitante	EV.B.05.26

La investigación no busca abordar toda la complejidad urbana, sino explorar cómo ciertos indicadores influyen en la percepción ciudadana, complementando el análisis cuantitativo con indicadores cualitativos que aportan una visión subjetiva (Flick, 2004).

3.3. Fórmulas de cálculo indicadores cuantitativos

Las fórmulas de cálculo para cada uno de los indicadores aparecen detalladas en el documento de la AEU y son las siguientes:

$$(1) \text{ MVS.03.14} = (\text{Sup. viaria destinada al peatón (m}^2\text{)}) / (\text{Sup. viaria total (m}^2\text{)}) \times 100$$

$$(2) \text{ MVS.03.17} = \frac{\text{Oferta de plazas de aparcamiento fuera de calzada}}{\text{Demanda teórica de plazas de aparcamiento para residentes}} \times 100$$

$$(3) \text{ EVB.05.25} = (\text{Factor de permeabilidad del suelo (Ai)}) / (\text{Área total (At)}) \times 100$$

$$(4) \text{ EVB.05.26} = (\text{Sup. verde}) / (\text{Población total})$$

4. Resultados

4.1. Indicadores cuantitativos

Los parámetros de evaluación para los indicadores y los resultados obtenidos para cada uno de los barrios de La Paz y La Fama (Figura 1) se reflejan en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de evaluación de indicadores. Fuente: Certificación del Urbanismo Ecológico de la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona (2013).

Indicador	Objetivo	Criterio	Resultado La Paz	Resultado La Fama
MVS.03.14	Mínimo	> 60% de viario público destinado al peatón	49,92%	34,65%
	Deseable	> 75% de viario público destinado al peatón		
MVS.03.17	Mínimo	> 70% de oferta de plazas de aparcamiento fuera de calzada	0%	25,73%
	Deseable	> 90% de oferta de plazas de aparcamiento fuera de calzada		
EVB.05.25	Mínimo	> 20% en más del 50% de la superficie de suelo urbano	22,12%	0,80%
	Deseable	> 20% en más del 50% de la superficie de suelo urbano		
EVB.05.26	Mínimo	> 10 m ² /hab	3,99 m ² /hab	0,10 m ² /hab
	Deseable	> 12 m ² /hab		



Figura 1. Plano de ambos barrios, a la izquierda La Fama, a la derecha La Paz. En negro, el espacio público peatonal en el año 1981. En rojo, el espacio público perdido a favor del vehículo privado. Fuente: Elaboración propia.

Indicador MVS.03.14: Espacio viario peatonal

Dentro de la superficie viaria total, es fundamental conocer qué porcentaje se destina al peatón y cuál al tráfico rodado, ya que esto influye en la calidad del espacio público. Ninguno de los dos barrios alcanza el mínimo del 60% de viario peatonal fijado por la AEU, como se recoge en la Tabla 2. En La Paz, el valor del espacio viario peatonal alcanzó el 64,48% al finalizar su construcción, pero descendió al 49,92% por la progresiva ocupación del espacio público por plazas de aparcamiento en la calzada. En La Fama, este valor pasó del 49,55% en 1981 al 34,65% en la actualidad. Ambos casos reflejan en la Figura 1 cómo el vehículo privado ha ido colonizando el espacio originalmente destinado al peatón.

Indicador MVS.03.17: Dotación de plazas de aparcamiento para vehículos

Este indicador evalúa el porcentaje de plazas de aparcamiento cubiertas para el vehículo privado demandadas por los residentes con relación a la oferta total de plazas fuera de calzada. Estos barrios construidos en la segunda mitad del siglo XX no cuentan con sótanos destinados al uso de aparcamiento, por lo que deben satisfacer la demanda de aparcamiento en superficie o a través de construcciones dedicadas a tal uso.

En las inmediaciones de La Fama se encuentra ubicado un parking privado que dota de 177 plazas de aparcamiento a los residentes de la zona, lo que hace que el valor de este indicador alcance el 25,73%, muy lejos del valor mínimo que podemos observar en la tabla 2. El barrio de La Paz, sin embargo, no dispone de aparcamiento dentro de su ámbito, lo que conlleva que toda la demanda se resuelva en superficie, con un valor del 0% para este indicador.

Indicador EVB.06.25: Índice biótico del suelo

Este indicador evalúa la permeabilidad del suelo y su capacidad para sustentar vegetación y retener agua, a cada porción de suelo se le asigna un coeficiente en función de su grado de naturalidad y permeabilidad. Según la Tabla 2, La Paz supera ligeramente el mínimo de la AEU con un 20,78% gracias al Jardín de las Palmeras, un pulmón verde de unos 14.800 m². En cambio, La Fama, compuesta principalmente de plazas duras, apenas alcanza un 0,80%, considerando únicamente los alcorques, que recogen el arbolado de sus calles, como superficie semipermeable.

Indicador EVB.06.26: Espacio verde por habitante

La relación de los habitantes de un determinado ámbito con la superficie de espacios verdes nos indica la cantidad de metros cuadrados que corresponden a cada ciudadano.

El barrio de La Paz, con el valor más alto obtenido de los dos barrios, no alcanza la mitad del mínimo establecido por la AEU, como podemos ver en la tabla 2. El barrio de La Fama, debido a su densidad de viviendas y habitantes, junto con la escasez de zonas verdes, arroja un valor de 0,10 m² de espacio verde por habitante, un valor 10 veces menor que el mínimo.

4.2. Indicadores cualitativos

Para el análisis cualitativo se plantean dos bloques de preguntas a considerar sobre aspectos relacionados con los accesos y vínculos (8 preguntas) y sobre la comodidad e imagen (7 preguntas) que ofrecen ambos barrios. Estas preguntas dicotómicas se procesan para determinar el carácter positivo o negativo y extraer una conclusión de bloque. A continuación, se resumen las respuestas obtenidas con el cuestionario “*What Makes a Great Place?*” (PPS, 2005).

B1. Preguntas a considerar sobre acceso y vínculos

En el barrio de La Paz, por la geometría y disposición de los bloques perimetrales, sumado a la cantidad de vehículos estacionados en calzada, la conexión visual entre el interior y el exterior del barrio es prácticamente nula.

En La Fama, los recorridos del espacio público son extremadamente caóticos, debido a la cantidad de vehículos estacionados en calzada. La delimitación entre el tráfico rodado y peatonal se produce al mismo nivel de cota y a través de unos pivotes metálicos.

B2. Preguntas a considerar sobre comodidad e imagen

En La Paz, existen pequeñas plazas, algunas mantienen su forma original, mientras que otras son el resultado de transformaciones del espacio público, en el que la inserción de aparcamiento en superficie ha creado espacios intersticiales sin apenas uso. El espacio público surgido entre los bloques de viviendas, pese a ser accesible, está sometido a las necesidades del tráfico rodado.

El espacio público del barrio de La Fama presenta un aspecto descuidado, con basura en ciertas zonas. La falta de mobiliario urbano no favorece el uso de estos espacios, ya que no hay bancos donde sentarse ni papeleras donde arrojar los residuos cotidianos.

5. Discusión

El **espacio viario peatonal** se ha visto reducido en cuatro décadas casi un 15% en ambos barrios, lo que se traduce en más de 25.000 m² perdidos de espacio público peatonal a favor del vehículo privado, como podemos ver en la Figura 1. Si establecemos la hipótesis de condensar la superficie destinada a aparcamientos en calzada, para mejorar la **dotación de plazas de aparcamiento** en aparcamientos en altura, esto nos permitiría la recuperación de los espacios asfaltados o de plaza dura para incluir zonas verdes que mejoren el **índice biótico del suelo** y que además favorezcan a otros indicadores como el **espacio verde por habitante** o la percepción del verde urbano.

En el hipotético caso de que se planteen edificios garaje, supongamos una extensión de 1000 m² de huella de ocupación en planta, en el barrio de La Fama, podríamos destinar 5.247,32 m² a desarrollar un espacio público de calidad, con zonas verdes y mayor permeabilidad del suelo y en el barrio de La Paz, esta cantidad asciende a 19.515,45 m² de espacio público recuperable (Moreno, 2023). Aplicando estos datos hipotéticos, La Fama contaría con un espacio verde por habitante de 3,34 m² / hab que sigue sin alcanzar el mínimo, pero supone una mejora superior a 30 veces el existente. El barrio de La Paz seguiría sin superar el mínimo, pero quedaría más cerca con un valor de 8,28 m² / hab.

Futuras investigaciones podrían centrarse en la implementación de soluciones de urbanismo táctico como estrategias temporales para evaluar el impacto de la peatonalización en los barrios analizados. Asimismo, el uso de herramientas de simulación urbana podría proporcionar

predicciones más precisas sobre los efectos de las intervenciones propuestas en términos de reducción de tráfico y aumento de la calidad ambiental (Speck, 2018).

6. Conclusiones

La ocupación del espacio público por el vehículo privado en La Paz y La Fama ha reducido más de 25.000 m² de superficie peatonal en cuatro décadas, deteriorando indicadores como el índice biótico y el espacio verde por habitante, lo que compromete la habitabilidad y sostenibilidad. El análisis identifica tres líneas de acción prioritarias.

1. **Revertir la colonización del espacio público por el automóvil** mediante la construcción de aparcamientos en altura o compartidos, liberando suelo urbano para devolverlo al peatón y a la infraestructura verde. Esta estrategia permitiría alcanzar mejoras significativas en la dotación de zonas verdes, aunque aún insuficientes en términos absolutos.
2. **Recuperar y transformar espacios intersticiales y plazas duras** a través de intervenciones de urbanismo táctico y soluciones de bajo coste que actúen como laboratorios urbanos. Esto podría incluir el uso de pavimentos permeables, instalación de mobiliario urbano, vegetación de sombra, fuentes o elementos de juego, promoviendo la apropiación ciudadana del espacio.
3. **Adoptar modelos de movilidad alternativa**, como las “supermanzanas” (Rueda, 2019) o zonas de tráfico restringido, que prioricen el desplazamiento a pie, en bicicleta y el transporte público. En este sentido, sería conveniente complementar el análisis con variables como la conectividad ciclista, accesibilidad al transporte colectivo o niveles de contaminación ambiental y acústica.

Asimismo, se propone **complementar esta línea de trabajo con estudios comparativos** en otros barrios de vivienda social o con tipologías urbanas similares, así como evaluar el impacto de intervenciones piloto en términos de calidad ambiental, percepción ciudadana y cambio de hábitos de movilidad. Solo mediante una visión integral y proactiva del urbanismo será posible construir ciudades verdaderamente habitables, resilientes y equitativas, donde el espacio público vuelva a cumplir su función esencial como lugar de encuentro, convivencia y salud urbana.

7. Referencias

- Brau, L. (2018). La ciudad del coche. *Revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales*, 23, 27.
- Espinosa, A. J. M. (2023). *Cuatro décadas de vivienda pública y un eje urbano. Registro, análisis y evaluación de tres conjuntos residenciales en Murcia: Vistabella, La Paz y La Fama*. Universidad Politécnica de Cartagena].
- Flick, U. (2004). *Introducción a la investigación cualitativa*.
- García-Martín, F. M. (2013). El Polígono de La Paz, Murcia. Ejemplo de intervención de vivienda social en los años 60. In *VI Jornadas de Introducción a la Investigación en la UPCT* (Vol. 6, pp. 25-27). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4215782>
- Gehl, J. (2010). *Cities for People*.
- Moreno, C. (2023). *La revolución de la proximidad. De la "ciudad mundo" a la "ciudad de los quince minutos"*.
- PPS, P. f. P. S. (2005). *What Makes a Great Place?* <https://www.pps.org/article/august2005whatmakesplacegreat>
- Rueda, S. (2019). Superblocks for the Design of New Cities and Renovation of Existing Ones: Greening Urban Environments. . *Springer*.
- Rueda, S., & Aguado, M. D. (2013). *Guía de Certificación del Urbanismo Ecológico*. Retrieved from http://www.bcnecologia.net/sites/default/files/publicaciones/docs/certificacion_del_urbanismo_ecologico.pdf
- Sitmurcia, C. A. d. I. R. d. M. (2004). *Infraestructura de Datos Espaciales de la Región de Murcia*. <https://sitmurcia.carm.es/>
- Speck, J. (2018). *Walkable City Rules. 101 Steps to Making Better Places*.

Regeneración Urbana con Soluciones basadas en la Naturaleza: Transformación de Patios escolares en espacios públicos saludables.

LA REHABILITACIÓN Y REGENERACIÓN COMO INSTRUMENTOS PARA LOS NUEVOS PARADIGMAS SOCIALES

Hugo Enrique Canahua Sosa¹, Dalci Estefanía Eguiluz Zeballos²

¹ Arquitecto, Investigador y doctorando UPM, hugoenriquecanahuasosa@gmail.com

² Arquitecta, Estudiante de Máster UPM, dalciestefania.13.de@gmail.com

Resumen

Las ciudades enfrentan la pérdida progresiva de espacios públicos que fomenten la integración social y mitiguen los efectos del cambio climático. En este contexto, la regeneración urbana con Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) se presenta como una estrategia clave para redefinir el espacio público. Esta investigación analiza el potencial de los patios escolares como nodos urbanos regenerativos, capaces de generar oasis térmicos y propiciar estancias intergeneracionales inclusivas, seguras y saludables. A partir del estudio de 18 casos en el contexto europeo, se evalúan los beneficios e impactos de su transformación en la construcción de una "Ciudad Saludable", abordando variables como salud, mitigación del calor, agricultura urbana, gestión del agua, cohesión social y rendimiento académico. Los resultados evidencian que la rehabilitación de estos espacios con SbN no solo mejora el bienestar urbano, sino que también impulsa nuevos paradigmas sociales en la planificación y gestión del entorno construido.

Palabras clave: Forma Urbana; Soluciones basadas en la Naturaleza; Patios escolares; Ciudad Saludable.

Abstract

Cities are facing the progressive loss of public spaces that foster social integration and help mitigate the effects of climate change. In this context, urban regeneration through Nature-Based Solutions (NbS) emerges as a key strategy for redefining public space. This study examines the potential of schoolyards as regenerative urban nodes, capable of creating thermal comfort zones and promoting inclusive, safe, and intergenerational gathering spaces. Based on an analysis of 18 case studies across Europe, the research evaluates the benefits and impacts of these transformations in shaping a "Healthy City," focusing on variables such as health, heat mitigation, urban agriculture, water management, social cohesion, and academic performance. The findings highlight that rehabilitating these spaces through NbS not only enhances urban well-being but also drives new social paradigms in the planning and management of the built environment.

Key words: Urban Form; Nature-Based Solutions; Schoolyards; Healthy City.

1. Problemática – Marco Teórico

1.1. Cambio Climático y Ciudad Saludable

El mayor problema que enfrentan las grandes ciudades es el cambio climático que desde ya hace varios años viene causando importantes problemas de salud en sus habitantes. Según Fariña, Higuera, Román y Pozo (2022) no sólo por el aumento de temperaturas, que es el primero de los hechos constatados, sino también por importantes modificaciones en el régimen pluviométrico, incremento de episodios meteorológicos extremos e intensidad de situaciones de bloqueo atmosférico. Ante esta emergencia de las ciudades las dinámicas del uso del espacio público han sufrido grandes cambios, han surgido diferentes análisis sobre la vulnerabilidad que poseen nuestras ciudades ante esta no tan nueva amenaza y diversos documentos alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015) 3, 11 y 15 sobre qué herramientas podemos utilizar para mejorar la resiliencia y ofrecer espacios públicos saludables como medio principal de adaptación y mitigación.

En los últimos años, se ha reflexionado sobre la importancia de planificar las ciudades bajo un concepto de “salutogénesis”, es decir que la propia configuración de nuestras ciudades ofrezca a nuestros habitantes espacios públicos de calidad que hagan posible de cambiar su estilo de vida actual por uno más saludable. Entonces en un contexto de ciudades mediterráneas altamente densas se plantean dos preguntas, la primera ¿Cómo podemos ofrecer espacios públicos saludables? Y la segunda ¿dónde y por qué?

1.2. Soluciones basadas en la Naturaleza

Las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) son un concepto que, tal y como dicen Nesshöver et. al (2017) ha ido integrando diferentes prácticas, disciplinas y enfoques que han estado estrechamente relacionados como la reforestación urbana, infraestructura verde y azul, restauración de ecosistemas, gestión y manejo del agua, ingeniería blanda y dura, entre otras. Pueden ser usadas en proyectos de regeneración urbana, ya que imita o integra procesos y elementos naturales para abordar problemas ambientales y sociales (Eggermont, 2015), además de traer múltiples beneficios al ser aplicadas en espacios públicos. Por lo cual, respondiendo a la primera pregunta, las SbN tienen la capacidad de ser una herramienta que ofrezca espacios públicos saludables.

1.3. Patios escolares

Los patios escolares se encuentran dentro de una red de infraestructura educativa que cuenta con una posición estratégica y altamente privilegiada en la distribución de nuestras ciudades que frecuentemente se encuentran subutilizados. En los patios escolares de los centros educativos públicos de educación infantil y primaria el tiempo dedicado al recreo es de 30 minutos diarios, 525 horas a lo largo del curso (Marín et al., 2010) sin contar las horas de educación física y las actividades extraescolares que suceden dentro de este espacio si contamos solamente a los estudiantes. Comúnmente se suele olvidar que un entorno escolar es un lugar de alta concentración y afluencia de casi todos los grupos etarios de la ciudad, cada uno con necesidades diferentes. Por lo cual, respondiendo a la segunda pregunta, los patios escolares, surgen como el espacio ideal donde aplicar estrategias de regeneración urbana. Entonces, ¿por qué no empezar a considerarlos como “Espacios públicos educativos” dado su gran potencial de interacción social y los combinamos con las Soluciones basadas en la Naturaleza que potenciarán las dinámicas sociales y al mismo tiempo introducirán actuaciones que los dotarán del calificativo saludable?

2. Objetivos

El objetivo general de esta contribución es destacar la importancia de los patios escolares como componentes claves en la regeneración de nuevos espacios públicos saludables y resilientes ante el cambio climático.

Para ello, se han establecido los siguientes objetivos específicos:

- Presentar ejemplos concretos de intervenciones en patios escolares que han logrado mejorar la salud, cohesión social y rendimiento académico mediante Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) a través de los indicadores de evaluación planteados.

- Analizar y evaluar el beneficio e impacto de la transformación de los patios escolares en el contexto europeo, destacando su potencial para convertirse en oasis térmicos y centros de actividad intergeneracional.
- Proponer recomendaciones para la integración de los patios escolares como espacios públicos educativos, que fomenten el bienestar y la convivencia intergeneracional en zonas urbanas densas a través de Soluciones Basadas en la Naturaleza.

3. Metodología

Las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) constituyen un enfoque integrador que agrupa prácticas como la reforestación urbana, infraestructura verde y azul, restauración ecológica y gestión del agua (Nesshöver et al., 2017). Estas estrategias, que imitan o incorporan procesos naturales para responder a desafíos ambientales y sociales, han demostrado su efectividad en contextos urbanos al promover entornos más saludables y resilientes (Eggermont et al., 2015). En este marco, la presente investigación adopta las SbN como eje metodológico para analizar su aplicación en patios escolares y su capacidad para transformar estos espacios en verdaderos núcleos de regeneración urbana.

3.1. Selección de los casos de estudio

Esta investigación se fundamenta en el análisis de 18 casos reales de transformación de patios escolares mediante Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN), ubicados en España (2 en Madrid) y Francia (11 en París, 4 en Bordeaux y 1 en Annecy), países con políticas ambientales urbanas y educativas consolidadas. Esta línea de intervención ha sido precedida por iniciativas destacadas como el programa Oasis en París (iniciado en 2018), que sirvió de referente para la renaturalización de patios escolares en entornos densos, así como experiencias piloto en ciudades como Berlín y Ámsterdam, que incorporaron desde la primera década de los 2000 estrategias ecológicas y educativas en entornos escolares. Los criterios de selección incluyeron: (1) que las intervenciones estuviesen ya construidas y en funcionamiento entre 2010 y 2024, (2) que ofrecieran datos accesibles para su análisis, y (3) que representaran distintos niveles educativos urbanos.

3.2. Homologación y Caracterización educativa

Debido a las diferencias normativas entre los sistemas educativos, se llevó a cabo una homologación funcional considerando variables como (1) número de alumnos, (2) uso del espacio, (3) estructura física y (4) enfoques pedagógicos. Esto permitió una agrupación coherente de los casos y una lectura comparativa transversal. La elección de patios escolares responde a su potencial como nodos intergeneracionales donde confluyen funciones educativas, comunitarias y ambientales, haciendo de ellos escenarios estratégicos para evaluar intervenciones urbanas sostenibles.

3.3. Diseño del instrumento de evaluación

Cada caso fue analizado mediante una ficha analítica elaborada a partir de la “Guía para planificar Ciudades Saludables” (Fariña et al., 2022), adaptada a los objetivos del estudio. La ficha incluye una descripción general del proyecto, una ficha técnica con datos clave (ubicación, superficie, actores, participación), una sección detallada de las actuaciones realizadas (en torno a agua, biodiversidad y diseño lúdico), una tabla comparativa del antes y después de la intervención y los planos del proyecto (ver ejemplo en la Figura 1). Esta estructura permite evaluar seis variables centrales: impacto en salud, mitigación del calor, agricultura urbana, gestión sostenible del agua, cohesión social y rendimiento académico. Considerando para cada caso el estado previo y posterior, empleando fuentes técnicas, registros gráficos, documentación institucional y testimonios disponibles.

Colegio Raymond Quenau



Colegio - 5to Distrito/Paris - 2023

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El colegio Raymond Quenau está situado en una zona densa y muy urbanizada pero que cuenta con varios espacios verdes, en particular el jardín de plantas y los jardines del centro hospitalario vecino. En la parte más grande, una gran terraza divide el patio en dos y define dos zonas deportivas al tiempo que permite la plantación de dos nuevos árboles en la parte más soleada.

FICHA TÉCNICA

Nivel educativo	Colegio
Año de finalización	2023
Localización	66 Boulevard Marcel, 75005 5e arrondissement
Superficie total	910 m2
Costo del proyecto	-
Cliente	Section locale d'Architecture
Ejecutor	Direction des Affaires Scolaires de la Ville de Paris
Empresa	Jean Lefebvre
Acciones	CAUE de Paris
Es accesible fuera del horario escolar?	No
Es un proyecto subvencionado?	No
Acciones de concertación aplicadas	Talleres de sensibilización y co-concepción con los estudiantes. Talleres de concertación y co-concepción con la comunidad educativa.

MAPA DE UBICACIÓN



DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS ACTUACIONES

ADMINISTRACIÓN DEL AGUA: Como punto de partida del proyecto, se trabajó en la nivelación del terreno para que haya una correcta recolección de agua de lluvia.

BIODIVERSIDAD: Se identificaron 7 árboles existentes y en buen estado que como premisa de diseño del proyecto debían ser conservados.

DISEÑO LÚDICO: Se han añadido muchos asientos dentro del diseño del patio, respondiendo estos a las necesidades propias de los estudiantes: reunirse en gran número en las graderías, de 5 a 6 en los bancos cerrados, de dos alrededor de las mesas, o igual uno solo en un banco. Permitieron diseñar dos espacios multideportivos igualmente dedicados a grandes juegos colectivos. Un sistema de postes colgantes en el suelo permite a los equipos a instalar redes de voleibol en la parte longitudinal del terreno. El diseño de la parte periférica del patio permite crear un espacio de carreras para los estudiantes.

TABLA COMPARATIVA

TIPO DE ESPACIO	SUPERFICIE ANTES	EN	M2 /	SUPERFICIE DESPUÉS	EN	M2 /
Superficies accesibles a						
infantes	910			910		
Superficies impermeables	910			580		
Superficies permeables	0			330		
Superficies vegetales	0			65		
	PUNTOS DÉBILES			PUNTOS FUERTES		

PLANOS DEL PROYECTO

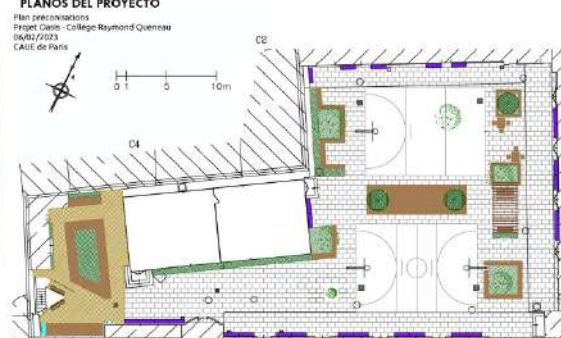


Figura 1. Ficha modelo 1 de Evaluación (de un total de 18 realizadas). Fuente: Elaboración propia, con imágenes recuperadas de Observatoire de cours oasis (s.f.).

3.4. Criterios de análisis y proyección

El enfoque comparativo permitió identificar patrones recurrentes, variaciones contextuales y tipos de SbN aplicadas. Esta metodología no solo facilitó la evaluación de beneficios inmediatos, sino también su impacto a medio plazo y su potencial de replicabilidad. Asimismo, se detectaron obstáculos comunes y factores facilitadores como la participación comunitaria o el apoyo institucional.

4. Resultados

4.1. Evaluación de los casos de estudio

El análisis de los casos de estudio, tomando en cuenta su situación antes (representada por la línea superior en el gráfico) y después de la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza (línea inferior en el gráfico), muestra una mejora considerable en los entornos educativos estudiados. Los resultados revelan que, antes de la intervención, la mayoría de los casos presentaban condiciones clasificadas como "malas" o "regulares" según los criterios de evaluación establecidos. No obstante, tras la implementación de las soluciones, se evidenció una evolución hacia estados considerados "buenos" y, en algunos casos, incluso "óptimos". Estos resultados avalan el impacto positivo de las SbN como una herramienta eficaz.

4.2. Inventario de Soluciones basadas en la Naturaleza

El inventario de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) producto de esta investigación destaca la amplia diversidad y el potencial de estas soluciones para abordar de manera integral los distintos desafíos urbanos. Los seis indicadores propuestos permiten analizar las SbN desde varias perspectivas clave relacionadas con la regeneración urbana:

- **Impacto en salud (12 SbN):** Este indicador se presenta como el más desarrollado, con una fuerte concentración en estrategias orientadas a mejorar el bienestar físico y mental en los entornos urbanos, especialmente en los educativos.
- **Mitigación del calor (10 SbN):** Las soluciones incluidas bajo este indicador se enfocan principalmente en la reducción de la temperatura urbana, utilizando vegetación y zonas de sombra.

- Agricultura urbana (8 SbN): Aunque representa el indicador con menor cantidad de soluciones actualmente, su importancia es creciente, especialmente por su potencial para mejorar la seguridad alimentaria y fortalecer el vínculo entre la naturaleza y los entornos urbanoS.
- Gestión sostenible del agua (11 SbN): Este indicador resalta por su enfoque en soluciones que combaten la escasez de agua mediante métodos como la gestión de aguas pluviales y zonas de drenaje.
- Cohesión social (11 SbN): Las SbN desempeñan un papel fundamental en la creación de espacios urbanos inclusivos que fomentan la convivencia, la equidad social, y el sentido de comunidad.
- Rendimiento académico (11 SbN): Los resultados evidencian cómo las SbN contribuyen positivamente al ambiente educativo, mejorando el bienestar de los estudiantes y fortaleciendo habilidades académicas.

Este enfoque destaca que las SbN son herramientas clave para la regeneración urbana, contribuyendo a mejorar la salud, la cohesión social y el rendimiento educativo.

4.3. Beneficios e Impactos de las SbN

La matriz de beneficios e impactos se ha desarrollado a partir de los criterios de evaluación definidos en esta investigación y en base a las SbN identificada en el inventario, identificando tanto los beneficios inmediatos como los impactos proyectados de cada SbN registrada (ver Figura 2). Este análisis no solo facilita una comprensión más profunda de la efectividad de estas soluciones en diversos contextos urbanos, sino que también constituye una contribución clave para su futura replicabilidad, proporcionando un marco de referencia claro que guiará su implementación en nuevos procesos de regeneración urbana en patios escolares.

IMPACTO EN SALUD		
Beneficio	SbN	Impacto
Mejora inmediata de la calidad del aire Captura de contaminantes y partículas suspendidas Provisión de sombra y reducción de calor Incremento de biodiversidad y diversificación del paisaje Bloqueo de partículas y reducción de ruido Fomento de espacios frescos y mejora de la calidad del aire Protección contra la radiación solar Mejora del bienestar físico y mental Espacios versátiles para actividades recreativas y educativas Mejora del paisaje y fomento de la actividad física Captura de polvo y partículas, reducción del calor Reducción del ruido ambiental	Plantación de árboles en diversas zonas del patio Plantación de arbustos para mejorar la calidad del aire Uso estratégico de árboles de copa frondosa Plantación de especies variadas de árboles Instalación de barreras vegetales contra focos de contaminación Creación de pequeñas áreas boscosas Creación de áreas sombreadas mediante vegetación pequeña Creación de zonas de descanso con césped Creación de zonas multifunción vegetalizadas Creación de senderos naturales utilizando árboles Instalación estratégica de muros verdes vivos Instalación de cercos vegetales contra la contaminación acústica	Reducción de enfermedades respiratorias y mejora del bienestar Reducción del impacto de la contaminación atmosférica Disminución del estrés térmico y mejora del confort térmico Aumento de la resiliencia del ecosistema y la salud ambiental Mejora de la salud respiratoria y auditiva Mitigación del cambio climático a nivel local Reducción de la incidencia de problemas de piel Espacios para la relajación y el contacto con la naturaleza Reducción del estrés y mejora de la convivencia Promoción de estilos de vida saludables Mejora de la calidad ambiental y reducción de enfermedades Mejora de la salud mental y del confort auditivo

Figura 2. Beneficios e Impactos de las SbN de los casos de estudio. Ficha Impacto de Salud, 1 de 6.
Fuente: Elaboración propia.

5. Discusión

El análisis de los 18 casos de estudio, el inventario desarrollado y los Beneficios e Impactos de las SbN revelan dos pautas clave para la transformación de los patios escolares dentro de procesos de regeneración urbana:

1. **Introducción de la Naturaleza.** Un eje clave en la transformación de los nuevos patios escolares europeos es la introducción de la naturaleza, que promueve la salud de los usuarios, mitiga el calor producido por el cambio climático en complemento con la gestión del agua, y se utiliza la agricultura urbana presente en forma de huertos o jardines educativos para aumentar la cohesión social y el rendimiento académico.
2. **Cambiar la impermeabilidad por permeabilidad.** Los casos analizados revelan que la clave para la transformación de los patios escolares basados en un modelo tradicional (impermeable) ya ha quedado obsoleto. Fomentar la permeabilidad, no solo incorporando la naturaleza mediante diversas especies vegetales, sino también incluyendo mobiliario sostenible y espacios versátiles que puedan integrarse al currículo escolar, resulta clave para cualquier iniciativa de regeneración urbana.

Entre los principales obstáculos detectados figuran la falta de presupuesto inicial, la resistencia docente, y la escasa formación técnica para el mantenimiento de las SbN. Sin embargo, experiencias exitosas en París y Madrid han demostrado que la co-creación con la comunidad educativa y la colaboración interinstitucional son claves para superar estos desafíos.

5.1. Proyección y Replicabilidad

Los resultados obtenidos permiten no solo validar la eficacia de las SbN en entornos educativos, sino también identificar condiciones clave para su escalabilidad. La integración temprana en planes municipales, la colaboración intersectorial y la adaptación normativa fueron aspectos recurrentes en los casos exitosos. Estas estrategias se alinean con políticas públicas como el Plan Climat de París (2018), el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático de España (2021), y la Estrategia de Infraestructura Verde de la Unión Europea, evidenciando que, con voluntad institucional y participación comunitaria, las SbN pueden incorporarse como línea estratégica en políticas de regeneración urbana.

6. Conclusión

Las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) estudiadas en esta investigación demuestran ser una de las herramientas más efectivas y versátiles para enfrentar los desafíos urbanos actuales, particularmente en los entornos educativos. Estas estrategias no solo proporcionan beneficios inmediatos como la mejora de la calidad del aire, reducción de las temperaturas urbanas y la creación de espacios colaborativos, sino que también generan impactos duraderos en la salud física y mental, la resiliencia frente al cambio climático y la cohesión social. Además promueven la educación ambiental, fomentan la interacción comunitaria y mejoran el bienestar colectivo. Propuestas como aulas al aire libre, huertos escolares o jardines multisensoriales impulsan la sostenibilidad, a la vez que enriquecen el desarrollo emocional y académico de los estudiantes.

En resumen, las SbN no se limitan a abordar problemas específicos, sino que establecen las bases para una regeneración urbana integral, transformando las ciudades en entornos más saludables, inclusivos y resilientes, con un enfoque particular en los entornos educativos, donde se integran la sostenibilidad, el aprendizaje práctico y la construcción de comunidad.

7. Referencias

- Eggermont, H., Balian, E., Azevedo, J. M. N., Beumer, V., Brodin, T., Claudet, J., & Le Roux, X. (2015). Nature-based solutions: New influence for environmental management and research in Europe. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, 24(4), 243–248.
- Fariña, J., Higuera, E., Román, E., & Pozo, E. (2022). Guía para planificar ciudades saludables. Ministerio de Sanidad, FEMP. Madrid.
- Marín, A., García, J., & Pérez, M. (2010). ESTUDIO MICOS: ENTORNOS ESCOLARES SALUDABLES. Bases para una estrategia de intervención de patios, accesos y entornos escolares. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/317836292_ESTUDIO_MICOS_ENTORNOS_ESCOLARES_SALUDABLES_Bases_para_una_estrategia_de_intervencion_de_pacios_accesos_y_entornos_escolares
- Nesshöver, C., Assmuth, T., Irvine, K. N., Rusch, G. M., & Wittmer, H. (2017). The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. *Science of the Total Environment*, 579, 1215–1227. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.106>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Observatoire des Oasis. (s.f.). *Observatoire des Oasis*. <https://www.observatoire-oasis.fr/>
- Ville de Paris. (2018). *Plan Climat Air Énergie de Paris*. <https://cdn.paris.fr/paris/2021/07/29/ef9012b839db4a1e5f57a5e4b64922f3.pdf>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030 (PNACC)*. Gobierno de España. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/pnacc-2021-2030_tcm30-509093.pdf
- Comisión Europea. (2013). *Green Infrastructure (GI) — Enhancing Europe's Natural Capital*. European Commission. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52013DC0249>

Mitigación de la Pobreza Energética a través de la Rehabilitación Urbana: el Proyecto EPIU-Getafe Hogares Saludables como Modelo de Innovación y Acción Social

LA REHABILITACIÓN Y LA REGENERACIÓN COMO INSTRUMENTOS PARA LOS NUEVOS PARADIGMAS SOCIALES

Alejandro López Parejo¹, Marta Acosta Plata², Fernando González Ferreira³

¹ Arquitecto Urbanista, Coordinador del Área de Hogares y Regeneración en EMSV Getafe, alejandro.lopez.ohs@emsvgetafe.org

² Licenciada en Ciencias Ambientales, Técnica en la Oficina de Transformación Comunitaria, EMSV Getafe, marta.acosta@emsvgetafe.org

³ Arquitecto, Coordinador de proyecto URBACT-ITN, EMSV Getafe, fernando.gonzalez@emsvgetafe.org

Resumen

El proyecto EPIU-Getafe Hogares Saludables fue una iniciativa innovadora financiada por la Unión Europea a través de las Acciones Urbanas Innovadoras y desarrollada entre 2019 y 2023. Su objetivo principal fue la identificación y mitigación de la pobreza energética oculta en áreas vulnerables de Getafe: Las Margaritas y La Alhóndiga-Fátima. Para ello, combinó fases de diagnóstico (Entender), atención (Atender) y acción (Actuar), basado en el análisis avanzado de datos para segmentar la población afectada y diseñar soluciones personalizadas, llevando a cabo medidas en tres escalas: hogar, edificio y barrio. El proyecto ha tenido un impacto significativo en la reducción de la pobreza energética mediante una combinación de intervenciones físicas, estrategias de sensibilización y un enfoque basado en datos, reduciendo en un 35 % el número de hogares que no podían mantener temperaturas adecuadas y demostrando que un enfoque integral es clave para combatir la pobreza energética.

Palabras clave: Pobreza Energética; Rehabilitación; Vulnerabilidad; Eficiencia Energética.

Abstract

The EPIU-Getafe Healthy Homes project was an innovative initiative funded by the European Union through the Urban Innovative Actions and developed between 2019 and 2023. Its main objective was to identify and mitigate hidden energy poverty in vulnerable areas of Getafe: Las Margaritas and La Alhóndiga-Fátima. To achieve this, the project combined phases of diagnosis (Understand), attention (Attend), and action (Act), based on advanced data analysis to segment the affected population and design personalized solutions, implementing measures at three scales: home, building, and neighborhood. The project had a significant impact on reducing energy poverty through a combination of physical interventions, awareness strategies, and a data-driven approach, reducing by 35% the number of households unable to maintain adequate temperatures, demonstrating that an integrated approach is key to combating energy poverty.

Key words: Energy Poverty; Rehabilitation; Vulnerability; Energy Efficiency.

1. Introducción

En España, una de cada diez viviendas se encuentra en situación de pobreza energética (Romero, Linares, & López Otero, 2014), una problemática que impacta negativamente sobre la calidad de vida de miles de ciudadanos. En el municipio de Getafe, el desafío principal radica en identificar y reducir la pobreza energética oculta, que se estima podría afectar a un porcentaje de entre el 15% y el 30% de los hogares (Romero et al., 2022), lo que equivaldría a aproximadamente 55.677 habitantes. Este problema se ve agravado por la situación salarial del municipio, donde el ingreso medio es 5.071 euros inferior al del resto de la Comunidad de Madrid. Como consecuencia, se estima que son muchos los hogares del municipio que no pueden cubrir sus necesidades de calefacción y refrigeración ni hacer frente a la factura energética. Esta situación de vulnerabilidad es particularmente mayor en ciertos barrios de Getafe como Las Margaritas y La Alhóndiga, caracterizados por:

- Un parque de viviendas construido entre las décadas de 1960 y 1980 con bajos o nulos estándares de eficiencia energética.
- La ausencia de sistemas de calefacción en aproximadamente el 50 % de las viviendas.
- Una alta presencia de población en riesgo de vulnerabilidad social, incluidas personas migrantes, personas mayores y desempleados.

En respuesta a esta problemática, el proyecto EPIU-Getafe Hogares Saludables propone una redefinición del concepto de vulnerabilidad energética, incluyendo no solo a aquellos hogares que no pueden afrontar los costes energéticos, sino también a aquellos que deben destinar una parte excesiva de sus ingresos para mantener una temperatura confortable.

El enfoque innovador del proyecto se sustenta en la identificación, evaluación, reducción y prevención de la pobreza energética oculta a través de un sistema de análisis de datos y soluciones personalizadas a diferentes escalas que se detallan en la siguiente sección.

Además de su impacto durante la fase de implementación, el proyecto sentó las bases para una integración estructural de los aprendizajes en las políticas municipales de Getafe, asegurando la continuidad de las acciones desarrolladas y consolidando una nueva metodología de intervención frente a la pobreza energética en el ámbito local.

2. Caso de estudio: el proyecto EPIU-Getafe Hogares Saludables

2.1. Introducción al proyecto y objetivo

El proyecto EPIU-Getafe Hogares Saludables (*Energy Poverty Intelligence Unit*) fue una iniciativa pionera financiada por la Iniciativa de Acciones Urbanas Innovadoras (*Urban Innovative Actions*, UIA) de la Unión Europea y ejecutada entre septiembre de 2019 y agosto de 2023. Liderado por el Ayuntamiento de Getafe junto a la Empresa Municipal del Suelo y la Vivienda (EMSV), contó con la colaboración de siete socios estratégicos: la Universidad Carlos III de Getafe, la Universidad Politécnica de Madrid, Khora Urban Thinkers, la Asociación de Ciencias Ambientales, la Fundación Laboral de la Construcción, la Fundación Naturgy y Cruz Roja.

El principal objetivo del proyecto fue la identificación y mitigación de la pobreza energética oculta (*Hidden Energy Poverty*, HEP) en dos barrios de Getafe con mayor vulnerabilidad socioeconómica: Las Margaritas y La Alhóndiga-Fátima. Para ello, EPIU desarrolló un enfoque innovador basado en inteligencia de datos y análisis avanzado, integrando información de diversas fuentes como los servicios sociales, el padrón municipal y las distribuidoras energéticas. Esta estrategia permitió segmentar a la población afectada, superar barreras como la falta de datos estructurados en la administración pública y el estigma social asociado a la pobreza energética, y diseñar soluciones a medida para los hogares en situación de vulnerabilidad.

2.2. Líneas de actuación y escalas de trabajo

El proyecto EPIU-Getafe Hogares Saludables se estructuró en torno a tres líneas de acción principales: **Entender**, **Atender** y **Actuar**. Este enfoque permitió desarrollar un modelo de intervención integral para la identificación, mitigación y prevención de la pobreza energética oculta en el municipio de Getafe.

- Entender (gestión de datos y diagnóstico)

Esta primera fase se centró en la recopilación, visualización y análisis de datos provenientes de diversas fuentes, incluidos los Servicios Sociales, el padrón municipal, administraciones autonómicas y estatales y distribuidoras energéticas (Ledezma et al., 2024). Mediante el uso de herramientas avanzadas de análisis, se elaboró un diagnóstico detallado de la pobreza energética en Getafe, segmentando a los hogares, edificios y barrios en función de sus características y vulnerabilidades específicas. Esta información permitió diseñar soluciones personalizadas (*Tailor-Made Solutions*) adaptadas a cada perfil identificado.

- Atender (atención a la ciudadanía)

Durante esta fase, se creó la Oficina de Hogares Saludables (OHS), un nuevo servicio municipal diseñado para ofrecer asesoramiento especializado, seguimiento continuo y atención directa a los hogares en riesgo. La OHS operó bajo un modelo integral de ventanilla única o *One-Stop Shop*, facilitando la gestión de suministros energéticos, la recopilación de datos relevantes y el desarrollo de itinerarios personalizados de atención (figura 1, esquema de operativa de OHS).

Esquema simplificado de atención OHS

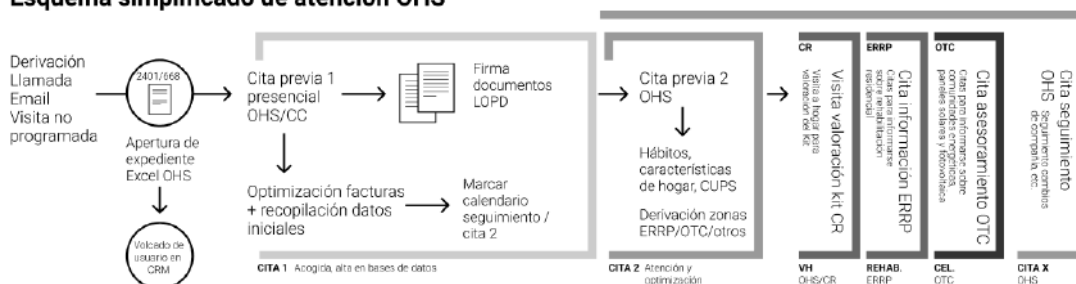


Figura 1. Esquema de funcionamiento de Oficina Hogares Saludables. Fuente: elaboración propia.

- Actuar (respuesta y actuaciones sobre el terreno)

Finalmente, esta fase materializó las intervenciones a tres escalas: hogar, edificio y barrio. Las medidas -soluciones a medida- (Sánchez-Guevara et al., 2022) implementadas abarcaron desde estrategias de sensibilización y formación hasta intervenciones técnicas como la reducción del efecto isla de calor, mejoras en la eficiencia energética de las viviendas y la promoción de energías renovables a través del autoconsumo fotovoltaico colectivo. Además, el impacto de estas acciones fue cuantificado y retroalimentado en el sistema de análisis de datos, estableciendo un ciclo de aprendizaje y mejora continua.

En la siguiente subsección se ofrece una matriz de actividades y resultados a modo resumen de las acciones llevadas a cabo en cada una de las fases del proyecto anteriormente descritas teniendo en cuenta tres escalas de actuación: **hogar**, **edificio** y **barrio**, así como el alcance final de las mismas.

2.3. Matriz de actuaciones

El proyecto EPIU-Getafe ha logrado consolidarse como un referente en la lucha contra la pobreza energética a través de un enfoque basado en datos, atención a la ciudadanía e intervenciones directas. La estrategia se ha desarrollado en tres escalas: hogar, edificio y barrio, estructurando las acciones en torno a tres líneas de trabajo clave: Entender (gestión de datos y diagnóstico), Atender (servicios de atención a la ciudadanía) y Actuar (intervenciones sobre el terreno). En la Tabla 1 se recogen las principales actuaciones llevadas a cabo en cada fase y en cada una de las escalas, así como su alcance.

Tabla 1. Recopilación de actuaciones por fase (Entender, Atender, Actuar), escalas de actuación de la estrategia en base al proyecto EPIU (Hogar, Edificio, Barrio) y alcance. Elaboración propia.

Escala	Gestión de datos, diagnóstico (Entender)	Servicios de atención a la ciudadanía (Atender)	Respuesta y actuaciones sobre el terreno (Actuar)	Alcance
--------	--	---	---	---------

Hogar	Datos de la unidad familiar (cuestionarios), sensorización de las viviendas y visitas a vivienda (auditorías).	Atención a la ciudadanía en materia de suministros.	Respuesta mediante kits de eficiencia energética/ actuaciones duras y asistencia en optimización de facturas y bono social.	1.342 familias
Edificio	Recopilación de datos de la edificación a través de estudios según antigüedad.	Asesoramiento y soporte en convocatorias de rehabilitación edificatoria. Árboles de decisión a escala edificio e identificación de necesidades según cada comunidad de propietarios.	Actuaciones de rehabilitación de edificios. Mejora de aislamiento y envoltorio a distintos niveles según evaluación previa.	8 edificios
Barrio	Información agregada sobre situación del barrio (índices de vulnerabilidad, ingresos); sensores de vía pública.	Actuaciones informativas a pie de calle. Participación en ferias y eventos con entidades de los barrios.	Actuaciones duras: refugio climático y plaza bioclimática.	2 actuaciones urbanas

A escala hogar, se ha priorizado la recopilación de datos sobre la unidad familiar, la sensorización de viviendas (que permite medir los niveles de CO₂ y temperatura de la vivienda, y su evolución antes y después de las actuaciones a las distintas escalas) y auditorías energéticas. A través de la Oficina de Hogares Saludables (OHS), se ha ofrecido asesoramiento en la optimización de suministros, logrando atender a 1.342 familias (figura 2). En cuanto a las intervenciones, se han distribuido kits de eficiencia energética y se ha proporcionado asistencia en la optimización de facturas y acceso al bono social.



Figuras 2 (izquierda) y 3 (derecha). Oficina Hogares Saludables de atención a la ciudadanía en materia de suministros (Atender; escala hogar) (izquierda) y actuación de urbanismo táctico con Cruz Roja (Atender; escala barrio) (derecha).

En la escala edificio, el proyecto ha desarrollado estudios de rehabilitación basados en la antigüedad y tipología de las edificaciones, permitiendo la identificación de necesidades específicas en distintos códigos postales. Como resultado, ocho edificios han sido rehabilitados, con mejoras en aislamiento y eficiencia energética, asegurando un impacto duradero en la reducción de la vulnerabilidad energética.

Por último, a escala barrio, se han recopilado datos agregados sobre índices de vulnerabilidad e ingresos, permitiendo una planificación más precisa de intervenciones urbanas. A través de acciones informativas y participación ciudadana (figura 3), se han fomentado soluciones colectivas para mejorar el confort térmico y la resiliencia del entorno urbano. Como parte de las actuaciones concretas, se han implementado dos intervenciones clave: la creación de un refugio

climático y una plaza bioclimática, ofreciendo espacios adaptados a los efectos del cambio climático.

2.4. Principales resultados

El proyecto EPIU ha generado un impacto significativo en la reducción de la pobreza energética en Getafe, combinando intervenciones físicas, estrategias de sensibilización y un enfoque basado en datos.

En términos de impacto directo, se logró una reducción del 35% en el número de hogares que no podían mantener una temperatura adecuada, mientras que el 28% de la población fue caracterizada en términos de vulnerabilidad energética, permitiendo un enfoque más preciso en la asignación de recursos. Además, el 77% de los beneficiarios expresaron su satisfacción con las medidas implementadas.

La integración entre áreas municipales fue clave para el éxito del proyecto, con un 30,1% de los usuarios de la Oficina de Hogares Saludables (OHS) derivados de otros servicios municipales. Asimismo, el personal del Ayuntamiento valoró positivamente la formación recibida, con un índice de satisfacción (NPS) que osciló entre el 78% y el 96% (García, 2024).

El proyecto también permitió extraer aprendizajes clave. Se constató que la mejora del confort térmico en los hogares es más determinante en la lucha contra la pobreza energética que la simple reducción del gasto energético o de las emisiones de gases de efecto invernadero. De hecho, la reducción de emisiones en hogares y edificios beneficiarios fue negativa (-4,6%), lo que evidenció que muchas familias, antes incapaces de calentar sus viviendas, ahora lo hacen gracias a las mejoras implementadas.

Desde el punto de vista metodológico, la falta de datos estructurados en las administraciones y empresas energéticas representó un reto, pero también una oportunidad para la creación de un lago de datos, un repositorio inédito que permitió integrar información arquitectónica, energética y socioeconómica para una mejor toma de decisiones.

En cuanto a las medidas implementadas, las reformas integrales fueron la intervención más efectiva a nivel de hogar y edificio, destacando la sustitución de ventanas como una de las soluciones con mayor impacto. A nivel de barrio, la creación de espacios bioclimáticos ha generado una percepción ciudadana positiva, con efectos a largo plazo en la resiliencia urbana. Entre las medidas blandas, la optimización de facturas energéticas fue la acción con mejor relación costo-impacto, mientras que la entrega de kits energéticos se consolidó como una herramienta clave para la confianza y el empoderamiento de la población más vulnerable.

En definitiva, EPIU ha demostrado que la combinación de soluciones técnicas, atención a la ciudadanía y análisis de datos permite abordar la pobreza energética de manera integral, con resultados replicables en otras ciudades.

3. Conclusiones

El proyecto EPIU-Getafe Hogares Saludables ha demostrado que la lucha contra la pobreza energética requiere una combinación de análisis de datos, atención personalizada y soluciones estructurales a diferentes escalas. A través de un enfoque innovador y multidisciplinario, se han logrado avances significativos en la identificación y reducción de la vulnerabilidad energética en los barrios objetivo, sentando las bases para una estrategia replicable en otras ciudades.

Uno de los principales logros ha sido la transformación del modelo de gestión municipal, pasando de una administración reactiva a una administración proactiva y predictiva, capaz de identificar a los hogares en riesgo antes de que soliciten ayuda. Este cambio ha sido posible gracias a la creación del visor, una herramienta que ha permitido la integración de datos socioeconómicos, urbanísticos y energéticos para optimizar la toma de decisiones.

A nivel de intervención, se ha evidenciado que la mejora del confort térmico es más determinante en la lucha contra la pobreza energética que la simple reducción del gasto en suministros. Si bien se ha reducido en un 35 % el número de hogares sin temperatura adecuada, algunos indicadores, como el leve aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero, reflejan que muchas familias han comenzado a calentar sus hogares tras años sin poder hacerlo. Esto refuerza la necesidad de combinar medidas de rehabilitación con estrategias de optimización del consumo.

El impacto del proyecto no se ha limitado al ámbito local (figura 4, resultados del proyecto). A través de su participación en redes internacionales como EPAH, EMA y el Pacto de Alcaldes por el Clima y la Energía, EPIU ha compartido su modelo con otras ciudades europeas, promoviendo su escalabilidad y transferencia. Además, la consolidación de la Oficina de Hogares Saludables (OHS) como una ventanilla única dentro de la EMSV garantiza la continuidad de las iniciativas de asesoramiento y rehabilitación a largo plazo.

Sin embargo, el éxito de EPIU plantea nuevos retos estratégicos. La transición de ayudas económicas a ayudas en especie facilitará la rehabilitación sin depender de la capacidad de pago inicial de los ciudadanos. Además, la integración de inteligencia artificial en la toma de decisiones permitirá mejorar la eficiencia en la asignación de recursos y fortalecer la autonomía de las familias beneficiarias.

En definitiva, el carácter pionero de EPIU radica en su capacidad de actuar a tres escalas (hogar, edificio y barrio), integrar un enfoque transversal desde la administración local y abordar tanto el frío como el calor extremo. Con estos pilares, Getafe se ha consolidado como un referente en la lucha contra la pobreza energética, con un modelo innovador, sostenible y adaptable a diferentes contextos urbanos e integrado en la estrategia Getafe Rehabilita (López-Parejo, 2024).

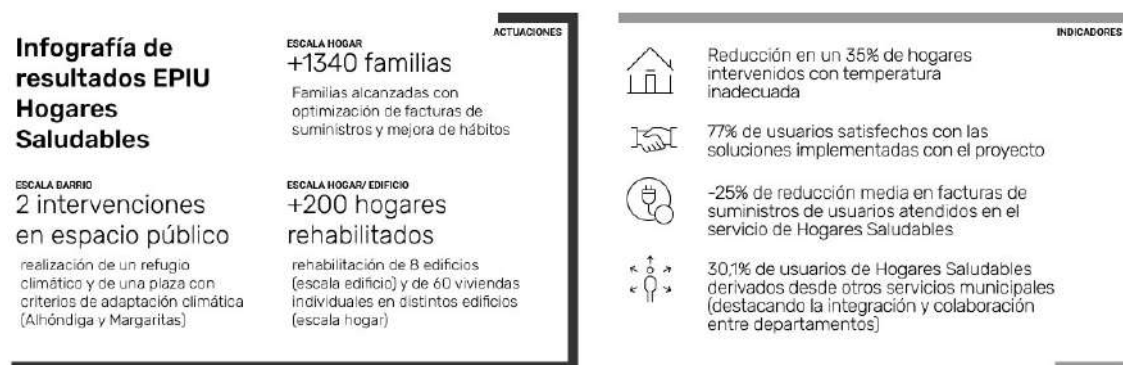


Figura 4. Esquema resultados proyecto EPIU Hogares Saludables. Fuente: elaboración propia.

4. Referencias

- García, M. (2024, noviembre 13). Journal #4: One year after the end of the EPIU implementation period. UIA Initiative. <https://www.uia-initiative.eu/en/pdf/3143>
- Ledezma, A., Escudero, A., & Martínez, L. (2024). Addressing Energy Poverty Through Data-Driven Solutions: The EPIU Case Study. En F. Pérez-Bermejo, M. N. Moreno, & A. Gómez-Oliva (Eds.), *Computational Thinking for Smart Cities* (pp. 35–52). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-53433-1_3
- López-Parejo, A. (2024). Getafe rehabilita desde la sostenibilidad y el enfoque social. *Ciudad Sostenible*, 52,(pp.32-37). <https://www.ciudadostenible.eu/wp-content/uploads/2024/09/CS52-OK.pdf>
- Romero, J. C., Linares, P., & López Otero, X. (2014). Pobreza energética en España: Análisis económico y propuestas de actuación. *Economics for Energy*.
- Romero, J. C., Barrella, R., Centeno, E., & Mariño, L. (2022). Informe de indicadores de pobreza energética en España 2020. Cátedra de Energía y Pobreza, Universidad Pontificia Comillas.
- Sánchez-Guevara, C., González-Díez, A., García-García, A., & Martín-Consuegra, F. (2022). Urban regeneration against energy poverty: Lessons from the EPIU project in Getafe (Madrid, Spain). *ACE: Architecture, City and Environment*, 17(51), 11387. <https://doi.org/10.5821/ace.17.51.11387>

Manifiesto Hábitat Social

La calidad arquitectónica al servicio de la equidad y la sostenibilidad

NUEVAS FORMAS DEL HABITAR: LA VIVIENDA COMO OPORTUNIDAD DEL SECTOR Y LA SOCIEDAD

Marcela Ablá¹, Philippe Capelier², Sergio García-Gasco Lominchar³, Mariana Flores-García⁴

¹Arquitecta Urbanista, Codirectora Social hábitat UIA. Marcelamabla@gmail.com

²Arquitecto, Codirector Social hábitat UIA. Philippe.capelier@bluetango.fr

³Arquitecto, Profesor CEU-San Pablo. Sergio.garcialominchar@ceu.es

⁴Arquitecta Investigadora ITC, Universidad Salle Bajío, México. maryfg83@gmail.com

Resumen

La Unión Internacional de Arquitectos (UIA), mediante su Social Habitat Work Programme (SHWP), promueve un marco que define los principios esenciales hacia soluciones arquitectónicas en vivienda social, enfocándose en combatir la desigualdad urbana y fomentar la integración y sostenibilidad. El Manifiesto Hábitat Social del SHWP, aprobado en el Congreso Mundial de Arquitectos UIA 2023 en Copenhague, establece principios clave para asegurar el derecho universal a una vivienda digna. Basado en tres derechos fundamentales y cuatro pilares estratégicos, este documento propone un marco alineado con la Agenda 2030 de la ONU y las normativas internacionales de arquitectura, impulsando un modelo de vivienda sostenible e inclusivo. En el contexto de la temática 5 de CCS, esta comunicación destaca los principios del Manifiesto, promoviendo la adopción de criterios de sostenibilidad y equidad urbana.

Palabras clave: Vivienda; Sostenibilidad urbana; Hábitat social; Agenda 2030; UIA

Abstract

The International Union of Architects (UIA), through its Social Habitat Work Programme (SHWP), promotes a framework that defines essential principles for architectural solutions in social housing, focusing on combating urban inequality and fostering integration and sustainability. The SHWP Social Habitat Manifesto, approved at the UIA World Congress of Architects 2023 in Copenhagen, establishes key principles to ensure the universal right to decent housing. Based on three fundamental rights and four strategic pillars, this document proposes a framework aligned with the UN 2030 Agenda and international architectural standards, promoting a sustainable and inclusive housing model. In the context of CCS Theme 5, this communication highlights the principles of the Manifesto, promoting the adoption of sustainability and urban equity criteria.

Key words: Housing; Urban Sustainability; Social Habitat; 2030 Agenda; UIA

1. Introducción. La UIA y el Social Habitat Work Programme

La Unión Internacional de Arquitectos (UIA) es una organización global que agrupa a arquitectos y entidades relacionadas con el diseño del entorno construido en todo el planeta. A través de sus programas de trabajo, impulsa el desarrollo de modelos de desarrollo arquitectónico sostenibles e inclusivos. Uno de estos programas es el Social Habitat Work Programme (SHWP), cuyo objetivo es generar un espacio de reflexión y acción en torno a la vivienda social y su impacto en la cohesión social, la equidad urbana y la sostenibilidad. El SHWP reúne a 26 miembros de cinco continentes y trabaja en estrecha colaboración con arquitectos, urbanistas, legisladores, planeadores y activistas sociales. Su labor se estructura en torno a la identificación de buenas prácticas, la promoción de políticas inclusivas y la elaboración de estrategias innovadoras en vivienda social.

1.1. Actividades principales del SHWP

El **SHWP se reúne en sesiones plenarias**, en las que participan un promedio de 20 especialistas de distintas regiones. Además, organiza debates temáticos y encuentros internacionales para compartir conocimientos y desarrollar estrategias conjuntas. Algunas de sus principales actividades incluyen:

- **Observatorio Internacional de Vivienda Social:** Identificación de proyectos ejemplares en diferentes contextos sociales y urbanos, evaluando su innovación arquitectónica, sostenibilidad e integración comunitaria.
- **Publicaciones especializadas:** Elaboración de estudios y recopilación de buenas prácticas sobre arquitectura y hábitat social.
- **Presentaciones y participación en eventos internacionales:**
 - Foro Internacional de Madrid AHA-Affordable Housing Activation (2022); (CSCAE - OBSERVATORIO 2030, 2022).
 - Congreso Mundial de Arquitectos UIA Copenhague (2023): Presentación del Manifiesto de Hábitat Social y organización de una mesa redonda. (UIA, 2023).
 - Conferencia sobre Cambio Climático de la ONU COP 30 (2024): Presentación del Manifiesto y sus herramientas de aplicación, en colaboración con UN-Habitat.
 - Foro Internacional de Arquitectura en Kuala Lumpur (2024); (UIA, 2023) (UIA, 2024).

A través de estos espacios, el SHWP fomenta la colaboración interdisciplinaria y la implementación de soluciones habitacionales más equitativas y sostenibles basadas en el Manifiesto de la UIA. (Habitat for Humanity, 2023) (ONU HABITAT, 2019) (UIA, Work Programmes, 2024) (WUF, 2024) (UN HABITAT, 2009) (UIA, 2024).

2. Manifiesto Hábitat Social: herramienta marco para la vivienda sostenible

En el Congreso Mundial de Arquitectos UIA 2023 en Copenhague, el SHWP presentó el Manifiesto de Hábitat Social, un documento de consenso que establece principios clave para una vivienda social digna, accesible y sostenible. Desde entonces, este manifiesto ha sido traducido a más de 50 idiomas y se ha convertido en una referencia global en el debate sobre la crisis habitacional. Su enfoque está alineado con la Agenda 2030 de la ONU, promoviendo soluciones habitacionales que favorezcan la integración, la equidad y la sostenibilidad.

2.1. Principios fundamentales

El Manifiesto establece tres principios esenciales:

- **El derecho a la vivienda es un derecho al hábitat:** No se trata solo de una vivienda física, sino de un entorno integral con acceso a servicios esenciales, espacios comunitarios y oportunidades socioeconómicas.
- **El derecho al hábitat es universal e inalienable:** Todas las personas, incluidas las más vulnerables, deben tener acceso a una vivienda digna.

- **El derecho al hábitat depende de la arquitectura:** La calidad del diseño arquitectónico influye directamente en el bienestar de las personas y en la sostenibilidad del entorno urbano. Por tanto, son los arquitectos los responsables de llevar a cabo los cambios y la mejorar de los espacios donde se desarrolla la vida.

2.2. Cuatro pilares estratégicos

Además de los tres principios enunciados, el Manifiesto articula su visión en torno a cuatro pilares clave:

- **Hábitat como hogar (Dignidad):** Garantizar espacios habitacionales de calidad, evitando la estigmatización de la vivienda social.
- **Hábitat como núcleo (Participación e inclusión):** Promover la participación de los habitantes en el diseño y evolución de sus viviendas.
- **Hábitat como organismo (Integración urbana):** Desarrollar entornos urbanos inclusivos, conectados y con acceso a infraestructuras esenciales.
- **Hábitat como proceso responsable (Sostenibilidad):** Diseñar viviendas con criterios de eficiencia energética y uso de materiales sostenibles.

A través de estos principios generales, se refuerza la idea de que la vivienda social no debe limitarse a una respuesta inmediata a la demanda habitacional, sino que debe ser un elemento clave en la transformación urbana sostenible.

2.3. Matriz de los Principios y Pilares del Hábitat Social

El derecho a la vivienda y a un hábitat digno se concibe como un concepto integral que trasciende estructuras físicas, abarcando dimensiones sociales, urbanas y ambientales. Inspirados en el manifiesto de la Unión Internacional de Arquitectos (UIA), se introduce una matriz que enlaza principios teóricos con aplicaciones prácticas en distintos tipos de espacios —privados, colectivos y públicos—, ilustrando el análisis con ejemplos arquitectónicos representativos de América Latina, Europa y Asia, lo anterior se encuentra detallado en la Tabla 1.

Tabla 1. Matriz de Principios y Pilares del Hábitat Social orientados a la vivienda, Fuente: Elaboración propia a partir de <https://www.uia-architectes.org/wp-content/uploads/2024/02/Social-Habitat-Spanish.pdf>

Derecho al hábitat como entorno integral.		
Espacio privado: Viviendas con sistemas de ventilación cruzada, iluminación natural y materiales no tóxicos.	Espacio colectivo: Equipamientos comunitarios accesibles a max 500 mts. Ej. centros de salud y guarderías.	Espacio público: Redes de transporte público conectadas a corredores verdes y plazas interculturales.
Universalidad e inalienabilidad.		
Espacio privado: Unidades adaptables. Hogares multigeneracionales o personas con discapacidad.	Espacio colectivo: Cooperativas de vivienda con cuotas accesibles y modelos de autogestión.	Espacio público: Programas de regularización de asentamientos informales con titularidad segura.
Responsabilidad Arquitectonica		
Espacio privado: Diseño bioclimático con techos inclinados para captación de agua en zonas tropicales.	Espacio colectivo: Estructuras modulares prefabricadas con participación de habitantes en su ensamblaje.	Espacio público: Rehabilitación de bordes urbanos con infraestructura verde para mitigar inundaciones.

3. Pilares estratégicos y ejemplos arquitectónicos

3.1. Pilar 1. Hábitat como Hogar (Dignidad)

Estrategias de implementación: Evitar estigmas mediante diseño estético y funcional. Algunas tipologías pueden integrar **Viviendas en altura con fachadas dinámicas**, (uso de colores y texturas para romper monotonía visual), e **Integración con patrimonio local**, mediante el rescate de técnicas constructivas tradicionales. Algunos ejemplos destacados son los establecidos en la tabla 2:

Tabla 2. Ejemplos de estrategias de implementación del Pilar 1: Hábitat como Hogar.

Revestimientos artesanales: Baldosas pintadas a mano Quinta Monroy , reflejando identidad local. (AV, 2025).	Balcones profundos: En Heliópolis , permiten home office y jardinería urbana. (ArchDaily, 2014).	Casa dos Caseiros (Brasil): Bloques concreto, revestimiento anti-grafiti. (Vada, 2019)
		

3.2. Pilar 2: Hábitat como núcleo (Participación)

Estrategias de implementación: Co-diseño con comunidades y planes de autogestión. Algunas tipologías pueden integrar **Talleres de autoconstrucción:** con espacios donde residentes aprenden técnicas de ampliación, así como **Plataformas modulares:** que incluyen sistemas estructurales que permiten crecimiento adaptativo (tabla 3).

Tabla 3. Ejemplos de estrategias de implementación del Pilar 2: Hábitat como núcleo.

Elemental (Chile): Familias ampliaron sus viviendas usando guías técnicas proporcionadas por arquitectos. (AV, 2025)	Villa Verde (Chile): Talleres comunitarios para diseño de plazas. (Archdaily, 2013)	53 logements collectifs et espaces partagés, Lille (59). (Delhay, 2022). Reivindica la dimensión colectiva- social de las viviendas.
		

3.3. Pilar 3: Hábitat como organismo (Integración urbana)

Estrategias de implementación: Conectar viviendas con redes de movilidad y equipamientos (tabla 4).

Tabla 4. Ejemplos de estrategias de implementación del Pilar 3: Hábitat como organismo.

Karl Marx-Hof (Viena): Incluye lavanderías comunitarias, guarderías y teatros dentro del complejo. (Prokopljević, 2021)	Colaboración internacional entre Japan and Kenya hacia un hábitat social sustentable. Japan 2015.	Centro Cultural Gabriela Mistral (Chile): Equipamiento cultural en zona vulnerable. (Dejtiar, 2020)
		

3.4. Pilar 4: Hábitat como proceso responsable (Sostenibilidad).

Estrategias de implementación: Ciclos cerrados de agua, energía y materiales (tabla 5).

Tabla 5. Ejemplos de estrategias de implementación del Pilar 4: Hábitat como proceso responsable.

Mampostería de bloques reciclados: En Heliópolis, se usaron escombros locales para fabricar bloques estructurales. (FERNÁNDEZ-MONTES LAJAS, 2025)	Francia: Ecoquartier de Bonne (Grenoble), Les Passerelles (París), Ecoquartier Ginko (Burdeos) (Grenoble-tourisme, 2025)	Italia: Social Housing Green (Milán). Affordable Housing in Milan / C+S Architects. (Pintos, 2022)
		

3.5. Tendencias acordes a diversidad entre países:

- **Europa:** Fuerte integración urbana y énfasis en la sostenibilidad.
- **América Latina:** Proyectos de autoconstrucción y participación comunitaria.
- **África:** Uso de materiales locales y soluciones adaptadas al clima.
- **Asia:** Densidad y aprovechamiento del espacio vertical.
- **Oceanía:** Innovación en eficiencia energética y diseño ecológico.

La aplicación de los principios y pilares del Manifiesto del Hábitat Social de la UIA se traduce en una **diversidad de soluciones arquitectónicas y espacios para la comunidad** según el contexto local, pero siempre con el objetivo de garantizar dignidad, inclusión, integración y sostenibilidad en la vivienda social. Los ejemplos internacionales muestran cómo estos principios pueden adaptarse y enriquecerse en distintos entornos culturales y geográficos.

4. Conclusiones

La **Unión Internacional de los Arquitectos**, a través del **Social Habitat Work Programme** (SHWP) y su **Manifiesto de Hábitat Social** ofrece un marco estratégico para establecer la vivienda social desde una perspectiva arquitectónica común y consensuada a nivel global. El Manifiesto representa un marco de trabajo de principios fundamentales sobre los que trabajar, pero fundamentado en la arquitectura de calidad y las consecuencias de su aplicación en el bienestar de las personas. Como próximos pasos, se desarrollarán indicadores de medición para evaluar las buenas prácticas ya ejecutadas en distintos contextos sociales y regionales. Estos indicadores permitirán analizar el impacto de la arquitectura de calidad en el hábitat construido, asegurando que las intervenciones arquitectónicas respondan efectivamente a los principios del Manifiesto de Hábitat Social y contribuyan a un desarrollo sostenible y equitativo. Además, el SHWP continuará su labor en foros internacionales, promoviendo el reconocimiento del Manifiesto de Hábitat Social por parte de organismos como UN-Habitat y consolidando herramientas metodológicas que permitan evaluar la vivienda social desde una perspectiva integral.

5. Referencias

- Apaydin, Y. (2025). Vauban Eco District Freiburg as a model for sustainable urban regeneration. UrbanDesignLab. Contemporary Urbanism, Environmental Planning, Landscape Design. Obtenido de <https://urbandesignlab.in/vauban-eco-district-freiburg-as-a-model-for-sustainable-urban-regeneration/>
- Archdaily. (2013). Villa Verde / ELEMENTAL. Archdaily. Obtenido de <https://www.archdaily.mx/mx/02-309072/villa-verde-elemental>
- ArchDaily. (2014). Vivienda Social Heliópolis / Biselli Katchborian Arquitectos. ArchDaily. Obtenido de <https://www.archdaily.mx/mx/625845/vivienda-social-heliopolis-biselli-katchborian-arquitectos>
- AV. (2025). Viviendas Quinta Monroy, Iquique. ArquitecturaViva. Obtenido de <https://arquitecturaviva.com/obras/viviendas-quinta-monroy>
- CSCAE - Observatorio 2030. (2022). Affordable Housing Activation AHA. Atlas Global de Vivienda. Obtenido de <https://atlas.affordablehousingactivation.org/>
- Delhay, S. (2022). Machu Picchu – 53 logements collectifs et espaces partagés, Lille (59). L'Observatoire CAUE de l'architecture, de l'urbanisme. Obtenido de <https://www.caue-observatoire.fr/ouvrage/machu-picchu-53-logements-collectifs-et-espaces-partages-lille-59/>
- Dejtari, F. (2020). Crisis Social en Chile: Cristián Fernández sobre lo que representa el Centro Cultural Gabriela Mistral. ArchDaily. Obtenido de <https://www.archdaily.mx/mx/932145/crisis-social-en-chile-cristian-fernandez-sobre-lo-que-representa-el-centro-cultural-gabriela-mistral>
- FERNÁNDEZ-MONTES LAJAS, P. (2025). Nuevo elemento para el complejo de viviendas Heliópolis por Biselli Katchborian Arquitectos Asociados. METALOCUS. Obtenido de <https://www.metalocus.es/es/noticias/nuevo-elemento-para-el-complejo-de-viviendas-heliopolis-por-biselli-katchborian-arquitectos>
- Grenoble-tourisme. (2025). L'écoquartier de Bonne. Cultural heritage: Lugar y monumento histórico. Grenoble Tourisme. Obtenido de <https://www.grenoble-tourisme.com/es/catalogue/detail/grenoble-3014728/l-ecoquartier-de-bonne-5921559/>
- Habitat for Humanity. (2023). Climate adaptation through housing. Examples of effective interventions for informal settlements. Obtenido de <https://www.habitat.org/sites/default/files/documents/climate-adaptation-through-housing-report.pdf>
- ONU HABITAT. (2019). Elementos de una vivienda adecuada. Obtenido de <https://onuhabitat.org.mx/index.php/elementos-de-una-vivienda-adecuada>
- Pintos, P. (2022). Affordable Housing in Milan / C+S Architects. Obtenido de <https://www.archdaily.com/983139/affordable-housing-in-milan-c-plus-s-architects>
- Prokopljević, J. (2021). Karl Marx Hof, la supermanzana de la Viena Roja. Veredes. Obtenido de <https://veredes.es/blog/karl-marx-hof-la-supermanzana-de-la-viena-roja-jelena-prokopljevic/>
- UIA. (2023). CAFx International Manifesto Relay 2023. Obtenido de <https://uia2023cph.org/program/cafx-international-manifesto-relay-2023/>
- UIA. (2023). Copenhagen Lessons. Obtenido de <https://www.uia-architectes.org/en/news/copenhagen-lessons/>
- UIA. (2024). The Architecture of Social Habitat: Leave No One Behind. Obtenido de <https://www.uia-architectes.org/en/resource/the-architecture-of-social-habitat-leave-no-one-behind/>
- UIA. (2024). Union Internationale des Architectes - Unión Internacional de Arquitectos. Obtenido de <https://www.uia-architectes.org/en/>
- UIA, Work Programmes. (2024). Work Programmes Union International of Architects. Obtenido de <https://www.uia-architectes.org/en/working-bodies/work-programmes/>
- UN HABITAT. (2009). The Right to Adequate Housing. Office of the United Nations High Commissioner for Human Rights: United Nations, Geneva. Obtenido de https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/Publications/FS21_rev_1_Housing_en.pdf
- WUF. (2024). Housing and Spatial Justice in the XXI Century Social Habitat and Informal Settlements. Obtenido de <https://wuf.unhabitat.org/event/wuf12/housing-and-spatial-justice-xxi-century-social-habitat-and-informal-settlements>

Hacia un modelo circular.

LA DESCARBONIZACIÓN Y LA ECONOMÍA CIRCULAR PARA UNA GESTIÓN EFICIENTE DE LOS RECURSOS NATURALES.

Ana Castillo Redondo¹ y Lieven De Groote².

¹ Arquitecto Superior por la ETSAM (Escuela Técnica Superior de Arquitectos de Madrid. (Colegiada en el COAM), ana@makerarchitecten.com

² Ingeniero-Arquitecto por la RUG (Rijksuniversiteit Gent), lieven@makerarchitecten.com

Resumen

La economía CIRCULAR es un campo amplio que abarca diversos aspectos y enfoques dentro del sector de la arquitectura y la construcción. Desde nuestra experiencia y especialización durante los últimos 15 años en Bélgica, compartimos los retos, obstáculos, lecciones aprendidas y casos de éxito en la implementación de estrategias circulares en nuestros proyectos.

Agrupamos dichos retos en tres grupos, ilustrados con casos prácticos:

1. Desafío logístico y ciclo de vida de los materiales. Proyectos: Bouwmaterialendorp en el Puerto de Bruselas y Pabellón para la Architekturwoche en Basilea.
2. Estrategias de renovación circulares del patrimonio construido. Reversibilidad espacial y técnica y reutilización de materiales. Proyecto: WVDM Living Lab.
3. Viviendas sociales: estrategia circular en proyectos con viabilidad económica. Inclusión social, nuevas maneras de vivir y reutilización de materiales in situ. Proyecto: Tuighuisstraat en Kortrijk.

Aplicamos principios de diseño basados en la jerarquía de residuos. Diseñamos para conservar, reutilizar, rehabilitar y finalmente, reciclar.

Palabras clave: Circular; Reversibilidad; Reutilizar, Ciclo De Vida Del Material; Renovación

Abstract

The CIRCULAR economy is a broad field that encompasses various aspects and approaches within the architecture and construction sector. Based on our experience and specialization over the past 15 years in Belgium, we share the challenges, obstacles, lessons learned, and success stories in implementing circular strategies in our projects.

We categorize these challenges into three groups, illustrated through practical case studies:

1. Logistical challenge and material life cycle. Projects: Bouwmaterialendorp at the Port of Brussels and Pavilion for the Architekturwoche in Basel.
2. Circular renovation strategies for the built heritage. Spatial and technical reversibility and material reuse. Project: WVDM Living Lab.
3. Social Housing: Circular strategy in economically viable projects. Social inclusion, new housing typologies, and on-site material reuse. Project: Tuighuisstraat in Kortrijk.

We apply design principles based on the waste hierarchy. We design to maintain, reuse, refurbish, and finally, recycle.

Key words: Circular; Reversibility; Reuse; Material Life Cycle; Renovation

1. Hacia un modelo circular

Los diagramas de Brand (1995) y el Butterfly diagram de Ellen MacArthur Foundation (2021), junto con investigaciones de universidades belgas y holandesas y congresos nacionales en Bélgica desde 2018, han sido fundamentales en las estrategias de nuestra práctica diaria. Esta competencia nos ha permitido, desde 2021, renovar el contrato de asesoramiento en construcción circular con la Institución Bruxelles Environnement para proyectos públicos en la ciudad de Bruselas. Revisamos pliegos y propuestas desde la perspectiva circular, promovemos un protocolo para evaluar y a la vez fomentar soluciones más sostenibles en términos de recursos, reversibilidad espacial y técnica, reutilización y minimización de residuos.

A continuación, agrupamos algunos de nuestros proyectos como ilustración de diferentes estrategias circulares:

1. Desafío logístico y ciclo de vida de los materiales. Proyectos: Bouwmaterialendorp en el Puerto de Bruselas y Pabellón para la Architekturwoche en Basilea.
2. Estrategias de renovación circulares del patrimonio construido y su escalabilidad a otros proyectos de mayor envergadura. Reversibilidad espacial y técnica y reutilización de materiales. Proyecto: WVDM Living Lab.
3. Viviendas sociales: estrategia circular en proyectos con viabilidad económica. Inclusión social, nuevas maneras de vivir y reutilización de materiales in situ. Proyecto: Tuighuisstraat en Kortrijk.

2. Casos prácticos

2.1. Desafío Logístico: Bouwmaterialendorp para el puerto de Bruselas y pabellón en Basilea para la Architekturwoche

Nuestras propuestas para el Puerto de Bruselas y el Pabellón de Basilea abordan cuatro desafíos clave en la construcción circular: gestión logística de materiales, uso de materiales recuperados, creación de redes e integración urbana y social. Estos factores definirán la identidad de cada proyecto según sus especificidades.

Desafío logístico: La transición hacia una economía circular requiere nuevas cadenas de valor. El diseño de productos circulares, la gestión del ciclo de vida y las estrategias de recuperación son esenciales. Sin embargo, la logística sigue siendo un cuello de botella, con retos en transporte, gestión de inventarios y cadenas de suministro. Coordinar la oferta y demanda de materiales recuperados y listos para su reuso, supone un replanteamiento estructural de estos procesos.

Catalizador urbano: El Pabellón de Basilea busca impulsar una economía circular en el distrito en desarrollo de Dreispitz. Aprovechando las actividades logísticas y centros de conocimiento locales, se plantea como un catalizador para una nueva forma de logística: la logística inversa. Aunque el pabellón es temporal, sus raíces sociales y logísticas serán permanentes.

Los hangares industriales del Puerto de Bruselas sirven como un centro de transferencia de materiales de construcción mediante transporte fluvial, creando sinergias entre empresas a través del intercambio de materiales entrantes y salientes, energía, mano de obra y conocimientos. La construcción de los hangares por barco redujo significativamente el impacto medioambiental, mientras que su estructura modular y reversibilidad espacial hacen de este proyecto un ejemplo destacado, premiado con el Brussels Architecture Prize 2021 y destacado por Holcim Foundation for Sustainable Construction en 2014.

2.2. Estrategias de renovación circulares. Caso WVDM Living Lab

Para este proyecto, MAKER llevó a cabo una investigación bajo la supervisión y validación de investigadores de Patrimonio y Arquitectura Circular de la VUB (Universidad Libre de Bruselas) sobre estrategias de renovación circular, que posteriormente se implementaron y construyeron en un proyecto piloto. Los más de 300 dormitorios modulares para estudiantes en el campus de la VUB, diseñados por el arquitecto modernista Willy Van Der Meeren en 1972, estuvieron en riesgo de demolición. Hoy en día, están siendo reutilizados para darles un nuevo uso versátil. Los 12 módulos del proyecto no solo sirven como un catalizador para la preservación, sino que

también lideran el camino hacia la transición de los edificios restantes a un modelo de renovación circular. El proyecto se centra en la preservación (estructuras de concreto y unidades sanitarias) y la reutilización de materiales tanto en el sitio (paneles Fontex, elementos de hormigón originales y baldosas de terraza) como fuera de él (moqueta, aislamiento, iluminación, sanitarios y cocinas).

El enfoque comienza con un 'casco' que cubre las necesidades básicas y el confort para cualquier programa, aprovechando las ventajas de los módulos prefabricados de hormigón originales y la inercia térmica. Se complementa con una envolvente de materiales bio-ecológicos de buen rendimiento. Este 'casco' permite agregar capas reversibles para usos específicos. El proyecto se enfoca en el proceso, no en el resultado final, fomentando la flexibilidad y la experimentación. Los usuarios no son consumidores, sino productores, y la estructura modular permite la creación de kits de construcción con componentes estandarizados, compatibles e intercambiables, maximizando la reutilización y reduciendo el impacto financiero.

La forma es resultado del método de ensamblaje y de la disponibilidad de materiales. Como una *machine à habiter*, la renovación se ve como parte de un proceso dinámico de ocupación de materiales y funciones.

2.3. Viviendas sociales: estrategia circular en proyectos de viabilidad económica e inclusión social.

La idea original de la "ciudad jardín" (Howard, 1992) con jardines individuales conectados a un espacio verde común central, se perdió en gran medida en el conjunto de viviendas del periodo de entreguerras de la Tuighuisstraat en Kortrijk. Muchos de los jardines han sido transformados en garajes y construcciones cerradas, lo que dificulta la conexión entre las viviendas y el espacio libre central, afectando la interacción vecinal y complicando la inclusión social.

El nuevo proyecto transforma la parte trasera de las viviendas en una segunda fachada, activando el espacio central y mejorando la calidad, flexibilidad y valor de las viviendas.

Las siete parcelas agrupadas en una esquina se traducen en tres volúmenes, a escala del nuevo barrio, densificando su respuesta al entorno e incluyendo nuevas tipologías. El objetivo es promover un desarrollo sostenible y fortalecer la cohesión social mediante una función colectiva en la planta baja. Las parcelas disgregadas restantes se reconstruyen mediante un enfoque de acupuntura urbana en el entramado existente, impulsando la renovación del vecindario sin necesidad de demolición total ni de un proyecto global. La reapertura de pasajes cerrados fomenta la permeabilidad del barrio, integrando el espacio central al tejido urbano y potenciando los ejes visuales, lo que refuerza la sensación de seguridad y control social.

Las tipologías han sido concebidas teniendo en cuenta los nuevos tipos de familias cambiantes, permitiendo que sigan viviendo en el mismo barrio a pesar de la evolución de sus necesidades.

El gran reto técnico circular de este proyecto ha sido la recuperación (in situ) de los ladrillos y tejas de las casas originales para su reutilización como fachada en las nuevas viviendas. El estudio de los morteros originales permitió su recuperación en un alto porcentaje. La composición del nuevo mortero posibilitará la recuperación de las mismas piezas en el futuro para nuevas construcciones, alargando así la vida útil de este material sustancialmente.

El proceso participativo ha involucrado a los residentes actuales y futuros en la organización del espacio central y de los locales colectivos. Algunos vecinos y personal de talleres sociales participaron en el proceso final de colocar los sobrantes de ladrillos recuperados en las cestas de gaviones.

3. Referencias

Brand, S. (1995). *How buildings learn: What Happens After They're Built*. Penguin.

Ellen MacArthur Foundation (2021). *The butterfly diagram: visualising the circular economy*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>

Howard, E. (1992). *Garden Cities of Tomorrow*.

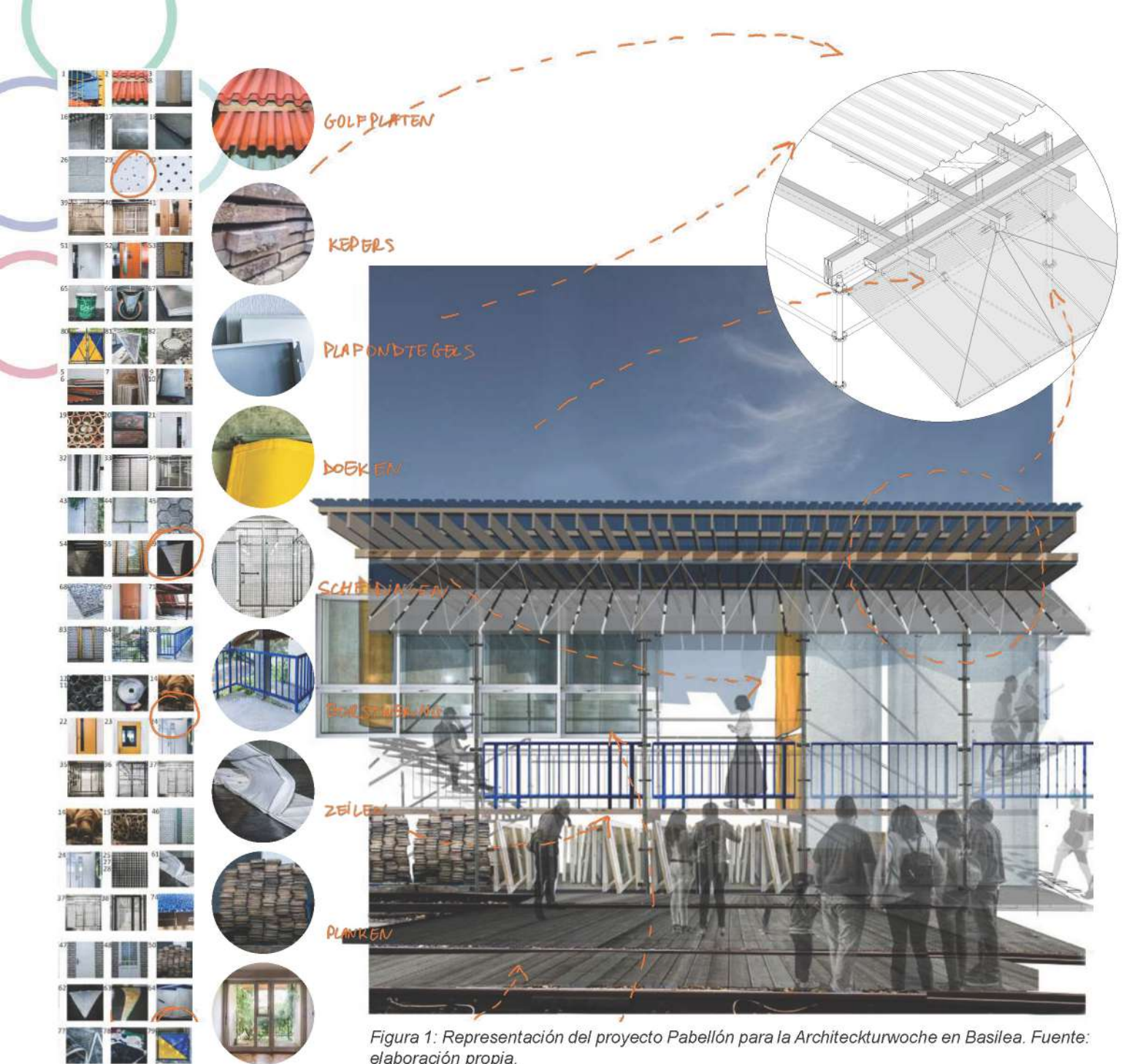


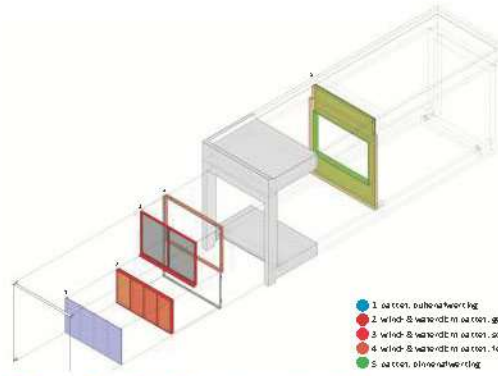
Figura 2: Imagen del proyecto Bouwmaterialendorp en el Puerto de Bruselas. © F.Dujardin
© MAKER architecten / Architectuurplatform TerwecorenVerdickt



Figura 3-4: Imagen proyecto Bouwmaterialendorp en el Puerto de Bruselas. ©F.Dujardin



Figura 1: Imagen del proyecto WVDM Living Lab. Fuente: elaboración propia.



VITWISSELBARE ELEMENTEN



COULOU COCON !



VAST PAKKET



FLEXIBEL BOUWPAKKET COLON



FLEXIBEL BOUWPAKKET TENT



FLEXIBEL BOUWPAKKET INSTALLATIES



FLEXIBEL BOUWPAKKET LAYERING

MATERIALEN

- Hergebruikt van ex situ biobased
- Biobased materialen
- Hergebruikt in situ (+ betonnen structuur)

ENERGIE

Zonnepanelen

MATERIALEN

Als mecano

STRATEGIE 1 : TENT

Nieuwe lichte extra gevel creëert binnen-buitenruimte

BLAUW & GROEN

Groene daken
Groene retentiebekkens
Wadi-regenwater buffering
Swales, infiltratie medianen en dempingbekkens. Vangt water op, zorgt voor overstromingsmitigatie en natuurlijke drainage.

GROEN

Groene zijk-strategie als onderdeel van groene infrastructuur. Open ruimten omvatten groen voor gemeenschappelijk gebruik, sociaal gebruik, spelen en cultivering.

STRATEGIE 3 : LAYERING

Gelagde, omkeerbare gevel-constructie

STRATEGIE 2 : COCON

Geprefabriceerde dozen worden tussen de structuur geplaatst

©IMAKER architecten



VAST PAKKET



Figura 2: Imagen del proyecto WVDM Living Lab. Fuente: elaboración propia.

Figura 3-4-5: Imagen del proyecto WVDM Living Lab. Fuente: elaboración propia.



Figura 1-2: Imágenes del proyecto Tuighuisstraat en Kortrijk. Fuente: elaboración propia.



FLEXIBEL
GEVELSYSTEEM



STEENKORVEN

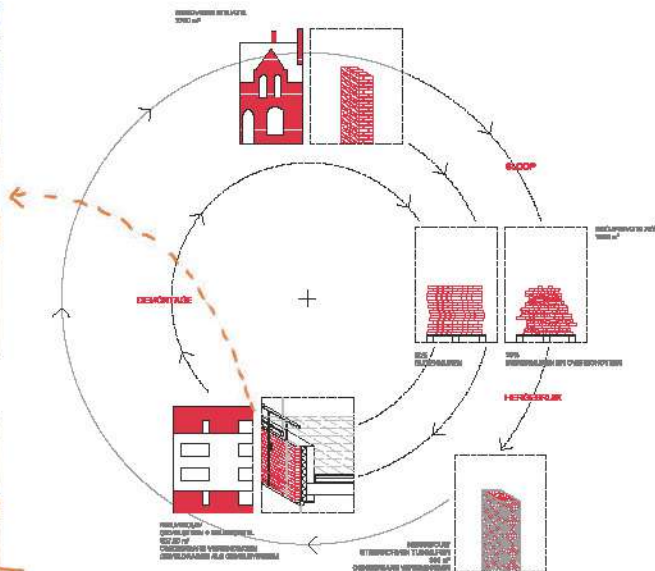


Figura 4: Imagen del proyecto Tuighuisstraat en Kortrijk. Fuente: elaboración propia



Figura 3: Imagen del proyecto Tuighuisstraat en Kortrijk. Fuente: elaboración propia.



TESTEN VAN ONOMBERBAARHEID MORTELS

Figura 5-6-7-8-9: Imágenes del proyecto Tuighuisstraat en Kortrijk. Fuente: elaboración propia.



Figura 10: Imagen del proyecto Tuighuisstraat en Kortrijk.

187 ©StijnBollaert



Figura 11-12-13: Imagen del proyecto Tuighuisstraat en Kortrijk. ©StijnBollaert

Woodie I: DfMA-D

Diseño para la fabricación, el montaje y el desmontaje. El edificio como mina de materiales y reservorio de carbono.

HERRAMIENTAS Y PROCESO PARA LA SOSTENIBILIDAD INTEGRAL: LA INDUSTRIALIZACIÓN Y LA DIGITALIZACIÓN.

Pablo Saiz Sánchez¹, Jesús López² y Pablo Medina di Fiori Arquitecto³

¹ PhD Arquitecto, Director de Arquitectura y Cofounder de Woodea, pablo.saiz@woodea.es.

² Arquitecto, Project manager en Woodea, jesus.lopez@woodea.es.

³ Arquitecto, Director de Operaciones y Cofounder Woodea, pablo@woodea.es.

Resumen

Woodie 1 es un edificio prototipado y parametrizable basado en componentes y DfMA que tiene como principal objetivo responder al reto de aportar viviendas sostenible y asequible en el contexto del cambio climático. Utiliza la madera técnica como principal elemento estructural aprovechando capacidad de absorber carbono para reducir el impacto medioambiental su facilidad para ser industrializada para mejorar los procesos constructivos y la capacidad de absorber carbono para reducir el impacto medioambiental.

Palabras clave: DfMA-D; Producto; Circularidad; Huella de Carbono

Abstract

Woodie 1 is a prototyped and parametrizable building based on components and DfMA that aims to respond to the challenge of providing sustainable and affordable housing in the context of climate change. The main structural element is engineered wood, taking advantage of its ease of industrialisation to improve construction processes and its ability to absorb carbon to reduce environmental impact.

Key words: DfMA-D; Product; Circularity; Carbon footprint.

1. El Trilema

En el mercado existen soluciones que resuelven el reto por pares. Soluciones asequibles que proveen un gran volumen de viviendas sin tener en cuenta el impacto ambiental y soluciones de baja huella de carbono cuyo resultado son viviendas poco asequibles. Con lo que reducir el impacto de la construcción parece sólo posible reduciendo la actividad constructiva, lo que no daría respuesta a la necesidad actual de nueva vivienda.

La propuesta aquí planteada parte de la búsqueda de una solución a este trilema (Figura 1). Una solución de vivienda sostenible y asequible.

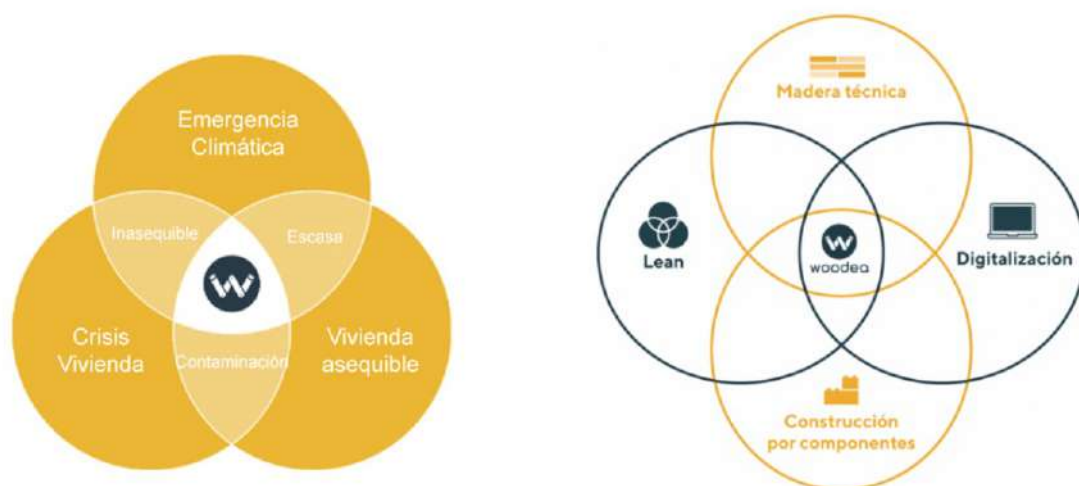


Figura 1. Trilema y estrategias de Woodea. Fuente: Elaboración propia.

Como decimos en Woodea, un problema complejo no se puede abordar desde una sola óptica. La adopción de la solución basada en estas cuatro estrategias (Figura 1) nos permite ofrecer construcciones a precios que nos facilitan competir con la construcción tradicional, sorteando la “prima verde” que separa la construcción responsable de la que no lo es.

2. Estrategia

2.1. Reducción de impacto

Con el fin de reducir el impacto de la construcción, es necesario trabajar en tres áreas diferenciadas:

- Recursos
- Emisiones
- Residuos

La industria de la construcción está al borde del agotamiento de **recursos** clave debido a la masiva extracción. Es necesario enfocar la construcción hacia estrategias de economía circular y a la utilización de materiales renovables que limite nuestra dependencia del minado tradicional de materiales.

En cuanto a las **emisiones**, la construcción es responsable de más de un tercio de las emisiones a nivel global con lo que es necesario actuar de manera radical en este aspecto. Con la entrada en vigor del antiguo código técnico de la edificación el 29 de marzo de 2006, según el Real Decreto 314/2006, las emisiones en fase de uso se han rebajado de manera significativa, con lo que si queremos seguir reduciendo es necesario trabajar en la energía embebida de los materiales en las fases de producción y construcción, desde la fase A1 hasta la A5 del análisis de ciclo de vida.

Finalmente, en la generación de **residuos**, de nuevo la construcción participa con un volumen considerable. La reducción de los residuos al finalizar la vida útil pasa por la posibilidad de reciclar o reutilizar los materiales y componentes de la construcción. Para esto es necesario adoptar unos

procesos de construcción que permitan una valorización adecuada, y pasar de una construcción húmeda en la que es difícil separar los materiales a una construcción en seco, una construcción para el ensamblaje y el desensamblaje, tal y como se sugiere en *Cradle to cradle: remaking the way we make things* (McDonough, W., & Braungart, M., 2002).

2.2. Construcción Industrializada con madera técnica

El propósito de la construcción industrializada no es más que mejorar la productividad del sector constructor con el fin de hacer asequibles productos que hechos de otro modo no lo serían.

A través de las estrategias de la construcción industrializada se reduce la brecha de precio que existe entre la construcción tradicional y una construcción de bajo o nulo impacto. Estas estrategias son principalmente tres:

- Construcción por componentes y diseño para el ensamblaje y desensamblaje (DfMA-D): Una construcción basada en el montaje de componentes previamente fabricados en taller. Es una arquitectura orientada al montaje que permite de manera inversa ser desmontada.
- Pensamiento y organización Lean: Un modo de pensar que elimina los desperdicios en la producción (acciones que no agregan valor añadido) comenzando por el diseño, pasando por la producción y finalmente por el montaje con organización tipo Last Planner o planificación por fases.
- Digitalización: Uso de las herramientas digitales para aumentar la productividad, enlazando toda la cadena de valor digital desde el diseño a las órdenes de compra, producción, logística y montaje.

Finalmente, le añadimos madera técnica por ser un material fácilmente industrializable, renovable y que asienta CO₂ en su crecimiento teniendo una huella de carbono negativa de 1,1 tn/m³ (Leskinen et al., 2018).

La unión de estas cuatro estrategias forma la base de la propuesta de Woodea para la resolución del trilema y la creación de un sistema que ofrezca vivienda sostenible y asequible.

2.3. Woodie 1. Diseño y obra bajo plataforma de producto

El Woodie 1 supone un producto de Woodea orientado al mercado de vivienda sostenible en el que se emplean las estrategias antes mencionadas.

- Reducción de emisiones a través de la utilización de madera y alta eficiencia energética.
- Reducción de residuos gracias a un diseño orientado al montaje y desmontaje (Crowther, P., 2009) y, por lo tanto, que posibilita la valorización de sus materiales y el uso del edificio como mina de material (fuente de recursos).
- Reducción de consumo de recursos no renovables por la utilización de madera.
- Reducción de los costes gracias a la utilización de los sistemas industrializados.

En lugar de definir únicamente un sistema, se buscan las reglas de combinación que permita un uso eficaz de los recursos, y las metodologías de producción y montaje con las que conseguir los ahorros necesarios para la realización de un producto sostenible y asequible.

3. Metodología

Se parte de un análisis de los **sistemas estructurales** en madera técnica para determinar cual ofrece una mayor optimización en el uso de la madera y su comparación en la huella de carbono con respecto a los sistemas estructurales en hormigón.

Frente a los 0,21m² de madera por m² de construcción de los sistemas optimizados en CLT ("Cross Laminated Timber" o Madera Laminada Cruzada) optamos por un sistema de vigas y pilares de madera laminada y forjado de CLT con un consumo de 0,17 m³ por m². La comparación en la **huella de carbono** de los distintos sistemas la veremos en los casos de estudio, pero se parte de la premisa de que 1 m³ de madera evita las emisiones de 1,1 tn de CO₂ con lo que se suponen unas emisiones evitadas de 0,374 tn/m² de construcción.

Por otro lado, se analizan las **tipologías de vivienda** más adecuadas para vivienda asequible, optando por una tipología de bloque lineal con corredor de acceso y banda técnica central, que permite un uso eficiente de las circulaciones de personas e instalaciones.

Se aplica en fase de diseño el pensamiento **Lean** eliminando aquellos elementos que puedan suponer un desperdicio, en el uso del espacio de los recursos o de la ineficiencia en la puesta en obra.

Se lleva a cabo un análisis de la **modulación** óptima por habitabilidad, coordinación de estructura con el aparcamiento de sótano y los componentes industrializados tomando como buena una modulación de 60 cm con módulos principales de 120, 240 y 480 cm. Modulación que casa bien con la producción de madera laminada, CLT, baños y componentes de fachada, así como con las plazas de aparcamiento, aunque para este último requisito funciona mejor una trama de 250 cm.

Para el uso de CLT se pasa de una fabricación a medida, en la que las piezas se diseñan específicamente para el proyecto tanto en su geometría como en la composición de las capas, a una fabricación como commodity, que significa la utilización de los formatos estandarizados que ofrecen los fabricantes con muy poca mecanización.

Para la elección de **componentes industrializados** se contempla un grado 5 sobre 6 de industrialización según la categorización del Cluster de la edificación (Medir y Clasificar la Industrialización de los Edificios - Cluster de la Edificación, 2025). En la que estructura, fachada, instalaciones y baños son industrializados.

En este sentido la estructura será un kit de piezas producidas mediante CNC (control número por computadora) para ser ensamblado en obra. Los baños serán producidos off-site en tres dimensiones, la fachada será un elemento no portante y funcionará como un muro manta pasante que será fabricado en dos dimensiones con la incorporación de carpinterías y acabado final. Las instalaciones se agrupan por montantes verticales y racks horizontales a través de elementos especialmente reservados en la construcción con el fin de facilitar su montaje.

Todo esto se une en una **plataforma de producto** consistente en una “colección selecta y coherente de activos, incluyendo elementos constructivos, componentes, metodologías y conocimientos, diseñada para facilitar la creación de una amplia gama de productos”, según Construction Innovation Hub. (2023), que permite optimizar el flujo de trabajo desde el diseño a la construcción a través de la unión de diversas herramientas digitales (Revit, Cad Work, Presto, ERP y Dalux).

En esta plataforma los componentes (Figura 2) están digitalizados como objetos BIM en los que una matrícula identifica el tipo de componente y lo vincula a una base de datos con información sobre el coste, la huella de carbono, el proveedor, los planos técnicos, la logística y el manual de uso y mantenimiento, así como la posibilidad de incorporar el pasaporte de producto con el fin de gestionar la futura utilización como recurso.

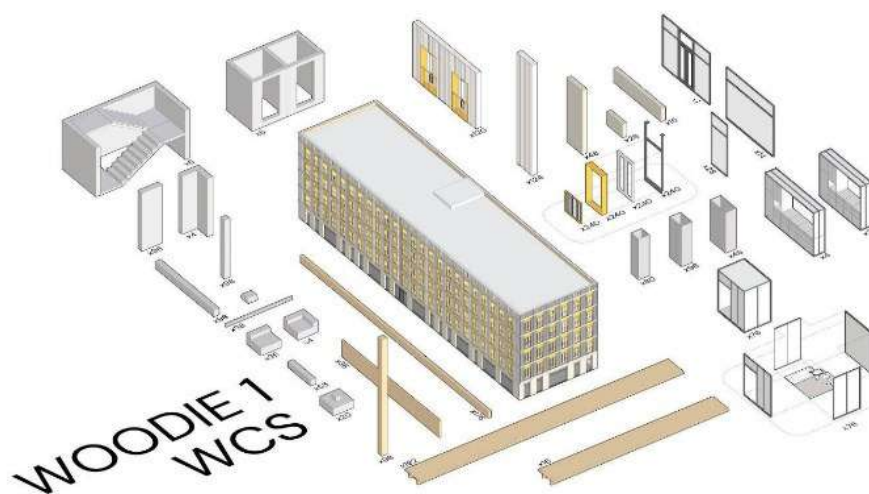


Figura 2. Biblioteca de componentes simplificada. Fuente: Elaboración propia.

La construcción industrializada aplicada fundamentalmente en la mejora de la productividad permite que los tiempos de ejecución sean menores reduciendo los costes indirectos de la construcción. Del mismo modo si lo aplicamos al global de la obra se deberían conseguir mejoras de la productividad que cubran la diferencia entre una construcción tradicional y una construcción en madera que oscila entre un 5% y un 7%.

Esas mejoras son fácilmente alcanzables si optimizamos los materiales y los tiempos de ejecución en la realización de los componentes, con lo que la tasa verde de la construcción sostenible estaría eliminada.

De esta manera se cumple con los objetivos de una edificación como reservorio de carbono, con uso de materiales renovables, apto para una economía circular y mina de materiales, y gracias a la construcción industrializada, económicamente accesible.

4. Casos de Estudio

A continuación, se muestra una serie de ejemplos que permite entender la elección por un proceso de diseño y obra y la creación de un producto como el Woodie 1 frente a otros proyectos llevados a cabo por nosotros mismos con anterioridad.

4.1. Madreselva

Se trata de un proyecto para 14 viviendas en el que participamos como constructora con intervención colaborativa en el diseño. El sistema estructural consiste en muros, fachadas y forjados de CLT con usos puntuales de vigas y pilares de madera laminada. El uso de la madera es intensivo con ratios de uso de madera de 0,22 m³ de madera por m². El grado de industrialización es 4 con estructura y fachada industrializada, no pudiendo industrializarse los baños por su escaso número a pesar de conseguir cierta repetición de tipologías.

La reducción de huella de carbono se calcula con respecto a una estructura de hormigón comparando únicamente la estructura, ya que el resto de los componentes son similares en las dos construcciones. Según el Informe de Construcción Industrializada de Bajo Impacto realizado por Woodea con la colaboración de Hands on Impact (Zubi Group, 2023), utilizando el análisis de ciclo de vida de la herramienta One Click y la base de datos ecoinvent la reducción de carbono es de un 59% o 553 tn de carbono.

Las conclusiones en este proyecto es que el diseño específico, la repercusión de zonas comunes por vivienda, el factor forma (la cantidad de fachada por m² construido) y la singularidad estructural no la convierte en una tipología óptima para vivienda asequible.

4.2. Tomás Bretón

Un proyecto de 24 viviendas CO₂ Nulo y Passivhaus (Figura 3) en el que participamos después de una licitación abierta (design-bid-build). Se trata de una estructura de muros y forjados en CLT, con fachada de Sate realizada in-situ. Salvo la estructura de madera, el resto es una obra tradicional.



Figura 3. Tomás Bretón. Fuente: SATT y Distrito Natural.

El tablero de CLT está hecho a medida en cuanto a composición de capas. Se utilizaron tableros de 80 mm para muros y forjados de 140 y de 240 mm de espesor. Los forjados de gran canto tienen una repercusión grande en el coste. Por otra parte, el fabricante tiene que ralentizar su producción para llevar a cabo un tablero con unas características propias con lo que no es capaz de optimizar su producción.

Al ser el resto de la construcción una construcción convencional, no se permite aumentos de productividad que reduzcan la brecha con respecto a una construcción tradicional y, a pesar de ser un producto competitivo en las categorías de alta eficiencia energética, no es un modelo apto para vivienda asequible.

4.3. Co-living en Valencia

Se trata de un proyecto para co-living con 91 unidades residenciales y zonas comunes, en el que trabajamos asesorando para su transformación en un edificio de madera y baja huella de carbono.

Aplicamos el sistema de viga y pilar con una ratio de madera de $0,17\text{m}^3/\text{m}^2$, baños en 3D y componentes de fachada en 2D.

Realizamos una comparación de análisis de ciclo de vida en las fases A1-A3 de nuestra solución frente a una solución en hormigón utilizando un modelado BIM y las bases de datos de Addin de Revit obteniéndose una reducción de 904.94 tn de Co_2 (1035,39 tn vs 130,45 tn).

Pese a esto el sistema estructural no permitía absorber las cargas horizontales de viento a través del núcleo de ascensores y escaleras, lo que obligaba a una solución de fachada en CLT, aumentando la ratio en madera y encareciendo la propuesta que sin este inconveniente sería equivalente a la construcción en hormigón.

5. Conclusiones

Las experiencias con proyectos previos nos han llevado a pasar de trabajar con formatos de licitación y obra (Bid-Build) a proyectos colaborativos (Lean IPD) y finalmente al diseño y construcción bajo plataforma de producto (product platform Design and Build). Las ventajas de este método son la alineación de estrategias desde el diseño, la producción la logística y el montaje que permitan que la arquitectura realmente sostenible sea también asequible.

El Woodie 1 supone la solución al trilema de crisis de vivienda, emergencia climática y asequibilidad. Un edificio que plantea el cultivo de materiales de construcción frente al minado industrial, un edificio como reservorio de carbono y que gracias a las técnicas de montaje y desmontaje permite convertirse en una mina de materiales, finalmente, gracias a las estrategias de construcción industrializada permite una mejora en la productividad que reduce la brecha económica entre la vivienda asequible y la vivienda sostenible y asequible.

6. Referencias

- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North Point Press.
- Leskinen, P., Cardellini, G., González-García, S., Hurmekoski, E., Sathre, R., Seppälä, J., & Hetemäki, L. (2018). *Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation* (EFI Technical Report No. 7). European Forest Institute. https://efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2018/efi_fstp_7_2018.pdf
- Crowther, P. (2009). *Designing for disassembly*. En Design for deconstruction and materials reuse (pp. 1–16). Taylor and Francis eBooks.
- Cluster de la Edificación. (2025). *Medir y clasificar la industrialización de los edificios* (ISBN 978-84-09-66192-3).
- Construction Innovation Hub. (2023, marzo). *The Product Platform Rulebook* (Ed. 1.2). Construction Innovation Hub. https://constructioninnovationhub.org.uk/media/w1eliitx/cih_ed1-2_the-rulebook.pdf

Recuperación paisajística y funcional de huertos y de la acequia Mayrena en el casco histórico de Caravaca de la Cruz

Hacia una renaturalización de los recintos históricos

LA REHABILITACIÓN Y REGENERACIÓN COMO INSTRUMENTOS PARA LOS NUEVOS PARADIGMAS SOCIALES

Enrique Nieto Fernández¹, Fernando de Retes Aparicio²

¹ Doctor Arquitecto, Profesor Titular Proyectos Arquitectónicos, Universidad de Alicante, enrique.nieto@ua.es

² Arquitecto, ejercicio libre de la profesión, fdretes@gmail.com

Resumen

Se presenta como estudio de caso un proyecto realizado de recuperación paisajística de 3.400m² de huertos originarios del siglo XVI y del brazal de la Acequia de Mayrena que los atraviesa en el casco histórico de Caravaca de la Cruz (Murcia). Si bien el encargo ya proponía la creación de un espacio público con un marcado carácter ambiental, la propuesta se articuló a partir de la recuperación de los usos agrícolas tradicionales y de la gestión del agua de la acequia y de escurrimiento, como estrategias de 'ruralización' y 'naturalización' capaces de integrar valores ambientales, históricos y paisajísticos. De fondo, la necesidad de mitigar los efectos del cambio climático en un casco histórico convertido en 'isla de calor'. El proyecto supuso una alteración de los imaginarios ciudadanos en torno al espacio público, al diseño y a la gestión del agua cuando integrada en las prácticas cotidianas de un centro histórico.

Palabras clave: paisaje productivo; ruralización; naturalización; centro histórico; espacio público.

Abstract

This is a case study of a project for the landscape recovery of 3,400m² of 16th-century orchards and the irrigation channel of the Mayrena irrigation channel that crosses them in the historic centre of Caravaca de la Cruz (Murcia). Although the commission already proposed the creation of a public space with a marked environmental character, the proposal was articulated based on the recovery of historical agricultural uses and the management of water from the irrigation channel and runoff, as strategies of 'ruralisation' and 'naturalisation' capable of integrating environmental, historical and landscape values. In the background, the need to mitigate the effects of climate change in a historic centre that has become a 'heat island'. The project entailed an alteration of citizen imaginaries around public space, design and water management when integrated into the daily practices of a historic centre.

Key words: productive landscape; ruralisation; naturalisation; historic city centre; public space

1. Introducción

A través de un estudio de caso, este trabajo muestra la oportunidad de renaturalizar nuestros entornos urbanos a partir de un proyecto orientado a la recuperación paisajística y funcional del interior de una manzana del centro histórico de Caravaca de la Cruz, en Murcia. Como arquitectos redactores del proyecto, supuso una aproximación a la construcción sostenible que nos permitió problematizar la incompatibilidad de los pares naturaleza-cultura, urbano-rural o saberes académicos-saberes populares. La supuesta incompatibilidad de estos pares supone en gran medida una de las herencias de la modernidad, que parecen quedar en suspenso por la emergencia de asuntos como el cambio climático, la escasez de recursos naturales, la despoblación de nuestros entornos rurales, o la dificultad de las instituciones públicas para gestionar en solitario los tejidos urbanos.

Con algo más de 3.400m², la intervención debía tener un marcado carácter ambiental que incorporara el interior de esta manzana a la red de infraestructuras de movilidad sostenible de la ciudad en conformidad con su plan de peatonalización. Un interior que presentaba vagamente visibles las trazas de los antiguos huertos que daban soporte ambiental y económico a los palacetes que conformaban la ciudad histórica a partir del siglo XVII, así como los restos en parcialmente en desuso de un brazal principal de la Acequia de Mayrena que alimentaba dichos huertos. Esta propuesta arrancó de la hipótesis de que la recuperación paisajística y funcional de estos huertos podía darnos algunas claves importantes para el diseño. Adaptando estas funciones urbanas tradicionales a los nuevos requerimientos de sostenibilidad, se podría mejorar la calidad ambiental de la movilidad peatonal del casco histórico, la accesibilidad universal y la comodidad de los peatones. Finalmente, se pretende también contribuir con esta propuesta a la mitigación de los efectos del cambio climático y, de manera particular:

- a compensar los efectos de 'isla de calor' que suceden por efectos de las acciones humanas en suelos urbanos
- a corregir los efectos de la escorrentía urbana producida por suelos no permeables con fuerte pendiente, mediante su aprovechamiento para riego de los huertos las y especies arbóreas, así como su canalización hacia la acequia.

El proyecto supuso por tanto un incremento de las zonas verdes del casco histórico, de las zonas peatonales, así como la aparición de zonas de descanso equipadas funcionalmente con sombra, bancos, agua en movimiento y posibilidad de realizar pequeñas actividades de ocio.

Proyectos recientes como la renaturalización ecológica del río Guadarrama, impulsado por el Ayuntamiento de Collado Villalba (<https://www.renaturalizaciondelguadarrama.com/>) o el proyecto de Anillo Verde y Parque del Manzanares, impulsado por el Ayuntamiento de Madrid (<https://www.comunidad.madrid/servicios/urbanismo-medio-ambiente/arco-verde>), son próximos a este caso de estudio en algunas de sus ambiciones, aunque su escala y voluntad paisajística los acercan más a la noción de 'bioingeniería'. En nuestro caso, el proyecto comparte parte de los enfoques propios de las estrategias de 'renaturalización' (rewilding), 'creación de lugares' (placemaking), 'paisajes productivos', 'paisajes culturales' o 'paisajes bioculturales'. En este sentido, proyectos como Granada respira, impulsado por el Ayuntamiento de Granada (<https://www.granadarespira.com/el-proyecto/>), son más cercanos. Estos tres proyectos han recibido fondos del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y financiados mediante fondos Next Generation de la Unión Europea.

1.1. Caravaca de la Cruz y el agua

Con algo más de 25.000 habitantes, Caravaca de la Cruz se sitúa en una línea imaginaria que enlaza Valencia con Granada. Su origen hay que buscarlo en la gran disponibilidad de agua existente en la comarca, que llegaba a la ciudad a través de las Fuentes del Marqués y de la Acequia de Mayrena. Esta impronta de punto de paso desde épocas romanas fue también relevante para organizar el crecimiento urbano en función de las vías de comunicación que partían desde la ciudad. Unos aportes de agua que permitieron el desarrollo de actividades agrícolas a las primeras poblaciones, y que con el paso de los siglos constituirían huertas muy cotizadas como sustento principal de la ciudad. Al principio, los sucesivos crecimientos demográficos buscaron mantener los huertos existentes, aunque progresivamente la mayoría de ellos fueron desapareciendo, mientras que otros, por su gran valor económico, se fueron

incorporando a la trama urbana como huertos de servicio de los numerosos palacios que iban apareciendo. Este es el caso de los huertos que conforman esta propuesta.

1.2. El área de intervención

La zona afectada por el proyecto se conforma a partir de los restos de los huertos históricos que complementaban en su interior a los palacios que completan y dan fachada exterior a la manzana (Figura 1). Con el tiempo, estos huertos han ido perdiendo su función, y pasaron a finales del siglo XX a manos de la Comunidad Autónoma, quien los puso a disposición de EUROPAN para impulsar una acción de mejora y de vivienda pública en 1991. Dicho proyecto nunca llegó a ejecutarse, por lo que dichos terrenos pasaron a ser de titularidad municipal. La zona de actuación se encuentra ubicada en el Cabezo del Carmen, adyacente por el lado suroeste al Cerro del Castillo, el más grande y probablemente el primero de los que sirvieron para la expansión de Caravaca a partir del siglo XVI, tras la reconquista de Granada. Un crecimiento que se articula en torno a la confluencia en la Puerta de Santa Ana de las cuatro arterias de comunicación como Granada, Lorca, Moratalla o Murcia.



Figura 1. Imagen de la zona de actuación antes de la intervención. Fuente: Google Earth.

2. Objetivos de la propuesta

Los objetivos de esta propuesta fueron resultado de un proceso de negociación con el Ayuntamiento de Caravaca, con sus planes y con el sentir mayoritario de los vecinos:

- Recuperar el interior de manzana objeto de intervención como infraestructura de transporte urbano limpio. Concretamente, para la mejora de la conectividad y movilidad sostenible (peatonal y rodada no motorizada) en un entorno propicio para la estancia y el descanso.
- Mejorar ambientalmente el Casco Histórico de Caravaca de la Cruz, mediante la presencia de agua y zonas verdes, con el objetivo de paliar el efecto 'isla de calor urbana' que se produce en este tipo de zonas, sin apenas presencia de tierra, vegetación, sombra y humedad.
- Actuar en los huertos abandonados de Caravaca de la Cruz como parte de una posible Infraestructura verde urbana, con una propuesta que apuesta por Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN).
- Recuperar material, estética y funcionalmente el interior de manzana como espacio productivo agrícola protagonizado por el agua que aporta la Acequia de Mayrena.
- Actualizar y poner en valor los vestigios materiales y etnográficos originados por las actividades productivas agrícolas históricas, como son los 'caminos del agua'.
- Ampliar el repertorio de los posibles espacios públicos en entornos urbanos, a partir de una 'ruralización' y 'naturalización' de los mismos, integrando valores ambientales,

históricos y paisajísticos que generen entornos caracterizados desde la sensibilidad hacia la historia.

- Aportar al control local de la escorrentía en el casco histórico de Caravaca de la Cruz y el aprovechamiento del agua de lluvia.
- Fortalecer el carácter estancial de los huertos, propiciando encuentros intergeneracionales y actividades de ocio ligero en entornos seguros y equipados.
- Vincular los espacios estanciales de la plaza con las vistas al Cerro del Castillo y los montes próximos, para mejorar los aspectos identitarios de los vecinos de Caravaca y sus visitantes.
- Mejorar la biodiversidad del Casco Histórico, en términos de vegetación arbórea, arbustiva, de pájaros e insectos, para restituir un ecosistema integral mediado por la presencia del agua.
- Innovar en las prestaciones de la iluminación artificial, trabajando los aspectos técnicos y escenográficos vinculados a la vegetación y a los lugares de estancia.
- Reducir la problemática, tanto en volumen como en contaminación, de los vertidos por desbordamientos del sistema de saneamiento en episodios de lluvia.
- Reducir los daños previsibles causados por la fuerte escorrentía en superficie.

3. Actuaciones realizadas

Las actuaciones de este proyecto se pueden agrupar en: accesos, conectividad y movilidad sostenible, Recuperación y puesta en valor de los 'caminos del agua', Huertos y zonas verdes y Zonas de estancia y disfrute:

3.1. Accesos, conectividad y movilidad sostenible

Creación de un eje peatonal y de movilidad no motorizada que atraviere en diagonal la zona de intervención, y que conecte el encuentro de las calles Atienza, Nueva y Zamora (cota +684.20 m) con la calle Don Álvaro (cota +685.05 m), con una longitud total de 114 m (Figura 2).



Figura 2. Sección longitudinal de la intervención con zonas de actuación. Fuente: Elaboración propia.

3.2. Recuperación y puesta en valor de los 'caminos del agua'

Además de los accesos y el diseño de un eje de movilidad sostenible, el proyecto contempla la actualización del carácter de huerto productivo que históricamente ha tenido el interior de esta manzana. La más significativa de ellas es la recuperación del uso de las infraestructuras de agua asociadas al paso de un brazal de la Acequia de Mairena por el interior de esta manzana. Esta intervención permitirá tanto mitigar los efectos del calor en verano sobre el eje de movilidad principal, como mejorar el carácter ambiental y estancial de dicho eje. Por un lado, se han estudiado los distintos trazados históricos del brazal de la acequia en este lugar, lo cual nos ha permitido tanto recuperar algunos fragmentos como rediseñar otros para ampliar el alcance del paso del agua sobre la zona de intervención. Por otro lado, se ha procurado ampliar los tramos de brazal vistos, así como diseñar unas zonas de estancia del agua que mejoren el grado de humedad de la zona de intervención en los momentos en que el agua de la acequia no esté corriendo. Todas estas intervenciones se han realizado con técnicas y materiales propios del lugar, por lo que se mantendrá el uso de tablachos y otros sistemas de gestión manual del agua.

3.3. Huertos y zonas verdes

Hacia el lado norte (solana) del eje propuesto, se propone la formación de una serie de terrazas sensiblemente horizontales para la creación de diferentes huertos y zonas verdes de diferente carácter, regadas 'a manta' desde el brazal de la Acequia de Mairena. Presenta suaves pendientes que devuelvan el excedente de agua de riego y las pluviales recogidas a la acequia, mediante canales y rigolas. Dispondremos así de huertos de manzanos, granados, cítricos y albaricoques. Hacia el lado sur (umbría), se propone la creación de un colchón de vegetación, arbolado ornamental y arbustivas rastreras que proteja visualmente el eje peatonal de las fachadas de las viviendas de ese lado, realmente deterioradas y sin demasiado interés estético. Este colchón dispondría de una pequeña plantación de chopos en posición ligeramente hundida para ser regados por inundación. En otros lugares hemos dispuesto arces, cipreses o algarrobos, así como especies arbustivas de porte que impiden el acercamiento a las viviendas existentes. Algunos cipreses y parra roja en espalderas metálicas completarán la presencia del verde.

3.4. Zonas de estancia y disfrute

La zona central de la intervención estará protagonizada por una zona de estancia en torno al paso final del brazal de la Acequia de Mairena, antes de 'desaparecer' y conectarse con la red municipal (Figura 3). A esta zona se accede por sendas rampas con pendiente inferior al 5%, por lo que se tratará de recorridos adaptados a todos los tipos de movilidad sostenible. Esta zona estará protegida del sol por las sombras de los arces y disfrutará del olor de los cítricos. Contará en su parte superior de un banco corrido sobre los muretes existentes, y en su parte inferior de una zona pavimentada con restos de piedra de canteras de la comarca.



Figura 3. Planta general de la intervención con zonas de actuación. Fuente: Elaboración propia.

4. Medidas de adaptación al cambio climático

Detectamos dos peligros asociados a los efectos del cambio climático en nuestra zona de intervención y que la propuesta aborda mediante medidas de adaptación de perfil ecosistémico. Por un lado, junto con Almería, Murcia es la región de España con mayor incremento de transformación de suelos semiáridos a áridos. Casi un tercio del suelo se ha vuelto árido en la última década en nuestra región. Uno de los efectos de este incremento es su efecto combinado con las escorrentías generadas en suelos con elevada pendiente, ante el progresivo aumento de lluvias torrenciales. Por otro, el casco histórico de Caravaca está pavimentado casi en su totalidad con materiales minerales, sin apenas zonas verdes o de tierra, por lo que su casco histórico sufre los efectos de la llamada 'isla de calor' urbana, consistente en una subida de temperaturas mínimas en una zona, respecto de sus zonas colindantes, producida por las acciones humanas (alta densidad de edificios, asfaltos y pavimentos minerales, etc.).

La intervención propone numerosas medidas para el control y gestión del agua de escorrentía, canalizándola y utilizando esta agua para la recuperación de los huertos urbanos. Un ejemplo

sería la construcción de un aliviadero par las aguas pluviales que actuaría a modo de tanque de tormentas en los momentos de máxima recogida de aguas (Figura 4). Esta actuación puede entenderse como parte de una posible infraestructura verde urbana basada en Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Se trata de aproximaciones más respetuosas con el ciclo natural del agua, orientadas a la búsqueda de una economía circular en el ciclo urbano del agua. Además, la creación de huertos urbanos que acompaña las acciones de peatonalización propuestas está concebida para frenar la erosión de los suelos causadas por las lluvias y para revertir el desgaste de los suelos y la mejora de su capacidad drenante. Es por ello que, además, se han seleccionado especies vegetales autóctonas que garanticen una adecuada biodiversidad. Por otro lado, la intervención propone la creación de una red de itinerarios urbanos sostenibles, que se acompañan de la generación de zonas de sombra mediante especies arbóreas autóctonas. Ambas acciones permiten la adaptación de Caravaca como destino turístico al cambio climático y aumenta su resiliencia a los efectos del mismo. Además, ambas acciones se orientan a mejorar la sensibilización de ciudadanos y visitantes a los entornos urbanos sostenibles y resilientes, mejorando su percepción de los mismos y fomentando actividades saludables.



Figura 4. Imagen tanque de tormentas (fase de construcción). Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusión

En este proyecto confluyen cuestiones vinculadas a escalas muy diferentes. Aspirar a mitigar los efectos del cambio climático en un entorno marcado por lógicas de proximidad, supuso un reto donde las estrategias de diseño debían de orientarse a superar estas dificultades:

- Frente a la posibilidad de perseverar en una aproximación al espacio público como un espacio pensado desde su diferencia y oposición con el espacio rural, el proyecto pretende la 'reintroducción' de estéticas, tecnologías y procesos productivos propios del ámbito rural en el corazón de la ciudad. Esta inversión en las lógicas de oposición rural-urbano, adquiere una significación particular en unos tiempos marcados por la necesidad de encontrar relaciones de empatía y proximidad con los ciclos naturales.
- Frente a la opción de perseverar en la idea de un espacio natural definido por la ausencia de los modos de vida del ser humano, el proyecto prefiere negociar con la noción de 'paisaje productivo', donde lo natural y lo humano se hacen presentes a partir de lógicas de cooperación. Un ensamblaje sostenible 'diseñado' a lo largo de muchos siglos, una herencia cultural sólida a la que el proyecto no quiere renunciar.
- Frente a la idea de un diseño expertizado desde la academia y basado en la innovación formal y estilística, el proyecto prefiere ahondar en soluciones constructivas y estéticas producidas vinculados a sistemas productivos sostenibles. Sin duda, esta opción problematiza algunas de nuestras herencias de la modernidad como arquitectos, pero supone un reto a la altura de los tiempos en que vivimos.

Evaluación de la sostenibilidad holística en la rehabilitación de las residencias de mayores en Aragón

LA REHABILITACIÓN Y REGENERACIÓN COMO INSTRUMENTOS PARA LOS NUEVOS PARADIGMAS SOCIALES

Irene González-Fernández ¹ y Lucía C. Pérez-Moreno ²

¹ Arquitecta, Investigadora predoctoral, Universidad de Zaragoza, i.gonzalez@unizar.es

² Arquitecta, Profesora Titular, Universidad de Zaragoza, lcpererez@unizar.es

Resumen

El envejecimiento demográfico en España está incrementando la demanda de cuidados de larga duración, lo que supone un desafío para las residencias. La transición hacia un modelo centrado en la persona es fundamental para mejorar el bienestar de los residentes. Este estudio se centra en Aragón, una región con una gran desigualdad territorial, evaluando la sostenibilidad holística (sociocultural, medioambiental y económica) en la transformación de las residencias. Los resultados revelan que el 25% de los centros necesita reducir su capacidad, solo el 8% ha implementado unidades de convivencia y más del 80% son ineficientes energéticamente. Se estima que la rehabilitación sostenible y cuidadora de estos centros costaría entre 101 y 170 millones de euros. El estudio concluye que un enfoque holístico, combinado con una colaboración público-privada efectiva, es crucial para garantizar un acceso equitativo a los cuidados y mejorar la calidad de vida de las personas mayores.

Palabras clave: residencias; cuidados; sostenibilidad; rehabilitación; envejecimiento.

Abstract

Spain's aging population and rising dependency rates are increasing the demand for long-term care, challenging care facilities. Transitioning to a person-centered care model is essential to enhance residents' well-being. This study focuses on Aragon, a region facing aging-related disparities, and proposes a holistic sustainability approach integrating socio-cultural, environmental, and economic factors. A database of Aragon's care facilities was created to assess their sustainability through indicators such as size, living units, energy consumption, and carbon emissions. Findings show that 25 % of facilities need to reduce capacity, only 8 % have implemented living units, and over 80 % are energy inefficient. Renovating these facilities to align with a sustainable, person-centered model is estimated to cost 101–170 million euros. The study concludes that a holistic approach, combined with effective public-private collaboration, is crucial for ensuring equitable access to quality care and improving older adults' well-being.

Keywords: care facilities; person-centered care; sustainability; renovation; aging.

1. Introducción

El acelerado envejecimiento demográfico que experimentan los países del sur de Europa plantea desafíos significativos para la atención residencial de las personas mayores. En el caso de España, que en 2023 ostentó la mayor esperanza de vida de la Unión Europea (Eurostat, 2023), el envejecimiento supone un reto crucial para el sistema de cuidados. A la creciente demanda de plazas residenciales se suma el incremento de la comorbilidad y las enfermedades neurodegenerativas, así como el aumento de la soledad y la depresión entre las personas mayores tras la pandemia de COVID-19 (INE, 2021).

En este contexto, los centros residenciales deben adaptarse a un perfil de usuario cada vez más envejecido, dependiente y feminizado, con capacidades físicas y cognitivas diversas. Sin embargo, el modelo institucional de cuidados predominante en España no responde adecuadamente a estos retos, caracterizado por una arquitectura estandarizada y despersonalizada que impacta negativamente en el bienestar de los residentes (Rodríguez Rodríguez, 2021). La pandemia de COVID-19 evidenció aún más las limitaciones de este modelo, con altas tasas de mortalidad en residencias de gran tamaño y habitaciones compartidas (Observatorio de la Realidad Social, 2020). Ante esta situación, las instituciones públicas están impulsando la desinstitucionalización de los cuidados a través del modelo centrado en la persona. Este enfoque busca mejorar la calidad de vida y el bienestar integral de los residentes, promoviendo entornos más hogareños e integrados en la comunidad. La literatura académica subraya la influencia positiva que un entorno sostenible y amigable con el envejecimiento tiene en las personas mayores dependientes, como las zonas verdes y el confort térmico (Van Hoof et al., 2021).

El presente estudio se enmarca en este contexto de transformación del modelo de cuidados y la creciente importancia de la sostenibilidad en la edificación. A pesar de la reconocida relevancia de la sostenibilidad en la calidad arquitectónica (Jefatura del Estado, 2022), no existen investigaciones que conecten la transformación del modelo de cuidados con la rehabilitación sostenible de las residencias. Por ello, este artículo investiga si el empleo de la perspectiva de la sostenibilidad holística –que abarca las dimensiones sociocultural, medioambiental y económica– en el análisis del parque de residencias para personas mayores en Aragón es un enfoque eficaz y adecuado para transformar, a nivel arquitectónico, el modelo institucional en un modelo de cuidados centrado en la persona. La investigación se centra en el caso de Aragón, una región española que ejemplifica los desafíos de la atención residencial debido a su envejecimiento demográfico y dispersión territorial (IAEST, 2023; INE, 2022).

El objetivo de esta investigación es doble: (1) determinar el estado actual del parque de residencias para personas mayores en Aragón y (2) evaluar la sostenibilidad sociocultural, medioambiental y económica de los centros residenciales aragoneses para valorar el impacto integral que supondría la implantación arquitectónica del modelo de cuidados centrado en la persona. La innovación del estudio radica en su metodología holística, su relevancia para la gestión política regional y su enfoque interdisciplinar.

2. Metodología

2.1. Base de datos holística

Para llevar a cabo la investigación, se elaboró una base de datos holística de las residencias de personas mayores en Aragón, integrando diversos conjuntos de datos a nivel administrativo y arquitectónico.

Desde la perspectiva sociocultural, se cotejaron principalmente dos fuentes de datos: el *dataset* de Envejecimiento en Red (Aceituno Nieto et al., 2023) y el "Registro de Entidades, Centros y Servicios Sociales" del Gobierno de Aragón (2023b). Desde la perspectiva medioambiental, se consultaron los datos catastrales, climáticos y energéticos de los centros residenciales. A través de la Sede Electrónica del Catastro, se obtuvo la referencia catastral, la superficie y el año de construcción de todas las residencias. La referencia catastral se utilizó para acceder a la información de los certificados energéticos disponibles en el "Registro de Certificación de Eficiencia Energética de Edificios de Aragón" (Gobierno de Aragón, 2023a).

2.2. Criterios de evaluación

Una vez construida la base de datos, se establecieron criterios de evaluación de la sostenibilidad sociocultural, medioambiental y económica. En cuanto a la **sostenibilidad sociocultural**, se evaluaron tres criterios:

- **Tamaño del centro:** se comparó el número de plazas de cada residencia con los límites establecidos en el Acuerdo del SAAD (Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030, 2022). Estos límites varían según la densidad de población de la zona (75 plazas en zonas rurales, 90 en densidad media y 120 en zonas densamente pobladas). Los centros que superan estos límites se definieron como residencias a intervenir.
- **Habitaciones individuales:** se evaluó el porcentaje de plazas en habitaciones individuales según el criterio del Acuerdo del SAAD, que establece un mínimo del 65% de plazas públicas o concertadas en habitaciones individuales. Esta investigación aplicó este criterio a todas las plazas, independientemente de su titularidad.
- **Unidades de convivencia:** se consideró la ausencia de unidades de convivencia como un indicador de intervención sociocultural. Debido a la limitación de datos, se asumió que aquellos centros que no indicaban expresamente la existencia de unidades de convivencia no las habían implantado.

Respecto a la **sostenibilidad medioambiental**, se analizaron los siguientes indicadores:

- **Año de construcción:** se clasificaron las residencias en tres categorías según los periodos constructivos de la ERESEE 2020 (Secretaría General de Agenda Urbana y Vivienda, 2020): muy ineficientes energéticamente (construcción anterior a 1980), ineficientes (construcción entre 1980 y 2008) y eficientes (edificación posterior a 2008).
- **Consumo energético:** se utilizó la calificación energética obtenida del Certificado de Eficiencia Energética (CEE). Las residencias con calificación A o B se consideraron eficientes, mientras que las calificadas de C a G se entendieron como no eficientes.
- **Emisiones de CO₂:** de manera similar al consumo energético, se empleó la calificación de emisiones de CO₂ del CEE. Las residencias con calificación A o B se consideraron de bajo impacto ambiental, y las calificadas de C a G, de gran impacto ambiental.

Finalmente, para evaluar la **sostenibilidad económica**, se estimó el coste que supondría implantar unidades de convivencia y mejorar la envolvente térmica. Se analizaron los presupuestos de los proyectos de creación de unidades de convivencia en 9 residencias gestionadas por el Instituto Aragonés de Servicios Sociales (IASS). Para la estimación del ahorro energético y de emisiones, se asumieron los escenarios de la ERESEE 2020 y la metodología desarrollada en el informe RuralREGEN (Beltrán Velamazán et al., 2022).

3. Resultados

3.1. Estado actual de las residencias para personas mayores en Aragón

Aragón cuenta con 272 residencias para personas mayores, 53 en Huesca, 36 en Teruel y 183 en Zaragoza, ofreciendo un total de 19.438 camas y 2.143 estancias de día. La distribución territorial muestra una concentración significativa en la provincia de Zaragoza (Figura 1). El 41,9% de los centros se ubica en las capitales de provincia, siendo Zaragoza la ciudad con la mayor concentración de plazas (38,8%).

Respecto a la titularidad, la gestión de las residencias es mayoritariamente privada (71,3%). El 28,7% restante son de titularidad pública, gestionadas por los municipios (23,2%) y el IASS (5,5%). Las residencias privadas se concentran en el área metropolitana de Zaragoza. Teruel es la única provincia con más residencias públicas (52,7%) que privadas, lo que se relaciona con su menor densidad de población y renta. El IASS gestiona 15 centros y colabora con 150 residencias a través del Acuerdo Marco, financiando el 30,3% de las plazas.

En cuanto al tamaño, la mayoría de las residencias en Aragón son de escala intermedia, con un 37,1% entre 50 y 99 plazas y un 29,8% entre 25 y 49 plazas. Solo el 12,1% tienen menos de 25 plazas, mientras que el 21% son macrocentros con más de 100 plazas. La escala de los centros

privados es más diversa que la de los públicos, y Teruel presenta la mayor proporción de macrocentros privados (35,3%).

Respecto al tipo de habitaciones, existe un equilibrio entre habitaciones individuales (50,6%) y dobles (49%), siendo las habitaciones comunales prácticamente inexistentes (0,4%). La distribución por provincias es similar, aunque estos datos solo corresponden al 45,6% de las residencias que ofrecen esta información.

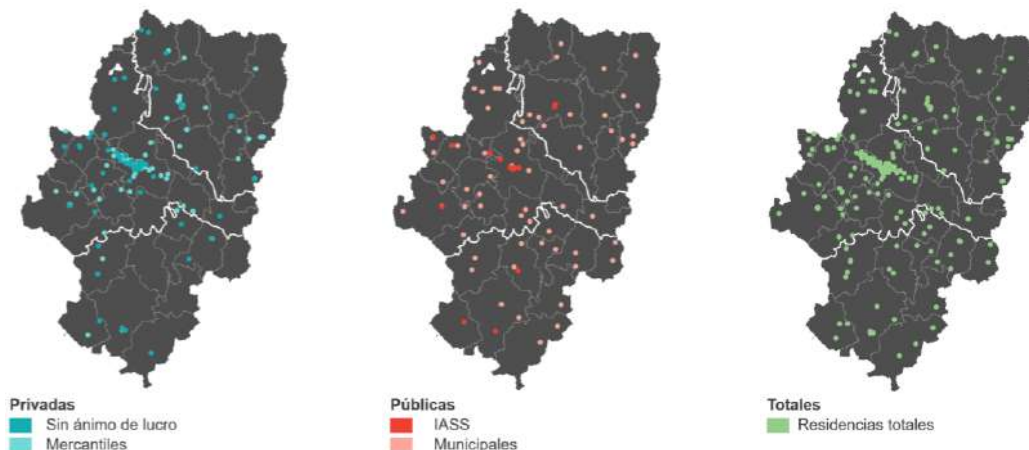


Figura 1. Centros residenciales en Aragón por titularidad. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al año de construcción, más de la mitad de las residencias (55,5%) se construyeron entre 1981 y 2007, seguidas del periodo 1961-1980 (16,9%) y posterior a 2008 (15,8%). Los centros privados se concentran entre 1981-2007 y 1961-1980, mientras que las residencias públicas se edificaron más tardíamente, en los periodos 1981-2007 y posterior a 2008. Con respecto a la eficiencia energética, un 84,2% de las residencias no alcanzan los criterios del Documento Básico HE Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación (CTE), y un 28,7% son altamente ineficientes. Las residencias en Aragón emiten una media anual de 67 kCO₂eq/m² y consumen 313,7 kWh/m². Los centros construidos antes del CTE generan alrededor de un 10% más de impacto ambiental que los posteriores a 2008.

3.2. Evaluación de la sostenibilidad holística

En cuanto a la evaluación de los criterios asociados a la sostenibilidad sociocultural (Figura 2), 68 residencias (25%) necesitan reducir su número de plazas. Solo 21 residencias han implementado unidades de convivencia. Únicamente 33 residencias (12%) cumplen con la ratio de habitaciones individuales (>65%), 91 no cumplen y en 148 se desconoce. Respecto a la sostenibilidad medioambiental (Figura 2), solo 43 residencias (15,8%) cumplen con los criterios de eficiencia energética del CTE por su año de construcción. En cuanto al consumo energético según el CEE, solo 5 residencias tienen calificación A o B. En emisiones de CO₂, 9 centros tienen calificación A o B.

Respecto a la sostenibilidad económica, el coste de implantación de unidades de convivencia varía entre 324 €/m² y 2.084 €/m², siendo más elevado en proyectos que también intervienen en elementos estructurales o de la envolvente. Se estimó que mejorar la sostenibilidad sociocultural de las 111 residencias sin unidades de convivencia costaría 31,7 millones de euros (escenario S1, 10% de superficie intervenida a 800 €/m²), y 64,8 millones de euros incluyendo los centros con unidades desconocidas (escenario S2). La transformación integral (unidades y envolvente) en centros anteriores a 1980 (escenario S3, 25% de superficie a 1.500 €/m²) superaría los 40,8 millones de euros, aumentando a 105,8 millones para todos los centros ineficientes construidos antes de 2008 (escenario S4). Incluyendo las residencias con unidades desconocidas, el coste ascendería a 101 millones (escenario S5) y 245,9 millones de euros (escenario S6). A pesar del coste de intervención (Tabla 1), se estimó un ahorro energético total en Aragón de 149,4 GWh al año y un ahorro total de emisiones de 32,2 mil toneladas de CO₂ equivalente por año con la mejora del aislamiento térmico de la envolvente. Los mayores ahorros se concentrarían en las residencias construidas entre 1961 y 2007.

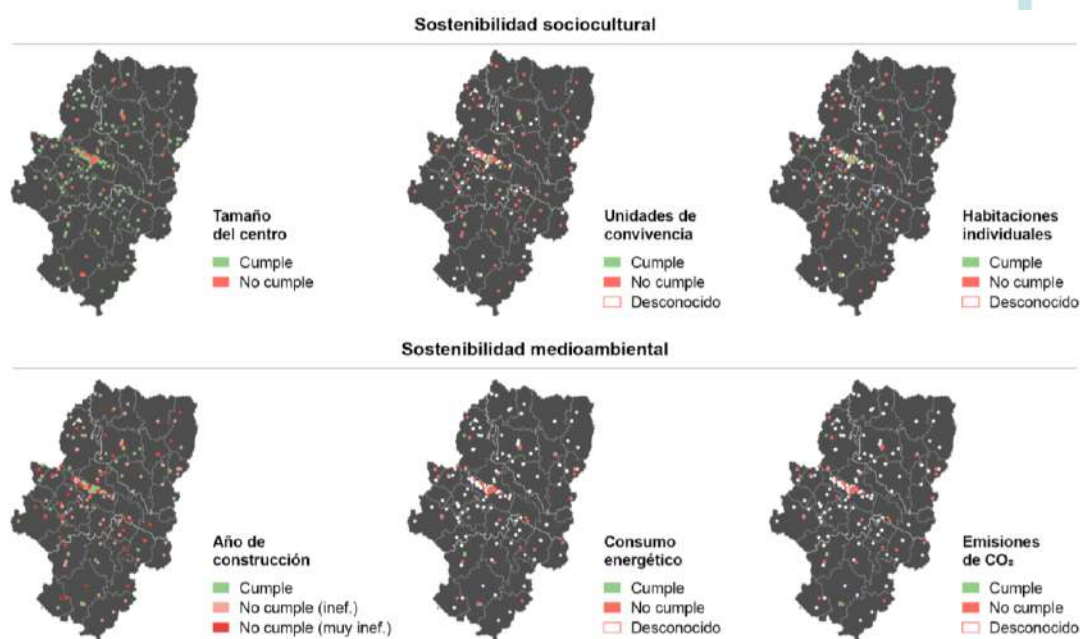


Figura 2. Sostenibilidad sociocultural y medioambiental de las residencias. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Coste de intervención en las residencias de Aragón según escenario. Fuente: Elaboración propia.

Escenario	PEC/m ²	Unidades	Periodo constructivo	Centros	Superficie intervenida	Impacto económico
S1	800	No	-	111	39.636	31,7 mill €
S2	800	No hay o desconocido	-	251	81.022	64,8 mill €
S3	1.500	No hay	<1980	27	27.193	40,8 mill €
S4	1.500	No hay	<2008	91	70.527	105,8 mill €
S5	1.500	No hay o desconocido	<1980	70	67.362	101,0 mill €
S6	1.500	No hay o desconocido	<2008	215	163.923	245,9 mill €

4. Discusión

La caracterización del parque de residencias para personas mayores en Aragón revela una serie de desafíos. En primer lugar, se evidencia una clara desigualdad territorial de centros residenciales, con una concentración predominante en Zaragoza capital, dejando a gran parte de la población rural con acceso limitado a estos servicios. Esta situación puede fomentar migraciones forzadas de personas mayores hacia zonas urbanas, contribuyendo a la despoblación rural. En segundo lugar, la prevalencia de la titularidad privada en la gestión de las residencias refleja un enfoque comercial en los cuidados, lo que podría influir en su calidad y accesibilidad, especialmente en áreas con menor poder adquisitivo.

En cuanto a la sostenibilidad sociocultural, los resultados indican una limitada adaptación de las residencias al modelo de cuidados centrado en la persona. Esta situación sugiere que la mayoría de las residencias en Aragón aún no ofrecen una atención personalizada, tal y como demanda el nuevo modelo de cuidados. Sin embargo, la transformación de los centros implica una inversión económica considerable, lo que plantea interrogantes sobre su viabilidad en un contexto de recursos públicos limitados.

Desde la perspectiva de la sostenibilidad medioambiental, la ineficiencia energética del parque edificado es un reto crucial. El elevado porcentaje de residencias construidas antes de 2008 implica un alto consumo energético y mayores emisiones, lo que supone mayores costes operativos. La mejora de la envolvente y la eficiencia energética son medidas prioritarias para reducir el impacto ambiental y garantizar la calidad de vida de las personas mayores. Las

estimaciones de ahorro energético y reducción de emisiones resaltan el potencial de estas intervenciones. No obstante, la inversión inicial requiere un apoyo financiero adecuado.

5. Conclusión

El análisis del parque residencial para personas mayores en Aragón revela la necesidad urgente de abordar los desafíos de los cuidados desde la sostenibilidad holística. La desigualdad territorial en el acceso, la prevalencia de la gestión privada, la limitada adaptación al modelo de cuidados centrado en la persona y la ineficiencia energética del parque edificado son problemas interconectados que requieren una acción coordinada y estratégica. Para ello, es crucial implementar políticas que promuevan una distribución más equitativa de los recursos públicos, con un enfoque especial en las zonas rurales.

En términos de sostenibilidad sociocultural, la implantación del modelo de cuidados centrado en la persona debe ir acompañada de una financiación adecuada que garantice el acceso a entornos hogareños adaptados a las necesidades de cada residente. En cuanto a la sostenibilidad medioambiental, las políticas de rehabilitación energética deben ser una prioridad, no solo para cumplir con los objetivos climáticos, sino también para mejorar el confort de los residentes y reducir los costes operativos a largo plazo.

En definitiva, la colaboración público-privada debe orientarse a garantizar la equidad en el acceso y la calidad de los cuidados. Un enfoque holístico, que combine medidas de sostenibilidad sociocultural, medioambiental y económica, es clave para promover una arquitectura más inclusiva y sostenible para las personas mayores. Además, la metodología empleada en este estudio, basada en la recogida sistemática de datos y su posterior análisis crítico, presenta un alto potencial de escalabilidad y replicabilidad. Su implementación permitiría a las administraciones públicas conocer de forma más precisa el estado del parque residencial en todo el país, facilitando así la planificación de políticas ajustadas a las realidades territoriales.

6. Referencias

- Aceituno Nieto, P., Ramiro Fariñas, D., Castillo Belmonte, A. B., & Escudero Martínez, J. (2023). *Estadísticas sobre residencias. Distribución de centros y plazas residenciales por provincia. Datos de septiembre de 2022* (No. 31; Informes Envejecimiento en red). Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Beltrán Velamazán, C., Cano Suñén, E., Espinosa Fernández, A., Foronda Díez, C., Gómez Gil, M., González Fernández, I., López Mesa, B., Monzón Chavarrias, M., Pérez-Moreno, L. C., & Tobías González, J. (2022). *RuralREGEN. Estudio sobre el estado de la rehabilitación energética de viviendas en el ámbito rural en España: Diagnóstico, barreras y soluciones*. ECODES.
- Eurostat. (2023). *Life expectancy by age and sex* (No. demo_mlexpec) [Dataset].
- Gobierno de Aragón. (2023a). *Registro de Certificación de Eficiencia Energética de Edificios de Aragón* (Aragón Open Data). Dirección General de Energía y Minas.
- Gobierno de Aragón. (2023b). *Residencias de atención a personas mayores inscritas en el Registro de Entidades, Centros y Servicios Sociales en Aragón*. Gobierno de Aragón.
- IAEST. (2023). *Censo de población a 1 de enero de 2023. Aragón. Primeros resultados*. Instituto Aragonés de Estadística.
- INE. (2021). *Encuesta Europea de Salud en España (ESEE). Año 2020*.
- INE. (2022). *Proyecciones de Población 2022-2072*.
- Jefatura del Estado. (2022). *Ley 9/2022, de 14 de junio, de Calidad de la Arquitectura* (No. BOE-A-2022-9837).
- Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030. (2022). *Acuerdo sobre criterios comunes de acreditación y calidad de los centros y servicios del Sistema de Autonomía y Atención a la Dependencia*.
- Observatorio de la Realidad Social. (2020). *Auditoría de los centros residenciales en Navarra ante la crisis de la COVID-19*. Gobierno de Navarra.
- Rodríguez Rodríguez, P. (2021). *Las residencias que queremos. Cuidados y vida con sentido*. Los Libros de la Catarata.
- Secretaría General de Agenda Urbana y Vivienda. (2020). *ERESEE 2020. Actualización 2020 de la estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España*. Dirección General de Agenda Urbana y Arquitectura.
- Van Hoof, J., Marston, H. R., Kazak, J. K., & Buffel, T. (2021). Ten questions concerning age-friendly cities and communities and the built environment. *Building and Environment*, 199, 107922.

Agradecimientos

Desde la organización del I Congreso Nacional “Construir en Clave Sostenible”, **queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las autoras y autores** que han compartido sus investigaciones, experiencias y propuestas en este proceso colectivo. Vuestras contribuciones, recogidas en este volumen, representan un **compromiso activo** con una arquitectura y urbanismo que responden a los desafíos contemporáneos desde la **sostenibilidad, la equidad y la innovación**.

Extendemos también nuestro reconocimiento a los **comités científico, de honor y organizador**, cuya labor rigurosa y generosa ha sido clave para garantizar la calidad y coherencia del Congreso. Su trabajo ha permitido que este encuentro se convierta en un espacio de reflexión plural y transformador.

Este Congreso ha sido posible gracias a la organización conjunta del **Observatorio 2030 del CSCAE y Saint-Gobain**, con el apoyo institucional del **Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana (MIVAU)** y la **Universidad Politécnica de Madrid (UPM)**. Agradecemos también la colaboración de todos los colegios profesionales y entidades que han respaldado esta iniciativa, demostrando que la sostenibilidad es un compromiso compartido por toda la **cadena de valor del sector**.

Este Congreso es testimonio de que, cuando se unen el conocimiento, la voluntad y la acción, es posible imaginar y habitar futuros más justos, resilientes y responsables.

Gracias por construir, pensar y proyectar en clave sostenible.