



# VII Congreso EECN

## Edificios Energía Casi Nula

Madrid, 5 Noviembre 2020

### LIBRO DE COMUNICACIONES Y PROYECTOS

ORGANIZA:



**GRUPOTECMARED**



COMUNICA:



Todo Sobre Construcción Sostenible

APOYO INSTITUCIONAL:





**VII Congreso EECN**  
**Edificios Energía Casi Nula**  
**Madrid, 5 Noviembre 2020**

**LIBRO DE COMUNICACIONES Y PROYECTOS EECN**  
**VII Congreso Edificios Energía Casi Nula**  
**5 Noviembre 2020**

Organizado por:



Editado por:

Grupo Tecma Red S.L.  
C/ Jorge Juan 31, 1º izqda.  
28001 Madrid, España  
Tel: (+34) 91 577 98 88

Email: [info@grupotecmared.es](mailto:info@grupotecmared.es)  
Web: [www.grupotecmared.es](http://www.grupotecmared.es)

ISBN: 9798554378225  
Copyright: © 2020 Grupo Tecma Red S.L.

Todos los derechos reservados por Grupo Tecma Red S.L. Queda prohibida la reproducción total o parcial de todos los contenidos de este libro bajo cualquier método incluidos el tratamiento digital sin la previa y expresa autorización por escrito de Grupo Tecma Red S.L.

## INTRODUCCIÓN - MITMA

La descarbonización de la economía es el gran reto de futuro a nivel mundial. En las próximas décadas tendremos que redoblar los esfuerzos para alcanzar los objetivos europeos en materia de energía y clima, especialmente en sectores como la edificación, que tienen un fuerte impacto en términos medioambientales.

La edificación representa en su conjunto (residencial y terciario), aproximadamente el 30% del consumo de energía en España y más del 8% del total de las emisiones del inventario de gases de efecto invernadero y del 14% de las emisiones totales en difusos. Asimismo, la construcción consume un importante volumen de recursos naturales y genera elevadas cantidades de residuos.

Este reto, así como los demás desafíos globales a los que nos enfrentamos (sociales, medioambientales, culturales, alimentarios y de salud, económicos y, territoriales) deben abordarse dentro de las ciudades y mediante estrategias de carácter integrado y holísticas, superando la escala del edificio. Y no únicamente desde la escala, sino que la aproximación debe realizarse ampliando la visión, evaluando los impactos durante todo el ciclo de vida del edificio, e integrando en el análisis la interacción con cuestiones que hasta el momento se han visto como colaterales, como por ejemplo la movilidad.

En el año 2010 la Directiva Europea 2010/31/UE, incluyó el objetivo de que a partir del año 2020 los nuevos edificios construidos debían ser edificios de consumo de energía casi nulo. Aquel propósito, que en su momento se percibió como un objetivo finalista, es hoy en día el punto de partida para una meta de mucha mayor envergadura y absolutamente necesaria para hacer frente a la emergencia climática, como es la descarbonización de nuestra economía en general y de nuestras ciudades en particular.

En diciembre de 2019 se aprobó una nueva revisión del Documento Básico DB HE de Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación (CTE), que completó el proceso gradual de aproximación a la definición de edificio de consumo de energía casi nulo, y ahora, debemos seguir modernizando nuestro marco regulatorio para dar respuesta a los nuevos objetivos que ya se han anunciado en la Estrategia “Renovation Wave” (ola de rehabilitación) recientemente publicada por la Comisión Europea.

Este progreso hacia una economía descarbonizada implica a todos los sectores y debe abordarse en el marco global definido por la futura Ley de Cambio Climático, por el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, donde se definen los objetivos sectoriales a 2030, y por la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo, que articula una respuesta coherente e integrada frente a la crisis climática, definiendo una hoja de ruta para avanzar hacia la neutralidad climática en el horizonte 2050, aprovechando la oportunidad que ello supone para la modernización y competitividad de nuestra economía, en un entorno socialmente justo e inclusivo.

En el ámbito específico de la ciudad, la Agenda Urbana Española, se configura como el referente clave para la regeneración de nuestros pueblos y ciudades bajo el prisma de la sostenibilidad (económica, social y medio ambiental), aportando una visión estratégica con vocación de constituir la hoja de ruta para alcanzar un urbanismo más sostenible, orientando el ejercicio de las políticas públicas en los diferentes niveles (estatal, autonómico y local) hacia una acción coordinada, integral e integrada, que tenga en cuenta criterios de cohesión social, prosperidad económica y protección medioambiental. Dentro de este proceso de regeneración urbana, la rehabilitación edificatoria juega un papel relevante. Una rehabilitación sostenible y digital, en la línea con los objetivos planteados en el marco de la Unión Europea, pero donde el concepto sostenible alcance su máxima expresión e integre y de respuesta a todas las necesidades sociales, incluyendo los aspectos relacionados con la accesibilidad, la habitabilidad, la salud, etc.

Si bien la descarbonización de la edificación implica tanto a la nueva edificación, como a la rehabilitación del parque existente, a la vista del amplio porcentaje de edificios realizados antes de la aprobación del CTE en el año 2006 y de la limitada renovación del parque, el foco debe ponerse en la rehabilitación de nuestros edificios. Una rehabilitación que garantice un parque inmobiliario nacional altamente eficiente en términos energéticos y descarbonizado, facilitando la transformación económicamente rentable de los edificios existentes en edificios de consumo de energía casi nulo.

La magnitud del esfuerzo se pone de manifiesto si tenemos en cuenta que solo el parque residencial supera los 25 millones de viviendas, de las cuales casi un 75% son principales. Para guiar esta transformación, el vehículo debe ser la Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el sector de la edificación en España (ERESEE 2020), que en la Comisión Europea antes del verano y ha obtenido recientemente la calificación de sobresaliente y es la mejor

valorada de todas las estrategias presentadas. Esta Estrategia define escenarios para reducir a 2050 un 36,6% el consumo de energía final del sector de la edificación respecto al consumo actual, y lograr que el consumo de energía procedente de fuentes fósiles se reduzca a prácticamente cero en ese año. Esta transformación debe abordarse también, sin obviar el problema de la pobreza energética que según la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2019-2024 es un problema social que afecta a más de 3,5 millones de personas en nuestro país.

La pandemia que sufrimos actualmente, ha venido para dejarnos preocupaciones y ocupaciones relacionadas con el territorio, las ciudades, los entornos urbanos y las viviendas que, más allá de los retos coyunturales, se están integrando ya de manera estructural en el discurso urbano de este Siglo. Se está poniendo en cuestión la tipología de las viviendas, la morfología de nuestras ciudades, la calidad del entorno construido, los modelos de ocupación del territorio, la fuerza imparable de atracción de las metrópolis y el vaciamiento del mundo rural, por poner algunos de los ejemplos más candentes. En este contexto, es necesaria una reflexión profunda, que integre a todos los agentes, y en la que queremos colaborar mediante un proceso participativo amplio en el marco del desarrollo de la futura Ley de Arquitectura y Calidad del Entorno Construido que completará el marco legal ya definido por la Legislación urbanística, la Ley de Ordenación de la Edificación y la futura Ley de Vivienda actualmente en desarrollo. Esta nueva Ley permitirá contemplar la Arquitectura como una disciplina que engloba el justo equilibrio entre los aspectos culturales, sociales, económicos, ambientales y técnicos para el bien común. Tal como se señala en la declaración de Davos, es necesario que generemos “entornos construidos de alta calidad que permitan lograr una sociedad sostenible caracterizada por una alta calidad de vida, diversidad cultural, bienestar individual y colectivo, justicia y cohesión social y eficiencia económica”.

La Arquitectura no es solo la expresión física que materializa los lugares donde viven las personas, es también un hecho cultural que refleja circunstancias propias de nuestra sociedad abordando cuestiones de identidad y de sensibilización con los valores que representa, que inciden de forma directa en el desarrollo individual y colectivo de las personas.

Esta crisis sanitaria también ha generado una situación económica adversa a la que debemos hacer frente mediante el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de la Economía española, presentado recientemente, y en el que la rehabilitación edificatoria, en el marco de la Agenda Urbana Española, jugará un papel importante. Este Plan debe ayudar a la transformación profunda que requiere el sector, acercándonos a una edificación sostenible, digital e industrializada, que seguramente, son los tres conceptos que mejor pueden identificar el futuro de la edificación.

Por último, querría agradecer a Grupo Tecma Red su magnífica labor, que nos permite hoy celebrar esta VII edición del Congreso de Edificios de Energía Casi Nula (EECN) que se ha configurado como un referente obligado en esta materia, y que ha permitido desde su primera edición en 2012, el encuentro, la reflexión y el intercambio de experiencias entre los diferentes agentes del sector, y cuyas metas están claramente alineadas con los objetivos de la política del Ministerio en este ámbito. También quisiera reconocer la labor del Comité Técnico que ha permitido mantener el nivel de excelencia del Congreso, y agradecer a todos los ponentes y asistentes al mismo su interés sin el cual no sería posible su desarrollo.

Madrid, Noviembre 2020

**Iñiqui Carnicero**

Director General de Agenda Urbana y Arquitectura  
Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana

## INTRODUCCIÓN - GRUPO TECMA RED

Bajo el lema “La descarbonización de la edificación, una palanca para reactivar el sector: obra nueva y rehabilitación” se celebra el VII Congreso Edificios Energía Casi Nula el 5 de noviembre de 2020. Como novedad en esta edición, el Congreso se celebra simultáneamente de manera presencial y online. La asistencia presencial, adaptada para cumplir con todas las recomendaciones sanitarias derivadas del COVID-19, se desarrolla en La Nave del Ayuntamiento de Madrid. Asimismo, la participación online se ha diseñado para permitir el seguimiento del Congreso disfrutando de una experiencia completa en streaming, a través de la web y la APP del evento. Esta APP ha sido desarrollada para ofrecer la mejor experiencia posible para todos los asistentes, tanto online como offline, y complementa los servicios de la web, como herramienta de información y comunicación.

Organizado por Grupo Tecma Red y el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (Mitma), a través de la Dirección General de Agenda Urbana y Arquitectura, el evento aborda las cuestiones clave que afectan al futuro del sector de la edificación en España, con la mirada puesta en la transición ecológica y los compromisos a 2050. Además, el Congreso cuenta con la colaboración institucional del Ayuntamiento de Madrid y del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través de la Oficina Española de Cambio Climático y del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

Esta séptima edición tiene lugar en un contexto de máxima actualidad para la implantación de los Edificios de Energía Casi Nula (EECN) y con la actualización reciente de la “Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el sector de la Edificación en España” (ERESEE 2020), que establece la hoja de ruta para la rehabilitación del parque edificado y la descarbonización del sector.

Los contenidos del programa de esta edición 2020, se presentan como una excelente oportunidad para posicionar el sector de la edificación como motor de la recuperación económica y palanca innovadora de los cambios disruptivos necesarios que nos permitan avanzar hacia una transición ecológica completa como país. Incluyen con ese objetivo, dos conferencias magistrales, tres mesas redondas y 14 ponencias orales, abarcando una gran variedad de temas relacionados tanto con la nueva edificación como con la rehabilitación, incidiendo en la descarbonización y la reactivación del sector y de nuestra economía.

La conferencia magistral de la Dirección General de Agenda Urbana y Arquitectura del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, con el título "Hacia una transición ecológica y una Arquitectura de calidad: líneas de futuro del sector de la Edificación en España" desglosa las líneas generales de la política estratégica a implantar en el sector de la edificación en los próximos años con una lectura centrada en la adaptación y lucha contra el cambio climático. Por otro lado, desde la intervención de la Dirección de Ahorro y Eficiencia Energética del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), se pone el foco en los Fondos de Recuperación Económica, analizando "Estrategias y apoyos para la rehabilitación energética de edificios y la integración de renovables en la edificación en España".

En cuanto al tiempo dedicado al debate, bajo el mismo título que el lema del Congreso se desarrolla la primera mesa redonda: “La descarbonización de la edificación, una palanca para reactivar el sector: obra nueva y rehabilitación”, un espacio para situar a la construcción y la rehabilitación, con criterios de sostenibilidad y alta eficiencia energética, como pilares fundamentales para alcanzar el objetivo hacia una sociedad libre de carbono y palanca económica de la nueva realidad a la que nos dirigimos.

La segunda mesa redonda analiza la “Energía y sostenibilidad a escala urbana: Un binomio transformador de nuestras ciudades”, un tema de gran actualidad para exponer por qué las cuestiones energéticas no son un debate desacoplado de la edificación y el desarrollo de nuestras ciudades, sino elementos potenciadores de la arquitectura, el confort y la calidad de vida de los ciudadanos.

Y finalmente, la tercera mesa redonda, con el título “La digitalización como herramienta de activación de la rehabilitación y la circularidad: el papel del usuario final”, aborda las oportunidades que se presentan en una sociedad digitalizada, para implicar al ciudadano y a los profesionales en una transformación disruptiva hacia la eficiencia energética y la sostenibilidad en todo el ciclo de vida de la edificación.

El programa se completa con las 14 Ponencias Orales que incluyen, tres proyectos de edificios de energía casi nulo ya construidos (de uso dotacional, de oficinas y residencial), y diferentes iniciativas basadas en temáticas del Llamamiento de Comunicaciones del Congreso: Rehabilitación y regeneración urbana; Innovación en soluciones arquitectónicas y constructivas; Instalaciones, tecnologías e integración de energías renovables; Integración del edificio en el entorno energético y distritos de energía positiva; Uso, operación y mantenimiento: prestaciones reales; Salud y bienestar en los edificios: beneficios para los usuarios; Nuevos instrumentos de gestión y financiación sostenible.

Este Libro de Comunicaciones y Proyectos de EECN del VII Congreso de Edificios Energía Casi Nula, se entrega a todos los asistentes presenciales al evento, y también está disponible para su descarga libre en pdf para todos los profesionales del sector. En él se incluyen, las propuestas seleccionadas por el Comité Técnico de entre las 52 comunicaciones finales recibidas.

En este 2020, de nuevo, queremos destacar la activa colaboración del sector con numerosas entidades, tanto del ámbito público como del sector privado, que demuestran su interés en promover los Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo: a3e, ACA, ADHAC, AEA, AECTI, AEDICI, AEDIP, AFEC, AFELMA, AFME, AIFIm, AIPEX, AISLA, AMI, ANAIP, ANAPE, ANDIMAT, ANERR, ANESE, ANFAPA, ASA, ASEFAVE, ASHRAE, ASIT, ASPRIMA, ATECYR, AUS, AVEBIOM, AVS, BREEAM ES, BUILDING YOUNGS, BuildingSMART Spanish Chapter, Cámara de Comercio Alemana para España – AHK, CARTIF, CDTI, CECU, CEDOM, CEEC, CENER, CEPCO, CICCPC, CIEMAT, CIRCE, CNI, COIIM, CAFMadrid, COIT, COITT/AEGITT, CSCAE, CGCOII, CGATE, COGEN ESPAÑA, CONAIF, DOMOTYS, EFENAR, EMVS, ENACE, ENERAGEN, ENERGYLAB, EURECAT, F2E, FECOTEL, FENIE, FENITEL, Fundación Laboral de la Construcción, GBCE, HISPALYT, IFMA, IMDEA Energía, INNOVARCILLA, INST. CC. EDUARDO TORROJA, IVE, IPUR, IREC, ITH, Asociación KNX, Fundación La Casa que Ahorra, LEITAT Centro Tecnológico, Madrid Network, PEP, PTE-ee, SECARTYS, SMARTLIVINGPLAT, SOLARTYS, TECNALIA y UNEF.

También citar el excelente trabajo desarrollado por el Comité Técnico del VII Congreso Edificios Energía Casi Nula formado por más de 40 profesionales expertos en las áreas temáticas que aborda el Congreso: Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, IDAE, OECC, FEMP, CIEMAT, INCASOL, IETcc, CGCOII, CGATE, CSCAE, CICCPC, CAFMadrid, AVS, CENER, CARTIF, ATECYR, PTE-ee, IFMA ESPAÑA, CEPCO, ANDIMAT, ASEFAVE, AFEC, CONAIF, AEDICI, Fundación Laboral de la Construcción, GBCE, CECU, PEP, SOLARTYS, CNI, BuildingSmart Spanish Chapter, Soler & Palau y Grupo Tecma Red.

Además, en este año de especiales circunstancias para todos, damos un enorme valor el apoyo recibido por numerosas empresas líderes del sector, muchas de las cuales nos han acompañado en esta iniciativa desde sus comienzos:

- Patrocinio Platino: S&P
- Patrocinio Oro: Kömmerling y Saint-Gobain
- Patrocinio Plata: Aldes, Saunier Duval y Vaillant
- Patrocinio Bronce: Baumit, BAXI, BIG-EU, BMI, Danosa, Habitissimo, LafargeHolcim y LG Business Solutions.

Desde Grupo Tecma Red, hemos querido asumir la responsabilidad de organizar una nueva edición del Congreso Edificios Energía Casi Nula, para seguir dando visibilidad a todos los que siguen trabajando y lanzando nuevas iniciativas. Queremos transmitir al sector un mensaje positivo hacia el futuro y hoy resulta más imprescindible que nunca el intercambio de conocimiento y experiencias en la búsqueda de un sector descarbonizado y sostenible. Gracias a todos lo que habéis contribuido a que el día 5 de noviembre este Congreso sea posible.

Madrid, Noviembre 2020

**Inés Leal**

Directora VII Congreso Edificios Energía Casi Nula  
Grupo Tecma Red

## MIEMBROS COMITÉ TÉCNICO

- **Luis Vega**, Subdirector General Arquitectura y Edificación, Ministerio Transportes, Movilidad y Agenda Urbana
- **Raúl Valiño**, Jefe Servicio, Área Edificación Sostenible, Ministerio Transportes, Movilidad y Agenda Urbana
- **Raquel Lara**, Consejera Técnica, Área Edificación Sostenible, Ministerio Transportes, Movilidad y Agenda Urbana
- **Eduardo de Santiago**, Consejero Téc., S. G. Agenda Urbana, Ministerio Transportes, Movilidad y Agenda Urbana
- **Fernando García**, Jefe Departamento Doméstico y Edificios, Instituto para Diversificación y Ahorro Energía, IDAE
- **Aitor Domínguez**, Responsable Proyectos Departamento Doméstico y Edificios, IDAE
- **Eduardo González**, Subdirector General Coordinación Acciones frente al Cambio Climático, Oficina Española Cambio Climático, OECC, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
- **Ramón López**, Jefe Servicio, Oficina Española Cambio Climático, OECC, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
- **Marta Rodríguez-Gironés**, Subdirectora Agenda Urbana, Cambio Climático y Movilidad, Federación Española de Municipios y Provincias, FEMP
- **José Antonio Ferrer**, Jefe Unidad de Eficiencia Energética en Edificación, Centro Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, CIEMAT
- **Fernando Aranda**, Coordinación Técnica, Innovación y Eficiencia Energética, INCASOL, Generalitat Cataluña
- **Juan Queipo de Llano**, Responsable Unidad Calidad en la Construcción, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, IETcc-CSIC
- **Rafael Villar**, Coordinador de Energética Edificatoria y Sostenibilidad, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, IETcc-CSIC
- **Luis F. Alés**, Consejo General de Colegios Oficiales de Ingenieros Industriales, CGCOII
- **Juan López-Asiain**, Responsable Gabinete Técnico, Consejo General de la Arquitectura Técnica de España, CGATE
- **Ángela Baldellou**, Directora Observatorio 2030, Consejo Superior Colegios de Arquitectos de España, CSCAE
- **Isabel Alonso**, Miembro del Consejo General, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, CICC
- **Isabel Bajo**, Presidenta, Colegio Profesional de Administradores de Fincas de Madrid, CAFMadrid
- **Gonzalo Fernández**, Asociación de Gestores Públicos de Vivienda y Suelo, AVS
- **Florencio Manteca**, Dir. Departamento Energía en Edificación, Centro Nacional de Energías Renovables, CENER
- **Miguel Ángel García**, Coordinador de Proyectos, División de Energía, Centro Tecnológico CARTIF
- **Miguel Ángel Llopis**, Presidente, Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración, ATECYR
- **Guillermo Escobar**, Coordinador Técnico, Plataforma Tecnológica Española de Eficiencia Energética, PTE-ee
- **Rebeca Fernández**, Gerente, Sociedad Española de Facility Management, IFMA ESPAÑA
- **Luis Rodulfo**, Vicepres., Confederación Española Asociaciones Fabricantes Productos de Construcción, CEPCO
- **Yago Massó**, Director Técnico, Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes, ANDIMAT
- **Pablo Martín**, Director, Asociación Española de Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas, ASEFAVE
- **Cecilia Salamanca**, Resp. Departamento Técnico, Asociación Fabricantes de Equipos de Climatización, AFEC
- **Alicia Huerga**, Responsable Dpto. Técnico, Confederación Nacional Asociaciones Instaladores y Fluidos, CONAIF
- **Javier Moreno**, Gerente, Asociación Española de Ingenierías e Ingenieros Consultores de Instalaciones, AEDICI
- **Ana González**, Responsable Diseño de Formación, Fundación Laboral de la Construcción
- **Dolores Huerta**, Secretaria Técnica, Green Building Council España, GBCE
- **Ana Etchenique**, Vicepresidenta Confederación de Consumidores y Usuarios, CECU
- **Daniel Sánchez**, Técnico, Plataforma PEP
- **Isabel Guede**, Miembro Junta Directiva, Clúster Español de Energía Solar y Eficiencia Energética, SOLARTYS
- **Blanca Gómez**, Directora, Confederación Nacional de Instaladores y Mantenedores, CNI
- **Benjamín González**, Miembro Junta Directiva, BuildingSmart Spanish Chapter
- **Pilar Pereda**, Experta en Rehabilitación y Eficiencia Energética en la Edificación
- **Sergio Melgosa**, Auditor Energético y especialista en Termografía Infrarroja
- **Juan Carlos Romero**, Product Manager Departamento de Marketing Producto, Soler & Palau
- **Stefan Junstrand**, Director General, Grupo Tecma Red
- **Inés Leal**, Directora del Congreso de Edificios Energía Casi Nula, Grupo Tecma Red

# ÍNDICE

## REHABILITACIÓN Y REGENERACIÓN URBANA

<b>REZBUILD - TECNOLOGÍAS INNOVADORAS PARA ECOSISTEMAS DE REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS CON CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO EN EUROPA</b>	<b>1</b>
<i>Alejandro Domínguez Martínez, Elena Rico, José Llamas y Susana Garayoa</i>	
Saint Gobain Placo e ISOVER Ibérica, ONYX Solar, CARTIF y REZBUILD	
<b>LA IMPORTANCIA DE LOS PUENTES TÉRMICOS EN LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE UN EDIFICIO DOCENTE, UN EJEMPLO DE AISLAMIENTO TÉRMICO POR EL INTERIOR</b>	<b>7</b>
<i>Soledad Camino-Olea, Alberto Losa-Espina, Alejandro Cabeza-Prieto y Alfredo Llorente-Álvarez</i>	
Universidad de Valladolid	
<b>TRANSFORMACION DE EDIFICIO DE OFICINAS CONVENCIONAL EN NET ZERO ENERGY: CASO DE ESTUDIO POR SIMULACION ENERGÉTICA</b>	<b>13</b>
<i>Susana García San Román</i>	
ESTEIN (Grupo Melbmex)	

## INNOVACIÓN EN SOLUCIONES ARQUITECTÓNICAS Y CONSTRUCTIVAS

<b>OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DEL CICLO DE VIDA DE LOS EDIFICIOS MEDIANTE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS CONFORMADAS POR ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN</b>	<b>19</b>
<i>Alejandro López Vidal y César Bartolomé Muñoz</i>	
ANDECE, Plataforma Tecnológica Española del Hormigón, IECA	
<b>CONSTRUIR EN PIEDRA HOY: UNA DE LAS SOLUCIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN BAJA EN CARBONO</b>	<b>25</b>
<i>Catalina Sánchez Robles y Valentina Uribe Montoya</i>	
Areniscas Rosal y Rosal Stones	
<b>SISTEMA DE VIVIENDA PROTEGIDA INDUSTRIALIZADA DE CONSUMO ENERGÉTICO CASI NULO</b>	<b>30</b>
<i>Francisco Campuzano Izquierdo, Javier Gómez Vázquez, María Elena Morón Serna y Jorge Ruíz García</i>	
AVRA (Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía)	
<b>REHABILITACIÓN INNOVADORA DE VIVIENDA SOCIAL: CASO REAL CON MÁS DE 2500 M2 EN JAÉN</b>	<b>36</b>
<i>Teresa Palomo Amores, Daniel Castro Medina, M Carmen Guerrero Delgado, José Sánchez Ramos y Servando Álvarez Domínguez</i>	
Universidad de Sevilla	
<b>GUÍA AZALA BI: GUÍA DE COSTES Y EFICIENCIA DE LOS DIVERSOS MATERIALES Y SISTEMAS EN LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE LA ENVOLVENTE DE LOS EDIFICIOS</b>	<b>42</b>
<i>Ramón Ruiz-Cuevas, Mark Beston, Adan Hernando, Maribel García, Javier Malave e Iker Moya</i>	
Luz y Espacio arquitectos	
<b>REVESTIMIENTO TERMOCERÁMICO DE ALTA TECNOLOGÍA: CONFORT TÉRMICO, AHORRO ENERGÉTICO Y MAYOR PROTECCIÓN PARA LOS EDIFICIOS</b>	<b>48</b>
<i>Carlos Araujo Palop y Arturo Cecilia García</i>	
Thermoshield España	
<b>CÓMO GARANTIZAR LA PERFECTA EJECUCIÓN DE SISTEMAS DE CUBIERTA EFICIENTES Y SOSTENIBLES</b>	<b>53</b>
<i>Carlos Hernández Puente</i>	
BMI Group	

## INSTALACIONES, TECNOLOGÍAS E INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

<b>SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED CON CONTROL MAGNÉTICO E INTEGRACIÓN DE SENSORES IOT PARA EDIFICIOS INTELIGENTES</b>	<b>57</b>
<i>Héctor F. Chinchero, J. Marcos Alonso y Hugo Ortiz T.</i>	
Universidad de Oviedo y Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE	
<b>REVISIÓN DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN LED PARA EDIFICIOS INTELIGENTES</b>	<b>63</b>
<i>Héctor F. Chinchero, J. Marcos Alonso y Hugo Ortiz T.</i>	
Universidad de Oviedo y Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE	
<b>SMART BUILDING: MONITORIZACIÓN Y EFICIENCIA ENERGÉTICA COMBINADAS PARA ALCANZAR LA NUEVA ERA DE EDIFICIOS SOSTENIBLES.</b>	<b>69</b>
<i>Jesús Javier Rodríguez Gutiérrez, David Vilasack Vilasack, Elizaveta Markova y Alicia Poncela Huerta</i>	
CIC Consulting Informático de Cantabria	
<b>EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA LIGERA Y SUS CONTEXTOS GEOGRÁFICOS: UN CASO DE ESTUDIO</b>	<b>74</b>
<i>Juan Carlos Sánchez González, Benito Lauret Aguirregabiria, Graciela Ovando Vacarezza, Belén Pérez-Pujazón Millán y Luis Claros Marfil</i>	
ETSAM - Universidad Politécnica de Madrid	
<b>SISTEMAS DE AEROTERMIA HÍBRIDA CON R32 EN PROYECTOS RESIDENCIALES DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA</b>	<b>80</b>
<i>Alberto Bravo Sánchez</i>	
LG Electronics	

<b>CLIMATIZACIÓN DE SUPERFICIES, CALOR, FRÍO E INSONORIZACIÓN</b>	<b>86</b>
<i>Eva María Blank y José Belmonte Montoya</i>	
Haufe Deckensysteme y Eco-components	
<b>DISEÑO DE BOMBA DE CALOR REVERSIBLE DUAL CON REFRIGERANTE NATURAL PARA EDIFICIOS DE ENERGÍA CASI NULA</b>	<b>92</b>
<i>Laura Alonso, Xabier Peña, Jon Iturralde y Carol Pascual</i>	
TECNALIA, Basque Research and Technology Alliance (BRTA)	
<b>FOTOBIOREACTORES URBANOS DE ALGAS PARA LA CIUDAD VERDE: REINTERPRETANDO EL LABERINTO</b>	<b>98</b>
<i>Rosa Cervera, María Rosa Villalba y Cristina Álvarez</i>	
Universidad de Alcalá	
<b>PROYECTO RED DE CALOR CON BIOMASA EN EL BARRIO DE CORONACIÓN (VITORIA-GASTEIZ)</b>	<b>104</b>
<i>Iñaki Hernanz, Andoni Anera y Carmen Muñoz</i>	
Giroa-Veolia	
<b>INTEGRACIÓN DEL EDIFICIO EN EL ENTORNO ENERGÉTICO Y DISTRITOS DE ENERGÍA POSITIVA</b>	
<b>DISTRITOS DE ENERGÍA POSITIVA (PEDS) EN ESPAÑA, UNA PROPUESTA DE INICIATIVA TECNOLÓGICA PRIORITARIA DE LA PTE-EE</b>	<b>109</b>
<i>Manel Sanmartí, Paolo Civiero, Rubén García, Andrea Gabaldón, Manuel Adrés Chicote, José Antonio Ferrer, Joan Enric Ricart, Pedro Franca y Guillermo J. Escobar</i>	
IREC, CARTIF, Ciemat, IESE y PTE-ee	
<b>GESTIÓN INTELIGENTE DE ENERGÍA EN EDIFICIOS: RENTABILIZANDO LOS SISTEMAS DE BATERÍAS MEDIANTE PREDICCIÓN Y MACHINE LEARNING</b>	<b>115</b>
<i>Carlos Alonso Castro y Ricard Gorgues Griñán</i>	
Cefiner	
<b>QUALDEEPC - CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA Y REHABILITACIÓN HACIA EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO</b>	<b>121</b>
<i>Margarita Puente Salve y Francisco Puente Rivas</i>	
Escan Energy Consulting	
<b>HERRAMIENTA PARA LA PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA COMO CAMINO PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA URBANA DE LAS CIUDADES Y CASO DE ESTUDIO APLICADO</b>	<b>123</b>
<i>Carlos Prades Gil, Enrique Fuster Palop, Ximo Masip Sanchis y Joan Dídac Viana Fons</i>	
Universitat Politècnica València	
<b>USO, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO: PRESTACIONES REALES</b>	
<b>CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO REAL DE INSTALACIONES TÉRMICAS- CASO DE ESTUDIO 32 VIVIENDAS SOCIALES EN SANTURTZI, BIZKAIA</b>	<b>129</b>
<i>Julen Hernández, Patxi Hernández, Iñigo Urra, David Grisaleña y Alberto Ortiz de Elgea</i>	
TECNALIA, Basque Research and Technology Alliance (BRTA) y Visesa (Vivienda y Suelo de Euskadi)	
<b>COLEGIO EL GARROFER, MONITORIZACIÓN DE UN EDIFICIO ENERPHIT EN VILADECANS/ESPAÑA</b>	<b>135</b>
<i>Andreu Villagrasa, Martín Amado y Micheel Wassouf</i>	
Energiehaus	
<b>REMOURBAN: EVALUACIÓN FINAL DE LAS ACCIONES LLEVADAS A CABO EN EL DISTRITO DE FASA (VALLADOLID) PARA CONVERTIRLO EN UN DISTRITO DE ENERGÍA CASI NULA</b>	<b>141</b>
<i>Javier Antolín Gutiérrez, Miguel Á. García Fuentes, Cristina de Torre Minguela, Jaime Gómez Tribiño y Jaime Jose Cubillo Capuz</i>	
CMVP, Fundación CARTIF, VEOLIA Servicios LECAM, ACCIONA	
<b>ECONOMÍA CIRCULAR, CICLO DE VIDA, RECURSOS NATURALES E IMPACTO EN EL ENTORNO</b>	
<b>MARKETCONS, UNA HERRAMIENTA PARA LA REUTILIZACIÓN DE PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y LA EFICIENCIA ENERGÉTICA</b>	<b>147</b>
<i>Jordi Marrot i Ticó</i>	
Colegio de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Barcelona	
<b>LOS REFRIGERANTES NATURALES Y LAS BOMBAS DE CALOR COMPACTAS, EL PRESENTE Y EL FUTURO EN LA CLIMATIZACIÓN RESIDENCIAL - LA SOLUCIÓN IDÓNEA TRAS LA IF-20</b>	<b>153</b>
<i>Gorka Goiri</i>	
Vaillant Group	
<b>ARQUITECTURA PARA LA DESCARBONIZACIÓN DE LA ECONOMÍA - EJEMPLOS DE PROYECTOS CO2NULO</b>	<b>157</b>
<i>Iñaki Alonso y Paloma Suárez</i>	
sAtt	
<b>LA REVOLUCIÓN DE LO COMÚN. UNA BASE DE DATOS DE CARBONO ABIERTA Y COMÚN</b>	<b>162</b>
<i>Iñaki Alonso Echeverría</i>	
ECOMETRO	
<b>EDIFICIOS CO<sub>2</sub> NULO - CÓMO HACER UN EDIFICIO NEUTRO EN CARBONO</b>	<b>165</b>
<i>Giorgos Tragopoulos e Iñaki Alonso Echeverría</i>	
Ecometro y Satt Triple Balance	

**SALUD Y BIENESTAR EN LOS EDIFICIOS: BENEFICIOS PARA LOS USUARIOS****VIVA RESEARCH PARK: INVESTIGACIÓN COMPARADA SOBRE LA INFLUENCIA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN LA SALUD Y UNA MEDIDA DEL CONFORT 170***Hans Peter Hutter, Christian Heschl, Peter Tappler, Jurgen Lorenz y Fernando Arrabé Gómez*

Facultad de Medicina, FH Burgenland, IBO Innenraumanalytik OG General, Baumit Internacional y Baumit España

**ESTUDIO DE PUENTES TÉRMICOS Y PATOLOGÍAS ASOCIADAS EN PROCESOS DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS 176***Marta Epelde Merino, Iñaki del Prim Gracia y Alberto Ortiz de Elgea Olasolo*

Consultoría Energética, blancodelprim arquitectura ecopasiva y Visesa-Gobierno Vasco

**CONSUMO ENÉRGICO Y CALIDAD DEL AIRE ¿SON COMPATIBLES? 182***Andrés López Sánchez, Álvaro Sancho Gómez-Zurdo y Eduardo Guillén Pérez*

Aldes Ventilación y Altius

**APORTACIONES CONSTRUCTIVAS PARA UNA HABITABILIDAD, BIENESTAR Y CONFORT “DESCARBONIZADOS”, SOSTENIBLES, EFICIENTES E INTEGRALES DE LOS EDIFICIOS 187***Carlos Castro Martín*

DANOSA

**LA INNOVACIÓN SOCIAL AL SERVICIO DE ACCIONES EECC: BIG DATA, INTERNET DE LAS COSAS Y POBREZA ENERGÉTICA 193***Tomás Gómez Navarro, Juan Mario Lecumberri Cidurriz y Elena Rocher Vicedo*

Iniciativa Social Integral y UPV - Las Naves

**LA MONITORIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR COMO HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN Y MEJORA DE LA SALUBRIDAD DE UN ESPACIO 199***María Figols González y Xabier Aláez Sarasibar*

inBiot Monitoring

**LA NECESIDAD DE GARANTIZAR UNA ADECUADA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN LOS EDIFICIOS 205***Juan Carlos Romero Cabra*

S&amp;P Sistemas de Ventilación

**TRANSFORMACIÓN DEL SECTOR INMOBILIARIO Y DIGITALIZACIÓN****LA DIGITALIZACIÓN COMO PALANCA PARA ACTIVAR AL USUARIO FINAL HACIA LA REHABILITACIÓN 210***Isabel Alonso de Armas*

habitissimo

**NUEVOS INSTRUMENTOS DE GESTIÓN Y FINANCIACIÓN SOSTENIBLE****EL PAGO POR DISPONIBILIDAD COMO FÓRMULA PARA DESARROLLAR OBRAS DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA, RESTAURACIÓN Y EQUIPAMIENTOS 216***David García Núñez, David Solla Navarro y Armando Ortuño Padilla*

Asociación Madrid Capital Mundial Construcción, Ingeniería y Arquitectura

**LA TRANSFORMACIÓN COLECTIVA PARA EL DESARROLLO DE SOLUCIONES MÁS SOSTENIBLES EN CONSTRUCCIÓN, CLUSTER ECCO 222***Ana Isabel Menéndez Suárez*

clúster ECCO

**PAS-E · PASAPORTE DEL EDIFICIO. INSTRUMENTO PARA LA REHABILITACIÓN PROFUNDA POR PASOS. 227***Joaquim Arcas-Abella y Miguel Rodríguez*

Cíclica y GBCE

**AGENDA DE LA UNIÓN EUROPEA PARA ALCANZAR UNA NEUTRALIDAD CLIMÁTICA Y RECUPERACIÓN ECONÓMICA 233***Nicolás Bermejo Presa, Raquel Díez y Esther Soriano Hoyuelos*

Saint-Gobain Placo, Isover y GBCE

**PROYECTOS EEEN****CASA EN LA RIBERA DEL DUERO - VIVIENDA DE BAJA DEMANDA ENERGÉTICA DISEÑADA Y CONSTRUIDA SEGÚN ESTÁNDAR PASSIVHAUS 239***Promotor: Jaime Romera y Sara Pulido**Proyectistas: Ignacio Romera Gonzalo***REHABILITACIÓN DE ADOSADO EN EL ENSANCHE DE PAMPLONA 247**

Promotor y Proyectista: María Teresa Monente Mozaz

**EL VALOR AÑADIDO DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR PASSIVHAUS PLUS: CALIDAD, CONFORT Y SOSTENIBILIDAD / VIVIENDA “VICTORIA” 253***Promotores: Alfonso Santos Letón y Victoria Santiago Rasilla**Proyectista: Victoria Santiago Rasilla***ENTREPATIOS - LAS CAROLINAS, UN COHOUSING ECOLÓGICO EEEN, CO2NULO Y DE MADERA 261***Proyectistas: Iñaki Alonso y Pablo Rodríguez***CENTRO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA CEIP LUIS ELEJALDE Y ROGELIA ALVARO HLHI DE VITORIA-GASTEIZ 267**

Promotor: Gobierno Vasco

Proyectistas: Ramón Ruiz-Cuevas Peña e Iñigo Azcarate Mutilloa

**EDIFICIO DE OFICINAS GREENSPACE PCTG - DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO UBICADO EN PARQUE CIENTÍFICO TECNOLÓGICO DE GIJÓN**

275

*Promotor: GesyGes Innovación en la Edificación*

*Proyectistas: Eugenia del Río Villar y Eladio Rodríguez Alvar*



# VII Congreso EECN

## Edificios Energía Casi Nula

### Madrid, 5 Noviembre 2020

PATROCINIO PLATINO:



PATROCINIO ORO:

PATROCINIO PLATA:

PATROCINIO BRONCE:



ORGANIZA:

COMUNICA:



APOYO INSTITUCIONAL:



COLABORA:





# IAQ

Una visión integral





**KÖMMERLING®**



## ASÓMATE A LOS SISTEMAS KÖMMERLING

¿Quieres conocer el nuevo  
**KÖMMERLING76** AD *Xtrem*?

Líneas rectas y calidad KÖMMERLING  
con la producción más optimizada en costes.

Descárgate aquí la información del sistema



Te esperamos en el próximo webinar  
para arquitectos de la **Escuela Reto KÖMMERLING**.  
Consulta las nuevas convocatorias en [retokommerling.com](http://retokommerling.com)



Creamos espacios  
**sostenibles y confortables**  
para vivir y mejorar  
el día a día

**¡Te esperamos!**

VII Congreso  
Edificios Energía Casi Nula





**GRUPOTECMARED**

**Grupo Tecma Red es líder en información y generación de conocimiento sobre Energía, Sostenibilidad y Nuevas Tecnologías en la Edificación y la Ciudad.**

**PORTALES:**

**CASADOMO.com**  
Todo sobre Edificios Inteligentes  
[www.casadomo.com](http://www.casadomo.com)

**CONSTRUIBLE.es**  
Todo Sobre Construcción Sostenible  
[www.construible.es](http://www.construible.es)

**ESEficiencia.es**  
Portal de Eficiencia y Servicios Energéticos  
[www.eseficiencia.es](http://www.eseficiencia.es)

**eSMARTCITY.es**  
Todo sobre Ciudades Inteligentes  
[www.esmartcity.es](http://www.esmartcity.es)

**SMARTGRIDSINFO.es**  
Todo sobre Redes Eléctricas Inteligentes  
[www.smartgridsinfo.es](http://www.smartgridsinfo.es)

**CONGRESOS:**

**VI CONGRESO CIUDADES INTELIGENTES**  
Madrid, 15 septiembre 2020

**VII Congreso EECN Edificios Energía Casi Nula**  
Madrid, 5 Noviembre 2020

**VII CONGRESO SMART GRIDS**  
Madrid, 16 diciembre 2020



# REZBUILD - TECNOLOGÍAS INNOVADORAS PARA ECOSISTEMAS DE REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS CON CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO EN EUROPA

**Alejandro Domínguez Martínez**, Director I+D, Saint Gobain Placo e ISOVER Ibérica

**Elena Rico**, Responsable I+D, ONYX Solar

**José Llamas**, Responsable Unidad de Edificación e Infraestructura, CARTIF

**Susana Garayoa**, Responsable Comunicación, REZBUILD

**Resumen:** El proyecto REZBUILD tiene como objetivo definir un ecosistema de restauración colaborativa de materiales y metodologías para lograr edificios de energía casi nula (NZEB). REZBUILD aborda estos desafíos abriendo el sector de la construcción con la integración de tecnologías de innovación para allanar el camino hacia una tasa de renovación anual del 2,5% en lugar de las tasas actuales inferiores al 1%. Para ello, el proyecto contempla una plataforma integral para la toma de decisiones utilizando tecnologías avanzadas.

**Palabras clave:** Rehabilitación viviendas, Herramienta APM, OpenBIM, BEM (gestión de energía), Impresión 3D, Bomba de calor solar, Aislantes y estanqueidad, Paneles fotovoltaicos integrados, Suelo radiante alta eficiencia.

## INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción es el mayor consumidor de energía (alrededor del 40%) y el principal emisor de gases de efecto invernadero (alrededor del 36%) en Europa. Como consecuencia de su enorme impacto ambiental, el sector necesita nuevas metodologías de rehabilitación para obtener Edificios de Consumo Energético Casi Nulo (EECN), que promuevan la investigación y la innovación en el sector y contribuyan a reducir su impacto ambiental a través de edificios energéticamente eficientes. El proyecto europeo REZBUILD es una iniciativa financiada por el Programa Horizonte2020 de la Comisión Europea, cuyo objetivo principal es consolidar una plataforma de ámbito europeo para la toma de decisiones de rehabilitación, a través de tecnologías avanzadas para la renovación de edificios de energía casi nula.

Asimismo, el sector de la construcción incorpora, cada vez más, procesos participativos y el compromiso entre las distintas partes involucradas en el proceso constructivo como una de sus principales tendencias de cambio futuras. Son cada vez más visibles distintas iniciativas de renovación y rehabilitación que persiguen afianzar una plataforma abierta que reúna a los principales actores del sector: empresas de construcción, profesionales de la arquitectura y la ingeniería, entidades financieras, autoridades y sociedad civil. Estas iniciativas habitualmente persiguen desarrollar posibilidades de financiación innovadoras y asequibles, promover inversiones en eficiencia energética en los edificios y aunar los esfuerzos de rehabilitación y renovación en grandes bloques para aprovechar las economías de escala.

El impulso a las tecnologías más innovadoras es fundamental para la modernización y empleabilidad del sector, y para contribuir a que la eficiencia energética se convierta en una de las áreas económicas clave. Asimismo, se requiere integrar una visión transversal y metodologías innovadoras de renovación para EECN, con el fin de promover la investigación y la innovación empresarial a través de edificios energéticamente eficientes.

## EL PROYECTO

Este contexto tan complejo plantea una serie de desafíos críticos para la renovación de EECN. El proyecto REZBUILD (Refurbishment decision making platform through advanced technologies for Near Zero Energy Building Renovation), que dio comienzo en octubre de 2017, aborda estos desafíos desde una perspectiva holística, integrando el conjunto de experiencias previas de los principales actores del sector, los últimos avances tecnológicos, y las principales herramientas de innovación social, para conseguir el objetivo de una tasa de renovación anual del parque edificatorio del 2,5%. Muy por encima de las tasas actuales, inferiores al 1%. Para ello, REZBUILD ha articulado un consorcio formado por 13 socios (Officinae Verdi Group, Vias y Construcciones, CARTIF, Comunidad de Madrid, Saint-Gobain Placo Ibérica, ONYX Solar, Maetrics, ESTIA, SINTEF, OBOS, UNOTT, Rimond y ZABALA IC), que constituye, en última instancia, una plataforma de conocimiento compartido para la gestión de proyectos que busca maximizar la eficiencia, rentabilidad y sostenibilidad medioambiental en la rehabilitación de edificios.

Así, el objetivo principal del proyecto REZBUILD es desarrollar un ecosistema de rehabilitación que integre tecnologías rentables y eficientes, diferentes modelos de negocio aplicados a distintos contextos europeos, así como el análisis del ciclo de vida de todos los materiales que intervienen en el proceso constructivo de la rehabilitación energética de edificios para conseguir EECN. Para ello, REZBUILD basa su metodología en un análisis exhaustivo de diferentes tipologías de edificios residenciales y clima existentes a nivel europeo y cuenta con tres pilotos en Oslo (Noruega), Martellago (Italia) y Madrid (España):

## Herramienta APM

Para lograr este objetivo, el proyecto utilizará una plataforma APM (Agile Programme Management) capaz de interconectar en tiempo real los hitos clave del proceso constructivo con todos los agentes involucrados en la cadena de valor de renovación de edificios para establecer un marco de colaboración ágil y flexible que se traduzca, junto con la adopción de tecnologías de rehabilitación específicas como: sistemas de fabricación aditiva para fachadas a través de impresión 3D, suelo radiante de alto rendimiento, bombas de calor asistidas por energía solar, soluciones fotovoltaicas integradas en edificios o sistemas de super-aislamiento), en los siguientes indicadores de rendimiento:

- Reducción del 60% de la energía primaria.
- Reducción de un 30% en el tiempo de ejecución de las obras, en comparación con los trabajos de rehabilitación tradicionales.
- Un período de recuperación de la inversión de 12 años.

## Tecnologías empleadas

Durante la vida útil del proyecto, se están desarrollando, probando y optimizando un conjunto de tecnologías avanzadas de rehabilitación, algunas de ellas por centros de investigación y empresas españolas del sector.

### *Técnicas de fabricación aditiva (VIAS y CARTIF)*

La fabricación aditiva, comúnmente conocida como impresión 3D, produce piezas o elementos mediante la deposición o conformado de sucesivas capas de material. Estos sistemas permiten fabricar una amplia gama de formas sin la necesidad de un molde y solo utilizando el material correspondiente. La fabricación aditiva ha llegado a casi todos los sectores industriales, desde el sanitario hasta el aeroespacial. La incorporación de estas tecnologías en el sector de la construcción permitirá, además de crear geometrías complejas que son difíciles de lograr usando técnicas de construcción convencionales, la reducción de riesgos laborales. Se posibilita también disminuir los residuos generados y en muchos casos acortar los tiempos de ejecución y los costes asociados. Adicionalmente, estas tecnologías tienen el potencial de incrementar la rapidez y el nivel de calidad de los procesos constructivos mediante la industrialización y automatización de diferentes tipos de trabajos manuales. Comienzan a aparecer en el mercado sistemas de impresión 3D de elementos prefabricados pero apenas existen en el mundo sistemas de impresión directa sobre fachadas. En ese caso, se tiene la opción de conseguir envolventes adaptadas a las necesidades específicas de cada edificio e incluso de cada zona de la fachada. En el proyecto REZBUILD, VIAS y CARTIF han desarrollado un sistema robotizado de impresión 3D capaz de imprimir tanto en superficies verticales (envolventes y paredes) como horizontales mediante técnicas de deposición de material capa a capa, en un tiempo reducido, para su aplicación en obras de rehabilitación.



Figura 1. Técnicas de fabricación aditiva.

Uno de los principales problemas en la impresión en fachadas es conocer la geometría de la superficie a imprimir, ya que esta nunca es absolutamente plana. Por este motivo, se ha desarrollado un sistema capaz de adaptarse a la superficie vertical en cuestión, capaz de garantizar la correcta aplicación del material en un caso tan desfavorable como es una fachada. Para ello se ha procedido a la integración de un sistema de medición láser que hace posible conocer el estado real de la superficie a imprimir. También se ha completado el desarrollo del software para generar trayectorias adaptadas a la superficie a imprimir, basándose en los datos del escaneado de la superficie obtenidos previamente. De esta forma no solo se pueden corregir las irregularidades de la fachada, sino también las posibles desalineaciones de la impresora con respecto a la fachada.

**Productos super aislantes a base de yeso (PLACO SAINT GOBAIN)**

Saint Gobain Placo está desarrollando productos y sistemas aislantes en base de yeso para reducir el consumo medio de energía en los edificios residenciales. Saint Gobain Placo desarrollará un conjunto de productos superaislantes que consta de:

- PlacoHermetic®. Producto en base yeso de proyección mecánica para asegurar la estanqueidad de la envolvente de un edificio:
- Aerosol de capa fina (6mm) para una hermeticidad similar a la de una casa pasiva (<0,6ren / h)
- A prueba de grietas incluso en sustratos de alta absorción
- Alto rendimiento (1 casa completa / 2 trabajadores / 1 jornada laboral)
- Gran grupo de trabajadores existentes capaces de aplicar la solución
- Misma máquina de pulverización que los revoques tradicionales
- Menor costo que las soluciones de membrana
- Conformidad validada con DAU



Figura 2. PlacoHermetic®. Imágenes de Placo Saint Gobain.

- Una solución interna basada en productos nano porosos avanzados incorporados en yeso para minimizar la conductividad térmica
- Aplicado en capa gruesa (hasta 10cm)
- Misma máquina de proyectar que la tradicional



Figura 3. Aislamiento interno a base de yeso. Imágenes de Placo Saint Gobain.

- PlacoTherm V®. Fachada versátil y de alta eficiencia térmica, con tiempo de instalación reducido y bajo impacto ambiental, basada en paneles a base de yeso.
  - Sistema de aislamiento externo.
  - Fachada de revestimiento versátil a base de yeso para renovación externa.
  - Mejora el aislamiento térmico de la envolvente, rendimiento, acústica y estética.
  - Varias configuraciones: con o sin cámara ventilada, se puede acabar con mortero y pintura o casi cualquier material externo (mineral, orgánico, metálico, cerámico...).
  - Menor huella ambiental en comparación con sistemas similares.
  - Validado con DAU.



Figura 4. Ejemplos de PlacoTherm V<sup>®</sup>. Imágenes de Placo Saint Gobain.

REZBUILD espera conseguir que con el desarrollo de estos materiales el consumo medio de energía disminuya en aproximadamente un 50%, disminuir un tiempo medio de instalación en un 20%, su tiempo de amortización se estima entre 5 y 10 años y podría aplicarse en todas las tipologías de edificación residencial.

#### Soluciones de integración fotovoltaica (BIPV) (ONYX)

ONYX ha desarrollado una nueva generación de productos basados en formas ligeras y flexibles y elementos personalizados técnica y estéticamente a las demandas del sector de la construcción. Todos los prototipos desarrollados por ONYX están enfocados a los principales requisitos estéticos que demanda el mercado BIPV, incluyendo propiedades ligeras y estrategias de instalación click-&-go.

Para ello, ONYX ha desarrollado un abanico preliminar de muestras BIPV características (configuración, dimensiones, tecnología, color, grado de transparencia ...) de acuerdo con los objetivos de REZBUILD, como ejemplo de las posibles soluciones que podrían implementarse en el proyecto, para posteriormente validar cuál o cuales podrían tener finalmente cabida en los demostradores propuestos, así como un estudio completo de los sistemas "Plug & Play" compatibles con módulos BIPV de base ligera. Los prototipos desarrollados se clasifican en tres familias:

- Prototipos ligeros de BIPV basados en vidrio-vidrio
- Prototipos de BIPV de forma flexible y ligera basados en material compuesto
- BIPV de forma flexible y ligera basada en tecnología CIGS

Una vez realizados los prototipos, se estudió la viabilidad de cada uno de ellos, concluyendo que, en el caso de los prototipos basados en material compuesto y los prototipos ligeros y flexibles basados en tecnología CIGS, aún queda trabajo por hacer para obtener soluciones que cumplan con los requisitos estéticos, funcionales y técnicos, no sólo a nivel fotovoltaico sino a nivel constructivo, demandados por el mercado BIPV, por lo que se descartaron como opciones para ser validadas en un demostrativo real dentro del proyecto REZBUILD. Los prototipos BIPV basados en vidrio-vidrio presentaron una estética sin ningún tipo de defecto, y con la funcionalidad esperada según el tipo de tecnología usado, por lo que fueron los elegidos para su validación en los demostradores de REZBUILD.



Figura 5. Ejemplo de prototipo vidrio-vidrio desarrollado: vista frontal (izquierda) y vista trasera (derecha) de prototipo semitransparente basado en tecnología de silicio cristalino: c-Si, 600 mm x 350 mm, 2 mm + 2 mm



Figura 6. Ejemplo de prototipo vidrio-vidrio desarrollado: vista frontal (izquierda) y vista trasera (derecha) de prototipo con semitransparencia del 30% basado en tecnología de silicio amorfo y con color naranja: a-Si, 600 mm x 350 mm, 3.2 mm + 2 mm,

De esta manera, se quiere permitir su integración en tejas, cubiertas, fachadas de envolvente de edificios., etc. Esta solución reducirá el consumo de energía en aproximadamente un 25-40% gracias a las propiedades pasivas, producirá 40-200 kWh / año de generación eléctrica (propiedad activa) y disminuirá el tiempo de instalación en un 20%. El tiempo de recuperación estimado es de entre 6 y 10 años y podría aplicarse en todas las tipologías de edificios residenciales.

Por otro lado, una vez determinados los prototipos a desarrollar y tras llevar a cabo el diseño de los mismos para cada uno de los demostrativos del proyecto de acuerdo a los requisitos de cada uno de los edificios propuestos, ONYX ha diseñado un plan de testeo basado en los estándares tanto fotovoltaicos como mecánicos que estos vidrios tienen que cumplir para poder ser instalados de acuerdo a la normativa vigente (EN 12600, ISO 12543, EN 61215, etc.). Los vidrios BIPV desarrollados para los demostrativos serán sometidos a este plan de testeo.

### ***Bombas de calor asistidas por energía solar de expansión directa (SAHP) (Universidad de Nottingham)***

El concepto SAHP se basa en el uso de un colector solar como evaporador donde el refrigerante se vaporiza directamente debido a la entrada de energía solar; una innovadora "tubería térmica" puede introducirse en el suelo utilizando un apilador manual y actuar como fuente de calor para una bomba de calor. Este concepto aumentará el ahorro energético en un 25%, disminuirá el tiempo de instalación en un 20% y su tiempo de amortización se estima entre 7 y 10 años, aplicable en todas las tipologías de edificación residencial.

### ***Building Energy Management System (BEMS) (OVERDI y ESTIA)***

OVERDI y ESTIA desarrollarán un sistema BEMS avanzado basado en la plataforma Maetrics (solución de monitorización). Los antecedentes de MAETRICS y su Plataforma IOT se integrarán con una 'caja de algoritmo' ad hoc (ESTIA Box) diseñada para el proyecto REZBUILD, con el objetivo principal de desarrollar una solución BEMS avanzada que permitirá 4 modos de operación: Auto, Manual, Semiautomático y al vacío. Esta solución permite gestionar y reportar el consumo energético del edificio en tiempo real, así como priorizar la fuente de generación de energía más eficaz según la configuración de red del edificio.

## **METODOLOGÍA**

El proyecto REZBUILD aborda estos retos utilizando una metodología holística integrada en el propio proyecto:

FASE 1: Análisis del rendimiento energético que compara el consumo de energía del escenario base actual del edificio con varios escenarios de rehabilitación que incorporan diferentes tecnologías.

FASE 2: Diseño y desarrollo de trabajos de reacondicionamiento/remodelación basados en entornos openBIM capaces de gestionar información/documentos en tiempo real y permitir la implementación de trabajos simultáneos.

FASE 3: Instalación de BEMS avanzados (sistema de monitorización y gestión de la energía de los edificios) para gestionar, controlar y comunicar sobre el consumo de energía en tiempo real del edificio, seleccionando a su vez la fuente de generación de energía más rentable de acuerdo con las fuentes de producción de energía y el almacenamiento en el edificio.

FASE 4: Puesta en servicio del edificio para evaluar el ahorro de energía logrados por una empresa certificadora según los objetivos estimados en la estrategia de diseño implementada en la primera fase del método.

FASE 5: Desarrollo de LCC transversal (Análisis del costo del ciclo de vida de los materiales), análisis de rentabilidad y del modelo de inversión introduciendo así el factor socioeconómico que garantice precios asequibles para los propietarios de edificios.

FASE 6: Integración de LCA (Análisis del Ciclo de Vida de los materiales) para garantizar un bajo impacto ambiental dentro de esta metodología de la plataforma APM.

Para realizar todas estas interconexiones de la información se utilizará el formato de intercambio standard .ifc en los archivos introducidos en la plataforma.

Para probar tanto la idoneidad de la herramienta informática para la gestión de las obras, como la idoneidad de los materiales desarrollados para cumplir con los objetivos del proyecto, se están desarrollando tres proyectos piloto en diferentes climas y tipologías de edificios residenciales.

## **Participación pública en la toma de decisiones y contribución a los ODS**

Además de incorporar las últimas tecnologías, y metodologías innovadoras en gestión de proyectos constructivos, REZBUILD integra la participación vecinal en la toma de decisiones vinculantes como un eje fundamental del proyecto. Así, contempla proyectos piloto realizados en Oslo (Noruega) y en Martellago (Venecia, Italia), donde se han impulsado procesos implicando a comunidades de vecinos que contribuyeron al diseño final del proceso de rehabilitación. El último de los tres proyectos piloto está previsto que se lleve a cabo en el barrio de San Fermín, en el distrito de Usera

en Madrid. Allí se están realizando los estudios previos en una vivienda social unifamiliar. Como parte de estos procesos participativos llevados a cabo en Italia y Noruega se han realizado talleres con los vecinos, entrevistas personales y encuestas para conocer hábitos de consumo y su comportamiento respecto a las tecnologías.

Por último, además de integrar el eje social como parte fundamental del proyecto, llevando a cabo procesos participativos con los vecinos, se contempla una serie de recomendaciones prácticas y formación aplicada en Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). De este modo, la Universidad de Nottingham, socia del proyecto, desarrolla un programa específico de capacitación en debida diligencia, derechos humanos y sostenibilidad; que incorpore, en el sector de la construcción, los ODS como vector clave para el desarrollo de proyectos, de manera que puedan ser incorporados en los nuevos modelos de negocio que se establecerán a partir del proyecto.

## RESULTADOS Y DATOS OBTENIDOS

El proyecto se inició en octubre de 2017 y en estos momentos se están testando las tecnologías informáticas y materiales en los diferentes pilotos que deben cumplir con los 5 pilares del proyecto (el técnico, el económico, el social, el ambiental y el legal), definiendo los distintos Indicadores (KPI) en todos estos ámbitos.

REZBUILD basa su ecosistema de renovación en la integración de tecnologías rentables, modelos de negocio e interacción en el ciclo de vida en diversos tipos de renovación residencial e interconectará tanto las fases de renovación de los edificios como los agentes implicados en todo el proceso.

Para ello, se está haciendo el estudio económico de los periodos de retorno de las inversiones y con las tecnologías empleadas: La web del proyecto <https://rezbuildproject.eu/> puede ser visitada.

## CONCLUSIONES

El sector de la construcción es el mayor consumidor de energía (alrededor del 40%) y el principal contribuyente a las emisiones de GEI (alrededor del 36%) en Europa. En esta etapa, abordar la renovación de los edificios residenciales existentes es una prioridad máxima y la descarbonización es el principal objetivo alineado con las políticas europeas de energía y cambio climático: Green Deal, Clean Energy Package, Acuerdo de París, y Agenda 2030

La Comisión, considera que los porcentajes actuales de renovación de edificios públicos y privados deben, como mínimo, duplicarse. Para ello, la mejora de la eficiencia energética de los edificios es imprescindible:

- Los precios de las distintas fuentes de energía deben incentivar la eficiencia energética de los edificios
- Los edificios deben diseñarse de acuerdo con la economía circular
- Mayor digitalización
- Mejor protección de los edificios contra el cambio climático
- Estricta aplicación de las normas sobre eficiencia energética de los edificios

Asimismo, la Comisión quiere promocionar una plataforma abierta que reúna al sector de los edificios y la construcción, arquitectos e ingenieros y autoridades locales para desarrollar posibilidades de financiación innovadoras, promover y aunar los esfuerzos de renovación en grandes bloques para aprovechar las economías de escala. El proyecto REZBUILD quiere contribuir a la a estos objetivos, que requieren cada vez más del fortalecimiento de la colaboración público-privada y de un papel activo de los consumidores/as.

## AGRADECIMIENTOS

A todo el consorcio del proyecto REZBUILD.

## REFERENCIAS

- [1] REZBUILD Proposal-SEP-210410013
- [2] <https://rezbuildproject.eu/the-project/>

# LA IMPORTANCIA DE LOS PUENTES TÉRMICOS EN LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE UN EDIFICIO DOCENTE, UN EJEMPLO DE AISLAMIENTO TÉRMICO POR EL INTERIOR

**Soledad Camino-Olea**, Profesora Titular - Universidad de Valladolid  
**Alberto Losa-Espina**, Investigador contratado - Universidad de Valladolid  
**Alejandro Cabeza-Prieto**, Investigador contratado - Universidad de Valladolid  
**Alfredo Llorente-Álvarez**, Profesora Colaborador - Universidad de Valladolid

**Resumen:** En las últimas décadas del siglo pasado fue muy común la construcción de fachadas de ladrillo, tanto visto como revocado, de dos hojas con aislamiento térmico y/o cámara de aire entre ambas, en las que se chapaba el canto del forjado y los pilares con plaqueta cerámica. En los huecos una de las hojas se doblaba hasta la otra, para reforzar la estabilidad de la fachada y en el dintel se situaba una cajonera de carpintería de madera, con poca estanquidad que, en conjunto, presentaban numerosos puentes térmicos. Estos edificios se están rehabilitando, en algunos casos, colocando aislamiento térmico por el exterior en la zona opaca de las fachadas, que se revoca, ocultando la fábrica vista y la ornamentación, lo que está dando lugar a una cierta monotonía en las zonas de las ciudades donde se utiliza esta solución. Por otro lado, al intervenir solamente en la zona opaca de las fachadas, olvidando cubiertas, suelos y huecos, en general por motivos presupuestarios, solamente se reducen parcialmente las transmisiones de calor no deseadas debidas a la envolvente. En este texto se expone una propuesta de rehabilitación energética aislando por el interior, en un edificio de uso docente, que permita eliminar o minimizar el efecto de los puentes térmicos y satisfacer las prestaciones del CTE, actuando en diferentes tipos de cerramientos y sin alterar la imagen del mismo.

**Palabras clave:** Rehabilitación energética, puentes térmicos, envolvente.

## INTRODUCCIÓN

Antes de la necesidad actual de construir edificios de consumo energético casi nulo ECCN y de la publicación del CTE ya había cierta preocupación por diseñar edificios confortables desde el punto de vista térmico (Alaman, 1972) y en la segunda mitad del siglo XX se pueden encontrar documentos como el Pliego de Condiciones Técnicas de la Dirección General de Arquitectura 1960, donde se trata específicamente de “aislamiento térmico” indicando materiales y procedimiento aislantes adicionales como: cámaras o tabicados aislantes, hormigones porosos, adobes, aglomerantes artificiales vegetales, corcho, lana de vidrio, aglomerados de fibras animales y fibras minerales, las condiciones de composición o colocación de los mismos así como el procedimiento de cálculo del coeficiente de transmisión de calor aire a aire de un cerramiento formado por varias hojas de diferentes materiales para poder calcular la cantidad de calor que es necesario aportar o extraer para obtener el ambiente de confort especificado en un proyecto. Los fabricantes de materiales aislantes ya publicaban diversos documentos para informar sobre el uso de sus productos aislantes y una década antes de la publicación del Pliego, en los años 50, se puede ya encontrar soluciones de fachada de dos hojas de ladrillo con aislante de fibra de vidrio, muy utilizado durante años.

La primera normativa de tipo general, como es conocido, fue la NBE CT-79, Norma Básica de la Edificación de Condiciones Térmicas en los Edificios, que se aprobó mediante el real Decreto 2.429/79 de 6 de julio buscando establecer unos mínimos de aislamiento térmico en la envolvente de los edificios. En esta norma se ampliaban las medidas del Decreto 1490/1975, modificando ligeramente las zonas climáticas y aumentando las prescripciones relativas al aislamiento de los cerramientos. Anterior a esta norma, se publicaron varias Normas Tecnológicas de la Edificación NTE donde se incluían criterios de cálculo del aislamiento térmico necesario en función de la “zona térmica” como en la NTE-QAN Cubiertas, Azoteas, No transitables, de 1973, donde se indicaba la necesidad de incluir una capa de material aislante con un espesor mínimo de 5 cm, con una conductividad de 0,030 Kcal/h.m.°C, entre los tabiquillos palomeros, o una capa de formación de pendiente con un espesor mínimo de 9 cm y medio de 16 cm con un hormigón aligerado con un coeficiente de conductividad térmica de 0,06 Kcal/h.m.°C, si se iba a construir en la actual zona climática E. O como en la NTE-FFL Fachadas, Fábrica, Ladrillo, de 1979, que contenía un apartado en el que se proporcionaba información sobre aislamiento térmico y el estudio de las condensaciones de las fachadas e incluía los valores de K en función de los espesores y características de las hojas de ladrillo, de la cámara de aire o del material aislante. En todos estos documentos se dan soluciones constructivas para mejorar el aislamiento térmico de la envolvente pero sin analizar los puentes térmicos y durante años se utilizaron estas soluciones en los edificios.

En la NBE CT-79 ya viene claramente definido el concepto de puente térmico y como se debía calcular el coeficiente K de los cerramientos cuando había puentes térmicos: “los cerramientos con puentes térmicos definen su poder aislante mediante un coeficiente útil de transmisión de calor en cuyo cálculo deben tenerse en cuenta las características termofísicas y geométricas del elemento constitutivo del puente térmico” y se proporcionaba información para el cálculo, pero si revisamos proyectos de finales del siglo pasado, parece que fue muy habitual simplificar el cálculo del K de los cerramientos suponiendo que las pérdidas por los puentes térmicos no eran significativas.

En la actualidad y sobre todo a partir de la publicación de la Ley 8/2013, de 26 de junio, de Rehabilitación, Regeneración y Renovación Urbanas, son numerosos los edificios construidos con estos sistemas de envolvente que se rehabilitan para limitar el paso de calor a través de la envolvente, consumir menos energía en climatización y mejorar el confort térmico. Estas rehabilitaciones en ocasiones son integrales, incluyen a toda la envolvente (IDAE, 2018) pero parece que en algunos casos las propuestas consisten en mejorar el aislamiento de la fachada opaca, por el exterior, sin tener en consideración otros elementos como son las ventanas y los cerramientos de cubierta y de suelo (IDAE, 2018) en la mayoría de los casos por limitaciones en el presupuesto, y sin tener en cuenta que al mejorar el aislamiento de la parte opaca de la fachada el riesgo de posibles condensaciones en el resto de cerramientos y puentes térmicos aumenta así como las sensaciones poco confortables.

Con el objetivo de aportar datos sobre la posibilidad de la rehabilitación incorporando material aislante por el interior de los cerramientos, y resolver el problema que suponen los puentes térmicos en fachadas se ha realizado una propuesta para un edificio de uso docente en la ciudad de Soria, situada en la zona climática más fría en invierno la E. El edificio que se analiza está construido a finales del siglo pasado y el aislamiento y soluciones constructivas se definieron para cumplir con las exigencias de la norma en vigor, la NBE CT-79. La superficie de los recintos es suficiente como para poder aislar por el interior y tiene falsos techos para poder aislar por debajo de los forjados, características necesarias para la propuesta de rehabilitación que se realiza. En el artículo se van a comparar las transmisiones de calor por los diferentes tipos de cerramientos en el estado actual y en la propuesta.

## METODOLOGÍA

El caso de estudio es un edificio del Campus de Soria de la Universidad de Valladolid, de los siete que lo forman, que están interconectados por pasarelas a nivel de la planta primera o a nivel de planta baja y se construyeron en dos fases: una primera en la que se levantaron cuatro edificios y una posterior en la que se construyeron los tres edificios restantes que se construyeron con algunas diferencias constructivas en la envolvente: todas las fachadas se revistieron de mortero de cemento, excepto el zócalo de hormigón visto, la hoja interior de fábrica se sustituyó por un trasdosado de placas de yeso laminado (PYL) con aislamiento de lana de vidrio y las ventanas se colocaron a haces exteriores, con persianas de lamas al interior y sin cajonera de persiana.

Para analizar las soluciones constructivas propuestas y comparar la eficacia de las mismas para cada tipo de cerramiento, en primer lugar se van a analizar las características térmicas del cerramiento actual (EA) y de la propuesta de rehabilitación que denominaremos estado rehabilitado (ER). Después se calculará el coeficiente global K según se define en el HE1 2019 de ambas soluciones y por último se comparará la transmisión de calor del EA y ER de cada tipo de cerramiento y de los puentes térmicos y se evaluará la eficacia de las soluciones propuestas de aislar por el interior, para el conjunto de la envolvente y para los puentes térmicos. Para el cálculo de los puentes térmicos se ha utilizado el programa Therm (Therm, 2020) buscando ajustar los valores de conductividad térmica lineal  $\psi$  a la de los puentes térmicos del edificio que se analiza.

## Estado actual

El edificio consta de dos plantas con estructura de hormigón armado, en la planta baja el forjado es de viguetas y bovedillas apoyadas en muretes y el forjado de techo de la planta baja y la planta primera está formado por forjados reticulares de casetones recuperables sobre pilares. Los cerramientos están formados según la definición de proyecto por las siguientes hojas y capas:

- Fachada tipo 1, en los testeros, formada por un chapado de piedra arenisca “ojo de perdiz” recibido con mortero sobre una hoja de  $\frac{1}{2}$  asta de ladrillo perforado no visto, una hoja de 3 cm de material aislante, cámara de aire no ventilada de 4 cm y una hoja de  $\frac{1}{2}$  asta de ladrillo hueco doble guarnecido y enlucido por el interior.
- Fachada tipo 2, en los laterales, igual a la anterior excepto en el que el acabado es un revoco.

- Suelo; forjado autoportante de viguetas de 25+5 cm de canto sobre cámara de aire no ventilada y encima capa de mortero y baldosas de terrazo, sobre 3 cm de material aislante.
- Cubierta ejecutada sobre forjado reticular de 30+10 cm de canto, capa de formación de pendiente con hormigón ligero de 10 cm de espesor medio, capa de mortero de cemento fratasada, capa separadora, membrana impermeable, capa aislante de poliestireno extrusionado de 4 cm de espesor, capa separadora y capa de grava.
- Las ventanas son de aluminio con una estanquidad al paso del aire A3 mejorada, con vidrio doble de 4 mm y con una cámara de 12 mm de espesor.  
Los puentes térmicos que se han detectado en la envolvente son:
  - Frente de forjado, de cubierta, chapado de rasilla de ladrillo hueco recibida con mortero con un espesor de 4 cm y peto de 1 asta de ladrillo perforado no visto.
  - Frente del forjado, de suelo de planta primera, chapado con rasilla de ladrillo hueco también.
  - Frente del forjado, de suelo de planta baja, con revestimiento de piedra o revoco.
  - Pilares con la hoja exterior de ladrillo pasante por el exterior, en el plano de fachada y en esquina.
  - Dintel del hueco con perfil metálico de cargadero, capialzado de persiana ejecutado in situ, con aislamiento térmico en la cara exterior de la cajonera, muy ventilada.
  - Jambas de ventana de ladrillo en la que la hoja interior dobla hasta la exterior.
  - Alfeizar de la ventana con vierteaguas de piedra arenisca recibido con mortero, con la hoja interior de fábrica que dobla hasta la hoja exterior.

## Estado rehabilitado

Al revisar las imágenes termográficas realizadas a las fachadas de la segunda fase, se pueden apreciar los puentes térmicos del canto del forjado y el del pilar, pero no se aprecia puente térmico por encima del dintel y por debajo de la repisa de la ventana, por la solución adoptada de doblar la placa de yeso laminado (PYL) con aislante hasta el prearco de la misma y no haber colocado cajonera de persiana enrollable de lamas (figura 1) por lo que para el estado rehabilitado la propuesta es colocar una ventana doble a haces exteriores con un sistema de persiana entre las dos ventanas y doblar con el aislante térmico y con las PYL hasta la carpintería (Sierra & al., 2017). Tanto la fachada como la cubierta se trasdosarán por el interior con aislamiento de lana mineral y PYL, incluidos los pilares.

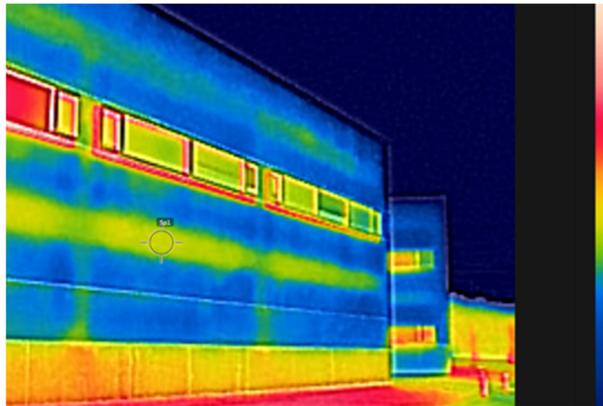


Figura 1. Imagen de la cámara termográfica de un de las fachadas de los edificios de la segunda fase.

Para el estado rehabilitado se va a adoptar las siguientes propuestas con el fin de disminuir la transmisión de calor a través de los cerramientos:

- En los dos tipos de fachadas, trasdosado autoportante interior con PYL de 15 mm, barrera de vapor y una hoja de material aislante de lana de vidrio de 12 cm de espesor  $\lambda = 0,032 \text{ W/m K}$ .
- Para los suelos y debido a que el valor de transmisión  $U_s$  no supera en mucho el límite indicado como límite en el DB HE1 y a que colocar una capa de material aislante supondría en la práctica demoler la planta baja y modificar accesos y escaleras, no se propone ninguna modificación.
- Para la cubierta se propone, colocar una capa de aislamiento térmico de 12 cm debajo del forjado,  $\lambda = 0,032 \text{ W/m}$ .

- Para minimizar las pérdidas por ventanas, la solución que se propone es similar a la de los edificios de la segunda fase, es decir, colocar una carpintería corrida a haces exteriores de pilar a pilar, con carpintería de aluminio con ruptura de puente térmico, doble ventana, vidrio doble con argón en la cámara y lamas entre las dos ventanas.

Los puentes térmicos que se han detectado en la envolvente se eliminarán o minimizarán con las siguientes soluciones:

- Frente de forjado de planta primera, trasdosado interior la lana mineral  $\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$  de 15 cm espesor con un desarrollo de 1,00 metros en plano horizontal (cara inferior de forjado).
- Pilares en fachada en posición intermedia, trasdosado interior la lana mineral  $\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$  de 12 cm de espesor con un desarrollo de 90 cm y PYL de 15 mm.
- Pilares en esquina, trasdosado interior la lana mineral  $\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$  de 4 cm de espesor con un desarrollo de 32 cm, revestimiento de PYL de 15 mm.
- Contorno de hueco. Se trasdosa con un panel de aislamiento XPS  $\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$  de 4 cm en todo el perímetro del hueco realizando, además, un rasgado de 4 cm en el interior del cerco para colocar el mismo tipo de aislamiento XPS de 4 cm y conectar el aislamiento propuesto del cerco al aislamiento existente en la cámara entre las hojas del cerramiento. Se rellena el hueco de la caja de persiana con aislamiento de lana mineral  $\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$  y se conecta este sistema a la solución tipo del cerramiento opaco. Revestimiento de PYL de 15 mm.

## RESULTADOS

En primer lugar se han calculado los valores de transmitancia térmica de los diferentes elementos según: el DB HE1, los documentos de apoyo DA DB-HE/1 y DA DB-HE/3 y el Catálogo de Elementos Constructivos (CEC) y los valores del Proyecto. Los valores del estado actual y del estado rehabilitado, junto con los valores límite del DB HE1 se han trasladado a la tabla 1.

	EA U W/m <sup>2</sup> K	Valores límite DB HE1 U W/m <sup>2</sup> K	ER U W/m <sup>2</sup> K
Fachada tipo 1 - U <sub>M</sub>	0,64	0,37	0,18
Fachada tipo 2 - U <sub>M</sub>	0,63	0,37	0,18
Cubierta en contacto con el aire exterior - U <sub>C</sub>	0,64	0,33	0,11
Suelo en contacto con cámara sanitaria - U <sub>S</sub>	0,69	0,59	0,69
Huecos, ventanas - U <sub>H</sub>	3,40	1,80	1,35

Tabla 1. Valor de transmitancia de los cerramientos de la envolvente.

En segundo lugar se han analizado los puentes térmicos tanto en el estado actual como en el rehabilitado con el programa Therm, uno de los programas específicos para calcular los puentes térmicos más utilizados. Los valores de los coeficientes de transmisión lineal  $\psi$  así como un perfil isotérmico se han trasladado a la figura 2, para poder evaluar la propuesta.

	Frente forjado cubierta	Frente forjado planta 1	Frente forjado suelo	Pilar en fachada	Pilar en esquina	Jamba ventanas	Alfeizar ventanas	Capialzado o dintel ventanas
$\psi \text{ W/mK}$	0,59	1,02	0,22	0,36	0,34	0,16	0,18	0,95
EA								
$\psi \text{ W/mK}$	0,00	0,56	0,22	0,00	0,00	0,06	0,05	0,03
ER								

Figura 2. Coeficiente de conductividad térmica de los puentes térmicos y perfiles isotérmicos generados con Therm, del estado actual EA y de la propuesta de rehabilitación ER.

Y por último se ha calculado el coeficiente global de transmisión de calor (K) a través de la envolvente térmica del edificio en los dos estados: el actual y la propuesta de rehabilitación, que se han comparado con el valor del coeficiente global límite (K<sub>lim</sub>) que se señala en el DB HE1 para este edificio. Al realizar el cálculo del K los resultados parciales

permiten comparar como se limita la necesidad de energía para alcanzar el bienestar térmico según los diferentes tipos de cerramientos calculando el intercambio de energía que se produce por transmisión. Aunque a medida que empiece a mejorar el aislamiento de los cerramientos habría que tener en cuenta que cobran mayor importancia los intercambios por radiación y convección (Martín & al., 2014).

Superficie total envolvente		2.860,00 m <sup>2</sup>		Volumen total		6.531,06 m <sup>3</sup>		
Compacidad V/A		2,28 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>		K <sub>LM</sub>		0,49 W/m <sup>2</sup> K		reducción
		A <sub>huecos</sub>	A <sub>M</sub>	EA		ER		
		m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	U <sub>M</sub>	A x U <sub>M</sub>	U	A x U <sub>M</sub>	
				W/m <sup>2</sup> K	W/K	W/m <sup>2</sup> K	W/K	
<b>fachadas</b>								
fachada tipo 1_NE		52,25	189,61	0,64	121,35	0,18	34,13	
fachada tipo 2_NE			62,78	0,63	39,55	0,18	11,30	
fachada tipo 2_SE		5,50	137,30	0,63	86,50	0,18	24,71	
fachada tipo 2_NO			112,20	0,63	70,69	0,18	20,20	
fachada tipo 1_NO		16,50	44,70	0,64	28,61	0,18	8,05	
fachada tipo 1_SO		60,50	194,23	0,64	124,31	0,18	34,96	
fachada tipo 2_SO			63,53	0,63	40,02	0,18	11,43	
		SUMA	<b>804,35</b>		<b>511,02</b>		<b>144,78</b>	<b>72%</b>
		A <sub>lucernarios</sub>	A <sub>C</sub>	EA		ER		
		m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	U <sub>C</sub>	A x U <sub>C</sub>	U <sub>C</sub>	A x U <sub>C</sub>	
				W/m <sup>2</sup> K	W/K	W/m <sup>2</sup> K	W/K	
<b>cubierta</b>								
cubierta			960,45	0,64	614,69	0,11	105,65	
		SUMA	<b>960,45</b>		<b>614,69</b>		<b>105,65</b>	<b>83%</b>
		A <sub>S</sub>		EA		ER		
		m <sup>2</sup>		U <sub>S</sub>	A x U <sub>S</sub>	U <sub>S</sub>	A x U <sub>S</sub>	
				W/m <sup>2</sup> K	W/K	W/m <sup>2</sup> K	W/K	
<b>suelo</b>								
forjado sobre cámara			960,45	0,69	662,71	0,69	662,71	
		SUMA	<b>960,45</b>		<b>662,71</b>		<b>662,71</b>	<b>0%</b>
<b>total cerramientos opacos</b>		<b>2.725,25</b>			<b>1.788,42</b>		<b>913,14</b>	
		A <sub>huecos</sub>		EA		ER		
				U <sub>H</sub>	A x U <sub>H</sub>	U <sub>H</sub>	A x U <sub>H</sub>	
				W/m <sup>2</sup> K	W/K	W/m <sup>2</sup> K	W/K	
<b>huecos</b>								
huecos_NE		52,25		3,40	177,65	1,35	70,54	
huecos_SE		5,50		3,40	18,70	1,35	7,43	
huecos_NO		16,50		3,40	56,10	1,35	22,28	
huecos_SO		60,50		3,40	205,70	1,35	81,68	
		<b>total huecos</b>	<b>134,75</b>		<b>458,15</b>		<b>181,91</b>	<b>60%</b>
<b>total cerramientos</b>					<b>2.246,57</b>		<b>1.095,05</b>	
<b>PÉRDIDAS LINEALES</b>				EA		ER		
	nº	longitud	m	Ψ <sub>i</sub>	l x Ψ	Ψ <sub>i</sub>	l x Ψ	
				W/mK	W/K	W/mK	W/K	
frente forjado cubierta			140,25	0,59	82,75	0,00	0,00	
frente forjado			140,25	1,02	143,06	0,56	78,54	
frente forjado suelo			140,25	0,22	30,86	0,22	30,86	
pilar en fachada	14	6,80	95,20	0,36	34,27	0,00	0,00	
pilar en esquina	6	6,80	40,80	0,34	13,87	0,00	0,00	
jamba			49,28	0,16	7,88	0,06	2,96	
alfeizar			122,50	0,18	22,05	0,05	6,13	
capialzado			134,75	0,95	128,01	0,03	4,04	
				<b>TOTAL puentes térmicos</b>	<b>462,75</b>		<b>122,52</b>	<b>74%</b>
<b>TOTAL</b>					<b>2.709,32</b>		<b>1.217,57</b>	<b>55%</b>
					<b>0,95</b>		<b>0,43</b>	

Tabla 2. Cálculo del coeficiente global K del estado actual y del estado rehabilitado.

Para que se pueda evaluar mejor la transmisión de calor en los diferentes tipos de cerramientos: fachadas y sus huecos, cubierta y suelo y en los puentes térmicos en la figura 3 se representan los valores de transmisión total en función de los coeficientes de transmisión y superficies o longitudes de los diferentes elementos constructivos, tanto para el estado actual como para la propuesta de rehabilitación. Los dos elementos por los que hay mayor la transmisión son la cubierta y el suelo. Mientras que la actuación en cubierta se puede realizar añadiendo aislamiento térmico por el interior, como en este ejemplo, o sustituyendo la cubierta y situando una capa de aislamiento entre el forjado y la solución de cubierta, en el caso de los suelos la solución constructiva es más compleja, como ya se ha mencionado.

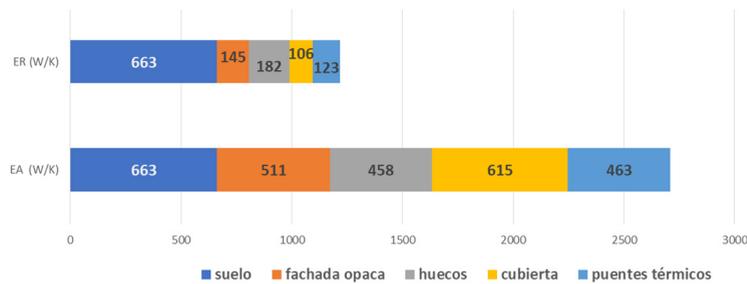


Figura 3. Resultados del cálculo del coeficiente global de transmisión por tipo de cerramiento.

## CONCLUSIONES

En las obras de rehabilitación energética se ha actuado en ocasiones sin intervenir en los cerramientos horizontales: cubiertas y suelos, elementos que puede llegar a ser, incluso, más relevante que los verticales como se demuestra en este ejemplo. En el caso analizado, la importancia de estos es consecuencia directa de la tipología de los edificios: de poca altura y alta superficie habitable que conlleva una mayor proporción de cubiertas y suelos respecto de fachadas.

Así mismo, y aportando sensibilidad arquitectónica al estudio científico, se ha optado por una rehabilitación energética respetuosa con los valores estéticos del edificio. Por lo que se ha decidido colocar el aislamiento térmico por el interior del cerramiento por las particularidades y condiciones que conlleva el propio edificio, evitando la colocación de un aislamiento continuo por el exterior como es habitual en otras intervenciones.

Al analizar la tabla 2 se puede comprobar la importancia de la rehabilitación de los puentes térmicos, en este caso, especialmente de las cajoneras de las persianas y los frentes de forjado que presentan las transmitancias térmicas más desfavorables (Bienvenido-Huertas, 2018). Al situar las nuevas carpinterías a haces exteriores y aislar el cerco de la ventana conectándolo a aislamiento existe y al de obra nueva, se consigue casi eliminar las transmisiones en los puentes térmicos del contorno de los huecos de fachada.

A modo de resumen, se puede concluir que es importante analizar y rehabilitar los puentes térmicos de los edificios, que no hay que olvidar los planos horizontales de la envolvente y que las intervenciones por el interior de los edificios sin que se alteren los aspectos y valores estéticos exteriores del edificio, son posibles.

## AGRADECIMIENTOS

Proyecto de “Rehabilitación de la envolvente de edificios de la UVa para mejorar la eficiencia energética. Estudio del estado actual y propuestas de intervención en el Campus de Soria”. Convocatoria de ayudas para proyectos de I+D+i sobre medidas de eficiencia energética y de aplicación de energías renovables en la explotación de los edificios universitarios de la Universidad de Valladolid según convenio de colaboración científico-técnico entre la Universidad de Valladolid y la UTE formada por ARCOR, S.L. y Hermanos Rubio Grupo Constructor HERCE, S.L.U.

## REFERENCIAS

- [1] Alaman, A., 1972, Necesidad de aislamiento térmico en la edificación actual, Informes de la Construcción.
- [2] Bienvenido-Huertas, D. & al., 2018, Patents Analysis of Thermal Bridges in Slab Fronts and Their Effect on Energy Demand, Energies.
- [3] IDAE, 2018, INFO IDAE 057, Proyecto de rehabilitación y reparación de fachadas en el Barrio de Zorroza de Bilbao (País Vasco).
- [4] IDAE, 2018, INFO IDAE 058, Proyecto de rehabilitación de la envolvente térmica en el barrio de la Txantrea de Pamplona (Comunidad Foral de Navarra).
- [5] Martín, G. & al., 2014, La importancia de la rehabilitación de los puentes térmicos en los edificios existentes. Rehabend 2014.
- [6] Sierra, F. & al., 2017, Impact of the position of the window in the reveal of a cavity Wall on the heat loss and the internal Surface temperature of the head of an opening with a Steel lintel, Energy Buildings. <https://windows.lbl.gov/software/therm> (24/08/2020).

# TRANSFORMACION DE EDIFICIO DE OFICINAS CONVENCIONAL EN NET ZERO ENERGY: CASO DE ESTUDIO POR SIMULACION ENÉRGICA

Susana García San Román, Directora de Proyectos, ESTEIN (Grupo Melbmex)

**Resumen:** Para consumir 1 kWh de electricidad en un edificio, se tienen que generar más de 3 kWh en la central donde se genera; esto es debido a las ineficiencias en el transporte por las líneas de alta tensión y a las ineficiencias en la conversión de alta a media y de media a baja tensión. En este escenario es donde la *descentralización energética* y la *generación distribuida* son una prioridad. A través de un caso de estudio analizado mediante simulación energética, se recorren los pasos a seguir para convertir un proyecto de edificio de oficinas convencional, diseñado y construido sin criterios de eficiencia energética, en un edificio de alto rendimiento que además neutraliza la huella de carbono de su operación, gracias a la generación de toda su energía mediante un sistema fotovoltaico integrado en la envolvente constructiva.

**Palabras clave:** NZEB, Autosuficiencia Energética, Eficiencia Energética, Edificios de Alto Rendimiento, Generación Distribuida, Descentralización de la Energía, Simulación Energética, Energías Renovables, Energía Fotovoltaica, BIPV.

## DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO CASO DE ESTUDIO

El presente caso de estudio se centra en un edificio de oficinas de 5 plantas, con un total de 4665 m<sup>2</sup> construidos, ubicado en la ciudad de Pachuca, Estado de Hidalgo, Méjico, a 2400 msnm. Este edificio fue construido a principios del s. XXI y el proyecto no tuvo especiales consideraciones a la eficiencia energética. Su envolvente es principalmente acristalada y las ventanas son no operables.



Figura 1. Edificio objeto del caso de estudio.

## Estrategia de Optimización: Pirámide de Prioridades

Mediante simulación energética se realizan sucesivas transformaciones en su envolvente y sistemas con el fin de convertirlo en un edificio energéticamente eficiente y autosuficiente. Este proceso se explica mediante la pirámide de la figura 2.

La base de la pirámide es la reducción de la demanda energética. El objetivo es maximizar las opciones de funcionamiento pasivo del edificio, reduciendo el uso de sistemas mecánicos de climatización y el encendido de luz artificial durante las horas diurnas. Podríamos definir funcionamiento pasivo como aquel mediante el cual el edificio proporciona confort natural, térmico y lumínico, a sus ocupantes sin un consumo adicional de energía.



Figura 2. Pirámide de prioridades en el proceso de optimización.

El segundo paso es la reducción del consumo energético, que se basa en la eficiencia de los sistemas instalados, su operación y los sistemas de control. Por último, y en tercer lugar, se lleva a cabo la implementación de sistemas de generación de energía renovable. Este último paso no suele ser económicamente viable si antes no se ha optimizado el edificio y su operación.

### Pasos para mejorar el Balance Energético

El balance energético obtenido mediante simulación por ordenador permite detectar las estrategias a implementar para reducir la demanda energética, como se muestra en la figura 3. Tras la implementación de mejoras se genera un nuevo modelo optimizado, que muestra los resultados de la simulación para el edificio funcionando en modo pasivo. Con el consumo energético reducido al mínimo, se dimensiona el sistema fotovoltaico a instalar, que sea capaz de satisfacer toda la demanda.



Figura 3. Diagnóstico y medidas a implementar para la mejora del balance energético.

Uno de los objetivos del caso de estudio es que los sistemas fotovoltaicos (FV) necesarios se integren en la envolvente del edificio en la medida de lo posible. Se propone primero una matriz fotovoltaica de vidrio semitransparente de silíceo cristalino integrada como una doble piel sobre la cubierta acristalada del atrio orientado al sureste a modo de BIPV (Building Integrated Photovoltaic). Esta superficie fotovoltaica va a incidir al menos en 3 cuestiones relacionadas con el consumo energético: el grado de transparencia de los vidrios fotovoltaicos afecta a la entrada de luz natural, a las ganancias de calor solar y a la potencia instalada de generación fotovoltaica; por ello se analizan las distintas variables para optimizar el grado de transparencia de los vidrios fotovoltaicos.

La tabla I muestra que el porcentaje de transparencia óptimo de los vidrios fotovoltaicos es 30%, ya que se logra el balance óptimo entre la cantidad de energía que se genera (61 MWh anuales) y la reducción del consumo de energía para iluminación por el aprovechamiento de la luz natural mediante controles lumínicos automatizados. Con un grado de transparencia menor, la generación energética es más alta pero no logra compensar el incremento de consumo de energía para iluminación debido a una menor entrada de luz natural. Por el contrario, si se selecciona un panel FV opaco para la doble piel del atrio, a pesar de que se van a generar más megavatiohora anuales, se incrementa la demanda de energía para iluminación, y la generación no llega a compensar el aumento del consumo.



Figura 4. Matriz de variables afectadas por el grado de transparencia de los vidrios fotovoltaicos.

ATRIO FOTOVOLTAICO TOTAL 265 m2 SILICIO MONOCRISTALINO 18% EFF	% TRANSPARENCIA VIDRIO FOTOVOLTAICO	% FRACCION OCUPADA POR CELULAS FV ACTIVAS	ILUMINACION ARTIFICIAL CONSUMO ANUAL MWh	GENERACION ANUAL ENERGIA FV MWh	DIFERENCIA AUMENTO CONSUMO - GENERACION
OPACO	0	100	170	68	102
SEMITRANSARENTE 20% TRANSPARENCIA	20	80	96	65	31
SEMITRANSARENTE 30% TRANSPARENCIA	30	70	83	61	22
SEMITRANSARENTE 40% TRANSPARENCIA	40	60	77	52	25
SEMITRANSARENTE 50% TRANSPARENCIA	50	50	73	44	29

Tabla I. Analisis de variables afectadas por el grado de transparencia de los vidrios fotovoltaicos .

## RESULTADOS OBTENIDOS

El consumo energético experimenta una reducción considerable gracias a la implementación de un sistema de automatización lumínico enfocado en aprovechar la luz natural y el resto de medidas mencionadas en la figura 3, que posibilitan que el edificio funcione en modo pasivo en cuanto a climatización. La integración de renovables se realiza en 3 fases: integración a modo de sistema BIPV en la doble piel del atrio acristalado, una matriz fotovoltaica en cubierta y una matriz de parasoles en los huecos de las ventanas orientadas al sureste.

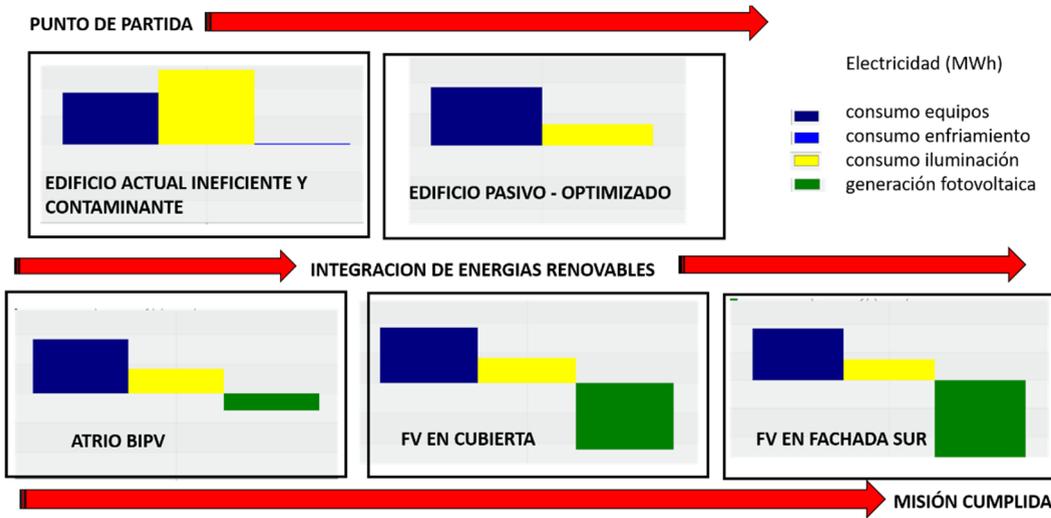
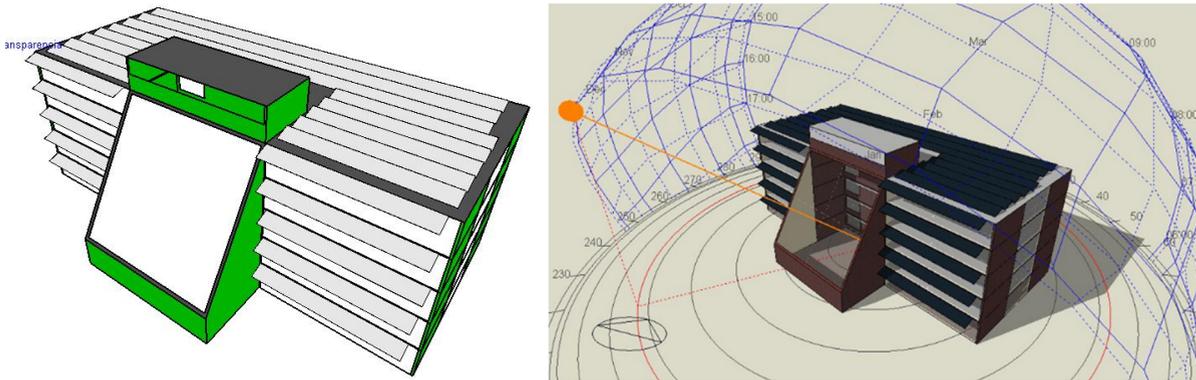


Figura 5. Gráficas de mejora progresiva en el balance energético.

Los parasoles fotovoltaicos de la fachada sureste producen una doble mejora, ya que aparte de completar la generación energética necesaria para cubrir el 100% de las necesidades, limitan las ganancias solares por huecos acristalados, reduciendo aún más la demanda de energía mecánica para climatización y mejorando la sensación térmica al interior del edificio.



Figuras 6 y 7. imágenes del edificio con las superficies FV integradas.

La figura 8 muestra la reducción progresiva del consumo de energía anual, que inicialmente era de 453 MWh/año y se logra bajar a 260 MWh/año, lo cual es una reducción del 43%. Con la integración de sistemas FV se logran generar 281 MWh/año, excediendo el consumo anual. Las emisiones de carbono asociadas se reducen paralelamente, de 275 toneladas anuales a un balance de -13 toneladas emitidas al año, es decir, que se logra un edificio de balance positivo en cuanto a neutralización de su huella de carbono. Este tipo de edificios van más allá de una reducción de los impactos negativos, teniendo un impacto positivo en su entorno, al inyectar a la red el excedente de energía que generan, a lo que habría que añadir los beneficios económicos en cuanto ahorro anual en costos de operación.

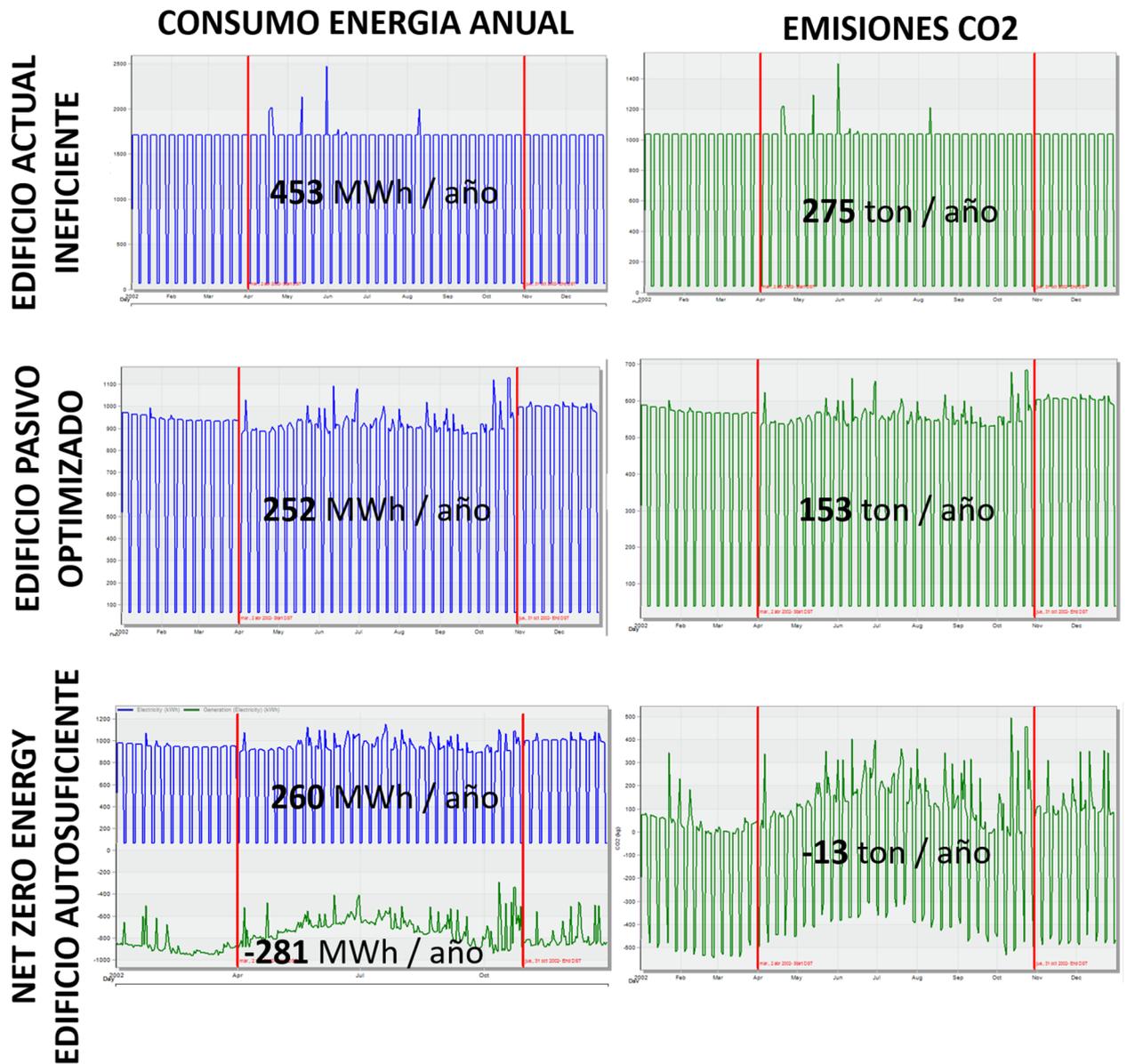


Figura 8. Gráficas de consumo y generación de energía y de emisiones a lo largo del proceso de optimización.

En este edificio el consumo principal de energía era la iluminación (fig. 9), debido a que no estaba optimizado el sistema para un aprovechamiento de la luz natural. Por eso se han enfocado esfuerzos en el sistema de control de la iluminación. En otros edificios con consumos elevados en climatización, las estrategias a proponer serían de otra naturaleza. La figura 10 muestra la reducción progresiva en la energía de origen, que es la generada en la central, suministrada por la compañía eléctrica, hasta alcanzar un valor negativo, que significa que se está generando más energía de la que se requiere para la operación anual del edificio.

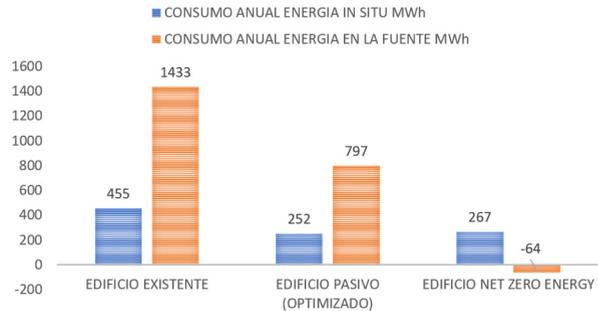
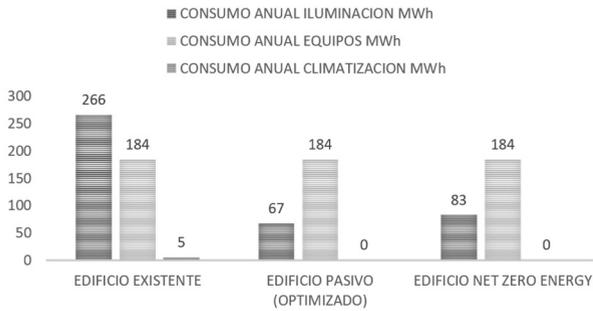


Figura 9. Gráficas de consumo energético por usos.

Figura 10. Gráfica de consumo energético en el edificio y en el origen.

De esta forma se puede afirmar que el edificio se convierte en una central eléctrica, que inyecta a la red más energía de la que extrae. Esta práctica es fundamental para lograr una efectiva descentralización de la generación eléctrica, y con ello hacer posible que cada vez haya un porcentaje más alto de energía generada con fuentes renovables, además de hacer un uso más racional de la energía, porque se eliminan las pérdidas por transporte en redes de alta y media tensión y en cada proceso de transformación.

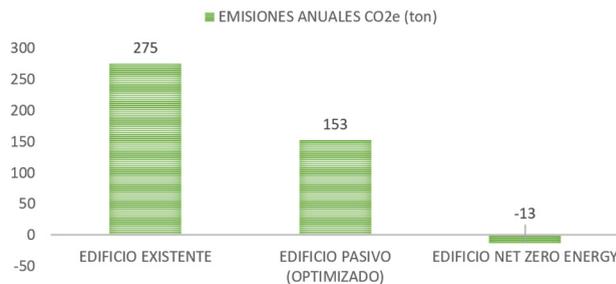


Figura 11. Gráfica de emisiones de carbono.

## CONCLUSIONES

En el campo de la rehabilitación de edificios con criterios de eficiencia energética, las decisiones deberían de tomarse basadas en un análisis integral, con herramientas avanzadas como la simulación energética, y considerando los distintos parámetros que inciden en el balance energético. Se ha visto, por ejemplo, cómo un sistema de automatización de la iluminación puede originar reducciones espectaculares en el consumo anual de energía, así como las estrategias bioclimáticas aplicadas sobre la envolvente del edificio y algunas mejoras en su operación, siempre teniendo en cuenta las condiciones climáticas locales.

Algunas estrategias mejoran la eficiencia energética y el confort térmico a un coste bajo o nulo, como por ejemplo incrementar la ventilación natural en ciertos momentos del día y del año. La simulación energética también permite identificar sinergias, como por ejemplo la doble piel acristalada propuesta para el atrio, que genera electricidad y limita las ganancias de calor, al igual que los parasoles FV integrados en las ventanas de la fachada frontal.

Si cada edificio fuera capaz de generar su propia energía, se lograría un esquema de *generación distribuida* de la energía eléctrica, con beneficios para todos de tipo económico, social y ambiental.

# OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DEL CICLO DE VIDA DE LOS EDIFICIOS MEDIANTE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS CONFORMADAS POR ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

**Alejandro López Vidal**, Director Técnico, ANDECE (Asociación Nacional de la Industria del Prefabricado de Hormigón). Plataforma Tecnológica Española del Hormigón  
**César Bartolomé Muñoz**, Director Área de Innovación, IECA (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones). Plataforma Tecnológica Española del Hormigón

**Resumen:** El refuerzo de la contribución de la inercia térmica dentro de la nueva versión del DB-HE, o el desarrollo de un amplio catálogo de soluciones constructivas con prefabricados de hormigón en el CYPETHERM HE Plus, programa oficialmente reconocido para la obtención de la calificación de eficiencia energética de los edificios, permiten augurar un mayor reconocimiento al papel de los elementos prefabricados de hormigón destinados principalmente a la construcción de fachadas y forjados, que aseguran también otras prestaciones como una mayor durabilidad, un potencial de incorporación de material reciclado o una mayor tasa reutilización al final de su vida útil, minimizando así el impacto energético del edificio a lo largo de todo su ciclo de vida.

**Palabras clave:** Inercia térmica, hormigón, prefabricados, industrialización.

## LA INERCIA TÉRMICA EN EL NUEVO DB-HE [1]

El diseño de los edificios de consumo de energía casi nulo requiere reducir la demanda de energía fundamentalmente mediante un aumento del aislamiento térmico, aunque con la nueva versión del DB-HE se requerirá complementar esta estrategia con otras medidas de mejora. Uno de los mecanismos que se estima más eficaces es mediante el aprovechamiento de la inercia térmica que podrían aportar los distintos sistemas constructivos del edificio, sistemas capaces de acumular y devolver calor en régimen dinámico. Este ha sido uno de los principales avances del nuevo DB-HE, con un refuerzo de la contribución de la inercia térmica y que hasta ahora simplemente venía reseñada, por lo que apenas había sido considerada en la estrategia de diseño energético de los proyectistas. Actualmente, incluso certificaciones como el estándar Passivhaus, de procedencia centroeuropea, tiene en cuenta la inercia térmica entre sus criterios de certificación, especialmente en los edificios del entorno mediterráneo, ya que se trata de una estrategia básica en la reducción de la demanda energética de climatización.

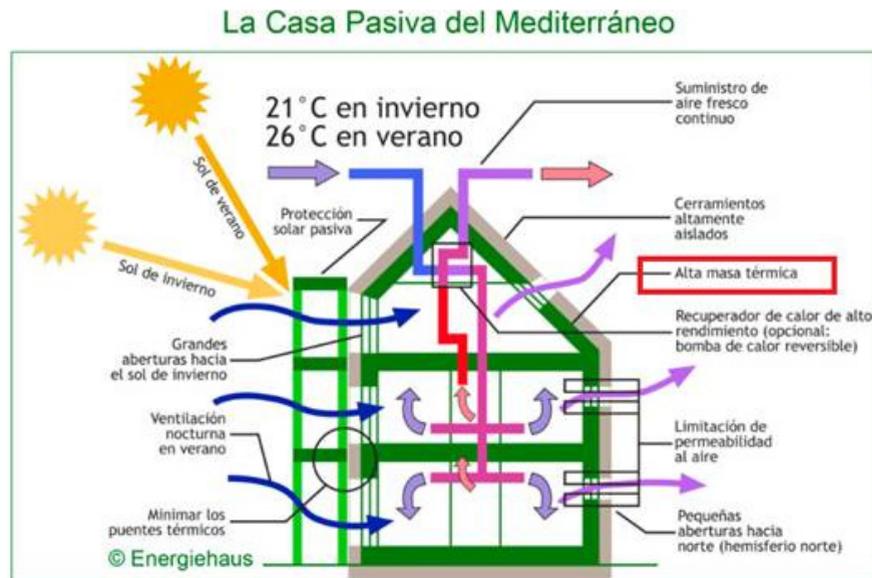


Figura 1. «La protección solar» el sexto principio fundamental del estándar Passivhaus para clima mediterráneo. Fuente: Energiehaus Edificios Pasivos.

## Conceptos básicos [2]

La inercia térmica es la capacidad que tienen los materiales de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente.

Los balances energéticos que se producen en el edificio dependen tanto de parámetros climáticos como del propio edificio. La acción combinada y simultánea de los parámetros climáticos como la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad, el viento, etc. provocan la respuesta térmica del edificio. Esta respuesta depende a su vez de la envolvente y la estructura interna del edificio, como son la forma del edificio, la orientación, superficie, aperturas al exterior, el tipo de muros, los materiales de los cerramientos y muchos otros aspectos. El calor se puede transmitir por conducción (cuerpos en contacto a diferente temperatura), por convección (por movimiento de aire) y/o por radiación (mediante ondas sin necesidad de contacto). Las ganancias térmicas de un edificio provienen de la radiación solar y las aportaciones internas procedentes de la iluminación, la calefacción, los ocupantes del edificio y sus equipos. Por otro lado, las pérdidas térmicas se producen por las filtraciones de aire a través de las ventanas y la conducción a través de las paredes, ventanas, suelos y cubiertas. La inercia térmica permite almacenar las ganancias térmicas en momentos del día en el que hay excedencias de energía térmica y aprovecharla en periodos en los que hay déficit térmico por las pérdidas previamente mencionadas.

De esta forma, debido a la inercia térmica de los cerramientos o los forjados, puede disminuirse la necesidad de climatización del edificio, con la consecuente reducción de consumo energético y de emisiones contaminantes.

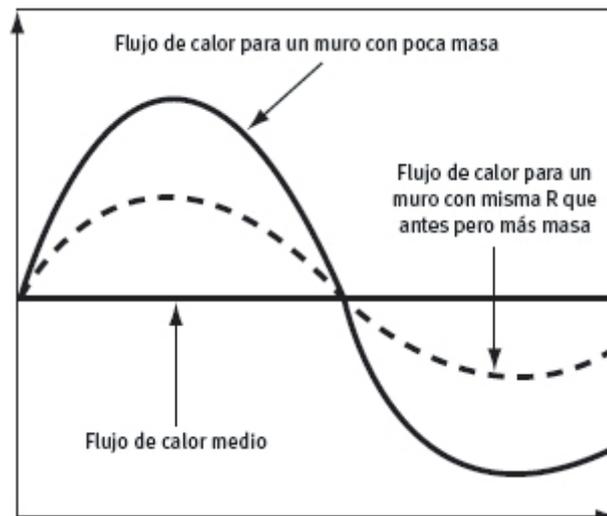


Figura 2. Flujo de calor en función de la inercia térmica para una misma transmitancia ( $R$ ).

La inercia térmica se puede aprovechar de manera pasiva simplemente a través de un diseño adecuado, activándola mediante ventilación mecánica, mediante la circulación de agua (u otro fluido térmico) por su interior o utilizando incluso la misma inercia térmica como sistema de almacenamiento de energía.

En todos los casos, el diseño del edificio debe cumplir estas condiciones:

- La orientación del edificio debe ser la correcta en función de la latitud y zona climática, de forma que se incremente la incidencia de la radiación solar sobre los paramentos masivos para estabilizar la temperatura del edificio durante el invierno o maximizar la ventilación natural que permita enfriar los paramentos masivos durante el verano. Para ello, resulta recomendable buscar sistemas que permitan desviar la radiación solar o la circulación del aire hacia los elementos masivos del interior de la vivienda, como pueden ser lamas en las ventanas u otros elementos similares, especialmente hacia los techos que son los sistemas más eficientes de intercambio de calor.
- El aislamiento debe ser el adecuado y siempre por el exterior con un doble objetivo: eliminar los puentes térmicos y permitir que los paramentos masivos puedan intercambiar calor o frío con el aire de las estancias.
- No se deben cubrir los paramentos masivos con elementos que impidan el intercambio de calor con el entorno, por ejemplo, con falsos techos.

Para realizar un diseño correcto y aprovechar al máximo la inercia térmica del edificio, así como para una correcta modelización del mismo, es necesario conocer los porcentajes de radiación que recibe cada paramento de una estancia.

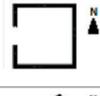
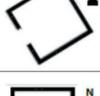
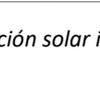
ORIENTACIÓN	F <sub>r</sub> Techo	F <sub>r</sub> Suelo	F <sub>r</sub> Pared Izquierda	F <sub>r</sub> Pared Derecha	F <sub>r</sub> Pared Fondo	F <sub>r</sub> Pared Exterior
	6%	30%	45%	5%	4%	7%
	5%	52%	22%	4%	10%	3%
	6%	63%	7%	6%	10%	4%
	5%	64%	8%	12%	4%	4%
	5%	69%	4%	9%	6%	4%
	5%	59%	4%	20%	4%	4%
	5%	42%	4%	35%	4%	7%

Figura 3. Análisis de la radiación solar incidente según la orientación del local (invierno) (fuente: resultados del proyecto SINHOR, Universidad de Sevilla).

Asimismo, la ventilación forzada desempeña un papel fundamental, previendo dispositivos mecánicos que hagan circular corrientes forzadas de aire que rocen los elementos masivos (suelos, techos, paredes interiores) de manera que se incremente la eficiencia en el proceso de intercambio de calor entre la superficie masiva y el aire resultando una refrigeración más rápida y efectiva.

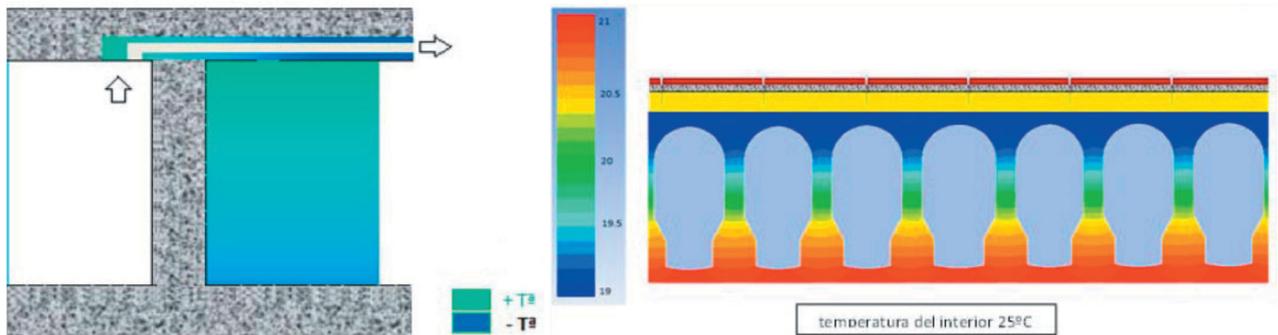


Figura 4. Forjado ventilado mediante placas alveolares de hormigón pretensado. En este caso, el aire de refrigeración circula por los alveolos interiores del forjado y no está en contacto con el usuario, por lo que la velocidad del flujo no está condicionada por la posible ausencia de confort del usuario.

## La contribución de las soluciones constructivas en base hormigón

Aunque son varios los materiales de construcción con alta inercia térmica, quizás el más representativo sea el hormigón por su sencillez de construcción, tanto prefabricado como in situ, además de ser el único de ellos con función estructural, lo que amplifica todavía más su carácter multiprestacional [3].

### Inercia térmica y energías renovables

Otro de los grandes avances cuantitativos del nuevo DB-HE es que al menos el 50% de la demanda de energía primaria quede cubierta a partir de fuentes de energía renovables. En este sentido, alumbra el problema de que la generación de energía renovable no siempre coincide con las puntas de demanda y la creación de grandes baterías de acumulación energética resulta, al menos actualmente, tecnológicamente muy difícil. Sin embargo, la utilización de los sistemas inerciales de la estructura de los edificios como baterías alternativas es una opción viable y de gran potencial. La alta inercia térmica de los edificios masivos, junto con un incremento de la electrificación de los sistemas climatización, ha hecho que el almacenamiento de energía térmica en las estructuras de hormigón se haya convertido en una solución técnica y económicamente adecuada, ya que no solo permite una mejor gestión de la red, sino también ahorros significativos en el consumo, tal y como hemos visto. Aquí cabe destacar una experiencia piloto en Austria [4] en la que se analizó la posibilidad de cubrir la demanda energética de climatización de un edificio de hormigón únicamente con energía eólica, utilizando los forjados de la vivienda como baterías y con extraordinarios resultados.

### CYPETHERM-HE PLUS

Otra de las razones por las que el efecto de la inercia térmica en los cerramientos no se ha considerado habitualmente en el diseño de los edificios ha sido porque los programas informáticos no han sido especialmente sensibles a este parámetro (véase coeficiente de película) y se basan en modelos estáticos de cálculo. Por ejemplo, la Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC), programa oficial de la Administración Española, utiliza un coeficiente de película por defecto que no varía en función del esquema de ventilación del edificio, lo que en la mayoría de los casos supone una reducción de la capacidad de enfriamiento de los elementos masivos.



Figura 5. Colocación de placas alveolares, sistema constructivo con mayor grado de industrialización de los forjados y con una capacidad mayor de aprovechamiento energético.

Para superar esta limitación y explotar los beneficios energéticos de la inercia térmica de los edificios, la Plataforma Tecnológica del Hormigón (PTEH) a la que pertenecen entre otras organizaciones ANDECE e IECA, ha trabajado en la adecuación de otro de los programas reconocidos oficialmente, el CYPETHERM-HE Plus de CYPE, introduciendo 20 soluciones tipo de fachadas mediante elementos prefabricados de hormigón (paneles de hormigón pesado y ligeros, mampostería de bloques de hormigón) que se adecúan a los usos más habituales en la actualidad en cuanto a secciones típicas de fachada (composición y espesores de las distintas capas) y que actualizan el trabajo previo realizado hace una década con el Catálogo de Elementos Constructivos con estos sistemas constructivos, además de los forjados.

Además, se ha iniciado la corrección de la modelización del coeficiente de película, que a su vez depende de múltiples variables como el tipo de convección (natural o forzada), el régimen del aire (laminar o turbulento) o su velocidad, de forma que el usuario pueda ajustar este valor teniendo en cuenta dichas variables. Por último, se está desarrollando un módulo para la activación térmica de forjados mediante tubos embebidos por los que circula agua a diferentes temperaturas en función de las necesidades de climatización del edificio [5].

## PROYECCIÓN DE FUTURO

Asimismo, tampoco debe desligarse la eficiencia energética del edificio de otras variables como la energía embebida de los materiales de construcción, cuyo cómputo global deberá analizarse para lograr el mejor ratio posible entre consumo total y prestaciones a lo largo del ciclo de vida completo del edificio. En este sentido, la durabilidad es otra de las propiedades diferenciales del hormigón que, a través del desarrollo científico y la puesta en práctica, especialmente en las últimas décadas, ha puesto de manifiesto esta ventaja competitiva frente a otros materiales alternativos, además de su tasa de reciclabilidad al final de su vida útil para procesarlo y reincorporarlo a un nuevo ciclo en línea con las crecientes exigencias de circularidad de los materiales de construcción. Más aún si la forma de materializar el hormigón es a través de elementos prefabricados resultado de procesos industriales, por lo general más automatizados y eficientes. En este sentido, debería adquirir todavía mayor importancia los análisis de ciclo de vida, tanto a nivel de productos o componentes constructivos, como del edificio en su conjunto, por ejemplo, con la realización de declaraciones ambientales de producto que permitan calcular por un lado los impactos ambientales y por otro identificar dónde se encuentran los mayores insumos para implementar medidas de mejora futuras, todo en línea con reducir el impacto energético final del conjunto [6].



*Figura 6. Montaje de panel prefabricado de hormigón multiprestacional, cuyo diseño se realiza teniendo previstos los huecos de las ventanas.*

Y por último, otra de las tendencias actuales que avanza en paralelo junto a una mayor eficiencia energética de nuestros edificios, es la metodología BIM, basada en modelos virtuales paramétricos, que contienen información gráfica (3D) pudiendo estar combinada con mayor o menor información adicional (4D, 5D, 6D y/o 7D). La sexta dimensión ó 6D de BIM, hace referencia a la sostenibilidad de la construcción y en ella se puede incorporar datos e información que permitan optimizar mediante simulaciones energéticas el rendimiento posterior del edificio [7].

## REFERENCIAS

- [1] "Guía técnica de aplicación del Código Técnico de la Edificación (CTE) a las soluciones constructivas con elementos prefabricados de hormigón". ANDECE, 2020. <https://bit.ly/2W1I8HW>
- [2] Manual de aplicación de la inercia térmica. ASA (Asociación Sostenibilidad y Arquitectura) e IECA (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones), 2020
- [3] <https://www.ieca.es/producto/manual-de-aplicacion-de-la-inercia-termica/>
- [4] La estética, la eficiencia energética y la industrialización en los edificios de hormigón. López Vidal, A.; Bartolomé Muñoz, C. Cemento Hormigón. 2019
- [5] [http://www.andece.org/images/BIBLIOTECA/estetica\\_eficiencia\\_energetica\\_industrializacion\\_hormigon.pdf](http://www.andece.org/images/BIBLIOTECA/estetica_eficiencia_energetica_industrializacion_hormigon.pdf)
- [6] "Energy-storage concrete: thermal component activation". Felix Friembichler, VÖZ, Versión Inglesa, febrero 2017.
- [7] Muros y forjados prefabricados de hormigón para la certificación energética con CYPETHERM HE Plus. Webinar ANDECE. 2020 <https://bit.ly/330ER0J>
- [8] Declaraciones ambientales de productos prefabricados de hormigón (y 2ª parte). López Vidal, A. Ecoconstrucción, 2018 [http://www.andece.org/images/BIBLIOTECA/dap\\_ph\\_parte2\\_ecoconstruccion.pdf](http://www.andece.org/images/BIBLIOTECA/dap_ph_parte2_ecoconstruccion.pdf)
- [9] Galería objetos BIM de productos prefabricados de hormigón genéricos. BIMETICA, ANDECE. 2020 [https://bimetica.com/ficha\\_fabricante.php?bimfab=207&lang=en](https://bimetica.com/ficha_fabricante.php?bimfab=207&lang=en)

# CONSTRUIR EN PIEDRA HOY: UNA DE LAS SOLUCIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN BAJA EN CARBONO

**Catalina Sánchez Robles**, CEO, Areniscas Rosal  
**Valentina Uribe Montoya**, Responsable Marketing, Rosal Stones

**Resúmen:** Construir hoy en piedra mediante muros portantes o en gruesos semi-portantes, a partir de un proceso de extracción y elaboración respetuosos con el medio ambiente, se revela como una solución interesante para la 'descarbonización de los procesos constructivos', así lo demuestra nuestra participación en el proyecto 'Ílot Fertile - Eole Evangile, Paris 19, Premier quartier zéro carbone de Paris' donde nuestra piedra Albamiel ha sido seleccionada par ejecutar la sección piedra de parte del proyecto por la baja emisión de CO2 del producto en todo su ciclo de vida, a pesar del transporte, reconocido por el informe FDES y DAP. El proyecto está siendo ejecutado por la empresa Bouygues.

**Palabras clave:** Cero carbono, piedra maciza, Albamiel, muro portante, extracción sostenible, eficiencia energética, gestión de residuos, energía renovable, medición de gases.

## LA 'DESCARBONIZACIÓN DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS'

¿Hasta qué punto son importantes los materiales de construcción en el balance energético de una vivienda? Imaginemos una casa unifamiliar de 222 m2 situada en Zaragoza, que es donde la coloca el ingeniero aragonés Ignacio Zabalza en un estudio publicado en la revista científica Building and Environment. Si se introducen los datos de esta hipotética vivienda en un programa de simulación que cumpla la actual normativa de certificación energética de edificios (RD 235/2013), el resultado que se obtiene es que va a generar cerca de 1,6 toneladas de CO2 al año, lo que corresponde a una clase B. Ahora bien, esto es teniendo en cuenta sólo el uso de la casa a lo largo de 50 años de vida (el gasto en calefacción, aire acondicionado, agua caliente, iluminación...), si se analizan los materiales utilizados en su construcción, entonces habría que añadir otras 57 toneladas de CO2.

Estas 57 toneladas adicionales supondrían el 41% del total de emisiones generadas por la casa a lo largo de 50 años o, dicho de otra forma, tendrían que pasar 35 años para que las emisiones producidas por el uso de esa vivienda en Zaragoza igualasen a las de su construcción. Paradójicamente, no son tenidas en cuenta por la normativa que evalúa la eficiencia energética de esa vivienda, cuando su impacto es mucho mayor que el de otros factores a los que se les da mucha mayor importancia. Como explica Zabalza, se está desaprovechando una gran oportunidad de actuar en la eficiencia de las casas desde la propia elección de los materiales para su construcción.



*Figura 1. Construcción de las oficinas de Rosal Stones con sillares de piedra maciza.*

## CONSTRUIR EN PIEDRA HOY: MUROS PORTANTES Y GRUESOS SEMIORTANTES COMO UNA SOLUCIÓN POSIBLE

El estilo de construcción que proponemos para la Construcción Baja en Carbono es la construcción en sillares de piedra y en casos excepcionales en revestimientos de al menos 8 cm de espesor.

El referente en este tipo de construcciones, además de las construcciones históricas, evidentemente, en la arquitectura moderna, es Fernand Pouillon (1912-1986) que realizó la mayoría de sus proyectos de nueva construcción entre 1950 y 1960. Amante de la piedra, defendía que el respeto a los precios y a la calidad de la construcción permitía conseguir dos fines: dar acceso al lujo de habitar a los más pequeños salarios y asegurar una excelente conservación de los barrios evitando la degradación de los mismos.

A mitad del siglo pasado la construcción en piedra masiva, denominación de la construcción en piedra maciza en inglés y francés, respondía a otros fines: desarrollo social y económico, todavía no se había constatado la importancia de la disminución de las emisiones de carbono en los procesos constructivos, pero todos estos fines siguen vigentes hoy en día.

En la actualidad Guilles Perraudin es el arquitecto estrella en la construcción con piedra masiva, pero es interesante saber que él comenzó en la arquitectura con André Ravéreau, en la comprensión de la relación entre arquitectura y clima o cómo los hombres consiguen sobrevivir en condiciones extremas y cómo construir casas donde el confort se consiga casi sin gasto energético, tanto en los procesos constructivos como en el mantenimiento.

Perraudin trabajó en la nueva ciudad de Cergy Pontoise con la escuela de arquitectura de Lyon en edificios llenos de preocupaciones medioambientales, pero aún sin descubrir la piedra. Se consideró en este momento prisionero de la cultura constructiva dominante, de la que reflexiona que 'los arquitectos tienen difícil escapatoria y se les pide cada vez menos ser pensadores de la construcción para ser creadores de formas relucientes y abracadabrantes'.

Todas las cuestiones sobre el desarrollo sostenible estaban sobre la mesa. Fue en este contexto donde para él se produjo el encuentro brutal y simultáneo con la piedra. Por un lado, la simplicidad de un muro de piedra en Pont du Gard sin duda de bajo costo y, en paralelo, la realización de edificios muy sofisticados, donde la utilización de gran cantidad de tecnología tenía incidencias directas sobre la industrialización del territorio y las alianzas entre política y economía, en pro de un "desarrollo" innecesario.

En sus palabras: 'fue una experiencia fabulosa y fundadora, pues descubrí un material, sus posibilidades, su interés y su capacidad al mismo tiempo; descubrí una escritura arquitectural que me ha permitido encontrarme en la plenitud de mi función de arquitecto, que no es la de inventar formas que acaban por ser pensamientos'. Además, nos invita a partir, él lo hace, de una visión ética y social, ya que la arquitectura no es como el resto de artes, como por ejemplo la música, que tenemos derecho a escuchar o no, la arquitectura se impone a todos.



*Figura 3. Proyecto de construcción masiva en Lyon, Francia. Por WYSWYG ARCHITECTURES sillares de piedra suministrados por Rosal Stones.*



*Figura 2. Fernand Pouillon, Résidence Buffalo, foto Xavier de Jauréguiberry, 2014.*

Con la piedra, Guilles Perraudin ha descubierto un rigor en la escritura arquitectónica. Puede con ella pensar el material desde el principio hasta el fin, mientras la mayoría de arquitectos utilizan productos ya inventados y prefabricados por la industria. Sin dominar ni la producción, ni el diseño, 'ensamblan' productos industriales.

Guilles Perraudin se encontró lagunas de legislación respecto a la utilización de la piedra masiva para la construcción. En España ocurre lo mismo, no hay ley específica y a veces es complejo adaptar la existente. Este es un punto dramático e indicativo de una pérdida total de la cultura constructiva; a pesar de que la mayor parte de nuestro patrimonio ha sido construido en piedra masiva, ¡todo se ha olvidado! La legislación en edificación ha sido inventada para la utilización de materiales nuevos y es una desventaja clara, a pesar de que en los últimos años se ha avanzado mucho principalmente en nuestro país vecino, Francia.

## POR QUÉ LA PIEDRA ES BAJA EN EMISIONES DE CO2? PROCESO DE EXTRACCIÓN Y ELABORACIÓN RESPETUOSOS CON EL MEDIO AMBIENTE

Sirva de recordatorio la afirmación de Raquel Galarza de la empresa Eurovertice, que sirvió de titular en Murcia Diario el pasado 18 de agosto, 'Si no hay un compromiso de las empresas con la sostenibilidad, no habrá futuro'.

En nuestro proyecto empresarial, certificados en ISO 14001 desde 2005, al día de hoy:

- Los diferentes residuos de piedra son reutilizados, revalorizados y en último término, devueltos a su lugar de origen y utilizados para la restauración de los espacios naturales afectados.
- Otros residuos, peligrosos o no, son tratados por gestores autorizados,
- Contamos con Energía Solar Fotovoltaica y adquirimos energía Verde,
- Hemos comenzado a cambiar la flota de vehículos internos de la empresa a alimentación eléctrica,
- En cantera, cortamos en seco, evitando el consumo elevado del recurso hídrico, para otros procesos de corte primario y secundario realizados con agua, reciclamos el agua de proceso, con las únicas pérdidas ocasionadas por la evaporación o el riego de vías y plazas en la época más calurosa para evitar la contaminación atmosférica, no realizamos ningún vertido a cauce público,
- Hemos realizado estudios preliminares de suelos, con el resultado de suelos no contaminados.
- Regulamos mayoritariamente la temperatura en nuestras instalaciones mediante construcciones en piedra masiva y regulación de las corrientes de aire, procurándonos, en caso de ser necesario, calefacción mediante biomasa,
- Controlamos las emisiones atmosféricas y tenemos el calificativo de industrias tipo C, por bajas emisiones,
- Tenemos en marcha dos Proyecto de Restauración de Ecosistemas, aprobados por la administración competente,
- Contamos con un Proyecto de reducción de emisiones de CO2 desde 2016,
- Tenemos acuerdos de jornada intensiva, flexible y teletrabajo, para facilitar la conciliación de la vida familiar y profesional, cuidamos a los que cuidan.
- Desde hace años ofrecemos a nuestros trabajadores espacios para la creación de huertos y cuidado de animales.
- Respetamos la vida salvaje de los entornos que habitamos, compartiendo espacios.
- Somos una empresa familiar, fundada en 1985, los puestos directivos en la empresa están gestionados de forma paritaria entre hombres y mujeres sin discriminación por razón de género, orientación sexual, religión o ninguna otra causa.



*Figura 4. Cantera Rosales, extracción sostenible de la piedra Albamiel de Rosal Stones*

Vamos avanzando progresivamente en lograr una empresa cada vez más sostenible, siendo este un compromiso vital en nuestra organización, en un proceso cada vez más exigente con nuestros procesos y con nosotros mismos.

## RESULTADOS DEL ESFUERZO POR DESCARBONIZAR LOS PROCESOS PRODUCTIVOS DE NUESTRA EMPRESA

Nuestro recorrido en materia de sostenibilidad corporativa se ha visto reforzada por la selección de nuestro material para el suministro de uno de los edificios del Primer barrio 0 carbono en París. Para certificar este recorrido nos embarcamos en realizar un estudio de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en todo su ciclo de vida de los productos demandados, (sillares para construcción masiva en muros portantes de aproximadamente 80x50x30 cm y semiportantes de espesor 8 cm). Dicho estudio ha sido realizado en Francia porque allí nos lo demandaban y porque debemos decir que el país vecino se ha decantado ya por este uso de la piedra masiva en construcción. A continuación, mostramos algunos datos significativos de este estudio.

### Datos comparativos

	red eléctrica convencional	electricidad verde y fotovoltaica		Datos Ecoinvent 2018		
	2018	2019	Evolución 2018 – 2019	Producción de arena de sílice	Comparado con 2018	Comparado con 2019
Calentamiento Global kg CO2 eq/UF	0,0155	0,0116	-33%	0,0386	-60%	-70%
Acidificación del suelo y el agua kg SO2 eq/UF	1,04E-04	7,70E-05	-35%	2,49E-04	-58%	-69%
Agotamiento de los combustibles fósiles MJ/UF	0,226	0,169	-34%	0,473	-52%	-64%

Figura. Informe FDES Agosto 2020.

## PROYECTO 'ÎLOT FERTILE - EOLE EVANGILE, PARIS 19, PREMIER QUARTIER ZÉRO CARBONE DE PARIS' DONDE NUESTRA PIEDRA ALBAMIEL HA SIDO SELECCIONADA PAR EJECUTAR LA SECCIÓN PIEDRA DE PARTE DEL PROYECTO POR LA BAJA EMISIÓN DE CO2 DEL PRODUCTO EN TODO SU CICLO DE VIDA

Así se presenta L'îlot Fertile, de la villa de París: En el corazón del Distrito 19 de París, al pie de la estación de Rosa Parks, se encuentra el triángulo Eole Evangile, que será mañana el primer barrio parisino Cero Carbono, aliando calidad de vida y respeto a la naturaleza, para el planeta y para los hombres.

Naturaleza, biodiversidad y cero carbono: 6.000 m2 de jardines, 2.000 m2 de tejados verdes, bancales elevados para la plantación de hortalizas y árboles frutales, LA DISMINUCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO MEDIANTE UNA CONSTRUCCIÓN BAJA EN CARBONO, POR SUS MATERIALES Y POR SUS PROCESOS CONSTRUCTIVOS así como por la elevación de edificios con bajo consumo de energía gracias a la gestión compartida de recursos a escala del Îlôt.

El Îlôt consta de cuatro edificios, de los cuales nosotros hemos participado en el Edificio C destinado a oficinas. El documento ambiental del edificio nos describe los objetivos de eficiencia energética y medios técnicos a poner en marcha con el fin de conseguir los objetivos generales planteados para la obra en su conjunto, lo que le hace someterse a importantes exigencias de medios y de resultados.

- Nivel contractual de consume energético
- Nivel contractual de impacto de carbono (cero carbono)
- Certificación NF HQE excelente
- Certificado BREEAM excelente
- Etiquetado BBC Effienergie 2017

Entre estos objetivos de eficacia medioambiental se encuentran la Gestión de los transportes y flujos, la vegetalización y la biodiversidad, la reducción de ruidos innecesarios, pero sobre todo la elección de los materiales de construcción y los equipamientos que no podrán superar los niveles de emisión de carbono que le han sido asignados, en vías de conseguir el objetivo global. El edificio asegura también un nivel de aislamiento importante, incluyendo límites a respetar.

Concretamente en los muros exteriores, la elección ha sido Placa de yeso de 18 mm, aislante de 16 cm y piedra portante de 24 cm. Todos los materiales incluidos en la construcción están definidos en base a sus emisiones de Gases de Efecto invernadero, más concretamente de sus emisiones de CO<sub>2</sub>: aislantes, suelos, techos, carpintería, fontanería, estructura, cerramientos, etc. así como la energía invertida en proceso constructivo.



Figura 6. Redender del proyecto 'Îlot Fertile - Eole Evangile, Paris 19

Otros elementos son tenidos en cuenta también como el aprovechamiento del agua de lluvia, la iluminación y la calidad del aire, la calidad sanitaria de los espacios y la biodiversidad. Por último, también estiman los futuros consumos energéticos del edificio, la eficacia de la envolvente, los diferentes aportes internos y la gestión de los aportes externos por los usuarios, así como la eficacia de los sistemas puestos en marcha. Sin embargo, y en eso son pioneros, han elegido la construcción masiva en piedra natural como elemento constructivo con el que conseguir la descarbonización de los procesos constructivos

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al equipo de Areniscas Rosal por su trabajo y dedicación constante.

## REFERENCIAS

- fernandpouillonheritage.org
- Edición especial: Tout sur la construction en Pierre Massive. Pierre actuel 2019.
- Guilles Perraudin, intègre, convaincu et philosophe. Guilles Martinet.
- Murcia Diario 18 de Agosto 2020
- Ignacio Zabalza. Building and Environement 2020
- Rapport FDES: Indicateurs de 2018: Rosal Stone (données primaires, production 2018), Engineeria (calcul selon la norme EN 15804), Ecoinvent 2018 (données secondaires)
- Rapport FDES: Indicateurs de 2019: Rosal Stone (données primaires, production 2019), Engineeria (réalisation des FDES dites "pierre naturelle Albamiel" selon la norme EN 15804 et le programme INIES, FDES en cours de vérification)
- Indicateurs du sable: Ecoinvent (données primaires, Silica sand production [RoW], 2018), Engineeria (calcul selon la norme EN 15804)
- AMO\_MAR\_ZS NT\_C\_04\_ Notice environnementale bureaux\_indA. Bouygues Construction île de France 2019

# SISTEMA DE VIVIENDA PROTEGIDA INDUSTRIALIZADA DE CONSUMO ENERGÉTICO CASI NULO

**Francisco Campuzano Izquierdo**, Jefe de la Sección de Planificación, Sistemas de Información y Gabinete de Estudios, Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía (AVRA)

**Javier Gómez Vázquez**, Técnico de la Sección Planificación, Sistemas de Información y Gabinete de Estudios, AVRA

**María Elena Morón Serna**, Jefa de la Sección de Rehabilitación de Edificios, AVRA

**Jorge Ruíz García**, Jefe del Equipo de Rehabilitación, AVRA

**Resumen:** El proyecto consiste en una contratación pública de innovación para la prueba de concepto y evaluación de la viabilidad técnica y del potencial comercial de un sistema modular y flexible de vivienda protegida plurifamiliar, industrializada, de consumo energético casi nulo. El objeto del proyecto es diseñar un sistema arquitectónico compuesto por elementos constructivos producidos de forma industrializada e integrables modularmente, así como por los procesos necesarios para su integración y uso en edificios plurifamiliares de vivienda protegida de consumo energético casi nulo. Afronta el reto de la administración pública andaluza de construir viviendas protegidas de consumo energético casi nulo, en un plazo lo más corto posible y evitar así que la escasez de oferta se traduzca en mayores tensiones en los precios que empeoren aún más la accesibilidad a la vivienda.

**Palabras clave:** Vivienda protegida, construcción industrializada, edificios de consumo energético casi nulo.

## INTRODUCCIÓN

La Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía (AVRA) ha sido adjudicataria del proyecto Sistema de vivienda protegida industrializada de consumo energético casi nulo NZEISHB (Near Zero Energy Industrialized Social Housing Building) presentado el 7 de enero de 2020 a la convocatoria de proyectos de Compra Pública de Innovación realizada por la Consejería de Economía, Conocimiento, Empresas y Universidad de la Junta de Andalucía.

## Antecedentes

La reciente aprobación del Real Decreto Ley por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación (CTE) supondrá la obligación para todos los nuevos edificios, incluidos los plurifamiliares de vivienda protegida, de contar con un consumo de energía casi nulo.

Sin embargo, son muy escasas las experiencias en este tipo de edificios, limitándose hasta ahora a edificios unifamiliares o soluciones parcialmente industrializadas.

Por otro lado, los promotores de vivienda protegida no están suficientemente preparados para responder al reto que supondrá la aplicación de esta normativa.

A la necesidad de cumplir con estas exigencias de sostenibilidad se une la dificultad de hacerlo dentro de límites de precio asequible propios de la vivienda protegida.

Añadido a lo anterior, la escasa promoción de nuevas viviendas protegidas en los últimos años y la espiral de precios de la vivienda en alquiler, han creado una importante bolsa de demanda insatisfecha de vivienda protegida. Así, el número de calificaciones definitivas en Andalucía ha pasado de una media anual de más de 9.000 entre 2008 y 2012, a 2.820 viviendas en 2013 y 2014, a 696 en 2015 y 2016, y a solo 50 viviendas de media en 2017 y 2018. En 2019, con datos al mes de junio, no se había calificado definitivamente ninguna vivienda protegida en Andalucía.

Por su parte, el nuevo Plan "VIVE", de Vivienda, Rehabilitación y Regeneración Urbana de Andalucía 2020-2030 contemplará, solo para el período 2020-2024, calificar 25.550 nuevas viviendas protegidas en las reservas de suelos del 30% para este tipo de viviendas.

En definitiva, la administración pública andaluza afronta el reto de construir miles de viviendas protegidas de consumo energético casi nulo y, además, hacerlo en un plazo lo más corto posible para evitar que la escasez de oferta genere un alza en los precios que dificulten aún más el acceso a la vivienda.

A nivel estatal es igualmente importante hacer mención al Plan Estatal de Vivienda 2018-2021. Entre cuyos objetivos, hay varios relacionados con el proyecto NZEISHB, destacando, entre otros: *"Mejorar la calidad de la edificación y, en particular, de su conservación, de su eficiencia energética, de su accesibilidad universal y de su sostenibilidad"*

*ambiental*". Así, dicho Plan contempla entre otras cosas un programa específico de fomento de la mejora de la eficiencia energética y sostenibilidad en viviendas.

En lo que respecta al actual marco financiero de los fondos FEDER 2014-2020, se encuadra el Objetivo Temático 1 de la Estrategia Europa 2020 "Potenciar la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación". Las Estrategias de Innovación de Andalucía 2014-2020 (RIS3 Andalucía), aprobadas por Consejo de Gobierno el 18 de diciembre de 2012, tienen por objeto impulsar la excelencia en la prestación de servicios públicos a través de la incorporación de soluciones innovadoras y sostenibles, potenciar la innovación empresarial, fortalecer el posicionamiento de las soluciones innovadoras de Andalucía utilizando el mercado público andaluz como cliente de lanzamiento internacional y avanzar en la mejora del gasto público andaluz.

De esta manera, los objetivos de innovación del proyecto están alineados con varias de las prioridades establecidas en el Programa Operativo, en la RIS3 Andalucía, en el PAIDI 2020, etc.

### ***RIS3 (Research and Innovation Strategy for Smart Specialisation). Estrategia de Innovación de Andalucía***

El proyecto se alinea plenamente con la Prioridad 7 de la RIS3 Andalucía: Fomento de energías renovables, eficiencia energética y construcción sostenible y, en particular, con la eficiencia energética en edificación y rehabilitación y con los nuevos materiales y procesos para la construcción sostenible.

La propuesta de vivienda de consumo casi nulo implica el uso y fomento de energías renovables y la aplicación de criterios de alta eficiencia energética y construcción sostenible, empleando y desarrollando nuevos materiales y procesos para la construcción sostenible.

La elaboración de esta Estrategia es un reto que la Comisión Europea ha lanzado a todas las regiones con el objetivo final de propiciar un nuevo modelo económico, centrado en las empresas, y basado en una apuesta firme y decidida por la innovación, la ciencia, la tecnología.

### ***PAIDI (Plan Andaluz de Investigación, Desarrollo e Innovación 2020)***

El proyecto se alinea con los objetivos del PAIDI 2020, concretamente con los objetivos siguientes:

- O.G. 5: Fomento de la Ciencia orientada a la competitividad e innovación. Existencia de PYMEs andaluzas con gran potencial en la construcción y edificación para aplicar la I+D+I a la mejora de la eficiencia energética de edificios y viviendas, dado su positivo impacto sobre el empleo, la calidad de vida, el paso a una economía baja en carbono, la protección del medioambiente y la adaptación al cambio climático.
- O.G.3: Orientación de la I+D+I hacia Retos Sociales andaluces. Respuesta a las necesidades habitacionales avanzando hacia una sociedad más inclusiva, innovadora y reflexiva. Igualmente, contribuye a compatibilizar la salud con el cambio demográfico y el bienestar social y a la acción por el clima, medioambiente, eficiencia de recursos y materias primas. Corrige los bajos niveles de vivienda social existentes en comparación con los países de nuestro entorno, reduce la vulnerabilidad residencial y el retraso en el cumplimiento de la Directiva de Eficiencia Energética de Edificios.
- O.G. 6: Potenciación y consolidación de las infraestructuras de I+D+I de calidad, así como el uso eficiente de las mismas. Aprovecha las infraestructuras, equipamientos científico-tecnológicos y servicios regionales, particularmente, los 38 grupos de investigación y los 15 centros de investigación no universitarios vinculados a la construcción. Apoya actuaciones de I+D+I en el Marco regional de la planificación de la I+D+I en materia de vivienda, logística, transportes, movilidad e infraestructuras del transporte y, en concreto, en el campo estratégico de la vivienda y, dentro de este, en la construcción sostenible.

### ***Estrategia Energética 2014-2020 de Andalucía***

Está alineado con la Estrategia Energética 2014-2020 de Andalucía, que recoge la innovación como una oportunidad estratégica y elemento clave para la mejora de la competitividad, definiendo actuaciones vinculadas a la construcción sostenible.

### ***Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España***

El proyecto refuerza igualmente la alineación con los trabajos preparatorios de la ERESEE 2020 (Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España), siguiendo el mandato europeo recogido inicialmente en el artículo 4 de la Directiva 2012/27/UE de eficiencia energética. El objetivo concreto a nivel europeo que debe ser recogido en las estrategias nacionales: Lograr un parque edificatorio (residencial y no residencial)

totalmente descarbonizado en el año 2050, facilitando la transformación económicamente rentable de los edificios existentes en edificios de consumo de energía casi nula. Y, además, que:

- La nueva ERESEE 2020 debe incluir políticas y acciones destinadas a todos los edificios públicos, incluyendo los de todas las Administraciones Públicas.
- La revisión de la ERESEE debe incluir de forma explícita aspectos como los relativos a financiación, incentivos fiscales y pobreza energética.
- Se debe incluir una Hoja de Ruta, marcando objetivos concretos para 2030, 2040 y 2050 e indicadores medibles (nº de viviendas rehabilitadas, inversión pública, etc.) para permitir la evaluación de su seguimiento y cumplimiento.

### **SELLO VERDE andaluz**

Por último, el proyecto persigue, igualmente, la consecución del SELLO VERDE andaluz, documento que garantiza que el edificio evaluado cumple con determinados estándares de calidad.

## **OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **Objetivos directos del proyecto**

El proyecto nZEISHB generará un modelo de sistema flexible que permita edificar viviendas protegidas plurifamiliares a gran escala, adaptándose a las particularidades climáticas y de emplazamiento y cumpliendo los requisitos de la vivienda protegida y de los edificios de consumo energético casi nulo, y hacerlo en el menor plazo y con la mayor calidad posible aprovechando las ventajas de la construcción industrializada.

Los objetivos del proyecto contribuyen a mejorar el Servicio público de vivienda y los procesos internos de la Administración, permitiendo afrontar los retos actuales y mejorando la prestación de los servicios en los cuáles es competente AVRA, entre los que se encuentra la promoción, construcción y administración de edificios con destino a viviendas protegidas.

En particular, el proyecto contribuye a mejorar la eficacia de AVRA incrementando su capacidad para atender un mayor número de necesidades habitacionales y apoyar así la ejecución y la eficacia de la política de vivienda autonómica. Esta mejora es especialmente oportuna en un contexto en el que es preciso reimpulsar la promoción de viviendas protegidas, las cuales se han reducido un 99,5% entre el período 2008-2012 y el 2017- 2018, pasando de una media anual de 9.113 viviendas a 50 viviendas.

Asimismo, el proyecto dota a la Agencia de mayor eficiencia, pues podrá promover más viviendas en menos tiempo, con más calidad, a menor coste y cumpliendo, o incluso mejorando, las exigencias normativas sobre edificios de consumo energético casi nulo. Esta mejora de la eficiencia dotará a la Administración de capacidades para la satisfacción a gran escala de las necesidades de vivienda, reduciendo el tiempo de respuesta para satisfacer dichas necesidades y mitigando de este modo la inelasticidad de la oferta ante repuntes de la demanda y sus perniciosos efectos sobre los precios.

En concreto, con el proyecto NZEISHB se pretende reducir los plazos de ejecución entre un 30 y un 50%<sup>1</sup>, reducir en un 30% las emisiones en las viviendas de nueva planta, posibilitar ahorros de hasta el 60% en el consumo de materiales y conseguir reducciones de hasta el 90% en la generación de residuos in situ.

Las capacidades de AVRA resultarán así notablemente mejoradas, atendiendo a los sectores más vulnerables y potenciando a la vez la innovación en la construcción.

### **Objetivos indirectos (sociales, económicos y ambientales)**

Indirectamente, nZEISHB contribuirá al incremento de la capacidad pública para mejorar el medio ambiente urbano, reducir el gasto energético de las familias y las situaciones de pobreza energética, un importante problema social hoy día, incrementar el confort térmico de los hogares, su calidad de vida (también en su conocimiento del uso de la energía y la importancia del mantenimiento y uso de la vivienda posteriormente) y su salud, dado que la mejora de la eficiencia energética repercute directamente en la salud de las personas.

El proyecto no solo busca el desarrollo de un modelo de vivienda protegida pasivo, sino que el desarrollo por elementos prefabricados podrá utilizarse para la mejora de todos los proyectos de rehabilitación del parque público, porque

podrá estandarizarse la rehabilitación tipo mejor para cada caso, según sus características, por lo que su desarrollo afectará también directamente a la mejor gestión de estos proyectos, que son una parte bastante importante del trabajo actual de la Agencia.

Este proyecto será exportable a cualquier administración pública con los mismos objetivos principales, teniendo en cuenta que AVRA es el mayor gestor público de vivienda de España y ha sido el mayor promotor de vivienda protegida. Evidentemente, la prestación de sus servicios será mejorada en una medida muy grande, puesto que es su principal tarea técnica actual.

El proyecto nZEISHB tiene, igualmente, un efecto potencial muy elevado sobre el valor añadido bruto (VAB) a nivel empresarial, regional y nacional. En efecto, el sistema, en la medida en que sea explotado por la industria del subsector residencial, crea las condiciones para que el VAB pueda incrementarse hasta un 50% anual debido a que puede reducir los plazos de edificación a la mitad. Es decir, el proyecto sentará las bases para incrementar la productividad y competitividad del ecosistema empresarial de la construcción.

Este potencial daría un nuevo impulso al sector, el cual ha crecido en los últimos años de forma sostenida. Así, el valor añadido bruto a precios básicos del sector de la construcción ha pasado en Andalucía de 7.777 millones de euros en 2014 a 9.887 en 2018, incrementándose un 27,1% entre ambos años, ascenso muy superior al 16,4% experimentando por el conjunto de los sectores.

En cuanto al empleo, una mayor actividad productiva repercutiría en la creación de más puestos de trabajo. Además, el empleo generado será potencialmente más cualificado al estar asociado a las tareas industrialización las cuales requieren una mayor capacitación.

El empleo en la construcción ha recobrado peso dentro del empleo total regional, pasando de representar el 4,9% en 2014 al 6,2% en 2018. Además, el sector ha generado proporcionalmente más empleo que el conjunto de la economía. Así, los puestos de trabajo totales crecieron un 13,3% entre los dos años mencionados, mientras que los puestos de la construcción lo hicieron un 43,9%. El proyecto nZEISHB contribuirá a consolidar esta tendencia positiva del empleo en la construcción.

Por otro lado, el nuevo Plan de Vivienda, Rehabilitación y Regeneración Urbana de Andalucía 2020-2030 (Plan VIVE) contempla, solo para el período 2020-2024 calificar 25.550 nuevas viviendas protegidas en las reservas de suelos del 30% para este tipo de viviendas, por lo que la aplicación de los resultados del proyecto a la ejecución de los objetivos de dicho Plan, permitiría crear 61.200 puestos de trabajo en los próximos 5 años, empleando el ratio comúnmente aceptado de 2,4 empleos generados por vivienda.

Adicionalmente, el proyecto, al dirigirse a la vivienda protegida, tiene un impacto muy significativo en colectivos desfavorecidos, en particular en el segmento de población con menores rentas y en riesgo de exclusión residencial. Asimismo, la industrialización, al desligar la fabricación de los elementos del ensamblaje en el lugar de emplazamiento, favorece significativamente la descentralización de la generación de empleo y el crecimiento de empresas en territorios distintos a aquellos en que se concentra la demanda de vivienda, las grandes áreas urbanas, precisamente aquellos donde el PIB por habitante es menor.

Al margen del impacto positivo en el VAB y el empleo, el proyecto tendrá, previsiblemente, otros impactos socio económicos favorables, tales como:

- Posibilidad de satisfacción a gran escala de las necesidades de vivienda protegida
- Posibilidad de utilización por componentes para la rehabilitación del parque público de vivienda
- Menor tiempo de respuesta para atender necesidades habitacionales
- Establecimiento de colaboraciones público-privadas pioneras en el sector
- Reducción de vulnerabilidad y exclusión residencial
- Reducción de las tensiones en los precios, evitando incrementos motivados por problemas de inelasticidad de la oferta de vivienda ante “tirones” de la demanda
- Mejora del medio ambiente urbano, al reducir las emisiones de carbono de los nuevos edificios
- Menor gasto energético de las familias y reducción de pobreza energética
- Mayor confort térmico y calidad de vida que redundan en mejor salud de los habitantes

El proyecto nZEISHB está orientado, expresa y prioritariamente, a la mejora o protección del medio ambiente y al uso sostenible de los recursos naturales, con incidencias muy positivas en la reducción de la contaminación, reciclaje de recursos y uso racional de insumos y materias primas.

En efecto, las implicaciones sobre el medio ambiente son inmediatas, al reducir a casi nulas las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por las edificaciones llevadas a cabo bajo la metodología diseñada.

Si estimamos que, en base a los indicadores FEDER para el objetivo temático 4 (OT4 - economía baja en carbono), el objetivo es ahorrar 0,34 Ton CO<sub>2</sub>/año y por viviendas, un 30% de las emisiones que estas generan, cuantificables en 1,15 Ton CO<sub>2</sub>/año. Para un horizonte a medio plazo en el que son precisas 25.550 nuevas viviendas, si éstas fueran viviendas de consumo casi nulo, con emisiones de gases invernadero casi nulo, la diferencia de emisiones entre lo existente y las nuevas supone una disminución de emisiones de 29.501 Ton CO<sub>2</sub>/año.

Si partimos de que una vivienda conforme al CTE actual consume un 70% de las que existen en el parque inmobiliario actual, es decir una media de 0,80 Ton CO<sub>2</sub>/año, el ejecutarlas bajo la metodología propuesta ahorraría un total de 20.567,75 Ton CO<sub>2</sub>/año.

Por otro lado, la construcción mediante procesos de prefabricación requiere menor consumo de materiales y otros insumos y, por tanto, menos recursos naturales, reduciendo el consumo energético y la emisión de gases de efecto invernadero, por lo que la huella ecológica durante el ciclo de vida es mucho menor (al menos un 60-70%).

En cuanto a la protección civil o la prevención de riesgos laborales, la prefabricación mejora considerablemente las condiciones laborales de las personas trabajadoras y sus riesgos asociados.

## DESCRIPCIÓN TÉCNICA PRELIMINAR DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA Y SUS FUNCIONALIDADES

nZEISHB pretende llegar a ser un prototipo de sistema constructivo industrializado modular y flexible para proyectar y ejecutar en plazos reducidos y optimizados edificios plurifamiliares en régimen de vivienda protegida y con consumo casi nulo de energía, adaptados a las particularidades climáticas y de emplazamiento. Para ello, se ha diseñado la siguiente solución técnica y funcionalidades:

### Solución propuesta

nZEISHB prevé incluir los siguientes módulos funcionales para el sistema experto y las soluciones constructivas que desarrolle:

1. Desarrollo e integración de elementos constructivos
2. Ventilación sanitaria y nocturna.
3. Energías Renovables e integración con sistemas activos de ventilación.
4. Automatización, monitorización, control y gestión.
5. Industrialización del diseño y la ejecución del Proyecto Arquitectónico.

Para ello será necesario que el sistema tenga capacidades de:

- Desarrollo e incorporación de los modelos físicos y de caracterización del comportamiento térmico de cada uno de los elementos constructivos.
- Desarrollo integral de soluciones constructivas (envolvente, estructura, elementos constructivos, acabados interiores e instalaciones).
- Análisis de viabilidad técnica (mecánica y térmica) económica e industrial para obtener un modelo de negocio sólido y una elevada replicabilidad de los resultados.

### Funcionalidades

Las principales funcionalidades a conseguir serán:

#### *Prototipo experimental virtual:*

- Calidad: Se atenderá a las exigencias constructivas (materiales y procesos) de los niveles más altos de los estándares de certificación de sostenibilidad en la edificación (ver sección siguiente sobre normativa de referencia)

- Economía: Precio de coste máximo compatible con la viabilidad económica de las actuaciones de vivienda protegida con respecto a los distintos programas estatales y autonómicos.
- Consumo energético casi nulo, más allá de los mínimos establecidos por el Documento Básico HE del Código Técnico de la Edificación
- Plazo: Reducción de plazos de ejecución de entre un 30-50%
- Mantenimiento: Renovación óptima del sistema de ACS
- Sostenibilidad: Ahorro de al menos un 60% en el consumo de materiales constructivos, y de al menos el 90% en Residuos de Construcción y Demolición (RCDs).

#### **Sistema de modelado y simulación de elementos constructivos modulares y edificios nZEISHB:**

- Basado en Inteligencia artificial (IA) y herramientas de aprendizaje automático
- Capacidad de modelización y simulación BIM, incluyendo:
- Elementos constructivos, envolvente e instalaciones (incluyendo EERR)
- Climatología local y emplazamiento
- Cálculo de la huella de carbono a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio
- Verificación del cumplimiento de estándares de sostenibilidad
- Estimación de la inversión, periodo de retorno, plazo de amortización y costes de mantenimiento, incluyendo externalidades ambientales.
- Prototipado múltiple y rápido, con reducción de plazos de diseño en un 90%

### **Fases**

El contrato contemplará cuatro etapas para su desarrollo, con duración y dotación económica propia:

1. Exploración de soluciones. Estudio de viabilidad (selectiva)
2. Desarrollo del sistema experto
3. Desarrollo de elementos constructivos y del catálogo
4. Desarrollo del prototipo virtual

### **RESULTADOS**

El proyecto se encuentra en fase preliminar, por lo que aún no se han obtenido resultados. No obstante, los resultados y principales avances técnicos esperados del proyecto serán:

- Un catálogo inédito de elementos constructivos industrializados y un sistema para la gestión y actualización del mismo.
- Un sistema experto, basado en la Inteligencia artificial, para el diseño constructivo modular industrializado, utilizando una base de conocimientos y un motor de inferencia con funcionalidades de aprendizaje automático. Este sistema permitirá modelar edificios en formato BIM y realizar simulaciones energéticas y económicas avanzadas de éstos, incluido el cálculo de la huella de carbono a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio, la determinación del cumplimiento de los principales estándares de sostenibilidad y la estimación de la inversión y sus plazos de amortización y tasas internas de retorno, así como los costes de mantenimiento asociados. Todo ello permitirá garantizar los mejores resultados ambientales y económicos en las actuaciones de promoción y construcción de vivienda social.
- Un prototipo y piloto virtual a nivel de laboratorio en BIM de edificio nZEISHB a construir en una parcela de AVRA. Este prototipo es inédito y supone un avance relevante para afrontar desde la práctica y las evidencias la exigencia de que todos los nuevos edificios sean de consumo energético casi nulo.

# REHABILITACIÓN INNOVADORA DE VIVIENDA SOCIAL: CASO REAL CON MÁS DE 2500 M2 EN JAÉN

**Teresa Palomo Amores, Daniel Castro Medina, M Carmen Guerrero Delgado, José Sánchez Ramos y Servando Álvarez Domínguez**

Grupo de Termotecnia, AICIA, Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla

**Resumen:** Los distritos de viviendas sociales en pobreza energética en el sur de España presentan un grave problema de sobrecalentamiento en régimen de refrigeración. En estos casos, las medidas convencionales para mejorar el rendimiento de la envolvente del edificio no son suficientes. En este trabajo se diseña e integra una solución innovadora en más de 2500 m<sup>2</sup> de cubierta transitable en un distrito de viviendas sociales en bloque situadas en Mengíbar, Jaén. Dicha solución consiste en una cubierta activa que permite la explotación de la inercia térmica y la integración de sumideros medioambientales.

**Palabras clave:** sobrecalentamiento, distritos, rehabilitación, soluciones innovadoras

## INTRODUCCIÓN

Los compromisos actuales propuestos por la Unión Europea con el objetivo de atenuar los efectos del cambio climático llevan a la necesaria actuación sobre el sector de la edificación. La mejora de la eficiencia energética es esencial para la consecución de los objetivos de la Unión Europea en materia de clima y energía, ocasionando una situación de economía hipocarbónica (COM, 2014).

Dentro de este contexto, se encuentran las zonas en pobreza energética de España, caracterizadas por unas necesidades básicas de suministro de energía insatisfechas debido a un bajo nivel de ingresos, cuya situación puede verse empeorada debido a las ineficiencias energéticas de las viviendas. Entre 3,5 y 8 millones de personas se encuentran en situación de pobreza energética en nuestro país, no pudiendo mantener temperaturas apropiadas tanto en verano como en invierno, reduciendo el nivel de confort. Esta situación se ve agravada dentro de los distritos de viviendas sociales en el sur de España, manifestando un grave problema de sobrecalentamiento en régimen de refrigeración. El sobrecalentamiento en los hogares, prolongado durante largos periodos, puede tener graves consecuencias para la salud de los ocupantes (AECOM, 2012). La tendencia al alza de las temperaturas tendrá un impacto directo sobre el aumento de días con altas temperaturas extremas y la reducción de días con bajas temperaturas (Adlington & Ceranic, 2018), haciendo que el problema por sobrecalentamiento sea aun mayor.

Las estrategias convencionales de mejora del rendimiento de la envolvente consiguen una considerable reducción de la demanda de calefacción (Eskander et. al, 2017; Pinheiro et. al, 2016), sin embargo, en la mayoría de los casos provoca a su vez un aumento de la demanda en régimen de refrigeración en los edificios, lo que hace necesario el estudio de soluciones innovadoras. La solución constructiva de la doble envolvente cuenta con grandes ventajas respecto a un cerramiento único, facilitando el enfriamiento nocturno (Monje & Maruri, 2018), sin embargo, posee ciertas desventajas que serán solventadas con la solución propuesta.

En este trabajo, se presenta una solución innovadora en más de 2500m<sup>2</sup> de cubierta activa en un distrito de viviendas sociales en bloque situadas en Mengíbar, Jaén, sirviendo como ejemplo de integración de componentes de alta tecnología. Permite reducir la demanda energética de acondicionamiento a través de la explotación de la inercia térmica, siendo controlado de forma inteligente en función de las predicciones climáticas y contando con diferentes modos de funcionamiento, lo que le permite adaptarse a las necesidades del edificio. Esta solución permite además la integración de sumideros de calor natural como el enfriamiento evaporativo. El uso de sistemas evaporativos directos mediante micronización de agua potencia el efecto del enfriamiento natural.

Este trabajo se enclava dentro de un proyecto de rehabilitación real junto con la Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía (AVRA) con el objetivo de mejorar la eficiencia energética de un grupo de viviendas sociales, aplicando una solución innovadora que permita reducir la demanda energética, así como aumentar los niveles de confort en los residentes. Se presentará en primer lugar la descripción del caso a estudio, seguido por la descripción del elemento, detallando su funcionamiento y resultados, finalizando con un breve resumen y conclusiones.

## CASO A ESTUDIO

El caso a estudio es el distrito de viviendas sociales propiedad de la Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía, situado en Mengibar, Jaén, formado por 150 viviendas, sumando 8400m<sup>2</sup> de edificio residencial (Figura 1).



Figura 1. Representación de los bloques a estudio.

Se caracteriza por un clima severo, especialmente en régimen de refrigeración. La eficiencia térmica de los edificios es bastante pobre, lo que junto con los bajos ingresos de los residentes, hace que los hogares a estudio vivan en una situación de pobreza energética. Para solventar esta situación, se realizará una rehabilitación convencional, mejorando la calidad constructiva de la fachada, a través de la mejora del aislamiento, reducción de las infiltraciones, mejora de los puentes térmicos, etc (Figura 2). Sin embargo, para aumentar el efecto de las anteriores, aumentando la eficiencia energética del parque inmobiliario, en este trabajo se presenta una solución innovadora, consistente en una cubierta activa sobre más de 2500m<sup>2</sup>.



Figura 2. Estado inicial y rehabilitación convencional.

Debido a la situación económica de los ocupantes, no todos los hogares cuentan con un sistema de climatización, lo que provoca que los residentes se vean sometidos a insostenibles temperaturas tanto en invierno como en verano, tal y como se observa en la figura 3.

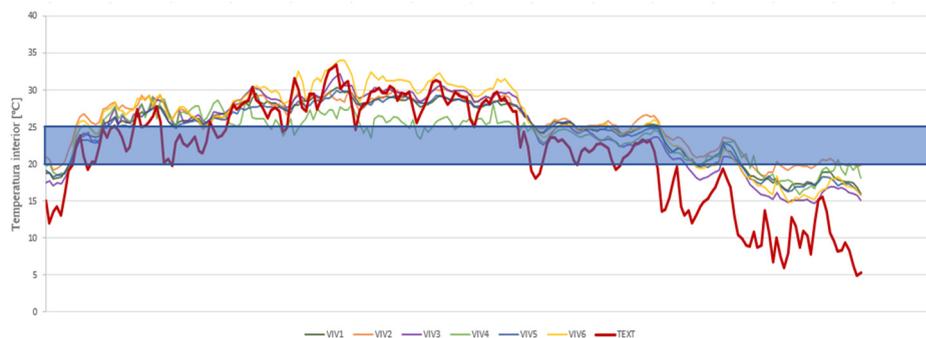


Figura 3. Temperatura media diaria interior del salón para las 6 viviendas.

## DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN DE CUBIERTA

La solución innovadora presentada en este documento ha sido desarrollada por el Grupo Termotecnia. Permite mitigar las consecuencias tanto de las altas temperaturas en régimen de refrigeración, como de las bajas temperaturas en los meses de calefacción.

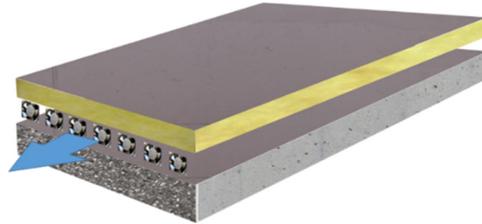


Figura 4. Esquema de la solución innovadora.

Está formada por una cámara de aire de 5 cm de alto entre la cubierta existente y el muro exterior, de tal manera que se asemeja a una fachada ventilada convencional. El muro exterior se encuentra aislado en forma de “sándwich” de EPS, de un espesor total de 8 cm (Figura 5), aportando una gran capacidad de aislamiento a la vez que ligereza y ayudando así a la reducción de la transferencia de temperatura conseguida en la cámara hacia el exterior.

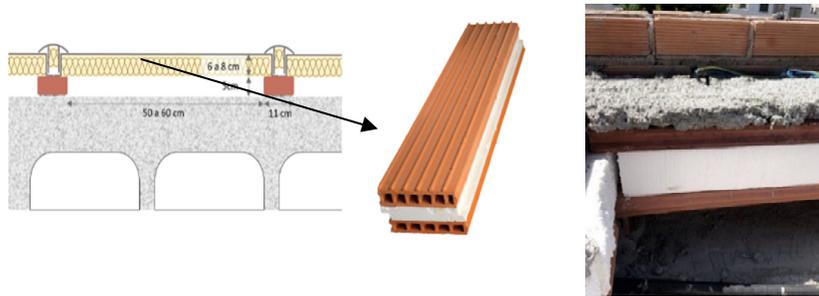


Figura 5. Esquema y resultado real de la capa exterior de la cubierta.

La cubierta diseñada destaca por ser un diseño adaptativo al clima. Por ello, dicha solución presenta dos modos de operación. El modo de operación en régimen de refrigeración (figura 6) consiste en hacer circular durante la noche el aire exterior por la cámara, enfriando la hoja interior. Debido a las altas temperaturas nocturnas, se incluye un sistema de enfriamiento evaporativo permitiendo un descenso pronunciado de ésta. Durante el día, se paran los ventiladores para que el “frio” acumulado se transfiera al interior de las viviendas. De esta manera se consigue disminuir la temperatura del interior de las viviendas, aportando un mayor nivel de confort a los residentes. Durante el régimen de calefacción, la cámara de aire permanece estanca y debido al elevado aislamiento de su hoja exterior se garantizan unas elevadas prestaciones en régimen de calefacción.

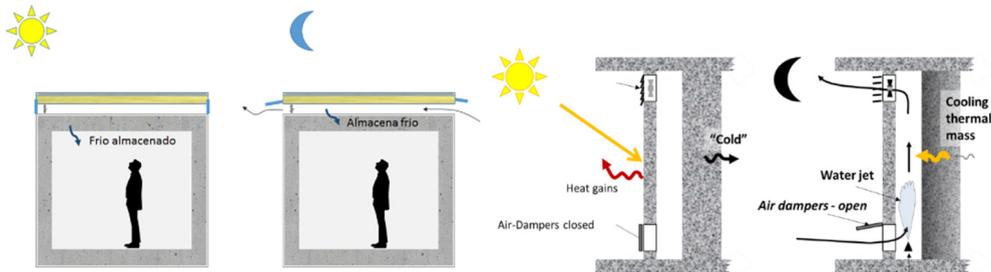


Figura 6. Modo operación régimen de refrigeración.

Para su implantación se diseñaron 3 tipos de módulos usando técnicas CFD. Cada módulo tiene unas dimensiones y geometría diferente (figura 7). El objetivo era poder tener un replanteo sobre las cubiertas lo más repetitivo posible pero garantizando que en todos los módulos se tenía una distribución de aire uniforme. Además del tamaño, la distribución de tabiquillos en el interior del módulo debe garantizar un flujo uniforme en toda la cubierta a partir de una entrada y salida centralizada del módulo. Es importante que se eviten puntos calientes o fríos que reduzcan la eficiencia del sistema. La figura 7 presenta 3 tipologías de cubiertas, las cuales han sido diseñadas por tipología de bloque mediante el análisis aerúlico de las mismas, tal y como se ha comentado previamente. Asimismo, el control de la operación de la mismas se lleva a cabo mediante la integración de un controlador por cubierta.

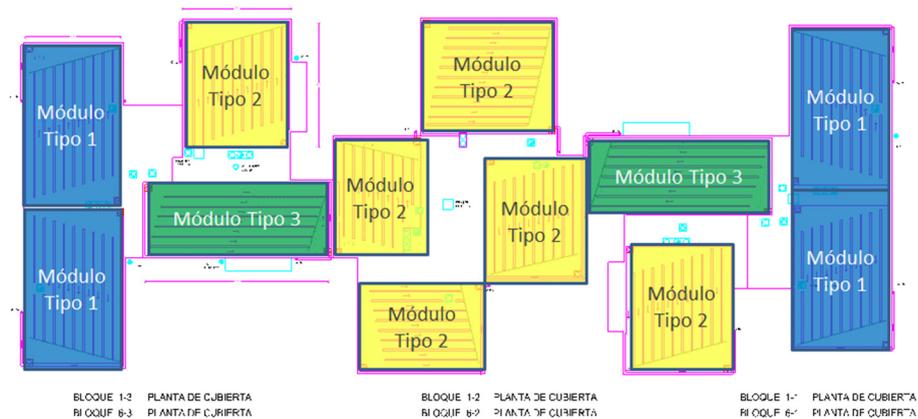


Figura 7. Diseño de cubiertas.

Desde marzo 2019 se está midiendo el consumo eléctrico de un conjunto de viviendas representativas, la temperatura/humedad en salón y el dormitorio principal, y la temperatura superficial del techo del salón en las viviendas bajo cubierta. En los elementos de cubierta se conoce la temperatura de entrada del aire al sistema, el caudal de agua impulsada por el sistema evaporativo, el estado de compuertas / extractor, y la temperatura/humedad del aire a la salida de las cubiertas. Actualmente se está haciendo la puesta en marcha del sistema, tal y como aparece en la figura 8. se está comprobando el funcionamiento de bombas para los micronizadores de la cubierta, apertura y cierre de compuertas, y operación del extractor en su rango de operación.



Figura 8. Actuación real de la cubierta.

## RESULTADOS DE LA FASE DE DISEÑO

En es sección se muestran los resultados finales de la fase de diseño que motivaron a la propiedad a apostar por esta solución innovadora.

Los diferentes paquetes de medidas de mejoras estudiadas son las siguientes:

A0	Situación inicial
A1	Calidades constructivas de componentes: aislamiento de muros
A2	A1+ mejora de puentes térmicos
A3	A2 + mejora de la estanqueidad
A4	A3+ integración de la cubierta activa

Los resultados obtenidos a nivel de bloque muestran que el impacto en la demanda de calefacción es mucho mayor al impacto en modo refrigeración para todo el conjunto de medidas de mejora estudiadas. Sin embargo, como se observa en la figura 9 derecha, el impacto de la cubierta activa en la vivienda situada bajo cubierta reduce enormemente la demanda de refrigeración de la misma, logrando con ello una clara mejora del confort térmico de sus ocupantes.

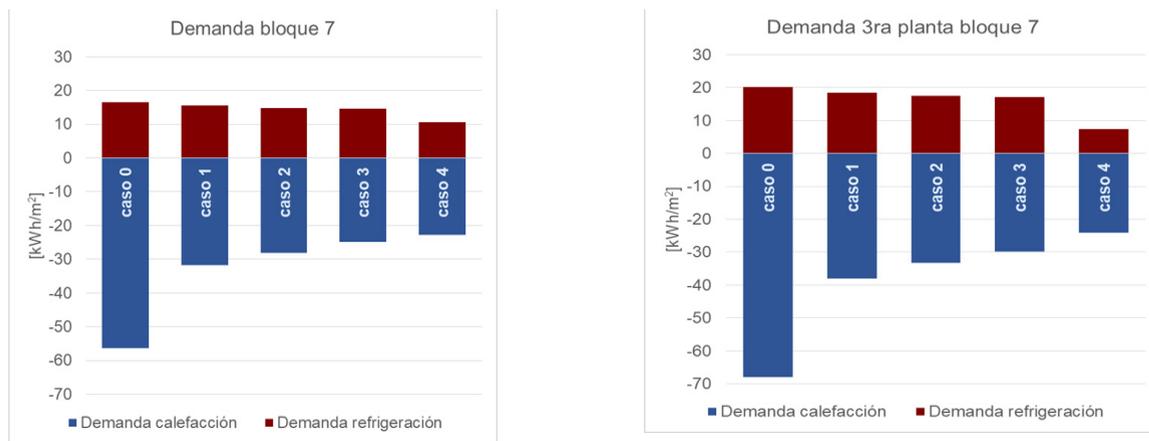


Figura 9. Resultados de evaluación del impacto en fase de prediseño a nivel de bloque y vivienda.

Los resultados de la evaluación del impacto en la vivienda bajo cubierta en términos de confort térmico muestran que la integración de la cubierta activa en régimen de refrigeración es capaz de reducir el nivel de desconfort térmico un 90% aproximadamente, tal y como se muestran en los resultados mostrados en la figura 10. Esto demuestra el interés de dicha solución de rehabilitación en todo el distrito estudiado, tanto a nivel de vivienda bajo cubierta, como a nivel de bloque, tal y como se muestra en la figura 8.

Verano					Verano				
[°C h]	[°C h ppi]	[h]	[% h]	[h ppi]	[°C h]	[°C h ppi]	[h]	[% h]	[h ppi]
$\Sigma T^{\circ} \text{ dif}$	$\Sigma T^{\circ} \text{ dif} \times \text{PPI}$	Comfort V	Comfort V	Comfort V x PPI	$\Sigma T^{\circ} \text{ dif}$	$\Sigma T^{\circ} \text{ dif} \times \text{PPI}$	Comfort V	Comfort V	Comfort V x PPI
4413	2583	1770	60.5	325	880	204	719	24.6	82

Figura 9. Resultados de evaluación del impacto en fase de prediseño en la vivienda bajo cubierta (izquierda: situación inicial y derecha: situación mejorada (A4)).

## CONCLUSIONES

En el trabajo descrito se ha llevado a cabo el diseño e integración de una solución innovadora de cubierta que permite la integración de dos sumideros medioambientales de calor: el aire frío nocturno y enfriamiento evaporativo. La valoración del impacto de dicha solución innovadora fue analizado en fase de prediseño, obteniendo resultados favorables y por tanto motivan a la integración de la solución estudiada en un distrito de viviendas sociales situados en Mengíbar (Jaén). La cubierta diseñada para el distrito de viviendas sociales de Mengíbar destaca su integración en más de 2500 m<sup>2</sup> y ser una de las primeras experiencias reales del mundo de tal envergadura. Dicha solución integra además un control inteligente del funcionamiento de las cubiertas, las cuales funcionarán en función de las condiciones climáticas y las necesidades energéticas del edificio. Actualmente se encuentra en fase de puesta en marcha y será objeto de futuros estudios la evaluación del impacto real de la solución en operación.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quisieran aprovechar esta oportunidad para agradecer a la Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía (AVRA) por la cooperación y apoyo en el trabajo realizado, con el objetivo de promover el desarrollo tecnológico, la innovación y una investigación de calidad.

## REFERENCIAS

- A. Brandão de Vasconcelos, M.D. Pinheiro, A. Manso, A. Cabaço, EPBD cost-optimal methodology: Application to the thermal rehabilitation of the building envelope of a Portuguese residential reference building, *Energy Build.* 111 (2016) 12–25. doi:10.1016/j.enbuild.2015.11.006.
- Adlington M., Ceranic B. (2018) A critical review of the impact of global warming on overheating In Buildings, paper presented at the 7th Global Conference on Global Warming, Izmir, Turkey, 24-28 June.
- COM (2014). A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030
- Ministry of Housing, Communities & Local Government (2012). Investigation into Overheating in Homes: Literature review.
- M.M. Eskander, M. Sandoval-Reyes, C.A. Silva, S.M. Vieira, J.M.C. Sousa, Assessment of energy efficiency measures using multi-objective optimization in Portuguese households, *Sustain. Cities Soc.* 35 (2017) 764–773. doi:10.1016/j.scs.2017.09.032.
- Monje, A., & Maruri, N. (2018). El ahorro energético de una doble piel. Energy savings of a double skin. *The power of skin. New Materiality in Contemporary architectural Design*, 206-222.

# GUÍA AZALA BI: GUÍA DE COSTES Y EFICIENCIA DE LOS DIVERSOS MATERIALES Y SISTEMAS EN LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE LA ENVOLVENTE DE LOS EDIFICIOS

**Ramón Ruiz-Cuevas**, Arquitecto, Luz y Espacio arquitectos  
**Mark Beston**, Arquitecto, Luz y Espacio arquitectos  
**Adan Hernando**, Ingeniero, Luz y Espacio arquitectos  
**Maribel García**, Arquitecta Técnica, Luz y Espacio arquitectos  
**Javier Malave**, Arquitecto Técnico, Luz y Espacio arquitectos  
**Iker Moya**, Arquitecto, Luz y Espacio arquitectos

**Resumen:** Trabajo de investigación que culmina en una Guía de costes y eficiencia de los diversos materiales y sistemas en la rehabilitación energética de la envolvente de los edificios en Euskadi. Es la continuación de la Guía Azala pero con el matiz importante de que toma los datos concretos de monitorización de 6 casos reales de edificios rehabilitados energéticamente; se comparan entre sí, analizando los costes reales de los elementos constructivos relacionados con la envolvente y la accesibilidad. La Tierra es finita por lo que la rehabilitación es el único camino. Las 4 Rs: Reducir, Reutilizar, Reciclar y Rehabilitar. La reducción de emisiones, reducción de consumo de suelo y de materias primas contribuirá a frenar el calentamiento global.

**Palabras clave:** Energética, rehabilitación, accesibilidad, viviendas, fachada, instalaciones, cubierta, envolvente, aislamiento, costos.

## RESUMEN

La materia constructiva; la energía que consume y produce; el tiempo de su ciclo de vida y del ciclo de vida de sus habitantes y por último los espacios arquitectónicos que lo conforman y el espacio urbano que ocupa en la ciudad. En este trabajo nos vamos a ceñir a la materia constructiva y a la energía que consume, ambas cuestiones matizadas por aspectos económicos y sociales. Este pequeño universo es nuestra casa, nuestra segunda piel, que constituye nuestra zona de confort en muchos sentidos. Los edificios que habitamos están constituidos por materia y energía que dentro del contexto actual del planeta Tierra son finitas. La rehabilitación energética ahorra suelo, materias primas y mucha energía gris con sus emisiones de carbono asociadas.

Este trabajo de investigación, lo denominamos “AZALA BI” y es una continuación de la “GUIA AZALA” que analizaba la rehabilitación energética integral de la envolvente en Euskadi; un lugar concreto con unos climas concretos y una realidad social y edificatoria concretas; de las que hablaremos más adelante. Es un complemento y no vamos a repetir los conceptos ya expuestos. Describiremos el resultado final de edificios resumiendo los datos y los aspectos más relevantes comparándolos. Analizaremos otros ejemplos de rehabilitaciones energéticas adscritos al Plan Revive 2012 de ayudas a la Rehabilitación del Gobierno Vasco, como el citado de Zaramaga y los compararemos. Vamos a analizar todo en clave de sostenibilidad y eco-diseño, destacando los aspectos sociales. La sostenibilidad del planeta es el primer problema que tenemos los 7.500 millones de sapiens que vivimos aquí y que tenemos un compromiso con las generaciones futuras, por lo que es un problema fundamentalmente social.

Todo es limitado, los presupuestos públicos y la capacidad económica de los propietarios también por lo que un análisis de los resultados y sus costes pueden ser muy reveladores con el objeto de planificar rehabilitaciones futuras. El estudio de los sistemas de construcción con sus costes finales, los datos de consumo reales y el grado de confort en las viviendas relacionados establecen conclusiones que son el objeto de nuestro trabajo. Es un pequeño paso, una gota de agua en ese océano que supone el GRAN RETO al que nos debemos de enfrentar.

## Metodología

El estudio realizado en la Guía Azala sobre las envolventes y los edificios del periodo desarrollista en Euskadi (años 50, 60 y 70), los datos de monitorización y costes de construcción de los 6 casos de estudio de los ejemplos del plan revive 2012, sirven de referencia comparativa para el trabajo de investigación.

Se analizan los datos obtenidos de la monitorización. Son distintas ubicaciones geográficas y diferentes tipologías formales por lo que el estudio comparativo puede aportar nuevas conclusiones a nuestro trabajo de investigación. Describiendo someramente su situación, edad, características y patologías. Se hará otra “fotografía” del estado reformado describiendo brevemente las actuaciones en la envolvente y en las instalaciones. Se compararán los costes constructivos de la envolvente con y sin andamios y se analizarán por tipologías y distintos materiales de aislamiento y acabados. Se pueden comparar distintos precios: €/viv. total; €/viv. envolvente; €/m<sup>2</sup> de fachada. El objetivo es obtener datos sencillos que se puedan comparar entre los 6 casos de estudio. Se comparan los datos energéticos de la monitorización. Si tenemos los consumos anteriores, la mejora obtenida, discriminar los datos de cal. y poder comparar los consumos en función de las distintas soluciones. También analizar los consumos en función de la tipología y geometría del edificio, ya que no es lo mismo entre medianeras o si esta sobre un porche o tiene locales calefactados debajo, por eso es importante hacer esa descripción previa del edificio y conocer los 6 casos para poder calibrar su comparativa.

### Casos de estudio

1. Rehabilitación integral de la envolvente en edificio de viviendas. c/ LEPANTO nº 5. 48480 ARRIGORRIAGA. De PABLO PRIETO SAINZ Y ROBERTO J. PLAZA CASTRILLO.
2. Proyecto de rehabilitación integral con criterios de eficiencia energética y accesibilidad. PLAZA CORAZÓN DE MARÍA, 2 – 9. BILBAO. De M.V. MORRAS ZUAZO – FRANCISCO GARCÍA.
3. Reforma de edificio. c/ TXALTA ZELAI nº 2 EIBAR. De IÑAKI ANSOLA.
4. Rehabilitación del barrio de Makatzena. c/ MAKATXENA Nº2 ARRASATE-MONDRAGÓN. De Arquitectos: GARBIÑE ERRASTI – JOXE OLEAGA (LKS)
5. Rehabilitación energética integral de 30 viviendas en 3 portales. C/LAGUARDIA 2,4 Y 6 DEL BARRIO DEL ZARAMAGA EN VITORIA-GASTEIZ. De Arquitectos: LUZ y ESPACIO – IMV ARQUITECTOS
6. Rehabilitación integral de edificio. C/ IXPILLA Nº 2, ZARAUTZ. DeArquitectos: MARÍA HERNANDEZ RUIZ.



Figura 1. Rehabilitación energética integral de 30 viviendas en 3 portales c/LAGUARDIA 2,4 Y 6 DEL BARRIO DEL ZARAMAGA EN VITORIA-GASTEIZ Arquitectos: LUZ y ESPACIO – IMV ARQUITECTOS.

### Clasificaciones de regímenes de uso por vivienda

El régimen de uso influye en el consumo de una vivienda, pero además de en este aspecto energético influye en otros aspectos sociales y económicos. En el periodo desarrollista la mayoría de las familias eran del tipo “Nuclear con hijos” y los edificios se proyectaban repetitivamente, según este patrón con 2 o tres dormitorios. A lo largo del tiempo este modelo de familia ha evolucionado. Planteamos una serie de posibilidades de “familia” o modelo social de uso de las diferentes viviendas.

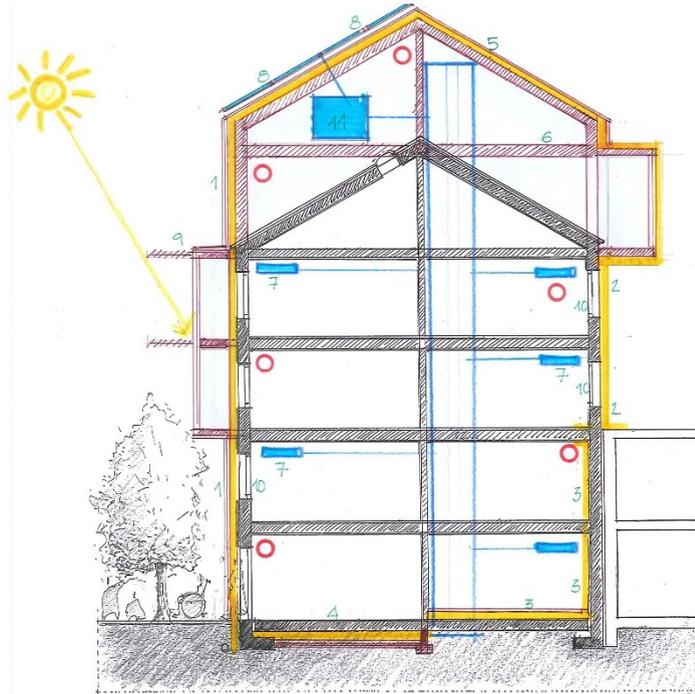


Figura 2. Croquis de Ramón Ruiz-Cuevas, sección edificio tipo rehabilitado energética.

## Gestión de costos de la envolvente en rehabilitación energética integra.

### Comparativa de costos de distintos sistemas de envolvente en edificio tipo en proyectos del programa REVIVE 2012.

Se realizan comparativas de costos para los diferentes elementos constructivos. Los costos y precios que se consideran son datos recopilados de las fuentes de costos estimados. Se debe considerarse las variaciones de precios del mercado. Una materia importante a tener en cuenta en una intervención con actuaciones en la envolvente son las ayudas y subvenciones que ofrecen las diferentes administraciones públicas.

### Comparativa de costes de soluciones destinadas a la accesibilidad

Desde el punto de vista de la accesibilidad en espacios públicos urbanizados, infraestructuras y edificios encontramos en 1974 un programa elaborado por la Comisión Interministerial para la Integración Social de los Minusválidos en el que, entre otras medidas, se recogía la necesidad de superar las limitaciones que para las personas con discapacidad se derivaban de la existencia de barreras arquitectónicas. En estas normas, se fijaban ya condiciones de accesibilidad en aspectos como los aparcamientos, el acceso a edificios, las puertas, los ascensores, las rampas interiores, los pasillos, los aseos, los teléfonos de uso público y la comunicación con edificios e instalaciones complementarias.

Desde entonces es numerosa la cantidad de normativa en materia de accesibilidad disponible, en los distintos niveles: estatal, autonómica incluso local en algunos casos, y ha ido evolucionando y cambiando la manera de proyectar los espacios urbanísticos y los edificios para lograr la accesibilidad universal. Sin embargo, más del 60% de los edificios son anteriores al año 1980 por lo que no se tuvo en consideración la accesibilidad en su diseño y según se desprende del Censo de 2011(3) el 34% de los edificios de la CAPV son accesibles y únicamente el 24% tienen ascensor. Considerando la accesibilidad como un derecho que implica la real posibilidad de una persona de ingresar, transitar y

permanecer en un lugar, de manera segura, confortable y autónoma, implica que las barreras de entorno físico deben ser suprimidas.

Para promover la accesibilidad se hace uso de ciertas facilidades que ayudan a salvar los obstáculos o barreras de accesibilidad del entorno, consiguiendo que estas personas realicen la misma acción que pudiera llevar a cabo una persona sin ningún tipo de discapacidad. Estas facilidades son llamadas ayudas técnicas. Entre éstas se encuentran el alfabeto Braille, la lengua de señas, las sillas de ruedas, las señales auditivas de porteros y ascensores, etc. Las medidas a tomar en los edificios no son siempre las mismas ya que éstas dependen de la naturaleza y características de los mismos, por lo que pueden ser muy variadas. La referencia técnica son las normas vigentes en materia de accesibilidad: CTE DB-SUA, LEY 20/1997, Decreto 68/2000 sus Anejos y Guía de aplicación de la normativa técnica vigente en materia de accesibilidad en la Comunidad Autónoma del País Vasco.

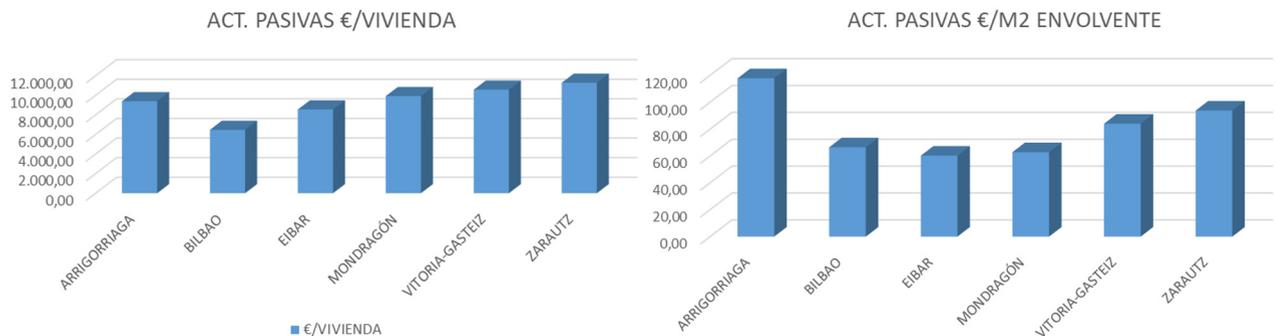


Figura 3. Comparativa las actuaciones pasivas realizadas en la envolvente de cada edificio Revive 2012.

En las zonas comunes del edificio podemos distinguir tres campos generales de actuación: accesibilidad en las plantas del edificio, accesibilidad entre plantas del edificio y accesibilidad de los mecanismos y elementos comunes. La accesibilidad en las plantas del edificio, a excepción de la planta baja, suele estar resuelta ya que no es usual encontrarse desniveles en las plantas. Únicamente algunos edificios, generalmente con estructura de madera, presentan un desnivel a la entrada de las viviendas. En la planta baja, debido a la costumbre y la percepción de elegancia de las escaleras, son numerosos los portales que presentan algún tramo de escalera.

Tanto en las plantas de pisos como en la planta baja, siempre que sea posible, se trasladan los desniveles a los tramos de la caja de escalera existente. En el caso de las plantas de pisos se puede recrear el suelo actual de los accesos a la vivienda, con pavimentos ligeros o aligerados y en la planta baja, se derriba las escaleras del portal y se prolonga el primer tramo de la escalera donde albergar los peldaños derribados.

Además, por simplificar la intervención y porque las dimensiones lo permiten, en ocasiones se derriba únicamente una parte del ancho de la escalera del portal para dar acceso al ascensor a cota cero, y el otro tramo se mantiene que comunicará con la caja de escaleras existente. Por último, en otras situaciones en la planta baja en vez de un tramo de escalera nos encontramos un peldaño o dos, los cuales se pueden salvar realizando una rampa, con sus dimensiones y pendientes adecuadas. Para la accesibilidad entre las plantas del edificio tipo, la única solución es un ascensor con una cabina con unas dimensiones y un acceso adecuado. La accesibilidad de los mecanismos y elementos comunes suele ser relativamente sencilla comparada con las anteriores, y se trata de colocar a una altura adecuada los mecanismos de timbre-llamada, los buzones y los mecanismos de encendido de la iluminación. Debido a que no es muy usual encontrarse desniveles en las plantas piso y que adecuar los mecanismos es relativamente sencillo estudiaremos las distintas casuísticas desde el punto de vista de la accesibilidad entre plantas en función de las existencia o no del ascensor, existencia de planta de sótano, necesidad de levantar cubierta, instalaciones.

#### **Análisis costo-energía – Estimación de calificación energética conseguida por cada envolvente y/o instalaciones en función de los proyectos del programa revive 2012.**

En cuanto al coste de las medidas pasivas: el coste medio de la envolvente por vivienda es de 9.400 €. Si hablamos de m<sup>2</sup> de fachada el coste medio, es de 109 €, en este caso hay diversos tipos de fachada desde SATE a FV y sus precios van desde 70 €/m<sup>2</sup> a 145 €/m<sup>2</sup> aproximadamente.

El coste de las medidas activas es más relativo a la hora de generalizar. En estos casos supone una media aproximada de 2.500 €/vivienda. La media global de activas + pasivas es de 11.900 €/vivienda.

En estos casos de estudio los ejemplos más caros son el de Vitoria-Gasteiz y el de Zarautz, sin embargo, ambas consiguen una mejora de cuatro letras en la calificación energética. Solo el ejemplo de Vitoria obtiene una calificación "A" también siendo el único que emplea ventilación de doble flujo con recuperador de calor.

En relación a los materiales utilizados en los proyectos, destaca el proyecto de Vitoria-Gasteiz con espesores de aislamientos en fachada de 12 cm y en cubierta de 10 cm. La carpintería de PVC con doble acristalamiento con gas argón en su cámara y aislamiento de EPS en la cámara sanitaria. El proyecto de Zarautz contaría con espesores de aislamiento reducidos de 6 cm en fachada y 6-8 cm en cubierta.

La fachada ventilada predomina en los proyectos, incorporándose a la envolvente de los edificios de Arrigorriaga, Eibar, Vitoria-Gasteiz y Zarautz. El proyecto de Mondragón utiliza un SATE para la intervención en fachadas y en Bilbao se realiza un SATE en fachada principal y un insuflado en fachadas posteriores. La combinación de fachada ventilada y SATE la plasman los proyectos de Arrigorriaga y Vitoria-Gasteiz.

En cuanto a las actuaciones activas, la sustitución de calderas predomina en los proyectos, realizándose en Arrigorriaga, Bilbao, Vitoria-Gasteiz y Zarautz. Se incorpora instalación solar para ACS en Bilbao y Eibar. Y el proyecto de Vitoria-Gasteiz cuenta con una instalación de ventilación de doble flujo.

Se observa que el proyecto de Mondragón tiene el coste más bajo de actuación pasiva por m<sup>2</sup> de fachada y de actuación activa por vivienda, sin embargo, mejora únicamente una letra la calificación energética, debido a ello la relación costo por mejora de calificación es la más elevada. Se ha de indicar que este proyecto dispone de la mejor calificación energética antes de la intervención, disponía de una letra D y después de la intervención obtiene una C, como en la mayoría de los proyectos.

Destaca el proyecto de Bilbao como el más eficiente. Este proyecto cuenta con las actuaciones pasivas más económica por vivienda y por el contrario las actuaciones activas son las más elevadas por vivienda y mejora tres letras.

El proyecto de Eibar se podría considerar como un punto medio del estudio, tanto las actuaciones pasivas y activas por vivienda están en unos valores medios de los seis proyectos, así como la mejora de la calificación energética, mejorando tres letras y alcanzando la calificación B.

Los proyectos Vitoria-Gasteiz y Zarautz tienen unos valores elevados en los costes de actuaciones pasivas y activas, reflejándose esta inversión en la mejora en la calificación energética de cuatro letras. Vitoria-Gasteiz disponía de una letra E antes de la actuación y obtiene después de la intervención la letra A. Zarautz pasa de una la letra G a una C.

El proyecto de Arrigorriaga realiza una elevada inversión en las actuaciones pasivas por envolvente y una mínima inversión en actuaciones activas. El resultado en la calificación energética es la mejora de dos letras, obteniendo una calificación C.

## Resultados de monitorización de edificios rehabilitados.

Se pretende dar una visión real de la monitorización de consumos en un edificio y el estado de confort de la vivienda. Se expondrá el cómo realizarla y los datos que se pueden extraer de la misma.

Se tiene en cuenta de cada edificio los siguientes indicadores extraídos de la monitorización:

- Media de humedad relativa por vivienda.
- Promedio de temperaturas y humedad relativa del periodo completo de monitorización.
- Demanda energética en kWh/m<sup>2</sup>año.
- Promedio de temperatura, humedad relativa y demanda energética del global del edificio.

### **Conclusiones extraídas de la monitorización.**

Los resultados obtenidos dentro del mismo edificio son muy dispares. Es lógico que existan variaciones dentro del mismo edificio, teniendo mayor demanda las viviendas en planta baja o cubierta, por tener más superficie de cerramiento no adiabático etc.

Pero se examina que existen diferencias dentro de un mismo edificio de hasta el 600% entre viviendas. Donde de la diferencia de las temperaturas medias interiores en los meses más desfavorables no llega a un grado centígrado. Por

ello se considera que los resultados obtenidos no son representativos como para sacar conclusiones claras de cada una de las rehabilitaciones.

Las grandes diferencias que existen en el edificio pueden deberse a las siguientes causas:

- Tipología de uso de la vivienda, viviendas que pueden estar vacías prácticamente todo el día respecto a viviendas habitadas la mayor parte del día.
- Tipología de uso del sistema de calefacción. Pueden existir viviendas que no tengan todas las estancias ocupadas y por ello, se puedan cerrar los emisores de calor de estas estancias. Falseando así los resultados obtenidos. Ya que la medición de la temperatura y la humedad se realiza en una sola estancia de la vivienda.
- Uso de equipos emisores de calor externos a la instalación de calefacción. Alguna vivienda, puede tener radiadores o estufas eléctricas en alguna estancia. Que aumente la temperatura de la estancia que recibe el equipo de medición, pero la energía consumida el sistema de monitorización no la contabilizaría.
- Diferente uso de la ventilación en las viviendas. El tiempo de apertura de las carpinterías según el tipo de usuario puede variar considerablemente. Lo que aumentaría la demanda en las viviendas con más horas de apertura. Aunque cabe destacar que no se han observado valores de humedad relativa muy altos que indicarían falta o inexistencia de ventilación en las viviendas.

Respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub>, sólo tomando estos 6 casos de estudio del programa Revive 2012 de Gobierno Vasco se ahorran 151 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales.

En un momento histórico; en el que el problema del calentamiento global de la tierra, debido a las emisiones provocadas por la especie humana. Puede estar en un punto de NO RETORNO; se debe de actuar. Este dato demuestra que la inversión en estas políticas es beneficiosa.

Además de todas las mejoras en eficiencia, confort, autoestima vecinal y salud. Quizá el mayor beneficio es en materia ecológica. Se puede concluir que el programa revive 2012 del Gobierno Vasco es un pequeño triunfo, una pequeña ayuda a nuestra plantea.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Gobierno Vasco por destinar fondos a la rehabilitación energética integral y fomentar la reducción de emisiones a través de la promoción y ayuda a la construcción sostenible. Y por habernos dado la oportunidad de hacer pública esta guía. A todos los vecinos de las Comunidades de Propietarios que se han lanzado a ejecutar una rehabilitación energética integral. A los arquitectos redactores de los proyectos del Programa REVIVE 2012. A la empresa Rehabilitaestudio por la documentación aportada.

# REVESTIMIENTO TERMOCERÁMICO DE ALTA TECNOLOGÍA: CONFORT TÉRMICO, AHORRO ENERGÉTICO Y MAYOR PROTECCIÓN PARA LOS EDIFICIOS

**Carlos Araujo Palop**, Socio/Dir. Técnico Arquitecto, Thermoshield España  
**Arturo Cecilia García**, Socio/Dir. Técnico Ingeniero, Thermoshield España

**Resumen:** Los revestimientos termocerámicos de alta tecnología representan un avance muy significativo en la construcción. Esta magnífica solución incluye diversas aplicaciones: revestimiento de fachadas y cubiertas, aplicación en interiores, y revestimiento de elementos industriales como depósitos metálicos de combustibles y tuberías. Una vez aplicado, se define técnicamente como una membrana termocerámica con propiedades endotérmicas. Esta membrana está formada por esferas cerámicas huecas de tamaños microscópicos variables unidas entre sí por un aglutinante y activadores, lo que le permite, en un espesor a partir de sólo 0,3mm, funcionar como una piel que adapta su comportamiento a las condiciones de humedad y temperatura, acumulando humedad y evaporándola en los períodos de verano, enfriando así su superficie y consiguiendo un ahorro energético para los edificios (y por tanto, ahorro económico medio en las facturas de energía de a partir de un 20% en adelante). También refleja la radiación solar en un porcentaje muy elevado, no contiene productos químicos agresivos, y es elástico e impermeable. Al ser un material flexible no se cuartea, y absorbe las fisuras que se producen en las fachadas por las dilataciones y contracciones de los materiales, manteniendo un aspecto estético óptimo de las fachadas a lo largo del tiempo. Por otro lado, tiene una muy alta durabilidad del color. Estos dos factores suponen para los propietarios de los edificios un ahorro muy importante en mantenimiento y renovación de fachadas. El producto para espacios interiores también ahorra energía, es adecuado para personas alérgicas, previene la formación de condensaciones y moho, y regula la humedad en un entorno del 55% (la adecuada para condiciones de confort).

**Palabras clave:** Revestimiento, membrana termocerámica, ahorro energético, confort térmico, reflectividad, permeabilidad variable, higroscópico, elasticidad y eco-friendly.

## INTRODUCCIÓN: EL PROBLEMA DEL CALOR

### El efecto de isla de calor urbana

Las ciudades tienen su propio clima, que se ve influido por el desarrollo urbano y las emisiones. La temperatura en la ciudad es generalmente más alta que en las zonas rurales. La diferencia puede ser de hasta 10° C. La temperatura se ve afectada, entre otras cosas, por las propiedades térmicas de los materiales de construcción y las propiedades de radiación de sus superficies. Otros factores de influencia incluyen la localización geográfica de la ciudad, su geometría y la distribución de sus edificios, así como su tráfico, la industria y el comportamiento de sus habitantes.

Esto hace que se cree un efecto de isla de calor que impacta en la salud humana y en la naturaleza: Estrés térmico en el cuerpo humano, mayor consumo de energía de los sistemas de aire acondicionado y mayor número de días cálidos y noches calurosas.

Los sistemas de aire acondicionado emiten aire caliente al ambiente durante el proceso de refrigeración y consumen energía eléctrica. La Agencia Internacional de Energía (IEA, Francia) estima que el consumo de energía de los sistemas de aire acondicionado se habrá triplicado en todo el mundo para el año 2050.

Esto requiere soluciones que reduzcan de forma inteligente la demanda de energía tanto en invierno como en verano, minimicen las emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>) y limiten el impacto del efecto de isla de calor urbana.

## EFFECTOS POSITIVOS DE LA MEMBRANA TERMOCERÁMICA CON EFECTO ENDOTÉRMICO EN LA ENVOLVENTE DE LOS EDIFICIOS Y EL INTERIOR DE LOS ESPACIOS

Parte de la solución del efecto de isla de calor urbana es evitar que la envolvente de los edificios se calienten del modo en que lo hacen debido a la radiación solar. Con este fin, la membrana termocerámica con efecto endotérmico Thermoshield se puede aplicar en el exterior e interior de las edificaciones reduciendo sensiblemente el consumo energético. Esta tecnología permite también un ahorro en calefacción en invierno gracias a sus propiedades.

## APLICACIÓN EN CUBIERTA

Las cubiertas de los edificios son la parte de los mismos que más radiación solar reciben. El innovador revestimiento de cubiertas Thermoshield TopShield ha sido desarrollado con el propósito de evitar que las cubiertas se calienten, maximizando la reflectancia de la radiación solar gracias a su composición química, y añadiendo el efecto de enfriamiento por evaporación. El producto tiene una Reflectancia Solar Total de 91,4%, un Índice de reflectancia solar (SRI) de 111, y una Emisividad de 88% según ensayos realizados por laboratorios independientes.

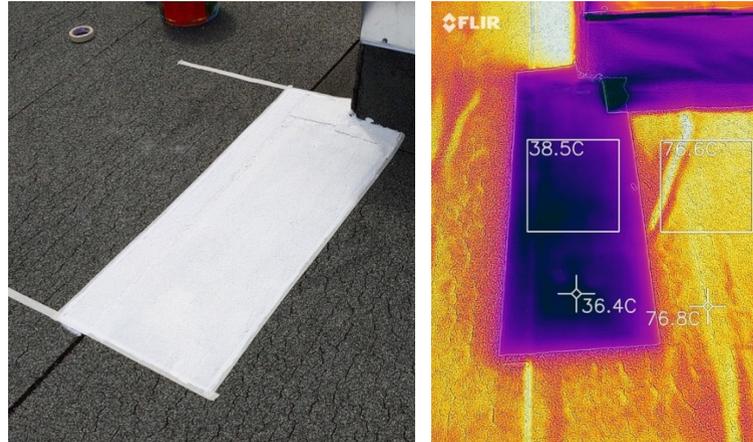


Figura 1. Aplicación de Thermoshield Topshield en cubierta de tela asfáltica. Se observa la diferencia de temperatura en la zona revestida y en la que no, con una diferencia de temperatura de 40.4°C.

Adicionalmente a la reflectancia de la radiación, la tecnología de membrana proporciona un enfriamiento adicional de la cubierta a través de un proceso de evaporación; el revestimiento absorbe humedad del ambiente, que al evaporarse cuando se expone a la luz solar produce un enfriamiento.

Esto funciona igualmente cuando la cubierta no esta revestida en blanco, consiguiendo un efecto de enfriamiento relativamente alto mediante la evaporacion incluso con colores mas oscuros. Esto supone un ahorro en el esfuerzo de refrigeración en zonas calurosas a partir de un 20%, y que puede llegar al 50% en caso de construcciones sin aislamiento.

## APLICACIÓN EN FACHADA

La tecnología Thermoshield permite a la membrana adaptar sus propiedades y comportamiento a las condiciones climatológicas exteriores y a la estación del año en la que nos encontremos, tal como hace la piel en el cuerpo humano.

Durante el invierno, la membrana, formada por microesferas cerámicas huecas, protege a la fachada de la entrada de agua y humedad exterior, mientras que absorbe la humedad del interior de los muros favoreciendo el aislamiento térmico.

En verano, las propiedades endotérmicas de Thermoshield le permiten acumular humedad, tanto del interior de los muros por capilaridad como del ambiente exterior en su superficie por adsorción, generando un proceso de evaporación que, unido a su alta reflectancia de la radiación solar, reduce la temperatura de las fachadas y consigue un importante ahorro de energía en aire acondicionado.

Los edificios protegidos por estos revestimientos minoran las perdidas térmicas y se reduce el esfuerzo de calefacción hasta un 20-30%. Al mismo tiempo los periodos de amortización de la inversión son muy reducidos siendo la relación precio/rendimiento comparable a la de una pintura de dispersión normal.

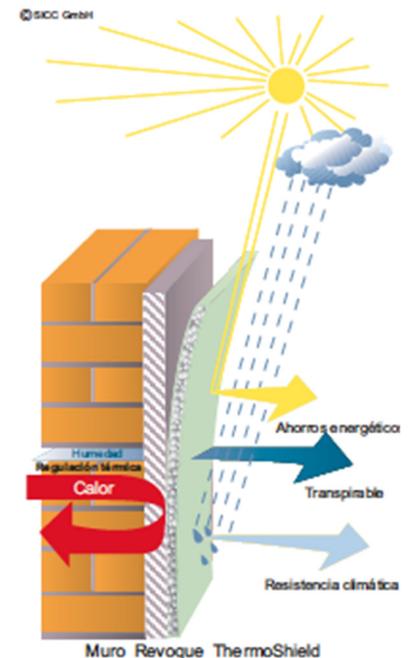


Figura 2. Como actúa Thermoshield.

## APLICACIÓN EN ESPACIOS INTERIORES

El aplicar este tipo de productos en el interior de viviendas y edificios contribuye también a frenar las emisiones y el ahorro energético. Por un lado, el control de la humedad interior es posible gracias a su capacidad de difusión del vapor, regula la humedad relativa de los espacios interiores en el entorno del 55%, que es el valor que proporciona las condiciones de confort. Por otro lado, la membrana termocerámica se ocupa de lograr una distribución homogénea del calor en la estancia mediante un efecto endotérmico. La diferencia de temperatura entre el suelo y la zona del techo puede así suponer menos de 2 °C, en lugar de unos 10 °C, que es lo habitual en estancias con sistemas de calefacción por radiadores o aire acondicionado. De esta forma, evitamos el efecto “pies fríos-cabeza caliente”, tan dañino para el bienestar de las personas.

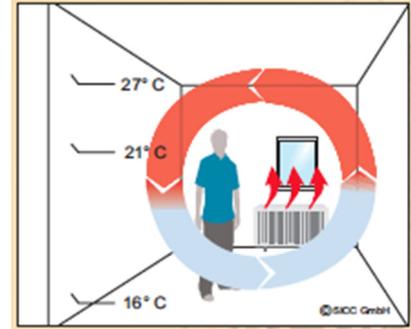


Figura 3. Rodillo de aire.

Además, se consigue un confort térmico en cualquier estación del año. En verano, absorbe la humedad de la envolvente y la expulsa hacia la superficie de la pared, de manera similar a como en verano se enfría la piel mediante la sudoración, provocando un frescor agradable incluso sin aire acondicionado. En invierno, las microesferas cerámicas irradian el calor de una manera uniforme desde las paredes y el techo, generando una sensación de confort. Además, las paredes están más secas al haberse extraído la humedad de su interior, consiguiéndose un mejor aislamiento térmico. Evita la aparición de mohos incluso en zonas de poca ventilación como garajes.

## PROYECTO EN CUBIERTA

**Reducción de la temperatura en más de 20° C a través de un revestimiento cerámico con protección simultánea contra el agua, la corrosión y los efectos de los productos químicos.**

Malasia, especialmente en la parte occidental está expuesta a un clima cálido y húmedo durante todo el año.

Los componentes metálicos están expuestos a un estrés térmico y de oxidación mucho mayor en comparación con Europa Central. Esto hace necesario encontrar de manera urgente soluciones inteligentes relacionadas con el agua y el calor.



Figura 3. Nave industrial en Malasia. Exterior cubierta (antes-después): el Revestimiento de la cubierta redujo la temperatura de la superficie en 24,7°C. Figura 4. Interior cubierta (antes-después): la temperatura se redujo en 19,3°C. Resultado: mejores condiciones de trabajo ahorro de energía, reducción de costes de mantenimiento de la cubierta

### Problema y Situación inicial

Cubierta de metal de 15.500 m<sup>2</sup> oxidada y con goteras en área industrial. Con las lluvias el agua penetraba al interior del edificio produciendo goteras visibles en los pasillos de la nave. La temperatura interior bajo el techo de la nave

alcanzaba prácticamente 60° C de temperatura, resultando imposible a los empleados soportar tanto calor en el interior. Los gastos de climatización para mantener la nave con una temperatura más baja eran muy elevados.

### Idea y solución

En un proceso de varias etapas, se limpió la oxidación de la cubierta tanto por dentro como por fuera. Los elementos de fijación, los orificios para tornillos y las juntas de la cubierta se cubrieron con malla geotextil. Después todo se revistió con una imprimación ignífuga y posteriormente se aplicó Thermoshield Topshield mediante pulverización

Los objetivos eran los siguientes:

1. Eliminar las goteras de la cubierta.
2. Evitar la oxidación y desprendimiento de partículas.
3. Reducir significativamente la temperatura interior de la nave.

## CONCLUSIÓN

Se pudo reducir de manera significativa el esfuerzo de refrigeración de la cubierta. La renovación total junto con las propiedades especiales del producto de Thermoshield también ahorran costes de operación y mantenimiento a largo plazo.

Temperatura °C	antes	después	Reducción de Temperatura
Cubierta Exterior	64,7°	40,0°	24,7° ↓
Cubierta Interior	57,1°	37,8°	19,3° ↓

Tabla 1. Reducción de temperatura en cubierta exterior y cubierta interior.

## PROYECTO EFICIENCIA ENERGÉTICA

**Proyecto para mejorar la eficiencia energética y aumentar la proporción de fuentes de energía renovables utilizando el ejemplo de un proyecto agrícola polaco: BIOSTRATEG 1/269/056/5 / NCBR / 2015.**

Extracto del informe original. El objetivo consistía en evaluar la aplicación de soluciones modernas e innovadoras de revestimientos aislantes y reflectantes del calor en un granja agrícola destinada a la cría y a la producción.



Figura 5 y Figura 6. Granja agrícola en Jaworz-Jasienica, Polonia.

### Situación inicial y problema

La radiación solar en las superficies exteriores del edificio, especialmente en la cubierta, hace que el interior del edificio se caliente. El mantenimiento de una temperatura interior de 18-25°C, especialmente en los meses de verano o en momentos de alta irradiación solar, solo fue posible con la ayuda de unidades de refrigeración. Los métodos habituales de protección térmica para reducir el coeficiente de conductividad térmica, utilizando materiales de aislamiento térmico y aumentando el espesor del aislamiento, ya habían alcanzado sus límites.

### Idea y solución

En este caso se eligió un enfoque innovador para el problema del aislamiento térmico. Esto consistía en reducir la carga de calor que penetraba desde la superficie del edificio o inhibir la transferencia de calor desde el exterior hacia el interior tanto como fuera posible. Este enfoque exacto de solución innovadora fue la aplicación de un “revestimiento

térmico reflectante” en las superficies de la cubierta y la pared. Los productos seleccionados con tecnología de membrana reflectante de efecto endotérmico provienen del fabricante Thermoshield.

Tabla: Gasto total estimado para aislamiento térmico de la granja en Jaworz-Jasienica y los períodos de amortización.	Ahorro energético en ventilación de edificios 14.810 kWh resp. 8.145 Zł/año	Coste de aislamiento de paredes laterales y finales (Zł)			período de amortización	
		Área lateral (m²)	123,75	Área de Cubierta (m²)		Coste total (Zł)
		Área frontal (m²)	117,60	554,40		
aislamiento con revestimiento reflectante térmico		7.837	19.128	26.964	3,3 años	
aislamiento adicional - poliestireno expandido		36.367	47.398	83.765	10,3 años	
aislamiento adicional - lana mineral		22.426	29.229	51.655	6,3 años	
aislamiento adicional - espuma de PU de celda cerrada		16.424	21.406	37.829	4,6 años	
aislamiento adicional - espuma de PU de celda abierta		24.636	32.108	56.744	7,0 años	

Tabla 2. Gasto total estimado para aislamiento térmico de la granja en Jaworz-Jasienica y los períodos de amortización.

## CONCLUSIÓN

El uso de revestimientos reflectantes demostró ser la solución más rentable, prácticamente independiente de la tecnología de diseño de paredes y cubiertas. Se debe resaltar lo siguiente:

- La influencia positiva en la estabilización de la temperatura en estas naves agrícolas
- La reducción significativa de la ventilación requerida para el enfriamiento (del 300% de intercambio de volumen de aire por hora al 25%)

## MATERIAL, CERTIFICACIONES Y APLICACIÓN

El revestimiento termocerámico que se ha utilizado en ambos proyectos es Thermoshield Topshield, que cumple con las estrictas pautas de eficiencia energética de EnergyStar. En uno de los estándares más estrictos del mundo relacionado con las emisiones químicas, Topshield recibió el certificado Greenguard “Gold”. Los productos Thermoshield son en base agua y libres de disolventes y productos químicos agresivos, estando recomendados para personas alérgicas y asmáticas.

Este tipo de revestimientos se pueden aplicar sobre todas las superficies sólidas, limpias, secas, libres de óxido y libres de grasa, como metales, materiales sintéticos, fibras sintéticas y superficies firmes previamente pintadas. Su aplicación puede hacerse con brocha, rodillo o método de pulverización con pistola airless, siendo este último el más utilizado en caso de cubiertas al permitir que el acabado sea más uniforme.

## CONCLUSIONES

Los productos Thermoshield, basados en la tecnología única de membrana reflectante de efecto endotérmico, garantizan un ahorro significativo en el consumo energético de los edificios, contribuyendo a la sostenibilidad del medio ambiente.

La carga de calor de los espacios interiores se reduce significativamente en verano, mientras que en invierno se limitan las pérdidas de calor, al mismo tiempo que se controla el nivel de humedad interior en un porcentaje adecuado para el confort ambiental.

Al mismo tiempo, eliminan, previenen y evitan de manera eficaz el moho, los hongos, las algas, el musgo, la suciedad y agrietamiento en las fachadas, así como la entrada de humedad, que puedan darse como consecuencia de lluvia fuerte sobre las cubiertas.

Esto da como resultado beneficios relacionados con condiciones de vida más saludables y mejor protección de la estructura de los edificios, generando un ahorro económico complementario al ahorro derivado de la reducción de consumo energético.

# CÓMO GARANTIZAR LA PERFECTA EJECUCIÓN DE SISTEMAS DE CUBIERTA EFICIENTES Y SOSTENIBLES

Carlos Hernández Puente, Managing Director Italia, España y Portugal, BMI Group

**Resumen:** Para garantizar el resultado de una rehabilitación de mejora energética, debemos asegurar una perfecta instalación de los sistemas de cubierta por profesionales cualificados. A través de programas de formación y certificación de instaladores y el control de la ejecución en obra de sistemas de cubierta preindustrializados, podemos asegurar el cumplimiento de los requerimientos definidos en el proyecto de rehabilitación de EECN y otorgar garantías de sistema de instalación al usuario final. Todo ello usando herramientas digitales que facilitan el seguimiento de la ejecución de la obra y otros sistemas de cubiertas inteligentes (RFID).

**Palabras clave:** Rehabilitación Energética, Industrialización, Sistemas, Cubiertas, Impermeabilización, Digitalización, Instalador certificado, Eficiencia.

## SISTEMAS DE CUBIERTAS INSTALADOS POR PROFESIONALES CERTIFICADOS

Dentro del objetivo de descarbonización, tanto en rehabilitación como en obra nueva, la eficiencia energética es clave junto con otros factores de gran relevancia como la economía circular, la electrificación, digitalización e industrialización. Es aquí donde un sistema de cubierta diseñado y calculado para el fin, es la solución más adecuada frente a un conjunto de materiales.

**Una formación adecuada con una posterior certificación** hará que el instalador pueda desarrollar su labor de forma rápida, garantizando una implementación adecuada de los distintos materiales que conforman el sistema. Esta formación está basada en los distintos aspectos que engloban a los sistemas de cubiertas, desde los conceptos básicos de la física del tejado hasta la resolución de los puntos singulares que pueden aparecer en una cubierta, para que de este modo se eviten las patologías habituales por desconocimiento de conceptos técnicos básicos.

El instalador certificado añade otra ventaja más y de gran importancia: el **contacto directo con los servicios técnicos del fabricante**, que al estudiar de forma conjunta los proyectos junto con prescriptores e instaladores, pueden llegar a establecer soluciones singulares ad-hoc para cada proyecto, con la previsión adecuada para conseguir un trabajo planificado y en tiempo.

## Los beneficios de un sistema de cubierta

Un sistema de cubierta se diferencia de un conjunto de materiales en que este ha sido diseñado específicamente para su funcionamiento conjunto.

- **Eficiencia energética:** La implementación de una envolvente térmica adecuada en consonancia con la impermeabilización apropiada ha de estudiarse no solamente en términos de espesores de aislamiento, sino desde el punto de vista del confort. Los sistemas preindustrializados de cubierta están diseñados para el cumplimiento de la normativa en la totalidad del territorio, reduciendo la demanda energética y consiguiendo el ahorro de energía. La construcción vista desde el punto de la física permite entender conceptos como la conductividad térmica de los distintos materiales aislantes, sus compatibilidades con productos de impermeabilización y las fijaciones de los mismos.
- **Control de la difusión del vapor:** este es un concepto que está relacionado directamente con las conductividades térmicas de los materiales, así como sus valores de permeabilidad. Reflejadas también en normativa las bases de su cálculo, el sistema de cubiertas está diseñado para evitar la condensación intersticial en todo el territorio nacional. Esto se soporta con herramientas de cálculo a disposición de los Arquitectos e Ingenieros.
- **Estanqueidad y salubridad:** tal y como está reflejado en el CTE DB HS, tanto para los materiales de cubierta inclinada como los de cubierta plana, los sistemas de cubierta están diseñados para el cumplimiento con este requisito básico para cualquier tipología de proyecto.

Ejemplos de sistemas de cubiertas:

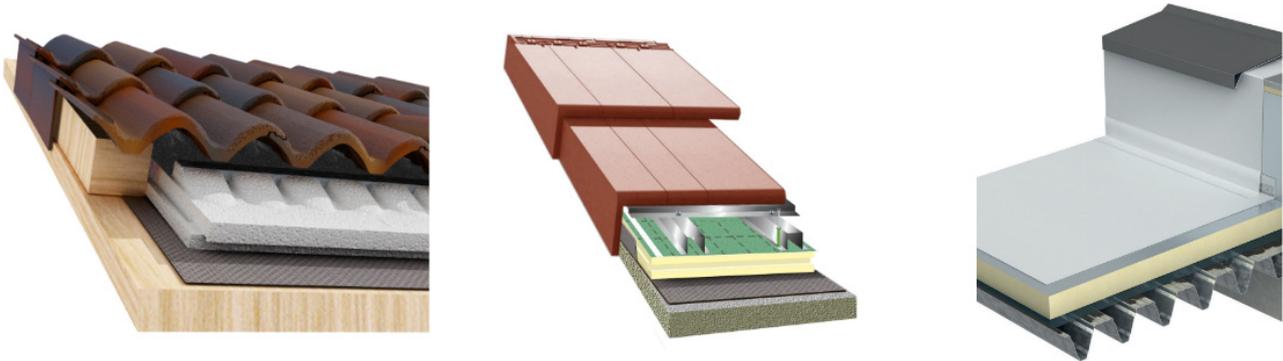


Figura 1. Sistemas técnicos de cubiertas.

Todo lo que ha sido reflejado en los puntos anteriores es clave para poder reducir la demanda energética del edificio, más importante si cabe en los proyectos de rehabilitación de nuestro ineficiente parque de viviendas. Y esa reducción de la demanda energética es una palanca fundamental para conseguir los objetivos de descarbonización.

La **formación continuada de los instaladores** sobre estos conceptos asociados a los sistemas de cubiertas es clave para generar de este modo un mejor conocimiento y entendiendo por qué han de instalarse de un modo determinado.

## Profesionalización de la instalación

La calidad de la ejecución en cualquier actuación de rehabilitación u obra nueva es posiblemente la principal preocupación de promotores, propietarios, técnicos prescriptores y fabricantes.

Es por ello que debemos dar un paso adelante en la profesionalización de la instalación de cubiertas. A través de Programas de Certificación de Instaladores se puede ayudar a los propietarios para que saquen el máximo partido de su inversión, con una total confianza en su proyecto de cubiertas y siempre con la máxima garantía. Del mismo modo, se ayuda también a las empresas instaladoras a desarrollar sus negocios y diferenciarse precisamente por la calidad de la ejecución.

Dichos Programas deberán cubrir los siguientes aspectos:

- **Compromiso con la formación.** Es importante que las empresas cuenten con un programa de formación continua para los instaladores, desde los más prácticos para la implementación de los sistemas en obra con resolución de puntos singulares de cubierta y aspectos genéricos de la instalación, hasta temas más técnicos como física de la construcción, diseño de cubierta, cálculo de viento a succión. Solo así se conseguirá brindar al alcance de los instaladores un programa formativo que les permita mejorar su conocimiento sobre la implementación de los sistemas para la obtención de las garantías asociadas.
- **Certificación de empresas instaladoras.** Hay programas punteros que permiten la certificación de los instaladores en distintos niveles, en función de diferentes factores como los cursos formativos o la comprobación continuada de la calidad de la ejecución en proyectos.
- **Apuesta por los Sistemas Constructivos.** Un sistema constructivo es la herramienta que permite al instalador llegar más allá en un proyecto, gracias al conocimiento que adquiere del mismo y las garantías asociadas.
- **Apoyo técnico desde la fase de diseño hasta su puesta en obra.** Este asesoramiento tanto a los Arquitectos e Ingenieros que están desarrollando proyectos como a los propios Instaladores, es clave para una correcta implementación de un sistema adecuado de cubierta. Por medio de herramientas específicas de Prescripción ayudando a los técnicos, softwares de cálculo térmico y análisis de condensación intersticial, detalles constructivos específicos para cada proyecto, o incluso los cálculos de viento a succión se consigue que el sistema de cubierta sea el adecuado para cada proyecto, beneficiándose no sólo los prescriptores, sino también los instaladores y en última instancia el propietario del edificio.
- **Colaboración con propietarios y promotoras para el correcto diseño de la cubierta.** Los propietarios necesitan tener la tranquilidad (peace of mind) de que su proyecto se ejecuta correctamente por instaladores certificados

y con la garantía sobre el resultado en lo que respecta a problemas de impermeabilización así como alcanzando los estándares de eficiencia energética requeridos.

- **Seguimiento e inspección en obra.** La colaboración y trabajo conjunto con los instaladores es clave en la perfecta ejecución de una cubierta. Es por ello que de forma regular los proyectos son visitados para el control de la ejecución, así como la ayuda al instalador para que pueda realizar su labor y se pueda dar la garantía de forma adecuada.
- **Garantía incluyendo instalación - Solution Guarantee.** Con todas la herramientas, asesoramiento y trabajo colaborativo descrito, es fundamental poner a disposición de los propietarios una garantía que supera la exigida por ley a los productos, garantizando igualmente la mano de obra a través de los instaladores certificados. De este modo el propietario tendrá siempre la tranquilidad sobre el resultado final de su proyecto de rehabilitación.

## Digitalización

Es importante tener los **sistemas de cubiertas digitalizados** para poder sacar el máximo partido a su diseño y mantenimiento.

Un ejemplo de **digitalización en el mantenimiento** son las cubiertas que hablan por sí mismas. Son cubiertas que, durante el proceso de fabricación, se les inserta un **chip RFID RoofTag**. Cada chip contiene información EAN - datos de producción de la lámina- lo que permite su trazabilidad. La información de este chip se puede escanear y leer a través de un lector RFID (Identificador por radiofrecuencia).



Figura 2. Chip y lector RFID.

El control y monitorización en obra se hace imprescindible cuando las soluciones de cubierta dejan de ser la suma de varios productos para convertirse en Sistemas integrales de cubierta.

Uno de los aspectos clave en este punto es tener un **método de monitorización de obra** en el que, a través de informes técnicos mediante el uso de herramientas digitales, queden revisadas las cubiertas durante los tiempos de construcción. Es importante también que estos informes sean compartidos con los instaladores involucrados, Dirección Facultativa y contratista.

La monitorización para la correcta ejecución en obra se dirige de los diferentes dossiers técnicos de aplicación basados en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE, Documentos de Idoneidad Técnica del Instituto para la Ciencia de la Construcción Eduardo Torroja, incluso de la Evaluación Técnica de Aplicación europea EOTA.

Respecto a la **digitalización en el diseño**, es importante no dejar a un lado la inclusión de los objetos de la cubierta con la tecnología BIM. Los fabricantes tienen disponibles en las plataformas habituales los objetos BIM para Revit o Archicad de los Sistemas integrales de cubierta, pudiendo disponer incluso de los archivos de texturas de los materiales y de este modo poder previsualizar elementos de cobertura diferenciales.

Por último, la tecnología digital adquiere un papel de vital importancia también en la **formación de instaladores**, avanzando en su profesionalización a través de videos y soporte online en las fases de instalación, para poder alcanzar en definitiva el resultado deseado para nuestra actuación de rehabilitación.

## REFERENCIAS

- Cubierta Plana: <https://www.bmigroup.com/es/paginas-de-documentacion/catalogos/cubierta-plana>
- Cubierta Inclinada: <https://www.bmigroup.com/es/paginas-de-documentacion/catalogos/cubierta-inclinada>
- BMI RoofPro: <https://www.bmigroup.com/es/paginas-de-documentacion/catalogos/bmi-roofpro>
- Documentación: <https://www.bmigroup.com/es/documentacion>
- Test comparativo de instalación: [https://www.youtube.com/watch?v=miMSqQM7\\_Vo](https://www.youtube.com/watch?v=miMSqQM7_Vo)

# SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED CON CONTROL MAGNÉTICO E INTEGRACIÓN DE SENSORES IOT PARA EDIFICIOS INTELIGENTES

Héctor F. Chinchero, Doctorando, Universidad de Oviedo, España  
 J. Marcos Alonso, Profesor, Universidad de Oviedo, España  
 Hugo Ortiz T., Profesor, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador

**Resumen:** Este documento presenta un sistema de iluminación LED que utiliza Control Magnético (CM) en el lado del controlador de iluminación para aplicaciones de edificios inteligentes (EI). Las consideraciones sobre EI se presentan centradas en el confort, seguridad, eficiencia energética y las comunicaciones en edificios que utilizan tecnologías y protocolos de Internet de las cosas (IoT). También presenta la aplicación de CM en controladores LED RGB con topología de un solo inductor y múltiples salidas denominada SIMO, como caso de estudio. Por último, se presenta una infraestructura de Sistema de Iluminación LED Inteligente con CM e integración de sensores IoT para Edificios Inteligentes.

**Palabras clave:** Edificio Inteligente (EI), Control Magnético (CM), Single Inductor Multiple Output (SIMO), Internet de las Cosas (IoT).

## INTRODUCCIÓN

La iluminación LED es cada vez más una de las tecnologías de iluminación de mayor uso en entornos residenciales, edificios comerciales, vías públicas, parques, edificios industriales, campus académicos, hospitales, hoteles, etc. Muchos fabricantes de luminarias están desarrollando nuevas tecnologías de encapsulación y sobre todo implementando nuevas tecnologías de control, controladores y metodologías optimizadas para sistemas de iluminación LED. Los convertidores CC-CC se utilizan generalmente para el control de iluminación LED, que funcionan en diferentes puntos de operación de acuerdo con la modificación de parámetros tales como el ciclo de trabajo, la frecuencia, etc.

Un método emergente para controlar los convertidores CC-CC es el control magnético (CM) [1]. Con CM es posible regular las condiciones de la salida del convertidor en función de la variación de la inductancia del filtro del convertidor. La variación de la inductancia se realiza mediante el uso de un inductor variable (IV) que cambia según el efecto producido por un bobinado auxiliar a través del cual circula una corriente de polarización [1][2]. Por otro lado, en electrónica de potencia, el control usando un solo inductor y múltiples salidas denominada (SIMO) se utiliza en convertidores que funcionan con un solo inductor como elemento de control de entrada para la regulación de múltiples canales de salida de corriente o voltaje [3][4]. En los convertidores CC-CC para iluminación LED, la metodología SIMO se utiliza para el control de corriente de salida de matrices LED para lograr un flujo luminoso eficiente y permitir que cada bucle de corriente en las matrices LED funcione en el punto de operación correcto.

En este artículo se introduce un nuevo concepto sobre convertidores CC-CC con CM para aplicaciones de iluminación LED que emplean el convertidor reductor y la topología SIMO basado en el uso de un IV como elemento controlable en el convertidor. En los convertidores SIMO convencionales, la inductancia debe diseñarse por debajo de la inductancia crítica con la que el convertidor reductor SIMO opere en modo de conducción discontinua (MCD) a la tensión de entrada máxima, el voltaje de salida mínimo y la corriente de carga completa. Con una inductancia fija, la ondulación de corriente del inductor será bastante grande cuando el convertidor reductor SIMO funcione con un voltaje de entrada más bajo pero con mayor voltaje de salida, lo que conduce a mayores pérdidas de conmutación y conducción. Sin embargo, con el IV la inductancia se puede variar adaptativamente con el voltaje de entrada o la corriente de carga, contribuyendo a una menor tensión de corriente y una mayor eficiencia de conversión con respecto al convertidor que trabaja con la misma tensión de entrada o corriente de carga, pero con una inductancia fija.

Los controladores de iluminación LED se utilizan en la aplicación como iluminación RGB, control de canales RGBW, etc. Los controladores pueden ser utilizados de forma autónoma en aplicaciones residenciales, o controladores con comunicaciones de red de control tales como DALI, KNX, BUSing, LONWorks, BACNet, etc. para infraestructuras de EI [5][6]. Actualmente, es posible encontrar controladores LED que incluyan transeptores digitales con el fin de comunicar información con plataformas IoT para integrar el control de iluminación en Sistemas de Gestión de Energía (SGE).

## SISTEMAS DE ILUMINACIÓN LED PARA EDIFICIOS INTELIGENTES

### Contexto de Edificios Inteligentes

Edificios Inteligentes (EI) es un concepto para infraestructuras tecnológicas de edificio que implementan soluciones con integración dispositivos, sistemas y servicios en un Sistema de Automatización de Edificios conocido como BAS (Building Automation System) [5]. El objetivo del BAS para EI es desarrollar e implementar servicios que ayuden a la gestión del edificio y mejorar la calidad del servicio, así como la comodidad del usuario en el edificio [5]. La Figura 1 ilustra el contexto para EI considerando sus componentes y sistemas.

Los servicios en un EI deben desarrollarse de acuerdo con los cuatro sistemas que conforman un verdadero edificio inteligente. Estos son el sistema de ahorro de energía, los sistemas de seguridad, el sistema de bienestar y confort, y finalmente el sistema de comunicaciones [5][6]. Con el fin de garantizar el concepto de EI, existen tecnologías desarrolladas con redes de control en sistemas distribuidos para la automatización total del edificio. Debido a su amplia difusión y su rendimiento, algunos protocolos se consolidan para redes de control, como Bacnet, Lonworks, Busing y KNX [5][6].

Actualmente las soluciones de EI incluyen una sólida integración con tecnologías emergentes para tecnologías de Internet de las cosas (IoT) como ZigBee, LoRa, Wings, Bluetooth, WiFi, entre otras [6], con el fin de desarrollar servicios integrales para EI. Por otro lado, los protocolos como DALI y DMX [6] están desarrollados para aplicaciones de iluminación inteligente y tienen características especiales para servicios de confort y ahorro de energía. Adicionalmente, existen dos sistemas bien definidos tradicionalmente para el control del entorno en EI. El Sistema de Gestión de Espacio conocido como RMS (Room Management System) que controla estancias individuales y permite gestionar algunos sensores y actuadores para implementar servicios inteligentes en una determinada zona del edificio. Por otro lado, el Sistema de Gestión de Edificios conocido como BMS (Building Management System) es una plataforma integrada que permite al gestor del edificio realizar el control y supervisión de instalaciones técnicas, personal, optimización de recursos, gestión de la energía, etc.

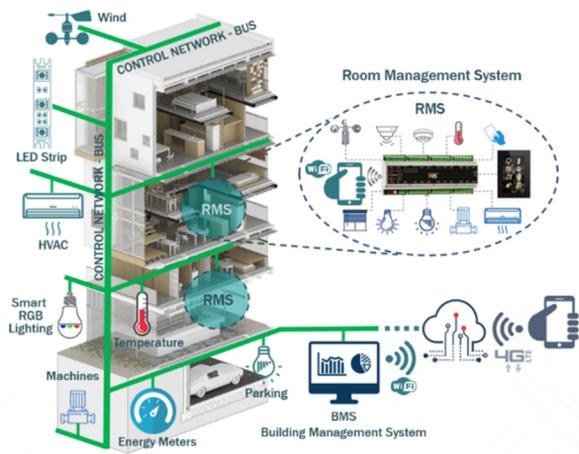


Figura 1. Contexto de Edificios Inteligentes, componentes y sistemas.

## CONTROL MAGNÉTICO PARA CONTROLADORES LED

### Control Magnético

CM para convertidores CC-CC se realiza modificando el valor de inductancia en el filtro LC de los convertidores utilizando un IV [1][2]. El control del valor de inductancia se realiza a través de una corriente de polarización  $I_{bias}$  que está relacionada con la variación de la fuerza de campo magnético  $H_{bias}$  del núcleo del IV [1][2]. Esto permite que el sistema varíe el valor de la inductancia del convertidor reductor, modificando así el valor medio de la corriente de salida que circula a través del LED. El CM en convertidores CC-CC se realiza cuando el convertidor está trabajando en MCD [1][9]. La Figura 2 muestra la forma de onda de corriente a través del inductor de un convertidor reductor que opera en MCD con dos valores de inductancia diferentes,  $L_1$  y  $L_2$ . El inductor tiene un efecto directo en la corriente de salida media y la tensión de salida media. A medida que el valor de inductancia aumenta, la corriente media y el voltaje de salida disminuirán. Cuando el convertidor reductor está trabajando en MCD, se cumple la ecuación (1) [1][7]-[9]:

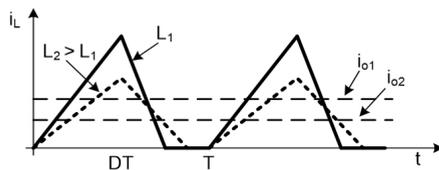


Figura 2. Formas de Onda del Convertidor Reductor en Operación MCD.

$$V_o = \frac{V_i}{\frac{2LI_o}{D^2V_iT} + 1} \quad (1)$$

$$M = \frac{V_o}{V_i} = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + \frac{8fL}{D^2R}}} \quad (2)$$

donde  $V_i$  es el voltaje de entrada,  $L$  es la inductancia del convertidor,  $f$  es la frecuencia de conmutación,  $D$  representa el ciclo de trabajo del convertidor,  $V_o$  es el voltaje de salida y  $I_o$  es la corriente de salida. Por otro lado, teniendo en cuenta que  $I_o = V_o/R$ , la ganancia de voltaje del convertidor se expresa mediante la ecuación (2)[1][7]-[9]. En (2), la ganancia de voltaje del convertidor en MCD  $M$  es una función directa de la inductancia. De esta manera, el CM proporciona un parámetro de control adicional frente a los métodos convencionales.

**Control Magnético de Controladores LED de Un Canal**

La topología del convertidor reductor con carga LED y CM para un solo canal se ha presentado en [7] como se muestra en la Figura 3, que consiste en un interruptor controlado  $S$ , un diodo  $D$ , un inductor variable (IV)  $L$ , un condensador  $C$  y una carga LED. La tensión de salida en el canal LED está determinada por  $V_o = V_{TH} + R_D * I_o$ , donde  $V_{TH}$  es el voltaje de umbral LED y  $R_D$  es la resistencia dinámica LED, entonces la ecuación (3) representará la carga del controlador.

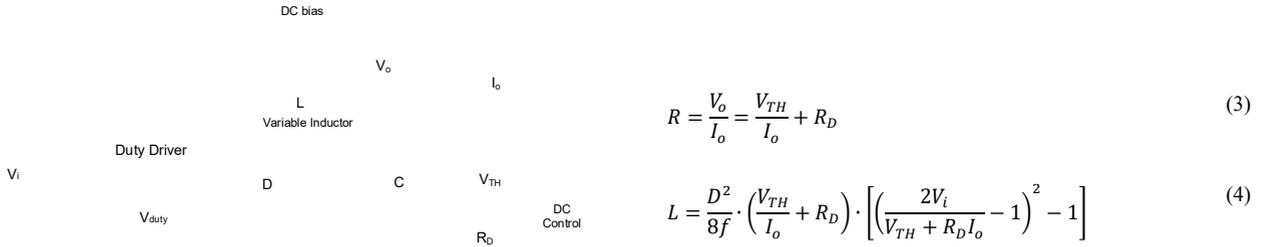


Figura 3. Convertidor CC-CC Reductor LED con CM

Utilizando la expresión (3) en (2) y despejando  $L$ , la inductancia se resuelve con (4). Como se puede inferir de (4), para operar en un rango de valores de  $I_o$ , el convertidor debe trabajar en un rango de valores de inductancia  $L$ , que proporciona el punto de partida para el diseño del IV para un cierto punto de operación LED [7].

**Control Magnético de Controladores LED Multicanal RGB**

En los convertidores CC-CC para iluminación LED multicanal, se utiliza la metodología SIMO para el control de corriente de salida de matrices LED [8] para lograr un flujo de luminosidad eficiente y permitir que cada bucle de corriente en las matrices LED funcione en los puntos de operación correctos. Es útil para lograr la maximización de la eficiencia, regulación de flujo luminoso, control de temperatura de color y brillo, etc. Un convertidor SIMO CC-CC en aplicaciones de iluminación LED genera simultáneamente  $N$  voltajes de salida y corrientes reguladas para cada matriz LED como se muestra en la Figura 4, utilizando un solo inductor y un único convertidor SIMO en el sistema de electrónica de potencia, de modo que los canales se pueden regular correctamente, distribuyendo la energía almacenada en el inductor a cada salida [3][8].

En el convertidor CC-CC SIMO Reductor propuesto se utilizan tres canales. Estos canales están asociados con tres matrices LED de tipo RGB. Se utilizarán tres señales de estado asociadas con los interruptores  $S_1, S_2$  y  $S_3$  para el control de los tres canales, tal como se muestra en la Figura 6. La corriente de salida en cada canal viene determinada por (5) [23]. A continuación, utilizando el modelo LED, reemplazando la tensión de salida en el canal LED  $V_o$  en (5) y resolviendo la ecuación de segundo orden resultante, se obtiene la expresión para determinar  $I_o$  en (6).

Como se puede ver en (6), la corriente de cada canal LED depende de parámetros tales como ciclo de trabajo  $D$ , frecuencia  $f$ , tipo de LED, voltaje de entrada  $V_i$ , y sobre todo del valor de inductancia  $L$  mediante la introducción de CM, para asegurarse de que el convertidor está trabajando en MCD. Esto abre una amplia gama de posibilidades de control digital, utilizando componentes con circuitos integrados, controladores digitales o microcontroladores para controlar los parámetros asociados.

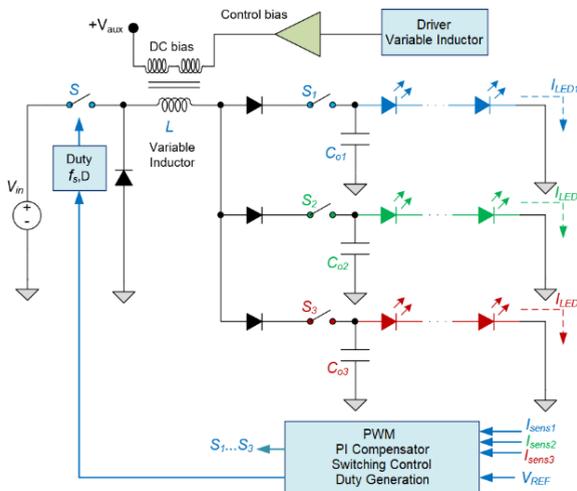


Figura 4. Convertidor CC-CC SIMO LED con CM

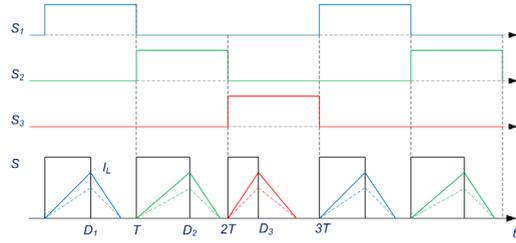


Figura 5. Señales de conmutación del Convertidor CC-CC SIMO Reductor con CM.

$$I_o = \frac{1}{6} \cdot \frac{V_i}{L} \cdot \left( \frac{V_i}{V_o} - 1 \right) \cdot \frac{D^2}{f_s} \quad (5)$$

$$I_o = \frac{-V_{TH} - \frac{V_i D^2 R_D}{6 L f_s}}{2 R_D} + \quad (6)$$

$$\sqrt{\left( V_{TH} + \frac{V_i D^2 R_D}{6 L f_s} \right)^2 - 4 R_D \cdot \frac{V_i D^2}{6 L f_s} (V_i - V_{TH})}$$

$$2 R_D$$

## SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED CON CM E INTEGRACIÓN DE SENSORES PARA EI

El sistema propuesto aborda la integración de los controladores desarrollados, Driver LED para un canal y Driver LED de tres canales tipo RGB, en una red de EI con el objetivo de implementar un Sistema Inteligente de Gestión de Energía de Edificios (SIGEE) para Sistemas de Iluminación LED. La Figura 6 muestra la arquitectura propuesta. En este esquema propuesto, cada uno de los drivers LED se puede implementar de acuerdo con una ingeniería de diseño de edificios en cualquier entorno, por lo que es necesario tener en cuenta los requisitos del servicio de iluminación en cada entorno para seleccionar el controlador adecuado.

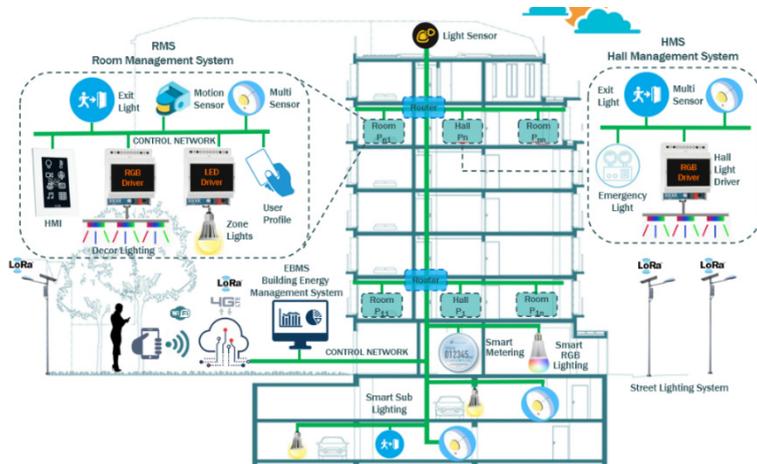


Figura 6. Contexto de Edificios Inteligentes, componentes y sistemas.

En este caso de aplicación, el controlador de un canal se utiliza para regular áreas de iluminación puntuales, como habitaciones, salones, aseos, etc., es decir recomendado para estancias con RMS. Por otro lado, el controlador multicanal RGB también se puede utilizar en RMS y otros espacios comunes como puntos de encuentro, pasillos, vestíbulos, etc. conocidos como HMS (Hall Management System) para la decoración del espacio. También se podrán integrar dentro de otros servicios de iluminación inteligente como iluminación de cortesía, lámparas de emergencia y señalización. Además, la integración de los controladores LED en una infraestructura de EI permite desarrollar servicios de eficiencia energética, garantizando altos niveles de comodidad, seguridad y comunicaciones por parte del usuario.

## PROTOTIPOS DE CONTROLADORES LED IMPLEMENTADOS

Como ejemplo de implementación, esta sección presenta el rendimiento de un Convertidor CC-CC SIMO Reductor de Tres Canales, que funciona con un ciclo de trabajo de 0,32 para el canal rojo, 0,43 para el canal verde y 0,41 para el canal azul y una frecuencia de conmutación de 100 kHz, por lo que cada canal funcionará a una frecuencia de 33,3 kHz. El convertidor CC-CC SIMO es alimentado por un voltaje de entrada que puede ir desde 14 V a 35 V para una carga LED de tres canales utilizando matrices LED de acuerdo con los parámetros del dispositivo LedEngine LZC-03MA007. La

tensión de salida nominal de cada canal LED RGB es de 8,27 V para el canal rojo, de 11,43 V para el canal verde y de 10,11 V para el canal azul. La capacitancia del filtro de salida de cada canal es de 47  $\mu\text{F}$ , implementada con un condensador de película para que su resistencia en serie pueda ser despreciada. La Tabla I resume los parámetros del prototipo de convertidor RGB implementado.

Parámetro	Tipo/Valor
Tensión de entrada nominal	24 V
Tensión de salida por canal LED	R: 8.27 V, G: 11.43 V, B: 10.11 V
Ciclo de trabajo por canal LED	R: 0.32, G:0.43, B:0.41
Frecuencia de conmutación	100 kHz
Inductor Variable	3 $\mu\text{H}$ – 8 $\mu\text{H}$
Diodo LED	LZC-03MA007
Resistencia dinámica Diodo LED	R: 2.55 $\Omega$ , G: 2.45 $\Omega$ , B: 1.75 $\Omega$
Voltaje de codo Diodo LED	R: 5.72 V, G: 8.98 V, B: 8.36 V
Interruptores de Potencia	IRFZ48Z
Diodos de Potencia	MBRS340
Driver Interruptor	IR2111

Tabla I. Convertidor CC-CC SIMO Reductor implementado

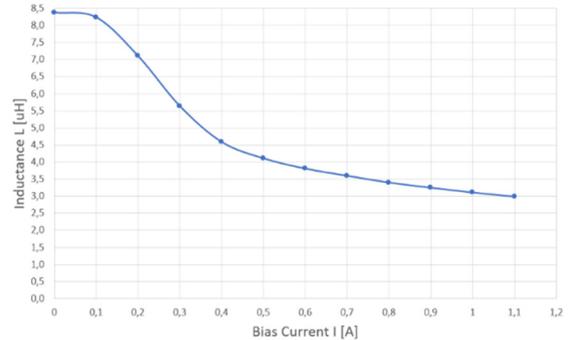


Figura 7. Inductancia frente a la corriente de sesgo del IV implementado.

## VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS CONTROLADORES LED IMPLEMENTADOS

En primer lugar, se ha medido en laboratorio la característica de corriente de salida en cada canal  $I_R$ ,  $I_G$  y  $I_B$  frente a la tensión de entrada  $V_i$ . La Figura 8 muestra la característica de corriente de salida de los tres canales LED RGB frente a la tensión de entrada  $V_i$  del convertidor CC-CC SIMO con CM. Como se puede ver, la corriente de salida en cada canal se mantiene en el valor nominal al variar el voltaje de entrada  $V_i$  en un rango razonablemente amplio entre 14 V y 35 V. El valor efectivo de la inductancia del convertidor oscila entre 3  $\mu\text{H}$  y 8  $\mu\text{H}$ , mientras que se verifica que el convertidor está funcionando en MCD. Por otro lado, incluyendo las pérdidas debidas al control de bias del IV, la eficiencia efectiva está entre 76% y 86% para voltajes de entrada entre 14 V y 35 V. La curva de eficiencia se muestra en la Figura 9.

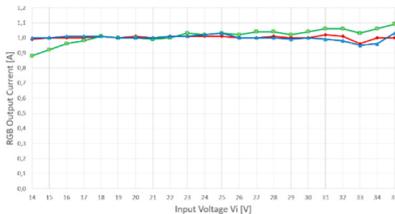


Figura 8. Corriente de salida de los tres canales versus tensión de entrada del Convertidor CC-CC SIMO Reductor con CM.

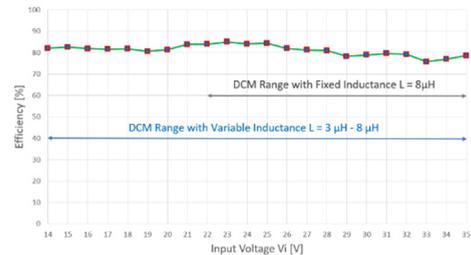


Figura 9. Eficiencia del Convertidor CC-CC SIMO Reductor con CM.

## SISTEMA INTELIGENTE DE GESTIÓN DE ENERGÍA DE EDIFICIOS CON INTEGRACIÓN DE SENSORES IOT (SIGEE+IoT)

El espectro de aplicaciones, funciones y capacidades de SIGEE + IoT puede orientarse a todo el entorno del edificio, especialmente con el objetivo de lograr grandes ahorros de energía, altos niveles de confort y seguridad con comunicaciones flexibles y amigables. En este trabajo la gestión se centra principalmente en el sistema de iluminación; sin embargo, se puede integrar con funciones de gestión en otros sistemas del edificio que contribuyan a garantizar criterios de eficiencia energética tales como el aire acondicionado, temperatura, persianas, personal, etc. Adicionalmente, se pueden obtener informes y reportes diarios, semanales y anuales sobre el comportamiento del edificio, de los niveles de consumo, así como informes sobre la determinación del nivel de bienestar y confort para los usuarios, y de estimación de la huella de carbono del entorno en el planeta. Otras funcionalidades incluyen conseguir los objetivos establecidos para Edificios Energía Casi Nula EECN conocidos también como nZEB (nearly Zero Energy Buildings) y Green LEED. La Tabla 2 resume los módulos SIGEE+IoT propuestos en este trabajo y que están orientados para el sistema de iluminación.

La Figura 10 muestra las aplicaciones propuestas para dispositivos inteligentes como teléfonos inteligentes, tabletas, ordenadores portátiles, pantallas táctiles, etc. utilizando iOS y aSC con integración en la nube. Considerando las tecnologías factibles, la interoperabilidad y la integración de sensores IoT, BUSing y LoRa han sido seleccionados para este trabajo con el fin de probar la metodología SIGEE en una infraestructura de EI. Sin embargo, la nueva metodología de Control Magnético puede implementarse en drivers de iluminación LED con integración de sensores IoT sin dependencia de protocolos en infraestructuras de EI. El control digital de los Drivers LED con CM, podrá ser implementado en todas las tecnologías de redes de control tales como BUSing, DALI, KNX, LONWORKS, BACNET, etc.

Función	Sistema	Servicio
<b>Módulo de Gestión del EI</b>		
Usuario Tour	SIGEE SGZ	Gestión del perfil de usuario Muestra información resumida del comportamiento del EI
<b>Módulo de Monitoreo del EI</b>		
Reportes de Medición	Medidores Inteligentes SGZ	Medidas de consumo de energía Reportes de cartas, alertas, fallos, estadísticas, proyección de consumo
<b>Módulo Edificio Sostenible</b>		
Control de Umbrales	Todos	Umbral de consumo Control inteligente: on/off, regulación, temperatura de color, escenas, algoritmos inteligentes.
<b>Módulo Edificio Confortable</b>		
Calidad y Confort	Todos	Control inteligente de iluminación Escenas de confort Reconocimiento de usuarios Integración con sistemas HVAC, Persianas, Temperatura, Multimedia

Tabla II. Módulos del SIGEE+IoT



Figura 10. App del SIGEE+IoT para iOS o aSC.

## REFERENCIAS

- [1] Alonso, J. M., Dalla Costa, M. A., Rico-Secades, M., Cardesín, J., Garcia Armstead, J., 2008, Investigation of a New Control Strategy for Electronic Ballasts Based on Variable Inductor, IEEE Trans. on Ind. Electr., vol. 55, no. 1, pp. 3-10.
- [2] Alonso, J. M., Perdigo, M., Dalla Costa, M. A., Martínez, G., & Osorio, R., Analysis and Experiments on a Single-Inductor Half-Bridge LED Driver with Magnetic Control, IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 32, no. 12, pp. 9179-9190.
- [3] Kim, H., Yoon, C., Jeong, D., & Kim, J., 2014, A Single-Inductor Multiple-Channel Current-Balancing LED Driver for Display Backlight Applications, IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 50, no. 6, pp. 4077-4081.
- [4] Ma, D., Ki, W., Tsui, C., & Mok, P., 2003, Single-Inductor Multiple-Output Switching Converters With Time-Multiplexing Control in Discontinuous Conduction Mode, IEEE Trans. on Solid-State Circuits, vol. 38, no. 1, pp. 89-99.
- [5] Chinchero, H.F., Alonso, J.M., 2020, A Review on Energy Management Methodologies for LED Lighting Systems in Smart Buildings, 20TH IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering, Madrid, Spain.
- [6] Sinopoli, J., 2016, Advanced Technology for Smart Buildings, Artech House Power Engineering Library, Boston, USA.
- [7] Chinchero, H.F., Alonso, J.M., 2020, Aplicación de Control Magnético en Convertidores CC-CC para Alimentación de Lámparas LED," 27 Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación SAAEI 2020, Ciudad Real, Spain.
- [8] Chinchero, H.F., Alonso, J.M., 2020, Control Magnético de Convertidores DC-DC SIMO para Control de Iluminación LED, 27 Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación SAAEI 2020, Ciudad Real, Spain.
- [9] Alonso, J. M., 2019, LED Lighting and Drivers, Amazon KDP.
- [10] U.S. Green Building Council, 2020, LEED v4.1 Building Design and Construction, Standard.

# REVISIÓN DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN LED PARA EDIFICIOS INTELIGENTES

**Héctor F. Chinchero**, Doctorando, Universidad de Oviedo, España

**J. Marcos Alonso**, Profesor, Universidad de Oviedo, España

**Hugo Ortiz T.**, Profesor, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador

**Resumen:** Este trabajo presenta una revisión de los sistemas de iluminación LED aplicados a edificios inteligentes (EI). El estudio se centra en controladores, protocolos, tecnologías, redes de comunicación y aplicaciones. Se aborda una descripción general ampliada de las metodologías utilizadas para el control de iluminación LED en EI. También presenta una arquitectura integrada para lograr los servicios y metodologías de control necesarios para la Gestión de Energía en Sistemas de Iluminación LED para EI.

**Palabras clave:** Edificio Inteligente (EI), Iluminación Inteligente, Red de sensores, Internet de las Cosas (IoT).

## INTRODUCCIÓN

El consumo de energía en el mundo se enfrenta a desafíos cada vez más complejos de resolver, que están relacionados principalmente con el crecimiento de la población, el desarrollo de nuevas infraestructuras para el transporte en las ciudades, el crecimiento y la innovación de los procesos de producción de la industria, así como un aumento vertiginoso de edificios, nuevos entornos y los asociados con el desarrollo de actividades humanas, incluidas las relacionadas con el cambio climático. El alto nivel de consumo de energía es uno de los mayores contribuyentes al cambio climático, representando alrededor del 60% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Por otro lado, los estudios muestran que la mejora de las normas de eficiencia energética podría reducir el consumo total de electricidad de los edificios y la industria en un 14 % [1].

Los edificios son uno de los principales actores en el consumo de energía global, constituyendo el 30% de la energía total consumida en el planeta y el 60% de la electricidad producida [1][2][9]. En este sentido, los sistemas de un edificio, como el aire acondicionado, la iluminación, los ascensores, la seguridad, las comunicaciones, entre otros, tienen un consumo energético que sin duda depende del tipo de tecnología, las plataformas de control y de la funcionalidad del sistema, su recinto y el comportamiento del usuario como factores internos, siendo factores externos los relacionados principalmente con los efectos producidos por el clima sobre el edificio.

La iluminación relacionada con entornos residenciales y de trabajo corresponde al 20% del consumo total de la energía producida y al 30% de la electricidad consumida en el edificio [1]. El consumo de energía en la iluminación de edificios se asocia con el tipo de lámpara, su eficiencia, modo de uso, etc. Optimizar el consumo energético de los sistemas de iluminación depende no sólo de la eficiencia de las tecnologías con las que se desarrollan las lámparas y los elementos eléctricos que la componen, sino también de las técnicas asociadas a los controladores de estas lámparas [1][8][9].

Los controladores de iluminación LED se utilizan en la aplicación como iluminación RGB, control de canales RGBW, etc. Los controladores pueden ser utilizados de forma autónoma en aplicaciones residenciales, o controladores con comunicaciones de red de control tales como DALI, KNX, BUSing, LONWorks, BACNet, etc. [1][2] para infraestructuras de EI. Actualmente, es posible encontrar controladores LED que incluyan transeptores digitales con el fin de comunicar información con plataformas IoT para integrar el control de iluminación en Sistemas de Gestión de Energía (SGE).

## ILUMINACIÓN EN EDIFICIOS INTELIGENTES

Convencionalmente, el control de iluminación ha sido manual, mediante manipulación física de interruptores de control local y se utiliza comúnmente en el ámbito más amplio de las aplicaciones. En los años 70, apareció el control automático de la iluminación, incorporando el uso de sensores de movimiento autónomos implementados en sistemas centralizados [1]. Por otro lado, el Control Inteligente de Iluminación incluye elementos microprocesados con módulos de entrada de sensores y salidas de relé para encender y apagar áreas de iluminación, así como reguladores analógicos y digitales. La Figura 1 muestra el concepto integral de iluminación inteligente en entornos inteligentes. Actualmente la iluminación inteligente ha evolucionado a sistemas de control integrados que permiten al diseñador conectar sensores, controladores e interfaces de usuario para el desarrollo de aplicaciones como entornos inteligentes de

iluminación RGB, escenas de habitabilidad, publicidad y promoción, decoración de espacios, espectáculos, etc. Además, los sistemas inteligentes de control de iluminación tienen la posibilidad de realizar la gestión de la energía, informes de averías, informes de consumo de energía, posicionamiento, programación horaria, control por voz, control local y remoto, servicios en la nube, etc.

### Edificios Inteligentes

Los Edificios Inteligentes (EI) surgen de una disciplina acuñada en la década de 1990 conocida como "Inmotica". La Figura 2 ilustra el concepto de EI teniendo en cuenta los principales componentes y sistemas. Los EI implementan BAS (Building Automation System) para la integración total de elementos y servicios del edificio en un sistema de automatización [1]. El objetivo de un BAS para un EI es desarrollar e implementar servicios que ayuden a la gestión del edificio y mejoren la calidad del servicio, así como la comodidad del usuario en el edificio [1][2].



Figura 1. Iluminación en entornos inteligentes.



Figura 2. Concepto de Edificio Inteligente.

Los servicios en un EI están relacionados con el nivel de automatización del sistema de control. Los servicios para EI deben desarrollarse de acuerdo con los cuatro sistemas que conforman un verdadero edificio inteligente. Estos son el sistema de ahorro de energía, sistema de seguridad, sistema de bienestar y confort, y finalmente el sistema de comunicaciones [1]. Los servicios de ahorro de energía en un EI se desarrollan con el fin de lograr grandes ahorros en el consumo de electricidad, el consumo de agua, reducir las pérdidas de recursos y optimizar la inversión realizada en la implementación de soluciones tecnológicas para EI. Para la Gestión del Consumo de Energía se aplica la actualmente la normativa de eficiencia energética ISO 50001:2018 [1][10]. Esta norma ISO consiste en el ahorro y uso inteligente de energía sin pérdida ni desperdicio, utilizando la energía mínima y manteniendo la calidad de los servicios, y sobre todo preservar el confort y calidad de vida de los usuarios.

## TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN INTELIGENTE LED PARA EI

### Sensores y controladores

La eficacia general de los sistemas de control de iluminación depende de la conjunción adecuada de inteligencia en el control y la sensibilidad del medio ambiente. Con el fin de proporcionar la sensibilidad adecuada, se requiere una selección correcta del sensor y su ubicación. Generalmente se utilizan sensores de ocupación (presencia o movimiento) y sensores de nivel de iluminancia. Los sensores de ocupación convencionales son tipo PIR, radar (ultrasónica, RF o microondas) o combinación de ambas tecnologías para aumentar su rendimiento. Los sensores infrarrojos piroeléctricos (PIR) se han utilizado ampliamente en aplicaciones en interiores y exteriores, ya que son de bajo costo, fáciles de usar y ampliamente disponibles. Por otro lado, las acciones inteligentes en los sistemas de iluminación dependen de los controladores de entrada y salida (E/S). Estos dispositivos electrónicos tienen una funcionalidad específica para manejar la información de entrada y controlar los dispositivos periféricos. Adicionalmente, los controladores también tienen la capacidad de interconectar diferentes periféricos a través de interfaces estándar tales como serial USB, HDMI, etc., y son capaces de abordar y transferir datos hacia y desde dispositivos interfaces de usuario HMI (Human Machine Interface) tales como teclados, pantallas táctiles, teléfonos inteligentes, etc.

### Redes de control para EI

Las redes de control en EI se basan en un canal de comunicación llamado BUS, a través del cual la información se transmite entre todos los dispositivos conectados al BUS. La red de control permite al usuario conectar dispositivos

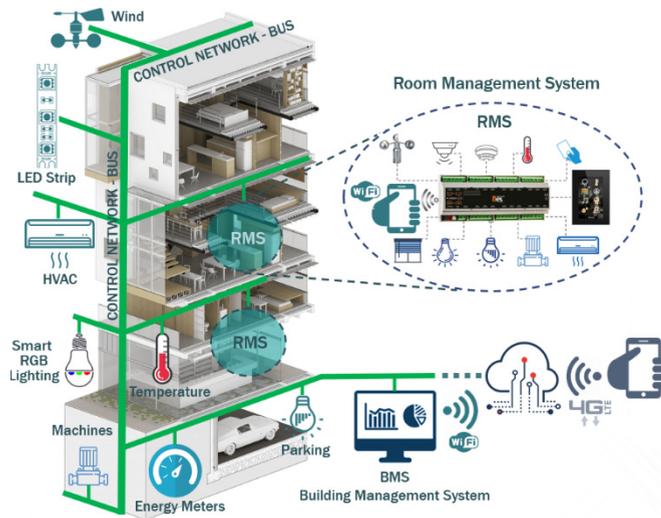


Figura 3. Arquitectura de red de control en Edificios Inteligentes.

llamados nodos inteligentes con propia capacidad de procesamiento [1][2]. Estos nodos se distribuyen a través de los diferentes entornos del edificio y se comunican entre sí usando un determinado protocolo de comunicaciones para ejecutar órdenes de control como el encendido y apagado de iluminación, ajuste de la temperatura de confort, alertas de eventos de seguridad, entre otros. Por otro lado, un protocolo abierto permite la interoperación sin necesidad de una interfaz propietaria para una fácil integración de servicios en EI. Debido a su amplia difusión y su rendimiento, algunos protocolos son más consolidados para el sistema de iluminación, como Bacnet, Lonworks, Busing, KNX, DALI [1], entre otros. La Figura 3 muestra una arquitectura de red de control comúnmente utilizada en aplicaciones de EI.

Las tecnologías de red de control en EI han ido evolucionando desde el protocolo IEEE RS485 utilizado para la implementación de redes cableadas con protocolos como ModBUS, ProfiBUS, BACNet, BUSing, KNX, LONWorks, etc. [1][2]. Bacnet y LonWorks son

estándares que se centran más en edificios corporativos que requieren un control y monitoreo de variables en varias zonas, gestionando datos de forma centralizada. Debido a su concepción, estos protocolos ofrecen mayores prestaciones para la automatización de los sistemas convencionales existentes en los edificios, así como de grandes infraestructuras como las redes inteligentes de alimentación. KNX es un protocolo ampliamente utilizado para EI y fue desarrollado a partir de los protocolos europeos EIB y EHS, utiliza un sistema de bus distribuido que permite a los dispositivos intercambiar información directamente, razón por la cual su principal ventaja es la facilidad que ofrece para grandes instalaciones. Mientras tanto, BUSing se destaca por su versatilidad, es un sistema de comunicación de tipo distribuido cuya red utiliza una topología BUS, permitiendo así una fácil escalabilidad tanto en las versiones cableadas como inalámbricas [1].

### Redes de información para EI

Para las redes de información el protocolo básico es IP (Internet Protocol) o TCP (Transmission Control Protocol). TCP/IP se implementa ampliamente a través de redes Ethernet cableadas en la infraestructura del edificio. En EI, TCP/IP se utiliza para integrar las comunicaciones de red de campo con redes de información. Actualmente, las redes IP permiten conectar todo tipo de dispositivos inteligentes en la misma infraestructura de red de edificios para el despliegue de todo tipo de servicios, como la gestión de la energía, la integración con empresas proveedoras de servicios, computación en la nube, etc. Este concepto se conoce actualmente como BMS (Building Energy Management System) [1][2]. Existen tecnologías enmarcadas en infraestructuras de IoT que se utilizan para aplicaciones de control de iluminación en edificios como Bluetooth, ZigBee, SigFox, Z-wave, Wings, EnOcean [2], entre otros. Estas tecnologías se implementan en el concepto de topologías de malla y utilizan la banda de comunicación RF de 900 MHz, lo que permite que los sensores y controladores inalámbricos se comuniquen para implementar servicios de iluminación inteligente, control de calefacción y temperatura del entorno, seguridad, eficiencia energética, etc. [2] en aplicaciones residenciales o redes PAN (Personal Area Networks). Una de las últimas tecnologías de red desarrolladas es LoRa y LoRaWAN [1][2]. Este protocolo se basa en un esquema de red de comunicación inalámbrica de malla en el que los nodos de sensores, actuadores, interfaces de red, etc. se pueden conectar en aplicaciones de automatización y control de pequeño y largo alcance. La ventaja de LoRa en aplicaciones de largo alcance, es que una sola puerta de enlace o estación base puede cubrir ciudades enteras o cientos de kilómetros cuadrados. LoRa se utiliza actualmente en aplicaciones lectura automática de contadores para el consumo de agua en ciudades, control de sistemas de alumbrado público, medición de parámetros ambientales en ciudades para determinar los niveles de contaminación

de CO<sub>2</sub>, automatización y control en el sector agrícola, entre otras aplicaciones de IoT que han permitido el despliegue de servicios emergentes en proyectos Smart City.

## TECNICAS DE CONTROL DE ILUMINACIÓN INTELIGENTE LED PARA EI

### ***Control de Drivers de Iluminación LED***

Entre los métodos de control más tradicionales se encuentra PWM Dimming [1][8], que es un proceso ampliamente utilizado para controlar tanto el flujo luminoso como el brillo LED de manera más eficiente y reducir las pérdidas de potencia. Este proceso regula la cantidad de corriente de circulación LED mediante la generación de una señal PWM, que cambia en un estado abierto o cerrado de acuerdo con el ciclo de trabajo establecido en los tiempos de encendido/apagado del conmutador del driver LED basados en convertidores DC-DC. Los convertidores DC-DC se pueden clasificar en: Buck, Boost, Buck-Boost, Cuk, Flyback y Zeta [8]. Existen técnicas de control extendidas a este tipo de convertidores, y se están desarrollando nuevas metodologías que buscan optimizar la transferencia de potencia de entrada a la salida, así como hacer que los sistemas sean más eficientes para aplicaciones de iluminación LED.

### ***Control por Posición***

El desarrollo de sistemas de iluminación inteligentes, adaptados a las necesidades de quienes ocupan un espacio específico, se basa en el uso de métodos de control sensorial combinados con redes de sensores avanzadas y comunicaciones implementadas en arquitecturas de control [1][3]. Por ejemplo, en una red de sensores, mediante la estimación de la ubicación y la posición del usuario es posible proporcionar una iluminación optimizada en un entorno determinado. También es posible obtener información sobre el uso del espacio, que puede ser esencial para optimizar el rendimiento de los sistemas de gestión de energía del edificio, mejorar la salud humana y lograr altos niveles de productividad sin afectar al confort.

### ***Control por Contexto***

Estudios realizados en [1][4] se propone un método basado en el contexto o escenario para el uso de un sistema de iluminación. El contexto se puede medir utilizando sensores físicos, lógicos y virtuales. Los sensores físicos se utilizan para medir parámetros ambientales como ocupación, ruido, humedad, etc. Los sensores lógicos utilizan información del sistema de control para realizar una función lógica programada. Por otro lado, los sensores virtuales se programan en función de la información del contexto de aplicación del entorno, las bases de datos de aprendizaje, los servicios web, etc. Por ejemplo, un contexto básico para los sistemas de iluminación se basa en el programador de calendario, donde el sistema establece el tiempo de funcionamiento y los niveles de iluminación LED según las condiciones ambientales. De esta manera, la información de contexto se puede integrar en una arquitectura de red de control para optimizar el consumo de energía de los sistemas de iluminación LED.

### ***Control por Red de Sensores***

Esta técnica se propone para controlar los niveles de iluminación LED utilizando integración de sensores en red [1][5] para implementar algoritmos sofisticados para aplicaciones de regulación tipo PWM. El sistema de control permite integración con fuentes de energía renovables para optimizar el consumo de energizar el edificio. Para este caso, se pueden implementar redes de control utilizando protocolos como DALI y DMX que son ampliamente utilizados en sistemas de iluminación LED en edificios.

### ***Control IoT***

Actualmente algunas aplicaciones del uso de redes de sensores inalámbricos (wireless sensor network, WSN) se pueden encontrar en sistemas de iluminación LED inteligentes en edificios [1][6]. Por ejemplo, se implementan sensores inalámbricos para medir parámetros que definen el contexto del entorno, combinado con algoritmos de programación horaria y control inteligente basado en el contexto ambiental para el control de drivers implementados en una red de control de iluminación LED. La metodología de inteligencia ambiental se centra en la regulación de los sistemas de iluminación LED, basados en la información de luminancia y ocupación del medio ambiente para un perfil de usuario determinado. Las redes WSN se pueden integrar con redes de control como DALI para establecer las condiciones de iluminación, por ejemplo, entre 300 y 500 lux.

## Control de Edificia Energética

Otro método desarrollado para la iluminación inteligente en EI es el control con un enfoque en la eficiencia energética [1][7][10]. Estos modelos implementan algoritmos de control para realizar una gestión eficiente de la energía en EI basados en parámetros como la ocupación del espacio, la detección de movimiento, el nivel de luz natural, la temperatura ambiente, el precio de la energía, entre otros. Los requerimientos de energía del sistema de iluminación pueden ser calculados en base a la potencia de las lámparas, duración de funcionamiento, equipos de iluminación auxiliares, perfil de usuarios del edificio, luz del día, condiciones climáticas, etc. La técnica de eficiencia energética establece que todos los sistemas del edificio que consumen energía, como el sistema de temperatura, climatización, iluminación, etc., deben integrarse en una plataforma de gestión energética del edificio.

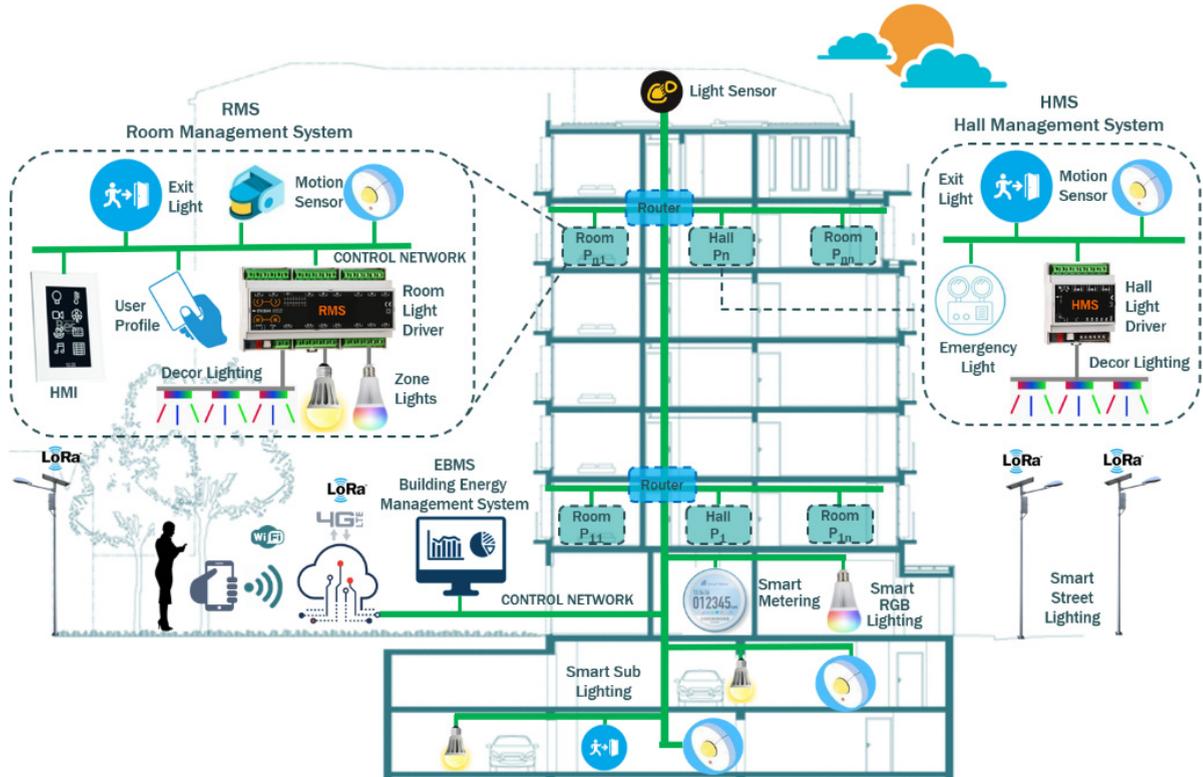


Figura 4. Contexto de Edificios Inteligentes, componentes y sistemas.

La Figura 4 muestra el esquema general que resume las posibilidades de implementar un IBEMS (Intelligent Building Energy Management System) para sistemas de iluminación LED en EI, basado en redes de sensores y metodologías de red de control. El IBEMS propuesto para sistemas de iluminación LED en EI consiste en una plataforma de red de control con nodos terminales basados en BUSing, KNX o LoRa, integración con sensores IoT y terminales HMI.

Los sistemas IBEMS contienen cuatro subsistemas de entorno bien definidos, RMS (Room Management System) orientado a estancias de trabajo y habitabilidad, HMS (Hall Management System) para espacios comunes, SLS (Street Light System) para iluminación de exteriores y BEMS (Building Energy Management System) para la gestión energética del edificio. Todos los sistemas propuestos se centran en aplicaciones específicas de iluminación inteligente.

La Tabla I muestra los dispositivos del sistema, sensores, controladores, interfaces, etc., así como las tecnologías y servicios involucrados en una arquitectura de Sistemas de Iluminación LED Inteligente para aplicaciones de EI.

## CONCLUSIONES

La iluminación LED en EI es un ámbito de estudio muy amplio y complejo, las metodologías y las tecnologías utilizan una integración completa de sensores, controladores, interfaces y plataformas de comunicación de red para

implementar servicios de iluminación inteligente. Los BEMS para sistemas de iluminación en EI se implementan utilizando redes de control con la ayuda de tecnologías como BUSing, Lonworks, DALI, KNX, BACnet, LoRa, etc. Estas tecnologías cuentan con altas capacidades de integración tanto a nivel de protocolo como en nodos terminales, por lo que se puede abordar una creciente complejidad de proyectos como el control de iluminación en edificios inteligentes y alumbrado público, entre otros.

Dispositivos del Sistema	Technologías	Servicios
<b>BEMS (Building Energy Management System)</b>		
PC de Gestión	TCP/IP, 4G	Iluminación inteligente
Software de Gestión	Bluetooth, WiFi	Gestión de la energía
Gestión en la Nube	BUSing, KNX	Control Local y Remoto
Base de Datos BDD	LoRa, ZigBee	Reportes e Informes
Control de Nodos	Bacnet, LON	Monitoreo de BDD
Comunicaciones	OpenSource Soft	
<b>RMS (Room Management System)</b>		
Driver de estancia	BUSing, KNX	Detection de movimiento
Sensor de movimiento	Bacnet, LON	Iluminación de estancia
Cinta LED RGB	DALI, DMX	Iluminación decorativa
Control de accesos		Reconocimiento de usuario
Luz de emergencia		Interfaces de usuario
HMIs		Iluminación de emergencia
Red de control		Señalización
<b>HMS (Hall Management System)</b>		
Driver de estancia	BUSing, KNX	Detection de movimiento
Sensor de movimiento	Bacnet, LON	Iluminación de estancia
Cinta LED RGB	DALI, DMX	Iluminación decorativa
Luz de emergencia		Iluminación de emergencia
Red de control		Señalización
<b>SLS (Street Lighting System)</b>		
Drivers de exteriores	BUSing, KNX	Detección de movimiento
Sensor de movimiento	Bacnet, LON	Control de alumbrado
Sensor de luz natural	DALI, DMX	
Red de Control	LoRa, ZigFox	

Tabla I. Servicios de Iluminación Inteligente para EI.

## REFERENCIAS

- [1] Chinchero, H.F., Alonso, J.M., 2020, A Review on Energy Management Methodologies for LED Lighting Systems in Smart Buildings, 20TH IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering, Madrid, Spain.
- [2] Sinopoli, J., 2016, Advanced Technology for Smart Buildings, Artech House Power Engineering Library, Boston, USA.
- [3] Karlicek, R., 2015, Illumination as a Service: New Paradigms for the Future of Lighting, Smart Lighting Engineering Research Center, N.Y., USA, pp. 158.
- [4] Avotins, A., Bicans, J., 2015, Context Application to Improve LED Lighting Control Systems, International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), Riga.
- [5] Liu, J., Zhang, W., Liu, Y., 2017, Primary Frequency Response From the Control of LED Lighting Loads in Commercial Buildings, IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 8, no. 6, pp. 2880-2889
- [6] Magno, M., Polonelli, T., Benini, L., Popovici, E., 2015, A Low Cost, Highly Scalable Wireless Sensor Network Solution to Achieve Smart LED Light Control for Green Buildings, IEEE Sensors Journal, vol. 15, no. 5, pp. 2963-2972
- [7] Tan, Y., Huynh, T., Wang, Z., 2017, Smart Personal Sensor Network Control for Energy Saving in DC Grid Powered LED Lighting System, IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 4, no. 2, pp. 669-675
- [8] Alonso, J. M., 2019, LED Lighting and Drivers, Amazon KDP.
- [9] United Nations, 2017, The Sustainable Development Goals Report 2017, United Nations Publications, pp. 1-7.
- [10] Rey, F., Velasco, E., Rey, J., 2018, Eficiencia energética de los edificios, Ediciones Paraninfo, Madrid, España.

# SMART BUILDING: MONITORIZACIÓN Y EFICIENCIA ENERGÉTICA COMBINADAS PARA ALCANZAR LA NUEVA ERA DE EDIFICIOS SOSTENIBLES

**Jesús Javier Rodríguez Gutiérrez**, Responsable Proyectos Monitorización, CIC Consulting Informático de Cantabria  
**David Vilasack Vilasack**, IDboxRT Team Leader, CIC Consulting Informático de Cantabria  
**Elizaveta Markova**, Responsable de Marketing y Diseño Gráfico en IDboxRT, CIC Consulting Informático de Cantabria  
**Alicia Poncela Huerta**, Responsable de GD y CRM en IDboxRT, CIC Consulting Informático de Cantabria

**Resumen:** Los edificios suponen actualmente el 40% del consumo energético de la Unión Europea, siendo además uno de los principales focos de emisión de dióxido de carbono. Por ello diferentes iniciativas, como el PLAN 2020 basado en la directiva 2010/31/EU del Parlamento Europeo [4], pretenden fomentar la implantación de mejoras para la eficiencia energética de los edificios con el objetivo de un consumo casi nulo. Para alcanzar los requisitos que cumplan con estas disposiciones es necesario replantear el diseño, construcción y gestión de los edificios, donde las tecnologías juegan un papel fundamental como herramientas de transformación. Mediante plataformas y aplicaciones “Smart Building” se permite monitorizar y gestionar los edificios y su energía consumida, pudiendo adaptarse a las condiciones ambientales sabiendo cómo, cuándo y dónde establecer medidas de ahorro energético (MAEs) que faciliten reducir los costes de operación y mantenimiento, aumentando la vida útil de las instalaciones de forma sostenible.

**Palabras Clave:** Big Data, eficiencia energética, sostenibilidad, MAEs, Smart Building, energías renovables, IoT, plataforma, monitorización.

## INTRODUCCIÓN

El consumo actual en los edificios supone prácticamente el 40% de la energía mundial, sin embargo los edificios tienen una capacidad para reducir esos costes de la que no disponen otros sectores, ya que se pueden aplicar sobre ellos diferentes acciones para reducir esa demanda energética y las emisiones producidas, de manera que se consigan soluciones de eficiencia energética que permitan un modelo sostenible con el objetivo final de un consumo casi nulo gracias a las tecnologías aplicadas y la inteligencia operacional.

El artículo 194 del Tratado de Lisboa de la Unión Europea establece la energía en el centro de la actividad económica, definiendo una política energética que tenga como objetivos principales favorecer la eficiencia y ahorro energético, así como asegurar el suministro y funcionamiento del mercado.

Como consecuencia del surgimiento de ese papel fundamental de los edificios y de los modelos existentes de infraestructuras y servicios, se ha producido la necesidad de generar sinergias, eficiencias y ahorros, además de la búsqueda de nuevas fórmulas de gestión y la apuesta firme por sectores distintos a los tradicionales. Todo ello, potenciado además por las crisis económicas, hace obligatorio realizar un esfuerzo por conocer y dar cumplimiento a las demandas de los ciudadanos y de las propias metrópolis.

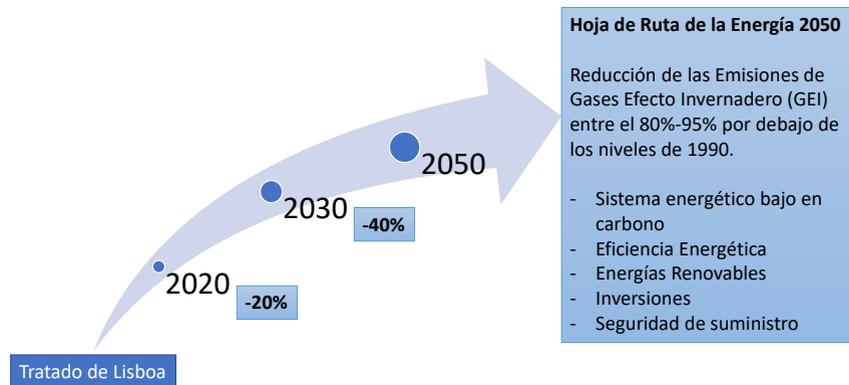


Figura 1. Política Energética de la UE [5].

## EL PROYECTO

### Despliegue de plataforma de monitorización Smart Building

Algunas de las tecnologías que se pueden aplicar para encaminarse hacia objetivo del consumo casi nulo en edificios se basan en la integración de plataformas de monitorización que proporcionan una inteligencia operacional sobre los edificios que aporte soluciones a la eficiencia energética de los edificios.

Una plataforma de monitorización Smart Building supone integrar toda la información en un único lugar para la explotación de dato, su procesamiento Big Data y obtener métricas energéticas. De esta manera se puede controlar toda la infraestructura y ofrecer una capa de análisis para la visualización y explotación de todas las señales monitorizables, independientemente de su naturaleza o procedencia.

En la siguiente ilustración se enumeran esquemáticamente las distintas aplicaciones que la plataforma podría proporcionar para la gestión y sostenibilidad de edificios:

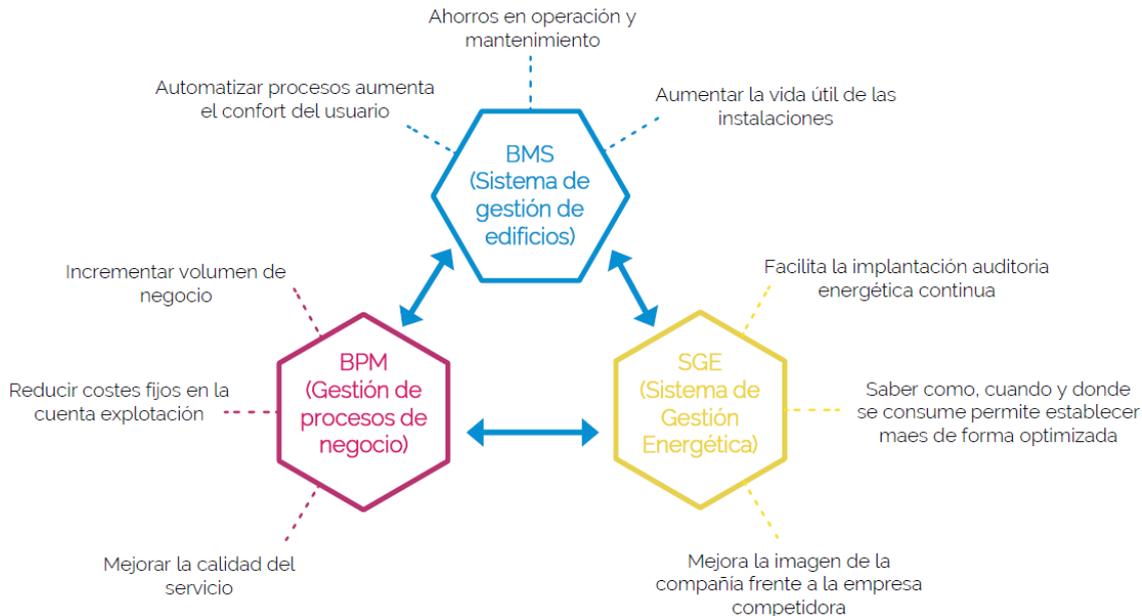


Figura 2. Aplicaciones Smart Building.

Los proyectos realizados tienen como objetivo la creación de un Centro de Control que integre todas estas aplicaciones de Smart Building, donde se monitorizan desde una única plataforma las diferentes variables que provienen de diversos orígenes de información (*Building Management System* de los edificios, señales del Centro de Procesamiento de Datos, ascensores, contadores de energía y sistema eléctrico), eliminando así las “*islas de información*” en las que no era posible relacionar datos para poder obtener métricas de ahorro energético relevantes.

Se busca, por tanto, tener una mayor eficiencia operativa en la gestión del Smart Building (alarmas, notificaciones, informes, etc.) y reducir los tiempos de respuesta entre alarmas o anomalías del sistema. Adicionalmente, se gestionan las alarmas más representativas del sistema, pudiendo establecer límites de consumo y monitorizando los parámetros más representativos del consumo energético mediante KPI's (*Key Performace Indicators*) mostrados en cuadros de mando.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La plataforma de monitorización proporciona las herramientas adecuadas para la realización de sesiones de análisis personalizables a nivel de usuario con el objetivo de ayudar a la mejora continua y toma de decisiones en función del estudio de datos, tanto instantáneos como históricos, para optimizar el consumo energético.

## SOLUCIÓN

Una plataforma de monitorización permite INTEGRAR, PROCESAR y ANALIZAR las múltiples variables heterogéneas de los diferentes entornos: económico, social y medioambiental, entre otros. Se procesan los datos medidos en tiempo real, elaborando modelos matemáticos sobre los datos históricos, capaces de adaptarse a cualquier arquitectura de red desplegada. Estas herramientas deben ser FLEXIBLES, ESCALABLES y VERSÁTILES para que puedan estar presentes en diferentes modelos de negocio con múltiples niveles de criticidad y diversas reglas. Del mismo modo, estas plataformas deben disponer de unas herramientas avanzadas de tratamiento de datos que permitan crear sesiones de ANÁLISIS en tiempo real e históricos con capacidades de visualización y monitorización de datos de forma ágil e intuitiva. Esta tecnología, capaz de ofrecer información útil y estratégica para el negocio a partir de un análisis detallado de la información capturada, es la TECNOLOGÍA BIG DATA.

La estructura básica que sigue este tipo de herramientas se resume en los siguientes bloques:

- Integración:** eliminar las islas de información independientemente de la tecnología con el fin de integrar los datos, señales o variables del entorno que provienen de orígenes de información heterogéneos.
- Procesamiento:** los datos adquiridos serán procesados uniformemente para su almacenamiento y persistencia, de manera que puedan definirse cálculos estadísticos y de negocio de ellos a partir de su recepción en tiempo real e información histórica.
- Análisis:** se trata de flexibilizar el acceso a la información por parte de los usuarios, proporcionando interfaces gráficas multiplataforma y herramientas de análisis (gráficas, informes, correlaciones, mapas o sinópticos).



Figura 3. Estructura de plataforma de monitorización.

## Funciones Building Management System (BMS)

La plataforma de monitorización Smart Building proporciona un Business Management System (BMS), consistente en un conjunto de herramientas software y hardware para la gestión de edificaciones que permite aumentar la vida útil de los activos de las instalaciones, así como la automatización de algunos procesos y ahorros en operación y mantenimiento, como pueden ser:

1. Generación de programaciones, escenarios de operación, secuencias de eventos manuales o automáticas.
2. Operaciones aritméticas y lógicas, estadísticas de señales y comparativas de las mismas.
3. Configuración y gestión de alarmas, con sus correspondientes notificaciones.
4. Envío de comandos ON/OFF y regulaciones energéticas.
5. Gestión de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo.



Figura 4. Funciones BMS.

## Funciones Sistema de Gestión Energética (SGE)

La monitorización Smart Building a través de la plataforma es el complemento perfecto para la gestión y supervisión de un SGE (Sistema de Gestión Energética) según ISO 50001, ya que facilita la implementación de las políticas de ahorro energético, optimizando y reduciendo el tiempo de implantación

de un SGE para cumplir con dicha certificación, el cual puede estar sujeto a auditorías energéticas continuadas en el tiempo.

El sistema permite la interacción multidispositivo de operario – instalaciones – consumo energético, gracias a la creación de señales e índices de Desempeño Energético, consumo energético objetivo y líneas base referencia energética que faciliten la implementación de MAEs (Medidas de Ahorro Energético). De esta forma se consigue un control operacional de las instalaciones, configurando las reglas de control y calculando desviaciones de consumos energéticos y costes.

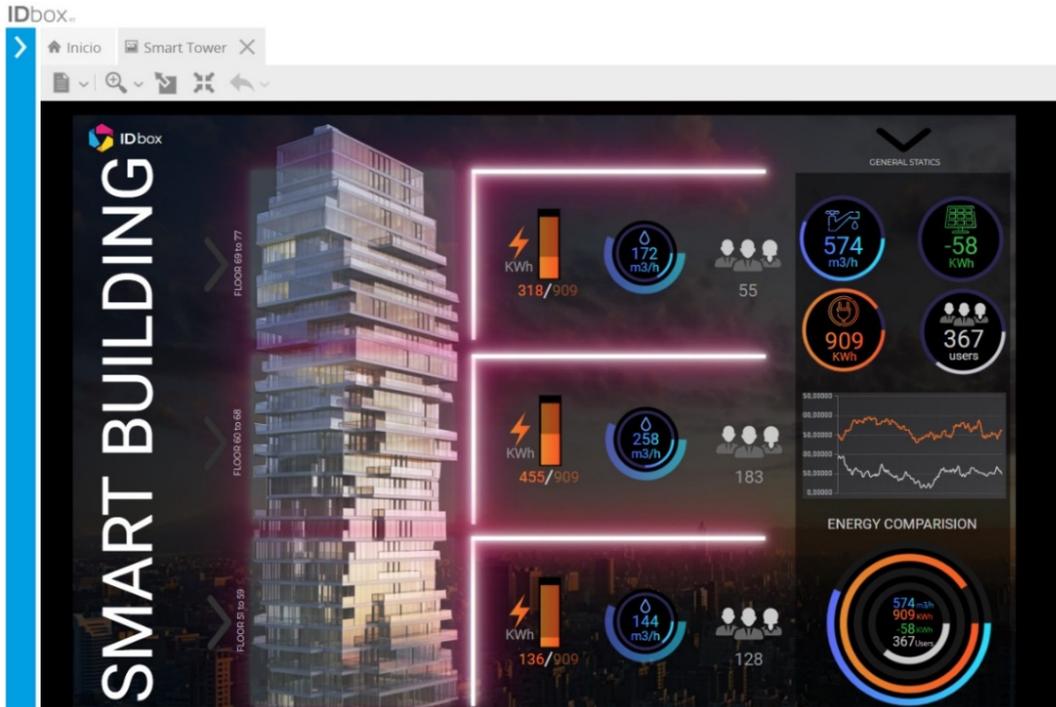


Figura 5. Sinóptico de monitorización de edificio [2].

## RESULTADOS

El análisis de las señales procedentes de fuentes heterogéneas permite identificar oportunidad y optimizar el consumo de los procesos, aportando además mayor calidad al servicio con menores recursos. Como sistema de gestión energética, a partir de esas señales adquiridas, la plataforma permite la creación de indicadores (kWh/m<sup>2</sup>, kWh/persona, kWh/unidad de producción, etc.) y establecer las líneas base de referencia energética basadas en algoritmos y funciones matemáticas para establecer la comparativa y el nivel de Desempeño Energético marcado en las políticas energéticas para la implantación de la ISO 50001.

Las herramientas de visualización permiten analizar la tendencia de los consumos en diferentes periodos de tiempo histórico. De este modo, se pueden establecer comparativas, predicciones, patrones de consumo, detectar usos anómalos, definir comportamientos de los consumidores, marcando líneas base de referencia y regresiones.

Las plataformas de monitorización permiten generar dashboards de forma ágil y sencilla, configurar indicadores, establecer límites de consumo, generar sinópticos de monitorización de referencia, geoposicionar señales en mapas y configurar informes personalizados.

Los beneficios que aporta la integración de plataformas de monitorización en edificios se obtienen gracias a la arquitectura flexible y modular sobre la que trabaja, permitiendo un crecimiento tanto horizontal en base a necesidades actuales, como vertical para abarcar nuevas líneas de negocio o necesidades futuras. Estos beneficios pueden resumirse en:

- Flujo regular y transparencia de la información entre las diferentes áreas.
- Balanceo y operación sobre la demanda energética.
- Reducción de costes y consumo debido a la rápida reacción ante fallo, fugas o anomalías energéticas.
- Mejora de los procesos de producción y asignación más eficaz de recursos.
- Implementación de cálculos OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) de acuerdo con particularidades de la infraestructura y su negocio.
- Ahorro de emisiones y potencialmente en la factura energética.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La Directiva 2010/31/UE sobre la eficiencia energética de los edificios fue modificada en la Directiva (UE) 2018/844 añadiendo estrategias a largo plazo para la renovación de los edificios residenciales y no residenciales con propósito de contar con una alta eficiencia energética y cero emisiones de carbono a más tardar en 2050. Desde sus inicios ha recogido diferentes disposiciones como la estandarización de la eficiencia energética o mejoras en el rendimiento de las instalaciones. Por tanto, la mejora continua y el consumo energético casi nulo es algo intrínseco en la gestión de edificios hoy en día, reduciendo la demanda energética sin perder el confort que la energía aporta en nuestra sociedad, además de incorporar elementos que hagan que las nuevas estructuras puedan ser sostenibles. Para lograr lo primero, se debe definir un consumo energético racional, identificando y analizando patrones, consumos anómalos y la influencia de las variables del entorno. Es necesario introducir en el ecosistema energético las fuentes de energía renovable para optimizar el uso de los recursos, invirtiendo en nuevos sistemas de almacenamiento y en redes locales de distribución para mejorar los niveles de servicio.

El objetivo de la implantación de una plataforma de monitorización Smart Building, es monitorizar en tiempo real los consumos energéticos y disponer de una herramienta capaz de analizar las mediciones realizadas desde cualquier fuente de información y ofrecer al usuario un conjunto de herramientas de análisis que le permitan optimizar sus consumos energéticos de forma dinámica en el tiempo, ofreciendo información útil para implementar estrategias de ahorro y MAE's (Medidas de Ahorro Energético) que reduzcan su consumo energético.

Estaría bien terminar con las palabras del físico y matemático británico William Thomson Kelvin, quien a finales del siglo XIX dijo: "*Lo que no se mide no se puede mejorar*", por lo que los datos generados en los diferentes sectores tienen una gran importancia para ser utilizados como base para la creación de nuevos servicios sobre los mismos, que junto con poderosas herramientas de análisis serán esenciales para alcanzar mejores resultados y ser más eficientes en el consumo de energía y en la toma de decisiones.

## REFERENCIAS

- [1] AENOR, 2020, Certificación del sistema de gestión energética ISO 50001.  
<https://www.aenor.com/certificacion/eficiencia-energetica/eficiencia-energetica-50001>
- [2] CIC Consulting Informático de Cantabria, 2020, Plataforma IDboxRT.
- [3] <http://idboxrt.com/producto/>
- [4] Parlamento Europeo, 2020, Fichas técnicas sobre la unión europea.  
<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/69/la-eficiencia-energetica>
- [5] Proyecto Steeep, 2017, Eficiencia Energética. Introducción para la empresa.
- [6] [https://www.camara.es/sites/default/files/generico/steeep\\_resultados\\_0.pdf](https://www.camara.es/sites/default/files/generico/steeep_resultados_0.pdf)

# EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA LIGERA Y SUS CONTEXTOS GEOGRÁFICOS: UN CASO DE ESTUDIO

**Juan Carlos Sánchez González**, Doctor Arquitecto, Universidad Politécnica de Madrid/ETSAM

**Benito Lauret Aguirregabiria**, Profesor Titular, Universidad Politécnica de Madrid/ETSAM

**Graciela Ovando Vacarezza**, Doctora Arquitecta, Universidad Politécnica de Madrid/ETSAM

**Belén Pérez-Pujazón Millán**, Doctor Arquitecto, Universidad Politécnica de Madrid/ETSAM

**Luis Claros Marfil**, Doctor Ingeniero Químico, Universidad Politécnica de Madrid/ETSAM

**Resumen:** En función del contexto geográfico y las tecnologías de generación energética por medios renovables (incorporadas a la trama arquitectónica del edificio y en sus elementos constructivos), la construcción industrializada y ligera, se presenta como una alternativa favorable para alcanzar altas prestaciones energéticas, hasta superar los niveles de un Edificio de Energía Casi Nula (EECN). En esta comunicación se presentan los resultados de una investigación sobre un prototipo existente que demuestran que es posible alcanzar estas altas cotas de eficiencia. Para esto, se desarrolla un método empírico, práctico, simplificado y fiable, basado en estudios geográficos, ensayos, caracterizaciones y simulaciones energéticas con programas informáticos de referencia.

**Palabras clave:** EECN, Construcción industrial ligera, Caracterizaciones/Simulaciones energéticas, Mapas de Köppen

## INTRODUCCIÓN

La construcción industrializada sigue siendo, actualmente, uno de los sistemas más avanzados en cuanto a procesos constructivos se refiere. Aun contando con este sistema, en muchos aspectos, la arquitectura, y más específicamente las técnicas y sistemas utilizados están más próximas a una manera artesanal de hacer las cosas que a procesos industrializados cerrados. Los términos eficiencia energética y EECN, suelen estar asociados a la idea de cerramientos masivos con gran inercia térmica, propios de estándares de diseño como el *Passivhaus*, pero los avances que se van alcanzando en materia de cerramientos ligeros industrializados y en tecnologías para el aprovechamiento de la energía y sistemas de generación renovables, colocan a la construcción industrial ligera como una opción válida dentro del contexto y planteamientos de las Directivas 2010/31/UE y 2018/844. Éstas comprometen a todos los estados miembros de la Unión Europea (UE) a establecer una hoja de ruta con medidas e indicadores de progreso mensurables, que permitan conseguir edificios energéticamente eficientes antes de los plazos establecidos con hitos indicativos para 2030, 2040 y 2050.

## Objetivos de la investigación y planteamiento de la metodología de trabajo

Con esta investigación se ha buscado demostrar que una construcción industrializada y ligera, apoyada en sistemas de generación de energía renovable, puede alcanzar elevados niveles de optimización energética, hasta sobrepasar los valores de un EECN, y en función de un contexto climático determinado. Para esto la metodología de trabajo utilizada se ha apoyado en tres vertientes complementarias; una primera vertiente de análisis documental, que ha incluido el estudio del estado de la técnica (análisis de ejemplos como el Solar Decathlon y de resultados de otros trabajos de investigación y artículos científicos del Journal Citation Report). La segunda vertiente metodológica ha sido empírica, basada en la realización de ensayos y mediciones in situ, sobre un prototipo a escala natural, del que se han obtenido datos de temperatura, humedades y rendimientos energéticos, en distintas estaciones del año. La tercera vertiente metodológica, ha consistido en la realización de caracterizaciones/simulaciones energéticas con el programa CE3X [1], sobre el prototipo de estudio y a partir de los resultados obtenidos en los ensayos y mediciones, situando al referido prototipo en distintos escenarios climáticos teóricos, bien diferenciados por los mapas de Köppen- Geiger, y que han permitido un análisis del comportamiento y rendimientos en términos energéticos del referido modelo a escala 1:1.

### El prototipo o modelo de estudio

El prototipo es un pequeño edificio exento de 38.9 m<sup>2</sup> (9,72 x 4,00), que funciona como aula para el Taller de Construcción Experimental de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM), con altura de suelo a techo interior de 2.50 m, para un volumen de 97,20 m<sup>3</sup>. Sus cerramientos verticales opacos son de paneles sándwich de chapa de aluminio pre-lacado blanco y alma de poliuretano e= 4 cm y transmitancia térmica (U) de 0,54 W/m<sup>2</sup>K.

Las superficies acristaladas (vidrio sencillo con  $U= 5,70 \text{ W/m}^2\text{K}$  y carpinterías de aluminio sin rotura de puente térmico) suman unos  $29 \text{ m}^2$ . Las fachadas norte y oeste llevan una protección de malla micro-perforada tipo Soltis FT 381 de color gris, con cámara de aire de  $25 \text{ cm}$ . El suelo, de tablero de madera aglomerada de  $e= 2 \text{ cm}$ . y acabado en linóleo, tiene una  $U= 2,33 \text{ W/m}^2\text{K}$ . La cubierta compuesta por una chapa galvanizada mini-onda, sobre una cámara ventilada de  $5 \text{ cm}$ . cubre un tablero similar al del suelo y aislamiento de lana mineral  $U= 0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

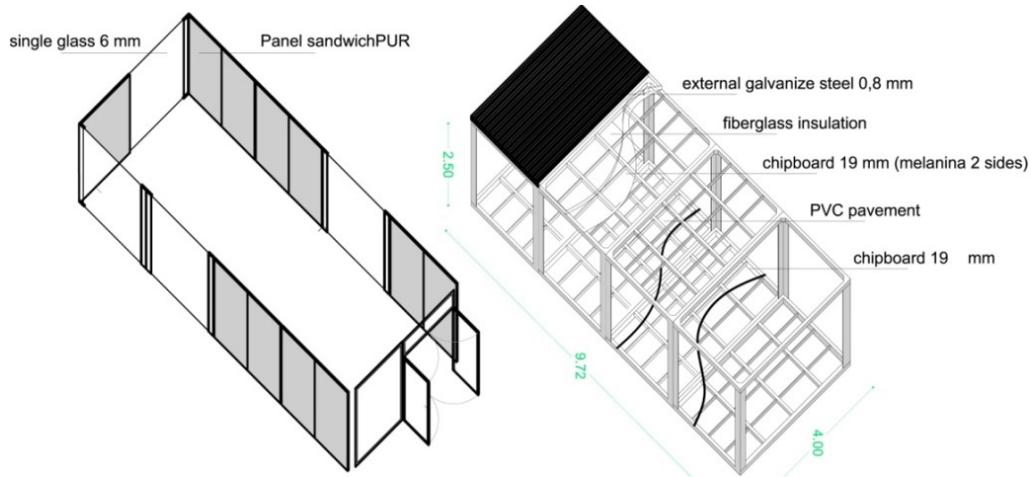


Figura 1. Vista en perspectiva del Taller de Construcción Experimental ETSAM. (Cad: Lirola Pérez) [2]

## Desarrollo del trabajo

Para demostrar la hipótesis de la potencial optimización energética de una construcción industrializada ligera, y luego de realizar un análisis documental exhaustivo del estado de la técnica, se ha tomado como *demonstrador* este prototipo, de características constructivas modestas y muy bajas prestaciones, propias de una caseta de obra, que por su naturaleza supone un claro ejemplo de ineficiencia en términos energéticos.

### Metodología experimental desarrollada

Para evaluar sus condiciones actuales y rendimientos, se han medido, en períodos determinados de tiempo de aproximadamente 12 horas nocturnas (registrando datos cada 10 minutos), las temperaturas y humedades, así como los consumos de calefacción durante el funcionamiento de los sistemas de climatización antes descritos. Estos períodos de medición han abarcado horarios nocturnos y diurnos de manera que los resultados obtenidos han podido ser estudiados desde el punto de vista de uso de vivienda. Para estos ensayos, se han colocado unos medidores de temperaturas y humedades interiores y exteriores (Data Loggers), modelo Hobbo Anset H08-002-02 y Hobbo Anset Pro Series H08-032-08, que han servido para comparar las condiciones tanto fuera como dentro del taller, en primavera como en invierno. Para registrar las mediciones interiores se han colocado los medidores a una altura media de  $75 \text{ cm}$  desde el nivel de suelo y en otros casos a una distancia de  $20 \text{ cm}$  del interior del techo. También se han colocado junto (adheridos) a los cerramientos opacos y acristalados para comprobar su comportamiento. Las mediciones exteriores se han registrado mediante una sonda colocada desde el dispositivo de medición hasta el exterior.



Figura 2. Hobbo Anset H08-003-02.



Figura 3. Hobbo Anset Pro Series/H08-032-08.



Figura 4. Medidor de energía

Los equipos de climatización considerados para los ensayos del modelo han sido dos radiadores eléctricos con potencia media de 675 W cada uno. Para conocer el consumo de estos equipos, se ha colocado un medidor de consumo Brennenstuhl BN-PM231 (Fig. 5). El consumo de estos elementos equivale aproximadamente al rendimiento de los mismos, es decir, 1 kW de consumo por 1 kW de calefacción.

Experimentalmente se comprueban las posibles situaciones y/o soluciones de diseño ensayadas. Luego estos datos, han servido para calibrar las simulaciones realizadas y confirmar como válidos los resultados obtenidos en estas últimas. Se ha podido comprobar también que la piel del edificio determina, como factor decisivo, los niveles de *confort* de partida del prototipo. También se ha comprobado que medidas pasivas, como la colocación de estores benefician el balance térmico del interior del prototipo. Estos estores (de material sintético, opacos y de color blanco), dispuestos para su uso diurno, para evitar el deslumbramiento interior, en horario nocturno, se convierten en medidas de protección pasivas, impidiendo que la energía calorífica, producidas por los radiadores eléctricos, se pierda por los acristalamientos. Para cuantificar esto se realizaron mediciones en dos días consecutivos en horario nocturno, es decir desde las 21:00 hasta las 9:00. Los días seleccionados fueron en condiciones de primavera; el primer ciclo de ensayo fue realizado con protecciones interiores en 45% de los acristalamientos el segundo sin desplegar dichas protecciones. Con esto se ha podido comprobar que entre el ciclo con protección interior ligera (estores) y el ciclo sin protección, se produjo una diferencia de temperatura con respecto al exterior de hasta 1,24 °. Esto quiere decir que en el período de medición con protección al 45% se registró una diferencia de temperaturas (salto térmico) del orden de 7,74 °C, con los calentadores eléctricos activados con un consumo combinado de unos 1.340 Wh aproximadamente. En el período de medición sin protección la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior fue de 6,50 °C, utilizando el mismo sistema de calefacción.

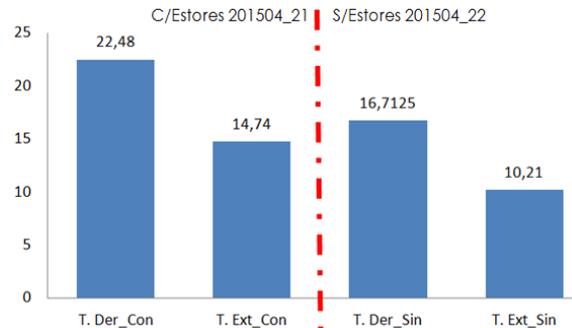


Figura 5. Modelo con estores desplegados.

Figura 6. Diferencia entre mediciones con protección (estores) y sin protección.

En la figura anterior se pueden ver las barras comparativas de temperaturas interior/ exterior “Con” estores en las barras de la izquierda (T.Der\_Con = a temperatura interior con estores, y T. Ext\_Con= a temperatura exterior) y a la derecha la misma comparativa “Sin” estores (T. Der\_Sin = a temperatura interior son estores y T.Ext\_Sin = temperatura exterior).

### Metodología de simulaciones y caracterizaciones informáticas

Los objetivos específicos de estas simulaciones informáticas han sido obtener resultados de datos de consumos, demandas y generación de energía, recreando, previamente, el estado actual del prototipo en función de los datos obtenidos en la fase experimental, y luego planteando unos escenarios de mejoras con nuevas prestaciones energéticas, para determinar su nivel de eficiencia de cara al NZEB y según la ubicación del modelo de simulación, de acuerdo a los estudios climáticos y mapas de Köppen – Geiger. Estos mapas permiten determinar todas las zonas climáticas en las que el prototipo presentaría los mismos rendimientos o un desempeño energético similar. De esta manera, si con las medidas de mejora (incorporación de renovables en su arquitectura) el mismo puede alcanzar los niveles de EECN en Madrid, también lo podría conseguir en lugares con características climáticas parecidas. Para la realización de las simulaciones/caracterizaciones se ha utilizado el programa de referencia CE3X para la calificación energética de los edificios. Dado que el CE3X no permite realizar cálculos con edificios inferiores a 50 m<sup>2</sup>, para la comparación y validación de los resultados obtenido en este trabajo, se ha utilizado un factor de corrección que ha permitido confirmar los datos obtenidos. Este valor numérico ha sido 1,33, en el caso de la superficie, y que aplicado a los resultados obtenidos por el programa, ha permitido validarlos con los datos obtenidos en otras simulaciones previas, con los programas HULC y IDA – ICE, para investigaciones anteriores.

También se han aplicado otros factores de conversión para las demás variables (dimensionales y volumétricas) del prototipo; tal como se muestra en la siguiente tabla:

Variable	Valor actual	Factor de conversión	Nuevo valor
Superficies m2	38,9	1,33	51,74
Longitud ( Ancho) ml	4	1,155	4,62
Longitud (Largo) ml	9,72	1,155	11,2266
Longitud (Alto) ml	2,5	1,155	2,8875
Volumen m3	95,2	1,575	149,94

Tabla I. Factores de conversión. Fuente: Elaboración propia

En síntesis, se han realizado los cálculos de demandas y consumos del prototipo (con el programa CE3X), aumentado en sus dimensiones proporcionalmente, pero sin alterar sus características técnico/constructivas, ni su uso. Al no realizar un cambio de uso en esta fase de comprobación de las prestaciones en su estado actual, se han podido validar los datos y corroborar que, una vez aplicados los factores de corrección, no se ha producido ninguna distorsión en los resultados, comparando los mismos con otras simulaciones y sus resultados, obtenidos previamente por otros investigadores en trabajos anteriores. Por otro lado y de manera paralela se han equiparado las calificaciones climáticas definidas en el Código Técnico de Edificación (CTE) con las calificaciones propuestas en los mapas y estudios de Köppen – Geiger tal como se muestra en la tabla siguiente:

TABLA DE EQUIPARACIÓN DE ZONAS CLIMÁTICAS		
Localidad Española	Zonas Climáticas CTE	Zonas Climáticas Mapa Köppen
Santa Cruz de Tenerife	α3	BWk, BWh, BSh, Aw y Am
Almería	A4	BWk
Sevilla	B4	Csa
Madrid	D3	BSk
Ourense	D2	Csb
Santander	C1	Cfb
Burgos	E1	Dsb

Tabla II. Equiparación entre las zonas climáticas españolas y Zonas en el Mapa de Köppen. Fuente: Elaboración Propia

World map of Köppen-Geiger climate classification

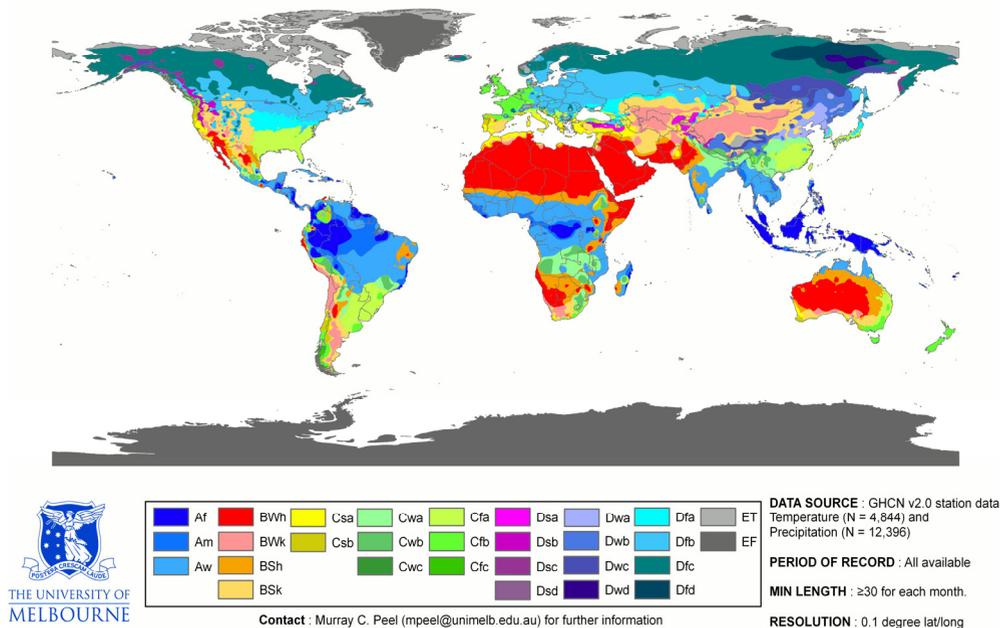


Figura 7. Mapa de Köppen – Geiger sobre climas del mundo. Fuente: (Peel et. al, 2007) [3].

Una vez validados los datos en el estado original de uso del prototipo, se ha pasado a caracterizar el mismo con uso de vivienda, pero conservando sus características constructivas y prestaciones energéticas de origen, así como situación en Madrid. Estos datos, obtenidos para esta localidad, se han extrapolado, por medio de los mapas de Köppen – Geiger, a otras zonas geográficas/climáticas, quedando reflejado en el mapa de la figura 7, los lugares con características similares, donde el modelo o prototipo tendría un comportamiento análogo en términos de prestaciones energéticas y a modo de números gordos. Luego se le han implementado medidas de mejoras al modelo, tal como se establecen en el programa CE3X, extrapolando igualmente los resultados a las otras zonas geográficas/climáticas. Esto, realizado para las siete zonas definidas y equiparadas en la tabla II (Santa Cruz de Tenerife, Almería, Sevilla, Madrid, Ourense, Santander y Burgos), ha permitido determinar que, a nivel de orden de magnitud y como primera aproximación a números más finos, una construcción industrial y ligera, optimizada a nivel de implementación de renovables en su arquitectura, puede ser EECN e incluso energy plus.

A modo de ejemplo, a continuación, en la figura 8, y con los datos de consumo energético, como punto de partida, sin proyectar ninguna medida de mejora, se presentan los datos obtenidos en la simulación energética para el prototipo objeto de estudio y con uso de vivienda de 52m<sup>2</sup> (con los factores de corrección de escala ya aplicados). En los mismos se obtienen unas calificaciones muy lejanas de la A o en nivel de un EECN. En la figura 9 se muestra el mapa de Köppen – Geiger en gris por no cumplir, para ninguna zona geográfica, estos niveles de EECN.

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE [kWh/m <sup>2</sup> año]		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO [kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> año]	
< 54.2 A		< 12.2 A	
54.2-87.0 B		12.2-19.9 B	
87.0-136.1 C		19.9-30.8 C	
136.1-209.2 D		30.8-47.3 D	
209.2-375.6 E	321.4 E	47.3-83.7 E	54.4 E
375.6-473.2 F		83.7-100.4 F	
≥ 473.2 G		≥ 100.4 G	

Figura 8. Resultados simulación con CE3X de prototipo con uso de vivienda con características y prestaciones actuales. Fuente: Elaboración propia

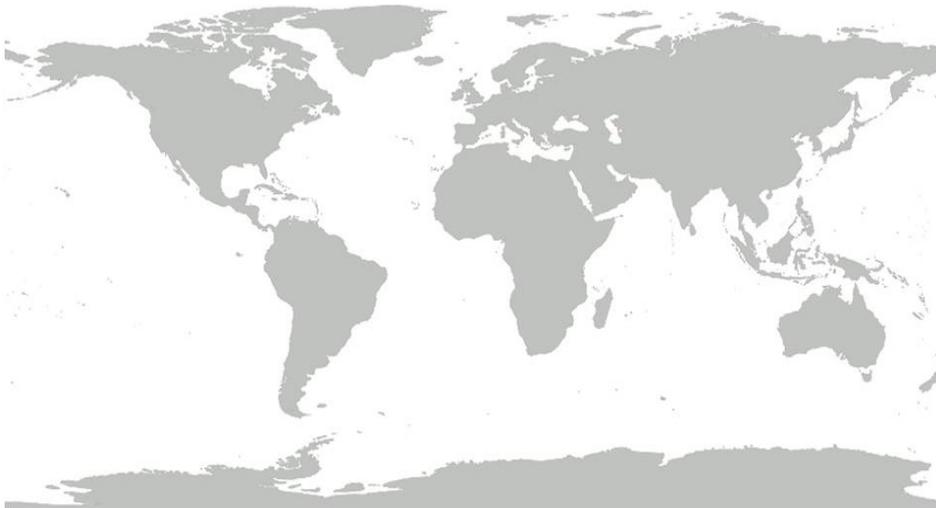


Figura 9. Mapamundi. Fuente: Elaboración propia

Igual que en el caso anterior, partiendo de los datos de consumo y proyectada una instalación fotovoltaica al 100% sobre la superficie de la cubierta (52 m<sup>2</sup>) del modelo o prototipo, de acuerdo a las zonas climática especificadas según el CTE y extrapolados al mapa de Köppen – Geiger, se realizan los cálculos con el CE3X y se obtiene la nueva calificación energética de cara al EECN. A continuación, los valores obtenidos.

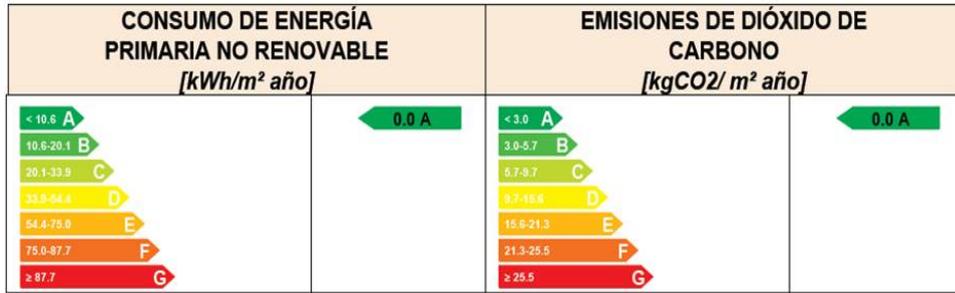


Figura 10. Resultado simulación con CE3X de prototipo con uso de vivienda con integración de fotovoltaica en la cubierta. Fuente: Elaboración propia

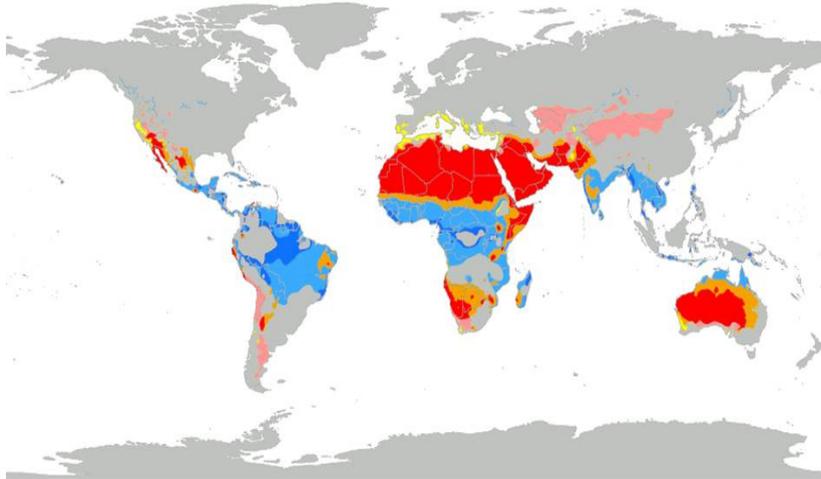


Figura 11. Mapamundi con zona coloreadas (según calificación climática de Köppen –Geiger) en las que el prototipo cumple con las características propias de un EECN. Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

Se ha podido demostrar experimentalmente y con la herramienta informática de simulación CE3X, que la construcción industrializada y ligera puede ser energéticamente eficiente, llegando a cumplir los estándares de un EECN y superiores, con envolventes de  $U= 0,54 \text{ w/m}^2\text{k}$ , para el uso de vivienda, y con la implementación de renovables en su arquitectura, para distintas localidades españolas, equiparables a las zonas definidas por el mapa y la clasificación climática Köppen – Geiger. También se ha podido establecer un método de simplificación del cálculo, con la referida herramienta y los mapas climáticos, como aporte para el cálculo inicial en proyectos de eficiencia energética.

## REFERENCIAS

- [1] CE3X. Programa informático de referencia, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, para las certificaciones energéticas de edificios.
- [2] Lirola Pérez, J.M., 2015. Dibujo en CAD
- [3] Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A., 2007, Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. Hydrol. Earth Syst. Sci. Göttingen

# SISTEMAS DE AEROTERMIA HÍBRIDA CON R32 EN PROYECTOS RESIDENCIALES DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA

**Alberto Bravo Sánchez**, Especialista de Producto y Escritor Técnico, LG Electronics

**Resumen:** El presente artículo pretende mostrar la idoneidad de la Aeroterminia Híbrida con refrigerante R32 (VRF para clima + producción de ACS) en proyectos residenciales de alta eficiencia energética. Se presentará como ejemplo el proyecto Marina Living situado en Badalona, analizando para ello 1 de sus 4 fases, la cual cuenta con un total de 89 viviendas que han integrado dicha solución. Se estudiarán las necesidades técnicas del proyecto, los condicionantes impuestos por el nuevo RSIF derivados de la instalación de VRF con R32, aportando para ello los cálculos justificativos, y se validará, aplicando la normativa vigente y realizando los cálculos pertinentes, la posibilidad de suprimir la instalación solar térmica.

**Palabras clave:** VRF, R32, Refrigerante, Aertoterminia, Eficiencia, Solar, Normativa.

## EN BUSCA DE LA SOLUCIÓN RESIDENCIAL MÁS EFICIENTE POSIBLE

Las soluciones que integran en un mismo equipo la producción de ACS, la calefacción y la refrigeración, son una de las opciones que más demandadas en el sector residencial.

Cuando se habla de proyectos residenciales complejos que cuentan con un número elevado de plantas y/o viviendas, encontrar una solución que se ajuste a los reducidos espacios de instalación inherentes al proyecto, que respete las limitaciones técnicas de los equipos y que presente unas eficiencias lo suficientemente elevadas como para poder suprimir la instalación solar reduciendo costos, resulta un verdadero reto. Para hacer frente a esta situación, la Aeroterminia Híbrida es una de las mejores opciones.

La Aeroterminia Híbrida es una solución altamente versátil disponible tanto con refrigerante R32 como R410A. No debemos olvidar que los recientes cambios normativos a nivel europeo con respecto a estos gases refrigerantes están provocando una constante revisión de estas trasposiciones normativas que se aplican en cada país. Esto se traduce no solo en la adecuación de los proyectos a estas nuevas modificaciones que, además de aumentar las exigencias en distintos ámbitos, fomentan cambios muy notorios en el desarrollo de nuevos productos por parte de los fabricantes de equipos.

Un claro ejemplo de ello es última versión del Reglamento de Seguridad para Instalaciones Frigoríficas (RSIF), en donde se reclasifican los refrigerantes A2L como el R32 y se revisan sus límites de concentración, lo que está haciendo que los proyectos que incluyen equipos de VRF empiecen a decantarse por unidades con este nuevo refrigerante.

## Aeroterminia Híbrida con R32

La Aeroterminia Híbrida es la tecnología que se encarga de utilizar la energía contenida en el aire para, a través de su funcionamiento como de calor reversible, producir calor, frío y agua caliente sanitaria, pero usando para ello equipos de VRF, y por tanto expansión directa en sus unidades interiores. Este tipo de unidades se apoyan en diferentes tecnologías, entre las que destacan las siguientes:

- Sistema VRF: el sistema de flujo de refrigerante variable es una tecnología que, mediante el uso de refrigerante como fluido calo portador y gracias a los compresores Inverter de sus unidades exteriores y las válvulas electrónicas ubicadas en cada una de las unidades interiores, permite regular el flujo impulsado a las mismas, de manera que se atienda a la demanda térmica requerida por cada unidad interior. Esta solución además permite zonificar los sistemas, proporcionando, si fuera necesario, calor y frío simultáneamente (sistemas a tres tubos) y alcanzando unos rendimientos muy elevados.
- Compresor Inverter: los compresores Inverter permiten una regulación continua y el ajuste de la velocidad de giro en todo momento, de manera que se amplían los rangos de funcionamiento de los equipos y contribuyen a alcanzar unas eficiencias energéticas muy elevadas.
- Hidrokitt: son unidades interiores cuya función es la de intercambiar la energía entre el refrigerante y el agua. Este elemento jugará un papel fundamental en la eficiencia global del equipo, valor que estará muy condicionado a si en el proyecto se necesitan alcanzar altas temperaturas (60°C o más, doble etapa de compresión) o medias temperaturas (una etapa de compresión).



Figura 1. Sistema de Aerotermia Híbrida con R32.

## EL PROYECTO: MARINA LIVING BADALONA

Marina Living es un proyecto situado junto al mar en Badalona. Formado por un total de 4 fases y 342 viviendas en las tres últimas fases, cada apartamento tiene entre 2 y 4 dormitorios, altas calidades tanto en interiores como en la envolvente, e instalaciones de alta eficiencia, lo que otorga al proyecto de una clasificación energética A.

La fase analizada para la realización de cálculos cuenta con de un total de 89 viviendas individuales distribuidas en 5 plantas, y en donde la integración de los equipos de climatización ha sido uno de los puntos clave. La tipología del proyecto y los requisitos técnicos buscaban minimizar el impacto de las instalaciones en la estética, así como reducir y simplificar la instalación de agua respetando en todo momento la elevada eficiencia energética.



Figura 2. Proyecto Marina Living, Badalona.

Dadas las particularidades constructivas de su cubierta, uno de los puntos determinantes fue la necesidad de la instalación de equipos compactos y ligeros, pero que fuesen capaces de hacer frente a los siguientes requerimientos adicionales:

- Ventilador único.
- Grandes longitudes de tubería.
- Producción de ACS.
- Alta eficiencia.
- Cumplimientos normativos para la supresión de paneles solares.

Se analizaron diferentes soluciones que pudieran cumplir con los requisitos especificados por el cliente, las necesidades técnicas del propio proyecto y las restricciones normativas, optándose por un sistema de Aerotermia Híbrida formado por:

- Una unidad exterior mini VRF con R32 mono ventilador.
- Un módulo mural de producción de agua caliente sanitaria.
- Un depósito acumulador con intercambiador de serpentín simple.
- Una unidad de conductos de media/alta presión.

## Viabilidad de la solución: cumplimiento de los límites de concentración de refrigerante R32

Si bien es cierto que el uso del refrigerante R32 en proyectos que cuenten con equipos de VRF suele estar sometido a fuertes restricciones, existen líneas en donde su uso es más plausible; las denominadas unidades Mini VRF o unidades de VRF compactas. En general, este tipo de equipos cuentan con precargas mucho más bajas (en torno a 3 kg), lo que posibilita su uso siempre que los requerimientos de inflamabilidad y toxicidad impuestos por el RSIF así lo permitan. El uso del refrigerante R32 trae consigo ciertas ventajas:

- Clase de seguridad A2L (baja toxicidad y ligeramente inflamable)
- Bajo PCA (675 vs 2087 del R410A)
- Amplio rango de temperaturas de funcionamiento.
- En general, a igualdad de potencias, los equipos suelen requerir menor carga de refrigerante.
- En general, los equipos cuentan con mayor eficiencia energética y son de menor tamaño.

El uso de refrigerantes A2L establece una serie de requisitos a verificar para que el proyecto, sea viable. El RSIF recoge en su Instrucción IF-04 los valores máximos admisibles tanto por toxicidad como por inflamabilidad. Particularizando para este proyecto:

Según la normativa:

- Toxicidad del refrigerante: A
- Inflamabilidad: A2L
- Tipo de local: A
- Tipo de emplazamiento: 2

Por lo que, por aplicación de la IF04 se obtiene:

- Estudio de la toxicidad:
- Límite de carga máxima → A2 (Tabla A-IF04)
- Límite de toxicidad (ATEL/ODL) → (Tabla A / Apéndice 1/ IF02)
- Para el proyecto analizado:
- Vivienda más desfavorable: 70 m<sup>2</sup>, altura: 2,5 m. Se considera el volumen de toda la vivienda incluyendo falsos techos al ser un conducto único y tener ventilación forzada.
- Refrigerante total para 40 metros de tubería: 5 kg
- Carga máxima admisible:  $(0,3 \frac{kg}{m^3}) * (70m^2 * 2,5 m) = 57,75 \text{ kg} > 5 \text{ kg} \rightarrow \text{cumple}$
- Estudio de la inflamabilidad:
- A2 (Tabla B –IF04)
- Apéndice 3 ( bomba para confort humano )

- Para el proyecto analizado:
- $A2L \rightarrow m1 = 4 * LFL * 1,5 = 1,824 < \text{Carga equipo VRF} \rightarrow \text{estudio de inflamabilidad:}$
- $M_{max1} = 2,5 \cdot LII^{5/4} \cdot h_0 \cdot A1/2$ , con  $h_0=2,2$  (equipos de techo)
- $= 2,5 \cdot 0,3075 / 4 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 701^{1/2} = 10,51 \text{ kg} > 5 \text{ kg} \rightarrow \text{cumple}$

### Conclusiones: comprobaciones y límites. La importancia de la tipología de la unidad interior

El uso de equipos de VRF con refrigerante R32 en proyectos residenciales todavía es poco habitual. Las restricciones normativas y las medidas de seguridad adicionales a tener en cuenta cuando se superan los 11,97 kg de carga, algo muy habitual en VRF, hacen que su uso quede limitado a proyectos en donde solo tienen cabida unidades exteriores cuyas potencias habituales no exceden los 20 kW.

Un factor determinante a la hora de analizar la viabilidad de esta solución, es el tipo de unidades interiores instaladas, ya que son éstas las que condicionan la carga máxima de refrigerante admisible. A continuación, presenta a modo de ejemplo los valores reales de este proyecto y cómo se vería afectado el mismo si la unidad interior más restrictiva tuviese otra altura de fuga según normativa:

RSIF - Límites de concentración R32		
Proyecto Marina Living - fases 2 y 3		
Estudio de la concentración	Límite normativo (kg)	Proyecto
Carga máxima por toxicidad	57,5	5 kg
Carga máxima por inflamabilidad	10,51	5 kg

Análisis de la carga máxima según tipología de unidad interior		
Carga máxima por inflamabilidad	Límite normativo (kg)	¿Cumpliría?
Unidad de techo ( $h_0=2,2$ )	10,51	Sí
Unidad de pared ( $h_0=1,8$ )	8,6	Sí
Unidad de suelo ( $h_0=0,6$ )	2,87	No

Tabla I. Comparativa entre concentraciones máximas permitidas según el tipo de unidad interior.

## Viabilidad de la solución: validación de los cálculos para supresión de la instalación solar térmica. Análisis de escaleras A, B y C (89 viviendas)

El nuevo El Código Técnico de la Edificación (CTE) juega un papel fundamental para la Aerotermia. Los puntos clave que afectan directamente a los equipos de producción se encuentran en el Documento Básico HE4: "Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria". No debemos olvidar que El CTE establece los valores mínimos que se han cumplir, en este caso, para considerar que un equipo de Aerotermia es renovable, pero serán los Decretos o normativas específicas de la región las que perfilarán la idoneidad o no de dicho equipo en relación a la renovabilidad y la posibilidad de su uso como equipos sustitutivos de la instalación solar. Para la región de Badalona, los criterios están supeditados a la normativa más restrictiva entre:

- Decret d'Ecoeficiencia
- OST de Badalona
- Código Técnico de la Edificación

Del análisis de estas se establece que la normativa más restrictiva es el Decret d'Ecoeficiencia, por lo que para que se pueda suprimir la instalación de paneles solares será necesario que, realizando los cálculos con los datos aportados por dicha normativa:

- El sistema planteado como alternativa, tenga un SPF (o SCOPacs) superior a 2,5 a una temperatura de producción de ACS de 60°C.
- El Sistema planteado como alternativa, tenga un SCOPnet superior a 2,5.
- El sistema planteado como alternativa, combinando las necesidades de ACS y calefacción, consuma menos energía primaria y produzca menos CO2 que el sistema de referencia compuesto por una caldera de rendimiento estándar 92% y una cobertura solar del 50%.

A continuación, se recoge el resumen de cálculos de las tres escaleras del proyecto:

	Escalera A		Escalera B		Escalera C	
ACS	Sistema VRF Híbrido	Solar + caldera	Sistema VRF Híbrido	Solar + caldera	Sistema VRF Híbrido	Solar + caldera
Demanda de ACS (kWh)	68880	68880	83878	83878	54438	54438
Demanda de ACS cubierta por paneles solares	0%	50%	0%	50%	0%	50%
SCOPacs	3,06	0,92	3,06	0,92	3,06	0,92
Fuente de energía	Electricidad	Gas Natural	Electricidad	Gas Natural	Electricidad	Gas Natural
Consumo de final (kWh)	23423	37435	28523	45586	18511	29586
Consumo de energía primaria no renovable (kWh)	55394	44735	67456	54475	43779	35355
Emisiones de kg CO2	7753	9434	9441	11488	6127	7456
CALEFACCIÓN	Sistema VRF Híbrido	Solar + caldera	Sistema VRF Híbrido	Solar + caldera	Sistema VRF Híbrido	Solar + caldera
Demanda de calefacción (kWh)	44918	44918	54744	54744	34389	34389
Demanda de ACS cubierta por paneles solares	0%	0%	0%	0%	0%	0%
SCOPnet	7	0,92	7,01	0,92	7,01	0,92
Fuente de energía	Electricidad	Gas Natural	Electricidad	Gas Natural	Electricidad	Gas Natural
Consumo de final (kWh)	7644	48824	9316	59504	5852	37380
Consumo de energía primaria no renovable (kWh)	18077	58344	22032	71107	13840	44669
Emisiones de kg CO2	2530	12304	3084	14995	1937	9420
ACS + CALEFACCIÓN	Sistema VRF Híbrido	Solar + caldera	Sistema VRF Híbrido	Solar + caldera	Sistema VRF Híbrido	Solar + caldera
Consumo de energía primaria no renovable (kWh)	73471	103079	89488	125582	57620	80024
Emisiones de kg CO2	10283	21737	12525	26483	8064	16875
Energía gratuita del sistema	81627	34440	99437	41939	63618	27219
Energía gratuita > necesidad de ACS anual	SI	NO	SI	NO	SI	NO

Tabla II. Resumen de los cálculos. Comparativa.

### Conclusiones: la Aerotermia como solución tanto eco eficiente como económica

Los equipos bomba de calor con posibilidad de producción de ACS han ido evolucionando de tal manera que en la actualidad son una referencia no solo de alta tecnología sino de alto rendimiento y por consiguiente, alto ahorro energético, lo que los convierte en equipos idóneos en cualquier proyecto.

Los requisitos impuestos por la versión previa del C.T.E recoge unos valores mínimos de aporte diferentes a los impuestos en la actualidad, y si bien ahora se muestra más estricto en este aspecto, las imposiciones normativas impuestas por Europa a los fabricantes de equipos son tan exhaustivas que los nuevos productos desarrollados por las diferentes compañías se ajustan sin problema en la gran mayoría de casos, lo que se traduce en un ahorro económico más que evidente al evitar una instalación tan compleja y delicada como lo es la instalación solar.

## CONCLUSIONES FINALES

El progresivo interés por los proyectos de alta eficiencia está más presente que nunca en el ámbito de la edificación residencial. Normativas como el CTE, el RITE y el RSIF llevan implícito en su ADN este nuevo enfoque, que no solo repercute en el proceso constructivo sino también a todos los agentes implicados ya sea tanto directa como indirectamente.

En el caso de los fabricantes de equipos de climatización, la incesante búsqueda de refrigerante eco eficientes, una elevada calidad del aire interior o el aumento de las exigencias relativas a los rendimientos de los equipos llevan a los mismos a realizar grandes inversiones en I+D+I para alcanzar unos mínimos realmente elevados, lo que no hace más que ratificar la importancia de las instalaciones de climatización en el nuevo paradigma que suponen los edificios de consumo energético casi nulo.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a Stoneweg por permitirnos utilizar el proyecto Marina Living de Badalona para este artículo.

## REFERENCIAS

- “CTE. Documento básico de ahorro de energía. Documento Básico HE Ahorro de Energía”. Disponible en:
- <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf> [consultado el 3 de agosto 2020]
- “CTE. Documento básico de ahorro de energía. Documento Básico HE Ahorro de Energía”. Disponible en:
- [https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/historico/DBHE\\_20131108.pdf](https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/historico/DBHE_20131108.pdf)
- [consultado 3 de agosto 2020]
- “DECRET 21/2006, de 14 de febrer, pel qual es regula l'adopció de criteris ambientals i d'eficiència en els edificis”. Disponible en: <https://portaldogc.gencat.cat/utillsEADOP/PDF/4574/1128895.pdf> [consultado el 3 de agosto 2020]
- Libro de comunicaciones y proyectos – IV Congreso EECN”. Disponible en: [www.construible.es/biblioteca/libro-comunicaciones-proyectos-6-congreso-edificios-energia-casi-nula](http://www.construible.es/biblioteca/libro-comunicaciones-proyectos-6-congreso-edificios-energia-casi-nula) [consultado 3 agosto 2020]
- “Nota aclaradora RITE 1/2018. Consideraciones a tener en compte en la substitució de láportació solar mínima”. Disponible en: <http://infonorma.gencat.cat/pdf/acs.pdf> [consultado el 3 de agosto 2020]
- “Ordenança sobre la incorporació de sistemes de captació d'energia solar per a usos tèrmics en les edificacions de Badalona”. Disponible en: <http://badalona.cat/portalWeb/getfile;jsessionid=thXHfP1SHlyvrn50XW0pbCQT8SLnPSkg1vC1TQ94YqhY7tTGf3gJl-1079960789?dID=15901&rendition=web> [consultado el 3 de agosto 2020]
- España. Real Decreto-ley 552/2019, de 27 de septiembre, por el que se aprueban el Reglamento de seguridad de instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias, 24 de octubre de 2019, núm. 256, pp 116775 a 117073. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/09/27/552> [consultado 3 de agosto 2020]

## CLIMATIZACIÓN DE SUPERFICIES, CALOR, FRÍO E INSONORIZACIÓN

**Eva Maria Blank**, Representante Haufe Deckensysteme y Eco-components  
**José Belmonte Montoya**, Representante Haufe Deckensysteme y Eco-components

**Resumen:** Uno de los factores más importantes para obtener edificios energía casi nula, radica en conseguir que la climatización/calefacción sea con el mínimo consumo posible, a la vez que ofrezca un cierto nivel de confort. La climatización de superficies se basa en un principio de radiación comparable al de la radiación solar. Mediante un sistema de falso techo formado por lamas en forma de U, por el que discurren conductos de agua (fría o caliente) se consigue esta climatización superficial. Las lamas liberan la energía rápidamente a la estancia en forma de radiación infrarroja, de forma silenciosa y sin corrientes de aire y al entrar en contacto con objetos y personas, la energía se convierte en calor. El sistema se caracteriza por su bajo consumo energético. Es posible ahorrar hasta 60 % de energía en comparación con los sistemas tradicionales de calefacción y refrigeración. Combinado con bombas de calor, energía fotovoltaica, geotermia o tecnología de redes inteligentes, puede reducir la demanda de energía incluso hasta cero. El sistema de techos y paredes climatizados son una solución innovadora y económica al mismo tiempo, dirigida a particulares, empresas comerciales e industriales (fabricas, hospitales, oficinas) y aplicable en obra nueva y rehabilitación.

### TODO EN UN ÚNICO SISTEMA

#### *Calefacción - refrigeración - absorción de ruido*

La temperatura del aire, la temperatura de la superficie y la humedad son los tres componentes más importantes de la sensación de confort. A menudo es difícil combinar los tres requisitos de forma rentable y creativa. La gran densidad de las instalaciones que discurren por el techo, requiere sistemas de techo registrables con la menor altura de instalación posible, a tal de evitar incrementar la altura del edificio, especialmente en los edificios de muchas plantas, en los que cada centímetro de altura que se pueda ahorrar, supone un ahorro de gasto para el constructor. Los sistemas con una sección libre elevada y de fácil inspección permiten la ubicación de todas las instalaciones, como la protección contra incendios y la ventilación i renovación de aire y garantizan que puedan funcionar de forma óptima. Un buen contenido de oxígeno en el aire respirable, una temperatura ambiente agradable y una buena acústica de la sala ayudan a las personas a concentrarse mejor y a trabajar de forma más relajada. Por ello, se ha desarrollado este sistema, que puede calentar y enfriar y al mismo tiempo, absorber el sonido. Esto crea un clima ambiental agradable y saludable que satisface los requisitos de climatización y acústica.

#### EDIFICIO EMAG, SALACH, ALEMANIA

Presentamos la implantación de este sistema, sobre un edificio de oficinas, ubicado en la ciudad de Salach en Alemania.



Figura 1. EMAG Salach, Alemania. Fotógrafo: Dietmar Strauss.

**Arquitecto:** Neugebauer + Rösch Architekten

**Instalación:** Rienth GmbH

**Producto:** Sistema climatización superficial mediante falso techo de lamas con aislamiento acústico por las que discurren conductos de agua para la refrigeración y calefacción.

Datos del proyecto:

- área total: unos 1650 m<sup>2</sup>

- actuación realizada: Sistema de climatización superficial mediante falso techo de lamas para refrigeración y calefacción, con aislamiento acústico.
- calefacción y refrigeración de espacios con un mínimo de energía
- dos tercios de las lamas instaladas contienen el sistema de conductos de agua para la refrigeración y calefacción.
- La disposición de los conductos de agua en paralelo permite un control rápido y eficiente de la temperatura de las diferentes estancias sobre las que se ha instalado el sistema.

El corto recorrido del flujo, según el principio Tichelmann ofrece, debido a la menor pérdida de presión, una mayor sección transversal libre de la tubería y por lo tanto, permite utilizar un mayor volumen de líquido refrigerante. Con una temperatura de flujo de 19-20 grados para la refrigeración y de 26 grados para la calefacción, se alcanza una temperatura ambiente agradable de 23 grados en poco tiempo. Debido a las bajas temperaturas de funcionamiento, este sistema de climatización de superficies es ideal para la combinación con bombas de calor, energía fotovoltaica o la tecnología de redes inteligentes y puede reducir la demanda de energía incluso hasta cero. Mediante el uso de estos sistemas, los grandes edificios de oficinas se pueden equipar de forma sostenible y energéticamente eficiente.

## TERMOGRAFIA

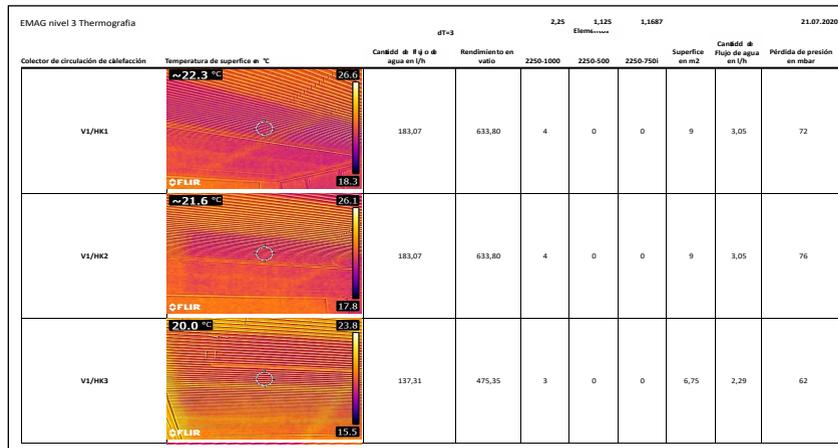


Figura 2. Termografía Edificio EMAG Nivel 3 Calor.



Figura 3. Termografía Edificio EMAG Nivel 3 Frio.

## ¿POR QUÉ REFRIGERAR Y CALEFACTAR MEDIANTE UN TECHO DE LAMAS?

Las lamas ofrecen la mayor superficie radiante posible en la estancia, con calefacción radiante y ligera convección entre las lamas. La sección transversal libre del techo de las lamas permite la instalación de sistemas de protección contra incendios y de flujo de aire en la zona del techo. Las lamas aumentan la superficie radiante un 250%.

El sistema funciona con un flujo paralelo a través de los elementos de las lamas. Debido a la corta trayectoria de flujo en comparación con los sistemas con flujo en serie, se pueden utilizar diámetros de tubería más grandes debido a la menor pérdida de presión resultante. Puede fluir un flujo mayor a través de él. Esto significa que entra más energía, pero que también se libera más energía.

Basta con unas temperaturas de flujo de entre 25 y 28 °C para el calentamiento y de entre 19 y 20 °C para el enfriamiento son suficientes. Tras un rato breve se alcanza una temperatura ambiente constante y agradable de 23 °C.

El sistema debe estar siempre equipado con elementos de climatización en la medida de lo posible, incluso si se requieren menos vatios de los que el sistema puede proporcionar, el rendimiento se puede regular con más o menos flujo de agua. Esto garantiza la climatización homogénea de la superficie y que se pueda aumentar la producción en caso necesario aumentando el flujo de agua.

Ejemplo: En una sala de reuniones hay mucha más gente de la habitual, y hace mucho calor ese día. Por tanto, esto probablemente requiriese una carga de refrigeración superior a la carga de refrigeración calculada. Al aumentar el caudal del flujo de agua, este pico se puede satisfacer de forma sensata y se garantiza un enfriamiento del 100 % de la sala. Debido a que se enfría con temperaturas más altas que con sistemas tradicionales, se evita el problema de condensación.

Para la absorción acústica se utilizan lamas acústicas (microperforadas) y absorbentes acústicos, que se pueden instalar en la dirección de las lamas y en la dirección de los rieles de montaje. Tienen un nivel A2 de protección contra incendios.

La altura del sistema completo es de 85 cm e incluye calefacción, refrigeración, acústica, iluminación y equipos de construcción (detectores de movimiento, detectores de humo).



Figura 4. 50 hertz Netzquartier, Berlin. Arquitecto: LOVE architecture and urbanism ZT.

Sobre la base de este proyecto de referencia en el que se instalaron lamas en 12 000 m<sup>2</sup>, es fácil explicar la importancia de una altura de instalación baja. Después de todo, aquí cada centímetro cuesta dinero.

## Datos técnicos: datos de potencia de refrigeración

Fecha de pruebas: 03/05/2017 en Stuttgart

Ubicación de la prueba: WSPLab Stuttgart, laboratorio de pruebas certificado por la ISO/IEC 17025

Objeto de prueba: Techo laminar abierto, 1 tubo de polipropileno de 10 x 1,0 mm que se inserta en las lamas con fuerza. Seis tubos paralelos se conectan en cada extremo de un colector y forman un elemento de transporte de agua.

Resultados de medición					
N.º punto de medición		1	2	3	
Fecha de medición		03.05.2017	03.05.2017	03.05.2017	
Caudal de agua de refrigeración [kg/h]	$q_w$	360,6	360,3	360,4	
Caudal de agua	Caudal de agua	$w_1$	17,17	19,34	15,05
	Retorno de agua	$w_2$	19,17	20,84	17,52
	Globos	$g$	26,01	26,01	25,92
	Aire – 1,7 m	$\theta_{a1,7}$	25,8	25,9	25,7
	Aire – 1,1 m	$a_{1,1}$	25,9	26,0	25,8
	Aire – 0,1 m	$a_{0,1}$	25,7	25,8	25,5
	Superficie de pared 1	$sw_1$	25,8	25,8	25,8
	Superficie de pared 2	$sw_2$	25,8	25,8	25,8
	Superficie de pared 3	$sw_3$	25,8	25,9	25,8
	Superficie de pared 4	$sw_4$	25,8	25,9	25,8
	Superficie del lado habitable del suelo	suelo	25,8	25,8	25,7
	Superficie del lado habitable del techo	techo	25,8	25,8	25,8
Hueco de aire	hueco de aire	25,2	25,4	24,9	
Capacidad de calefacción - simuladores de carga de refrigeración [W]	$P_s$	876,0	659,0	1086,0	

Figura 5. Resultados de medición de la potencia de refrigeración.

### Curva característica de la potencia de refrigeración específica (relacionado con la superficie activa)

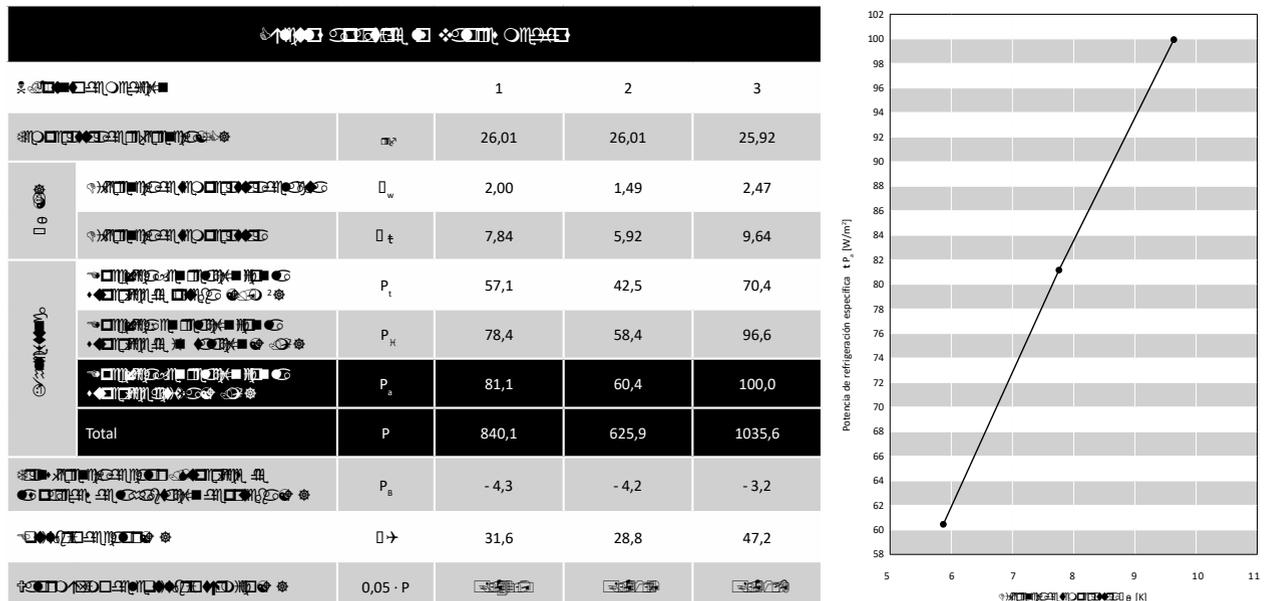


Figura 6. Resultados de medición de la potencia de refrigeración específica.

## Datos técnicos: datos de prueba de potencia térmica

Fecha de pruebas: 04/05/2017 en Stuttgart

Ubicación de la prueba: WSPLab Stuttgart, laboratorio de pruebas certificado por la ISO/IEC 17025

Objeto de prueba: Techo laminar abierto, 1 tubo de polipropileno de 10 x 1,0 mm que se inserta en las lamas con fuerza. Seis tubos paralelos se conectan en cada extremo de un colector y forman un elemento de transporte de agua.

Resultados de medición		N.º punto de medición			
		1	2	3	
Fecha de medición		04.05.2017	04.05.2017	04.05.2017	
Presión barométrica	p	kPa	98,26	98,19	98,16
Temperatura de referencia	t <sub>ref</sub>	°C	19,90	20,01	20,01
Temperatura de alimentación	t <sub>1</sub>	°C	41,72	31,41	53,23
Temperatura de retorno	t <sub>2</sub>	°C	37,84	29,46	47,06
Dispersión de temperatura de alimentación-retorno	t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub>	K	3,89	1,95	6,17
Entalpia de alimentación	h <sub>1</sub>	kJ/kg	174,70	131,58	222,77
Entalpia de retorno	h <sub>2</sub>	kJ/kg	158,45	123,43	197,00
Diferencia de entalpia	h <sub>1</sub> -h <sub>2</sub>	kJ/kg	16,25	8,15	25,77
Temperatura media del agua	t <sub>m</sub>	°C	39,78	30,43	50,14
Diferencia de temperatura	ΔT	K	19,88	10,42	30,13
Caudal de agua	q <sub>m</sub>	kg/h	273,8	273,7	273,8
Potencia térmica (medida)	P <sub>th</sub>	W	1.236,0	619,5	1.959,9
Potencia térmica con corrección de presión de aire *	P <sub>th,corr</sub>	W	1.241,4	622,2	1.968,7
Potencia térmica en relación con la superficie activa	P <sub>th,act</sub>	W/m²	119,8	60,1	190,0

\* φ = φ<sub>ref</sub> · (0,85 + 0,35 · (101,325/p)<sup>0,4</sup>)

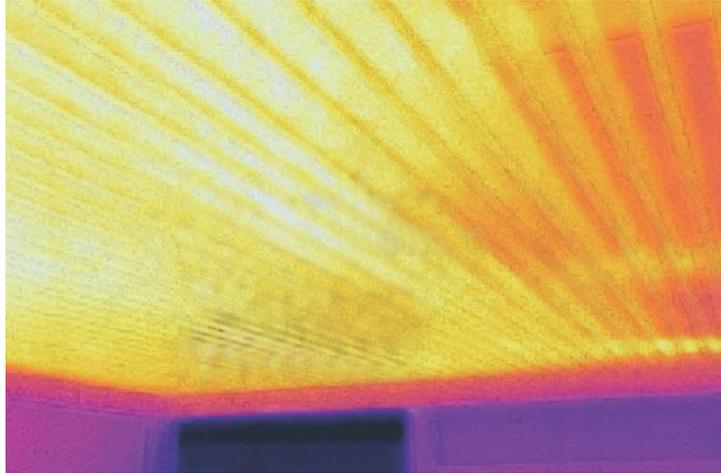


Figura 7. Resultados de medición de la potencia térmica. Figura 8. Fotografía del techo laminar.

## Curva característica de la potencia térmica específica

(relacionado con la superficie activa)

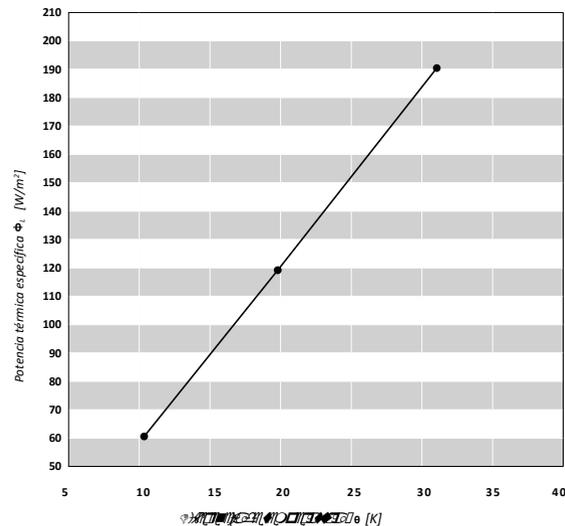


Figura 9. Resultados de medición de la potencia térmica específica.

Temperaturas de control		Messpunkt-Nr.		
		1	2	3
Temperatura del aire a 0,25 m del suelo	°C	18,8	19,4	18,3
Temperatura del aire a 0,75 m del suelo	°C	19,1	19,6	18,8
Temperatura del aire a 1,7 m del suelo	°C	20,1	20,2	20,2
Temperatura del aire en la cavidad del techo	°C	31,6	26,2	37,7
Temperatura en la superficie de la pared 1	°C	18,1	19,0	17,4
Temperatura en la superficie de la pared 2	°C	18,1	19,0	17,4
Temperatura en la superficie de la pared 3	°C	18,2	19,1	17,5
Temperatura en la superficie de la pared 4	°C	18,1	19,0	17,3
Temperatura en la superficie de la pared 5 (suelo)	°C	18,3	19,1	17,6
Temperatura en la superficie de la pared 6 (techo)	°C	18,1	19,0	17,2

## Sostenibilidad

Las lamas de aluminio están hechas en más del 70% de material reciclado. Todos los materiales se pueden separar unos de otros y son 100% reciclables. Los elementos calefactores de plástico están hechos únicamente de un material (polipropileno) para permitir el mejor reciclado posible. El techo es funcional durante más de 50 años.

## El mismo sistema de climatización sin lamas para viviendas

En viviendas las tuberías se colocan en el techo o/y en las paredes, depende de cuanto se necesita para lograr con un mínimo de energía el máximo de rendimiento. Después se cubren con el revestimiento final, (por ejemplo, yeso o madera) y quedan invisibles. Mediante la climatización de las paredes, especialmente en las paredes exteriores, las paredes húmedas se secan térmicamente de forma automática. Su uso para renovar edificios antiguos también tiene como consecuencia un efecto de drenaje y la ausencia de moho.



Figura 10. Instalación en el techo.



Figura 11. Instalación en la pared con lámina reflectora.

En cuanto a la distribución de calor, la temperatura de alimentación más baja supone un ahorro de energía del 1,5 - 2 % por grado. En comparación con el radiador, con aprox. 50-70 grados centígrados, alcanzamos un potencial de ahorro de hasta el 60 % a través de una temperatura de flujo de 27-30 grados centígrados (dependiendo del diseño).

Con un flujo de temperatura de 19 -20 grados enfriamos el ambiente de forma homogénea a unos 21 grados, sin desagradables corrientes de aire. con  $\Delta T$  de 10 K logramos hasta 80 W/m<sup>2</sup> de potencia de refrigeración.

Al utilizar una bomba de calor, conseguimos un ahorro del 2 % del gasto de electricidad por grado de caudal menos (por lo tanto, de caudal mayor al refrigerar). Combinado con fuentes de energía renovables y la tecnología de redes inteligentes se puede reducir la demanda de energía incluso hasta cero.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo y el soporte técnico a Winfried Blank, Cofundador de Eco-components GmbH & Co. KG, a Jörg Reichel, Cofundador y ingeniero técnico de Eco-components GmbH & Co. KG, a Dr. Oliver Linow, Cofundador de Eco-components GmbH GmbH & Co. KG, a Helmut Schmalseder, director general de Haufe Deckensysteme y a Ute Schmalseder, directora comercial de Haufe Deckensysteme.

## REFERENCIAS

- [www.haufe-deckensysteme.de](http://www.haufe-deckensysteme.de)
- [www.eco-components.de](http://www.eco-components.de)

# DISEÑO DE BOMBA DE CALOR REVERSIBLE DUAL CON REFRIGERANTE NATURAL PARA EDIFICIOS DE ENERGÍA CASI NULA

**Laura Alonso**, Investigador, Tecnalia, Basque Research and Technology Alliance (BRTA)

**Xabier Peña**, Investigador, Tecnalia, Basque Research and Technology Alliance (BRTA)

**Jon Iturralde**, Investigador, Tecnalia, Basque Research and Technology Alliance (BRTA)

**Carol Pascual**, Investigador, Tecnalia, Basque Research and Technology Alliance (BRTA)

**Resumen:** En este artículo se presenta el diseño de una bomba de calor reversible caracterizada por utilizar un refrigerante natural (R290) y por su funcionamiento dual, combinando aerotermia y geotermia en función de las necesidades. La bomba de calor está pensada para su integración con energía solar fotovoltaica en edificios multifamiliares de consumo de energía casi nulo, con el objetivo de llegar a altas tasas de autoconsumo renovable. La utilización de una unidad exterior dual permite el uso de energía aerotérmica o geotérmica en función de las condiciones exteriores más favorables en cada caso, pudiendo a su vez utilizar ambas fuentes de manera simultánea. Se ha tomado un EECN de referencia, calculando sus demandas térmicas, y se han definido las condiciones de diseño del equipo. El equipo ha sido diseñado prestando especial atención al intercambiador dual, capaz de funcionar como evaporador/condensador, y utilizando como fuente/sumidero energía aerotérmica y geotérmica. Se ha desarrollado un modelo termodinámico de la bomba de calor con objeto de caracterizar su funcionamiento en las diferentes condiciones de operación que ofrece el equipo.

**Palabras clave:** bomba de calor, intercambiador dual, energía renovable

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos [1], Europa debe reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero entre un 80-95% para el 2050. Las ciudades y el sector de la construcción desempeñan un papel decisivo en el proceso de transición energética y reducción de la huella de carbono en la UE. Dentro de este contexto, la generación de calor y frío en edificios puede y debe jugar un papel importante hacia el cambio de modelo.

Las bombas de calor tienen características que las hacen muy interesantes para su uso en edificios de energía casi nula (EECN). Estos edificios están diseñados para tener una demanda energética muy baja, que se cubre en gran medida por energía proveniente de fuentes renovables, incluyendo autoproducción de energía renovable. En este contexto y atendiendo al consumo de energía residencial, la bomba de calor se impone como tecnología de futuro. Por su consideración de renovable, versatilidad y alto rendimiento energético, el desarrollo de la tecnología de bomba de calor resultará crucial en esta transición hacia edificios de energía casi nula.

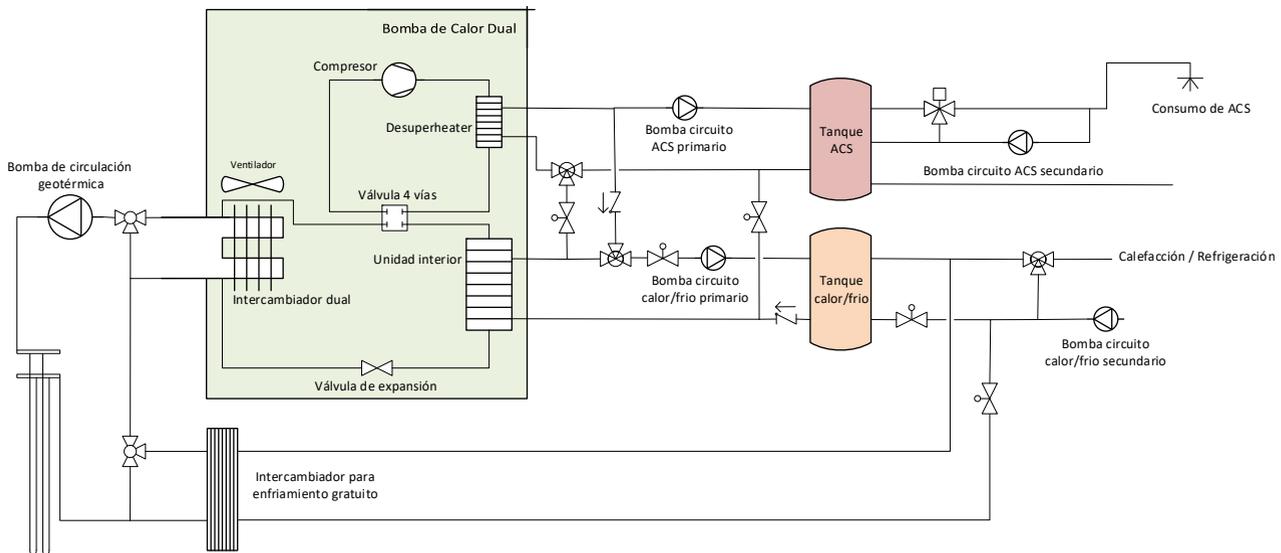


Figura 1. Bomba de calor dual integrada en el sistema térmico del edificio.

El uso de refrigerantes de bajo impacto es una necesidad que ya está recogida normativamente, y se acentuará en el futuro. Esto es debido a que los refrigerantes tradicionales tienen un alto potencial de calentamiento atmosférico (PCA o en inglés GWP: Global Warming Potential), y el uso de estos se ha comenzado a restringir para determinadas aplicaciones. La normativa F-Gas [2] ha determinado una serie de restricciones sobre el uso de los refrigerantes hasta el año 2030. A partir del 1 de enero de 2022 los gases fluorados con un PCA  $\geq 150$  serán prohibidos en equipos comerciales sellados excepto equipos de evaporación de  $< -50^{\circ}\text{C}$  o con una carga de fluido menor a 40 tCO<sub>2</sub>eq. En este contexto, se está extendiendo la utilización de refrigerantes naturales en los casos en los que resulta tecnológicamente seguro y económicamente viable.

## BOMBA DE CALOR DUAL

El proyecto se centra en el diseño de una bomba de calor dual con refrigerante natural, para su integración en sistemas térmicos orientados a edificios residenciales multifamiliares. La misma se alimentará mediante electricidad renovable en gran parte (proveniente de paneles fotovoltaicos con almacenamiento eléctrico en batería). La Figura 1 muestra un esquema de la bomba de calor propuesta integrada en el sistema térmico del edificio.

La bomba de calor puede proveer de calor o ACS (agua caliente sanitaria) usando ambos intercambiadores (unidad interior y desuperheater), o usarlos simultáneamente para dar ambos servicios a diferentes temperaturas. También permite proveer de frío y ACS simultáneamente, gracias al aprovechamiento del calor de descarga del compresor en el desuperheater. El intercambiador dual permite el uso de energía geotérmica y/o aerotérmica, en función de las condiciones más favorables. Además, el sistema permite realizar un enfriamiento gratuito o free cooling directamente desde el terreno. Se trata, por tanto, de un sistema versátil que permite múltiples modos de funcionamiento.

La principal innovación de la bomba de calor es el uso de un intercambiador dual. Esta característica de la bomba de calor permite disminuir la longitud de las perforaciones geotérmicas en alrededor de un 50% comparando con un sistema convencional de bomba de calor geotérmica, lo cual implica un ahorro considerable en costes de inversión.

El uso de sistemas duales que combinan la geotermia y la aerotermia se considera como una alternativa innovativa al uso de bombas de calor aerotérmicas o geotérmicas [3]. Jin et al. [4] analizaron el potencial de un sistema híbrido combinando aire ambiente y geotermia, obteniendo mejoras del COP de 28,1% y 4,7% para el sistema en modos de operación calor y frío, respectivamente. Man et al. [5] presentaron simulaciones de un sistema híbrido aerotérmico/geotérmico, con disipadores de aire suplementarios para un edificio residencial en Hong Kong. El análisis económico mostraba un ahorro en costes de inversión de 34,3% en comparación con un sistema geotérmico convencional; con un ahorro en costes de operación de 53,6% en un periodo de 10 años.

Sin embargo, todos los sistemas híbridos aerotérmicos/geotérmicos actuales utilizan dos intercambiadores en paralelo, un intercambiador refrigerante-aire (batería) y un intercambiador refrigerante-agua/salmuera (intercambiador geotérmico). En este proyecto, la bomba de calor diseñada realiza el intercambio con ambas fuentes de energía en el mismo dispositivo, el intercambiador de calor dual.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El primer paso en el desarrollo de la nueva bomba de calor dual es la definición de sus condiciones de diseño. Para ello, se establece un EECN de referencia como caso representativo del tipo de edificio con mayor potencial de aplicación de la tecnología propuesta. Se trata de un caso real: un edificio multifamiliar de nueva construcción (2019) de 32 viviendas distribuidas en 6 pisos [6]. Este edificio presenta un excelente comportamiento térmico gracias al nivel de aislamiento conferido por los elementos constructivos utilizados, así como por el empleo de medidas de eficiencia energética como la recuperación de calor de ventilación.

Se sitúa en Santurtzi (Bizkaia), en una zona climática templada (*Cfb* según la clasificación Köppen [7]). La bomba de calor presentada está ideada para climas del sur de Europa, donde su funcionamiento es óptimo, por lo que este caso de referencia se ajusta a la perfección a su uso previsto.

El edificio se modeliza en el programa de simulación DesignBuilder (DesignBuilder Software Ltd), especificando todas sus características constructivas, así como las relativas a su utilización (ocupación, perfiles de consumo, etc.) y ubicación (orientación, zona climática, etc.). De las simulaciones se obtienen las demandas térmicas anuales a cubrir por la bomba de calor, en una escala de tiempo horaria útil para analizar el funcionamiento del sistema en detalle.

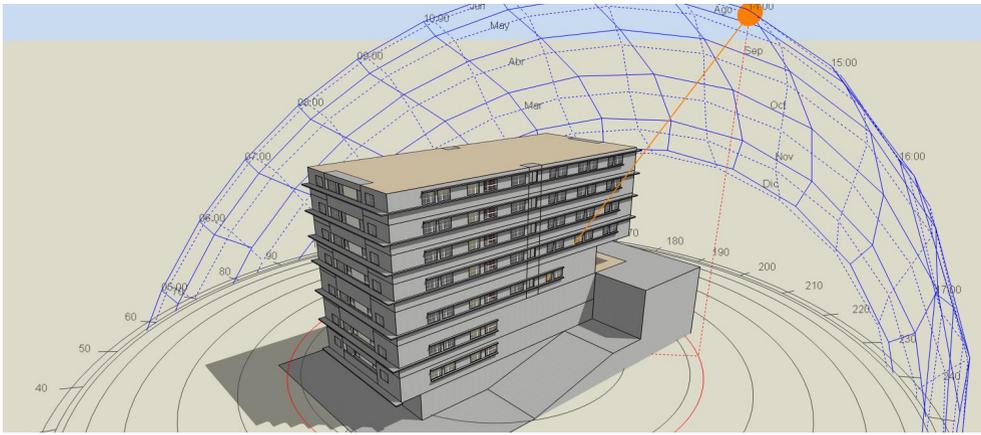


Figura 2. Edificio de referencia, simulado en DesignBuilder.

La bomba de calor diseñada está caracterizada por:

- Uso de propano (R290) como refrigerante.
- Reversibilidad del ciclo.
- Compresor de velocidad variable.
- Inclusión de desuperheater para agua caliente sanitaria (ACS).
- Intercambiador dual como unidad exterior, que trabaja como evaporador/condensador en función del modo de operación, y capaz de utilizar agua/salmuera, aire; o ambos simultáneamente como fuente/sumidero de energía.

La capacidad del prototipo diseñado se fija en 10 kW, por cuestiones prácticas de testeo en laboratorio. Las condiciones de diseño se resumen en la Tabla I. Estas han sido definidas atendiendo a las condiciones nominales de testeo de la norma EN14511 [8] para los casos salmuera y aire. Las condiciones de generación son las correspondientes a aplicaciones a media temperatura (calefacción y refrigeración), y con objetivo de llegar a 70 °C en ACS.

Intercambiador	Fuente/Sumidero	Modo de operación	Temperatura (°C) Entrada/salida de la BC
Unidad exterior	Geotermia (salmuera)	Calor	0/-3
		Frío	25/30
	Aerotermia (aire)	Calor	7
		Frío	35
Unidad interior		Calor	40/45
		Frío	12/7
Desuperheater		ACS	70

Tabla I. Condiciones de diseño de la bomba de calor dual.

Se ha realizado un modelo termodinámico de la bomba de calor basado en el lenguaje Modelica, usando el software Dymola (Dassault Systems, [www.3ds.com](http://www.3ds.com)). Para desarrollar el modelo se han utilizado componentes de la librería TIL 3.6, y la librería TILMedia para las propiedades del propano, agua y aire, desarrolladas por TLK-Thermo ([www.tlk-thermo.com](http://www.tlk-thermo.com)). El modelo es de utilidad para caracterizar el funcionamiento de la bomba de calor en diferentes condiciones y modos de operación.

Los componentes disponibles en la librería TIL han sido modificados o completados según el caso para poder caracterizar los componentes concretos de la bomba de calor. El intercambiador dual ha sido modelado utilizando la geometría de tubo coaxial cuando el mismo utiliza la fuente de calor geotérmica (intercambio salmuera-refrigerante) y como batería con aletas cuando utiliza la fuente de calor aerotérmica (intercambio aire-refrigerante). La unidad

interior y el desuperheater han sido modelados como intercambiadores de placas implementando submodelos con correlaciones basadas en literatura.

La frecuencia del compresor es fijada en cada simulación. La apertura de la válvula de expansión está controlada por un sobrecalentamiento fijado en el evaporador (e.g. 5 K). El flujo másico de la corriente de ACS se controla para llegar al punto de consigna de ACS marcado (70 °C). Los flujos másicos de calefacción/refrigeración se regulan para obtener una diferencia de temperatura de 5 K. Finalmente, el flujo másico del circuito geotérmico se regula para obtener una diferencia de temperatura en el aire/salmuera de 3 K.

Mediante el modelo desarrollado, se ha analizado el rendimiento de la bomba de calor dual en diferentes modos de operación (calefacción, ACS y refrigeración) y con ambas fuentes/sumideros (salmuera y aire). Las condiciones en las que se ha simulado el sistema son las siguientes:

- Temperaturas de ACS:
- Entrada a 15 °C, salida a 70 °C, simulando que el tanque está completamente descargado.
- Entrada a 45 °C, salida a 70 °C, simulando que el tanque está parcialmente cargado.
- Temperaturas de calefacción:
- Temperaturas de diseño: 40-45 °C.
- Temperaturas adicionales: 30-35 °C.
- Temperaturas de refrigeración: 12-7 °C.
- Temperaturas de fuente/sumidero:
- Salmuera (geotermia):
- Modo calor 0/-3 °C.
- Modo frío 25/30 °C.
- Aire:
- Modo calor 7/4 °C.
- Modo frío 35/38 °C.
- Frecuencias del compresor: variando de 30 a 90 Hz, con un intervalo de 10 Hz.
- Sobrecalentamiento a la salida del evaporador: ajustado con la válvula de expansión a 5 K.

## RESULTADOS

De las simulaciones en DesignBuilder se obtienen las demandas térmicas anuales a satisfacer por la bomba de calor. La demanda de calefacción resultante es de 14.443 kWh, mientras que la de refrigeración es prácticamente despreciable (72 kWh). La demanda para generación de ACS, por su parte, es de 57.077 kWh.

Atendiendo a los resultados del modelo termodinámico, la bomba de calor llegará a la capacidad de diseño de 10 kW en calefacción con el compresor trabajando a 70 Hz. Se han obtenido las capacidades en unidad interior y desuperheater, el consumo del compresor a diferentes frecuencias, y el COP (coeficiente de rendimiento) o EER (coeficiente de eficiencia energética). A continuación, se muestran gráficamente algunos resultados de COP y EER obtenidos de la simulación.

La Figura 3 muestra el COP del equipo trabajando en modo de operación calefacción, utilizando el intercambiador dual como evaporador con diferentes fuentes (aeroterminia con entrada de aire a 7 °C / geotermia con entrada de salmuera a 0 °C), y para diferentes condiciones de generación de agua caliente (entrada de agua a 30 °C y a 40 °C). Como cabe esperar, el COP obtenido es mayor en el modo aeroterminia, por la mayor temperatura de evaporación derivada de una mayor temperatura de la fuente. Asimismo, el COP aumenta cuando la temperatura de generación es menor.

La Figura 4 muestra el COP de la bomba de calor trabajando en modo de operación ACS, utilizando el intercambiador dual como evaporador con las fuentes aerotérmica (a) y geotérmica (b), en las dos condiciones determinadas de generación de ACS (15/70 °C y 45/70 °C). El COP varía entre 2.6 y 3.3 con ambas fuentes (aeroterminia y geotermia), con un COP ligeramente superior en el caso de la aeroterminia. En ambos casos, el COP es superior para la generación de ACS desde una temperatura inferior, por la menor temperatura de evaporación resultante.

La Figura 5 muestra el EER del equipo trabajando en modo refrigeración, utilizando el intercambiador dual como condensador con diferentes fuentes (aeroterminia con entrada de aire a 35 °C / geotermia con entrada de salmuera a 25 °C), y con entrada de agua fría a 7 °C en generación. El valor de EER es mayor con la fuente geotérmica, debido a la menor temperatura de condensación.

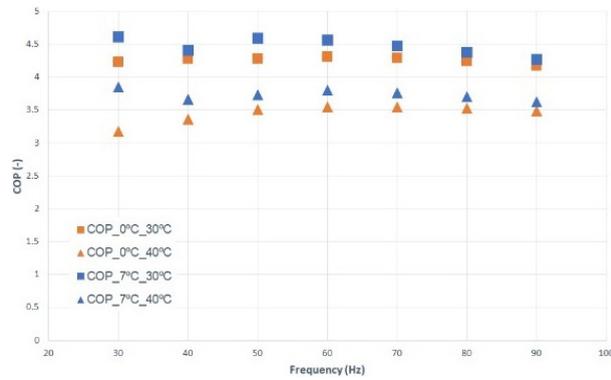


Figura 3. COP en función de la frecuencia del compresor en modo de operación calefacción, generando agua caliente con entrada a 30 °C y 40 °C, y utilizando ambas fuentes: aire (7/4 °C) y salmuera (0/-3 °C).

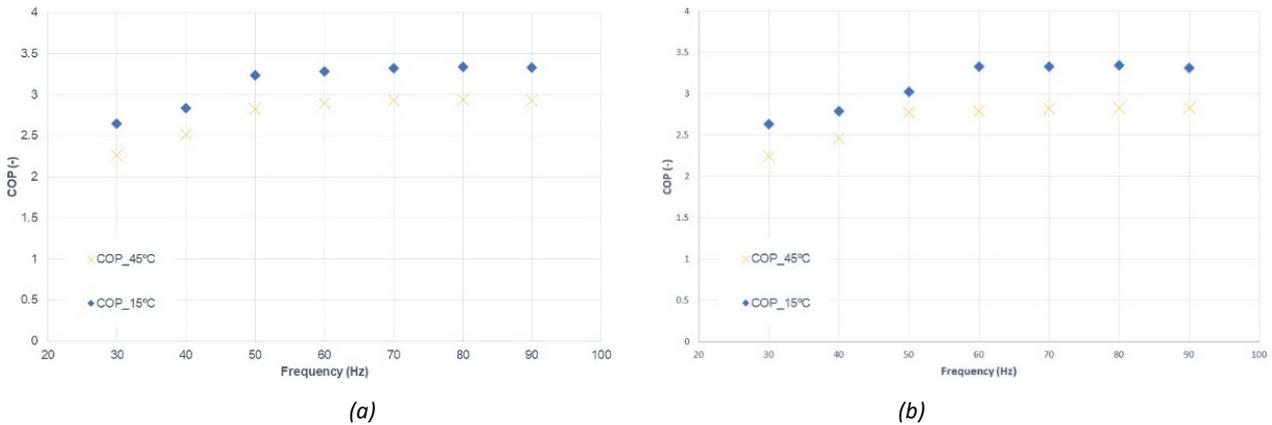


Figura 4. COP en función de la frecuencia del compresor en modo de operación ACS, para diferentes condiciones de generación de ACS (15/70 °C y 45/70 °C). (a) Uso de aire (7/4 °C). (b) Uso de salmuera (0/-3 °C).

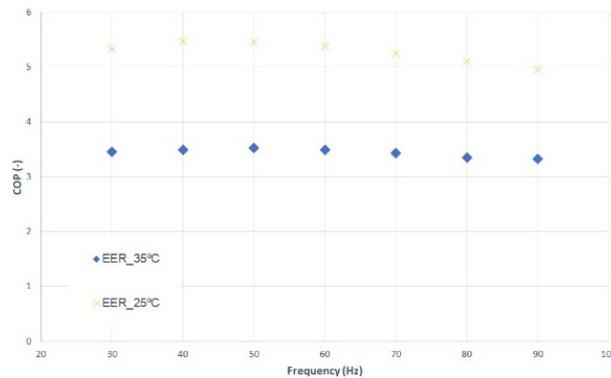


Figura 5. EER en función de la frecuencia del compresor en modo de operación refrigeración, generando agua fría a 7 °C, y utilizando ambas fuentes: aire (35 °C) y salmuera (25 °C).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En los resultados de demandas térmicas obtenidos puede observarse cómo la energía requerida para la producción de ACS es considerablemente superior a la requerida para el acondicionamiento (calefacción/refrigeración) del edificio. Este hecho es característico de un EECN como el empleado como referencia, y se debe a sus excelentes características térmicas. Asimismo, la demanda de calefacción es claramente predominante frente a la refrigeración, lo cual es

consecuencia directa de las suaves temperaturas características del clima templado Cfb. Estos resultados se utilizarán en fases posteriores del proyecto como base para el dimensionamiento a escala real de la bomba de calor, así como para el análisis de su funcionamiento. Asimismo, el modelo del edificio es fácilmente ajustable a otras características constructivas o climáticas, permitiendo un estudio de la escalabilidad y aplicabilidad del sistema presentado.

Para el diseño del equipo, se ha definido la arquitectura del sistema y los modos de operación de la bomba de calor. Se ha llevado a cabo un modelo termodinámico en Dymola para caracterizar el funcionamiento del equipo en dichos modos. Los valores máximos de COP obtenidos para cada modo de operación son:

- Modo Calefacción (40-45 °C), con aerotermia (7/4 °C) y geotermia (0/-3 °C): 3,8 y 3,5 respectivamente.
- Modo ACS (15/70 °C) con aerotermia (7/4 °C) y geotermia (0/-3 °C): 3,3 en ambos casos.
- Modo Refrigeración (12/7 °C), con aerotermia (35/38 °C) y geotermia (25/30 °C): 3,5 y 5,5 respectivamente.

El diseño y fabricación de bomba de calor dual ha sido llevado a cabo, y actualmente el equipo está en proceso de caracterización experimental en el Laboratorio de Equipos y Sistemas Térmicos de Tecnalia. La campaña experimental permitirá la validación del modelo termodinámico llevado a cabo en Dymola. Asimismo, el modelo validado será utilizado junto con las demandas calculadas para obtener el rendimiento estacional del sistema teniendo en cuenta los múltiples modos de operación.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación recibida del programa Horizon 2020 de la UE, dentro del contrato nº 814888, correspondiente al proyecto TRI-HP “Trigeneration systems based on heat pumps with natural refrigerants and multiple renewable sources.” en el que se enmarca ese análisis.

## REFERENCIAS

- [1] Comisión Europea (2011). Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos. Disponible en: [http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009\\_2014/documents/com/com\\_com\(2011\)0571\\_/com\\_com\(2011\)0571\\_es.pdf](http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com_com(2011)0571_/com_com(2011)0571_es.pdf)
- [2] EU F-Gas Regulation Handbook, EIA, 2015.
- [3] S. Rees, Advances in ground-source heat pump systems. Woodhead Publishing, 2016.
- [4] Z. Jin, T. M. Eikevik, P. Nekså, and A. Hafner, “A steady and quasi-steady state analysis on the CO2 hybrid ground-coupled heat pumping system,” International Journal of Refrigeration, vol. 76, pp. 29 – 41, 2017.
- [5] Y. Man, H. Yang, and J. Wang, “Study on hybrid ground-coupled heat pump system for air-conditioning in hot-weather areas like hong kong,” Applied Energy, vol. 87, no. 9, pp. 2826 – 2833, 2010.
- [6] A. Ortiz de Elgea, D. Grisaleña, P. Hernández, J. Hernández, I. Urra, “Reducción de costes de ciclo de vida en eecns. Ejemplo de selección de sistemas de calefacción y acs para viviendas sociales en Santurce (Bizkaia).”, Libro de comunicaciones y proyectos EECN, VI Congreso Edificios Energía Casi Nula, 2019.
- [7] Peel, M. C., Finlayson, B. L., and McMahon, T. A.: Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, Hydrol. Earth Syst. Sci., 11, 1633-1644, <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>, 2007.
- [8] EN 14511-2:2019 Acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido y bombas de calor para la calefacción y la refrigeración de locales y enfriadoras de proceso con compresores accionados eléctricamente. Parte 2: Condiciones de ensayo.

# FOTOBIORREACTORES URBANOS DE ALGAS PARA LA CIUDAD VERDE: REINTERPRETANDO EL LABERINTO

Rosa Cervera, Dra. Arquitecto, Catedrática, Universidad de Alcalá  
 María Rosa Villalba, Arquitecto, Universidad Alcalá  
 Cristina Álvarez, Arquitecto, Universidad Alcalá

**Resumen:** Los principales centros de disipación de energía en la actualidad son las ciudades. La ciudad del siglo XXI requiere de soluciones innovadoras para generar energía propia y minimizar la contaminación. La tecnología emergente de microalgas cultivadas a través de fotobiorreactores puede generar biomasa para producir bioenergía y absorber CO2 para reducir las emisiones contaminantes. El cultivo de microalgas puede alcanzar la escala urbana reinterpretando el concepto de laberinto. La modernización del laberinto histórico, entendido ahora como un fractal tecnológico que multiplica su dimensión en un espacio limitado, permite incorporar una verdadera “Fábrica de Energía Verde Urbana” al huerto urbano. El caso que se presenta está ubicado en la ciudad de Madrid y corresponde a una importante zona de renovación urbana, Madrid Nuevo Norte.

**Palabras clave:** Fotobiorreactores de microalgas urbanas, Fábrica de Energía Urbana, Laberinto Tecnológico, Bioenergía, Biofertilizantes. Madrid Nuevo Norte.

## EL CULTIVO DE MICROALGAS: ALTERNATIVA PARA LA CIUDAD VERDE

Los principales centros de disipación de energía en la actualidad son las ciudades. La ciudad del siglo XXI requiere de soluciones innovadoras para generar energía propia y minimizar la contaminación. La tecnología emergente de microalgas cultivadas a través de fotobiorreactores puede generar biomasa para producir bioenergía y absorber CO2 para reducir las emisiones contaminantes. La investigación en las algas es un campo de creciente interés, investigación y experimentación en el mundo. La variedad de productos que se pueden obtener de ellas, desde los de aplicación energética hasta los alimentarios o farmacológicos, es muy amplia y se presenta como una valiosa alternativa para suplir necesidades de la humanidad en el siglo XXI. Sin embargo, la combinación del campo edificatorio y el del cultivo de algas para extraer beneficios es absolutamente pionero. El introducir materia viva como parte de la construcción y el utilizar la construcción como base o soporte del cultivo de materia viva es un camino prometedor que inicia ahora su recorrido. La arquitectura, a través de este planteamiento adquiere una función adicional a las propias de la edificación, consiguiendo así un valor extra que puede producir beneficios medio ambientales, energéticos y, además, estéticos.

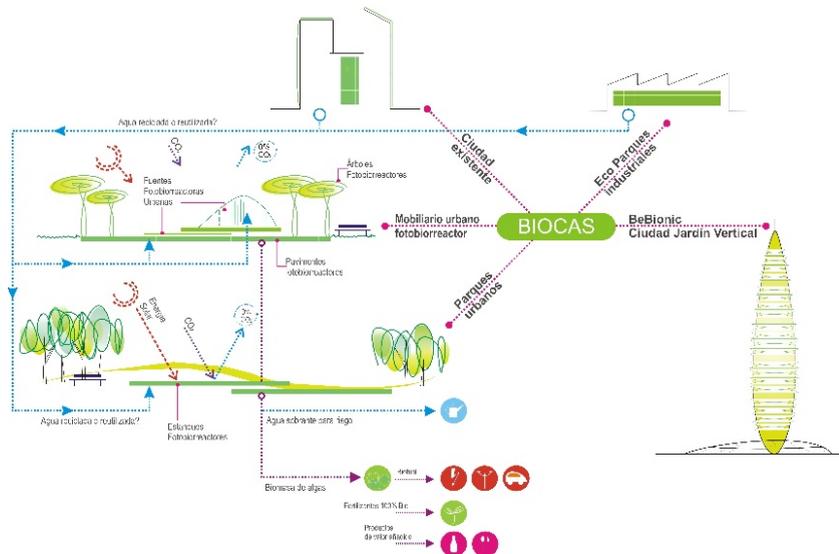


Figura 1. Biociudad Autosuficiente a partir de las Algas. Fuente: Cervera & Pioz arquitectos (Cervera, Pioz, 2015).

El cultivo de microalgas puede alcanzar la escala urbana y contribuir a que la propia ciudad genere sus recursos y limpie sus emisiones “in situ”. La propuesta que aquí hacemos es el proyecto de un jardín-tecnológico que, mediante fotobiorreactores de cultivo de microalgas, permitan el cultivo de biomasa para su reconversión en bioenergía y biofertilizantes y para la reducción de los gases contaminantes. El proyecto apuesta por la capacidad fotosintética de las microalgas para la biofijación de emisiones nocivas. La asimilación de CO<sub>2</sub> es el proceso de mayor consumo energético en la fotosíntesis, siendo la producción de microalgas la más prometedora ya que logran rendimientos cercanos a 100 Tn de biomasa/Ha al año y eficiencias fotosintéticas de 2,5%. Comparándolos con los con rendimientos biomásicos de los bosques que oscilan entre 10 y 40 Tn de biomasa/Ha al año y eficiencias fotosintéticas entre 0,25 y 1%, las microalgas tienen un 60% más de eficiencia que los bosques. (Proyecto de I+D CO<sub>2</sub> Algaefix, 2016)

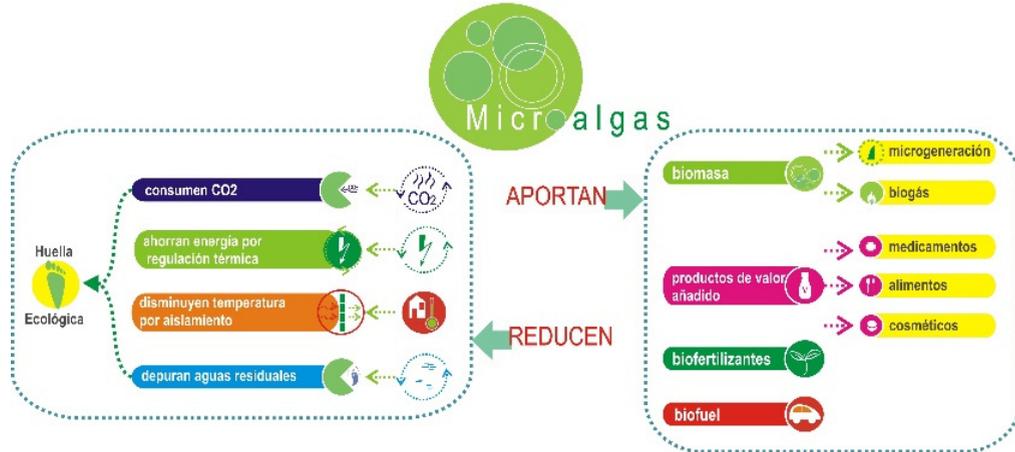


Figura 2. Beneficios de las microalgas. Fuente: Cervera & Pioz arquitectos (Cervera et al, 2014).

La energía renovable de las microalgas cumple con el concepto de ciclo metabólico y de economía circular. El objetivo es producir un ciclo cerrado donde los aportes y los salientes se retroalimenten. Presentamos el esquema de cultivo de microalgas mediante fotobiorreactores integrados en la edificación implicando el ciclo de agua, de CO<sub>2</sub> y de energía.

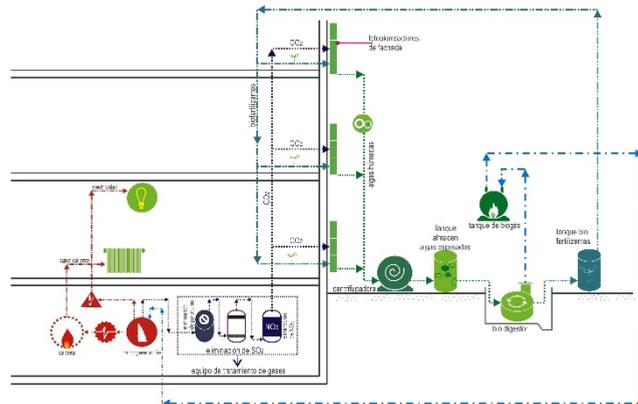


Figura 3. Beneficios de las microalgas. Fuente: Cervera & Pioz arquitectos.

Este tipo de instalaciones en la ciudad cumplen con algunos de los Objetivos Globales de la ONU. En este caso, los objetivos más representativos son el No. 7: Energía asequible y no contaminante y el No. 11: Ciudades y comunidades sostenibles, entre otros, ya que es una fuente de energía sostenible y una forma de disminuir las emisiones de dióxido de carbono al absorberlo por producción.

## REINTERPRETANDO EL LABERINTO: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El trabajo presenta una revisión pionera del laberinto que le da el valor agregado de contribuir al Crecimiento Verde. La modernización del laberinto histórico, entendido ahora como un fractal tecnológico que multiplica su dimensión en

un espacio limitado, permite incorporar una verdadera “Fábrica de Energía Verde Urbana” al huerto urbano. La baja efectividad de las algas se compensa así con el aumento de la longitud de las tuberías o del área de la superficie de los diversos tipos de fotobiorreactores. La investigación involucra el diseño del jardín-laberinto, el diseño de diferentes modelos de fotobiorreactores urbanos con su aparato tecnológico, y el cálculo del volumen de captación, así como el cálculo del CO<sub>2</sub> capturado en beneficio de la calidad del aire urbano. La biomasa obtenida se transforma en bioenergía, mediante su generación de biogás y por cogeneración en electricidad, y en biofertilizantes 100%, evitando así el consumo energético de nitratos. Como valor añadido, indicamos que la energía producida por las algas es "in situ", pudiendo abastecer de energía a zonas cercanas de la ciudad. En la investigación se presentan tablas con equivalencias para abastecimiento de barrios urbanos.

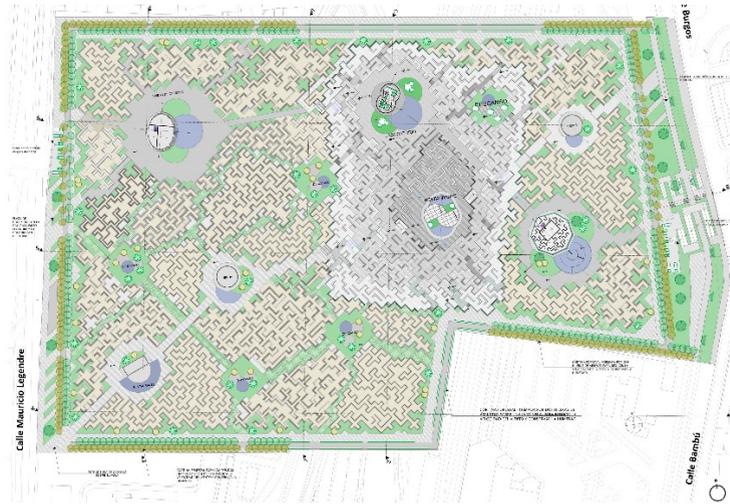


Figura 4: Reinterpretando el Laberinto: planimetría

El proyecto se ubica en el barrio de Chamartín al norte de la ciudad de Madrid. En este sector se está implementando el proyecto Madrid Nuevo Norte, que consiste en regeneración urbana de un gran vacío urbano articulado desde los terrenos baldíos adyacentes a las vías del tren, ubicados entre los barrios de Fuencarral y Las Tablas, hasta incluir la estación de Chamartín y su área colindante. El proyecto actuará sobre un área de 2,357,443 m<sup>2</sup> de superficie y se extenderá más de 5.6 kilómetros en dirección norte-sur. Dentro de los 400.000 m<sup>2</sup> de zonas verdes propuestas, 13 ha corresponden al llamado Parque Central, que consiste en nuevo espacio verde conformado sobre las vías de Chamartín. Su ubicación es estratégica ya que está rodeado por el Centro de Negocios y la nueva estación de Chamartín. (Madrid Nuevo Norte, 2018)

No obstante, los estudios realizados demuestran que el plan existente hasta la fecha de MNN no acaba de cumplir los requisitos de sostenibilidad urbana de sistemas contrastables como, por ejemplo, el sistema BREAM. Es por ello, que proponemos un rompedor jardín de microalgas, con el doble objetivo de generar un nuevo espacio de parque que reinvente la tradición y de alcanzar las máximas expectativas que el compromiso mediambiental requiere. En este sentido, es imperativo la creación de un espacio verde de recreación que pueda ser implementado sobre las vías del tren.

## Fotobiorreactores de microalgas: necesidades técnicas

### *Necesidades de las algas*

#### 1. Suministro de Luz

La fuente de luz y la intensidad de energía son factores que afectan el desarrollo y crecimiento óptimo de las microalgas. En este caso, al ser un sistema de cultivo abierto, la luz solar es la principal fuente de energía.

Con una iluminancia óptima de 11 klux y una radiación lumínica de entre 400 y 700 nm, las cianobacterias son capaces de realizar fotosíntesis y crecimiento celular óptimo (Jacob-Lopes et al., 2008). Si embargo, si hay exposición excesiva por largos periodos se producirá fotoinhibición. En este contexto, la geometría del fotobiorreactor es importante para atenuar la luz en el cultivo. Según un estudio realizado por Fernández et al. (2001) se llegó a la conclusión de que la

geometría circular permite una mejor penetración de luz que la geometría plana, sin embargo, la geometría plana ayuda en una distribución uniforme de luz. Por esta razón, se implementa como soporte del medio de cultivo un material plástico deformable que genere una leve geometría circular debido a la acumulación del fluido, pero de forma controlada por apoyos horizontales que controlen el espesor para evitar que espacios del cultivo queden sin exposición de luz.

## 2. Provisión y transferencia de CO<sub>2</sub>

La fuente de CO<sub>2</sub> generalmente se hace en forma de inyección de gas CO<sub>2</sub> o como medio diluido (bicarbonato). Para el caso descrito, se inyectará gas CO<sub>2</sub> extraído de las emisiones de la calefacción y sistema de enfriamiento presente en los pabellones existentes. En caso de ser necesario se planea recolectar las emisiones de los edificios circundantes para complementar la demanda de CO<sub>2</sub>.

Los límites máximos y mínimos de CO<sub>2</sub> necesarios están definidos entre 5-15% del volumen de gas introducido. El sistema de inserción del CO<sub>2</sub> se haría por medio de conexiones tipo rosca que sujeten el elemento plástico que contiene el medio de cultivo.

## 3. Temperatura

La temperatura del cultivo influye directamente en la solubilidad del CO<sub>2</sub>, haciendo que en altas temperaturas (40° en adelante) haya una menor disponibilidad de CO<sub>2</sub> respecto a O<sub>2</sub>.

Es por esta razón, que los rangos máximos oscilan entre los 30-35°. Los resultados arrojaron que la temperatura óptima, tanto para la productividad de biomasa como para la fijación de CO<sub>2</sub>, fue 30°C. Sin embargo, el rango de la temperatura en donde la productividad de biomasa es media-alta oscila entre los 15°C hasta los 35°C. A temperaturas más bajas, la productividad descendió hasta un 60% con respecto a la presentada a 30°C, y en temperaturas superiores a 35°C, el rendimiento baja considerablemente hasta inhibir el crecimiento a los 40°C. Mezcla y funcionamiento

El diseño de los fotobiorreactores planteados se basa en la optimización de un fotobiorreactor vertical. Se inclina el elemento que contiene las algas en 110° para optimizar la absorción de luz solar y al mismo tiempo aumentar el área de cultivo sin generar mucha sombra con la altura del elemento. Este elemento está sustentado por una estructura tubular de acero que mantiene la inclinación y al mismo tiempo da soporte ya sea para un jardín vertical o para un elemento decorativo hacia el interior del recorrido del laberinto. Para construir el laberinto, se conforman unas piezas adicionales que anclan los módulos entre sí. De igual forma, se plantea una estructura base metálica que pueda ser adaptada tanto para contener fotobiorreactores verticales como tubulares horizontales o columnas de burbujeo. Además, se plantea dejar unas aberturas en el elemento de cierre superior para la eliminación del O<sub>2</sub> resultante del crecimiento de las algas.

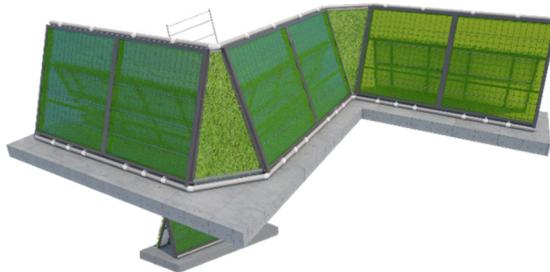


Figura 4. Prototipo de fotobiorreactor y disposición de módulos para conformación de laberinto.

El elemento escogido para los fotobiorreactores planos es una “bolsa” de Lámina de PEBD. Para dar forma al contenedor se hace un sellado térmico en uno de los extremos para formar un recipiente flexible en forma de cilindro o bolsa. Este tipo de plástico se utiliza para Invernaderos ya que cuenta con unas buenas propiedades mecánicas y una buena transparencia a la radiación; además, homogeniza las condiciones de temperatura y humedad.

También, el elemento de cierre inferior está conectado a un sistema de recolección de biomasa que se conecta al elemento plástico por medio de una conexión de PVC tipo T que cuenta con una electroválvula para control remoto y una boca tipo rosca que recoja el material plástico entre los elementos hembra y macho.

Las columnas de burbujeo se componen de tubos verticales transparentes de vidrio o polietileno, para aprovechar la penetración de luz natural, con un diámetro de 20cm y una longitud de 2.40m. La tapa superior de este contenedor, debe permitir la entrada de dispositivos de pH y oxígeno disuelto y dar salida de gases. En este tipo de fotobiorreactor, el rociador se ubica al fondo del tubo para esparcir pequeñas burbujas de CO<sub>2</sub>, y así lograr una mezcla de fluidos por burbujeo de aire dentro de un tubo central de subida, que luego se distribuye bajando por la parte exterior del tubo central, creando una circulación natural (Chisti y Jauregui-Haza, 2002). Este tipo de sistema es semicerrado, lo que ayuda a un control más específico y son menos susceptibles a la contaminación.

El funcionamiento del cultivo en el fotobiorreactor planteado se da por la circulación del medio de cultivo por gravedad. Es decir, se introduce el medio de cultivo por la parte superior a un contenedor plástico donde se genera el crecimiento de las microalgas y se hace la recolección por la parte inferior por medio de una electroválvula que se active a una determinada hora del día. Además, se plantea introducir Co<sub>2</sub> en forma de gas para generar un movimiento circular al interior de cada módulo de cultivo.

Al utilizar un elemento desmontable y de bajo costo que favorece un mantenimiento adecuado (ya sea por limpieza o sustitución) se garantiza que la transmitancia del contenedor no se vea afectada por la acumulación de material orgánico o por daños al material en sí.

## Resultados y Datos Obtenidos

Para realizar los cálculos de la producción de biomasa, tasa de fijación de Co<sub>2</sub> y la eficiencia energética, se debe determinar el tipo o cepa de microalga que se va a utilizar. En el estudio realizado por García Cubero, R. (2014)., se llegó a la conclusión que la estirpe *Senedesmus Vacuilstus* es la óptima ya que en condiciones controladas de laboratorio obtuvo altos rendimientos y presentó menos susceptibilidad a contaminación y resistencia a cambios tanto en la temperatura como irradiación y PH.

Aparte de estudiar las variables antes mencionadas, se estudió también el efecto combinado de temperatura/irradiancia. Los resultados arrojaron que la temperatura óptima para una productividad de biomasa media-alta oscila entre los 15°C hasta los 35°C. De acuerdo a estos datos, la planta solo puede funcionar en los meses de Marzo hasta Noviembre en intervalos continuos (es decir en la totalidad de horas de luz).

Una vez obtenidos los datos necesarios, para calcular la producción del cultivo de biomasa, se utilizó la fórmula que calcula la Productividad del cultivo semicontinuo, ya que se plantea que las diluciones del cultivo se realicen en un tiempo determinado debido a la gran envergadura del proyecto. Esto consiste en renovar una parte del cultivo mediante el cosechado de una parte de la biomasa y la recuperación del volumen con medio fresco (agua). (García Cubero, R., 2014). Según las condiciones mencionadas, para el cálculo, se utilizó la Productividad óptima alcanzada por el estudio de un cultivo en un reactor similar al planeado. Este valor es de 0.13 gramos por litro al día (g l<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), en donde se hace la recolección cada 3 días, extrayendo un volumen del 65%. Según estos datos, se plantea recolectar un máx. del 25% del cultivo diariamente.

### **Productividad de cultivo de Biomasa**

La productividad de biomasa se calcula la cantidad de gramos de biomasa producidos por litro de solución en un día. Para su determinación se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Productividad de biomasa (gl}^{-1}\text{d}^{-1}) = \frac{C_b(\text{gl}^{-1}) \cdot V(\text{l})}{S(\text{l}) \cdot t(\text{d})}$$

C<sub>b</sub> = concentración de biomasa del reactor en el momento de diluir (g l<sup>-1</sup>). Este valor se extrae del cultivo realizado por el autor. V= volumen de dilución (l), se determina en base a los datos brindados. T= periodo o frecuencia de dilución (días). S= superficie total ocupada por el reactor (m<sup>2</sup>) o el volumen del mismo (l).

Una vez aplicada la fórmula, se determinó que la productividad de biomasa de la *Senedesmus Vacuolatus* es de 0.15g por litro al día en un cultivo semicontinuo, que es el caso de los fotobiorreactores verticales (utilizados en la fase de escalada) y de 0.60g en los fotobiorreactores tubulares horizontales y columnas de burbujeo que tienen un cultivo continuo. Finalmente, se calculó que la totalidad de los fotobiorreactores del proyecto (28,603.19ml de extensión) producen 149.06 Ton de Biomasa por día y 40,991.40 Ton por año en 245 días de funcionamiento.

Nombre	Tipo	Metros Lineales (ml)	Volumen total (L)	Productividad de biomasa por litro (g l-1 d-1)	Productividad total por día (Ton)	Productividad total por año (245 días) (Ton)
REACTORES VERTICALES CURVOS	1	4,849.60	1,522,772.83	0.15	22.84	6,281.44
REACTORES VERTICALES INCLINADOS	2	4,496.32	1,285,948.66	0.15	19.29	5,304.54
REACTORES VERTICALES TIPO PIRAMIDE	3	5,987.47	2,418,939.09	0.15	36.28	9,978.12
REACTORES VERTICALES TIPO PIRAMIDE EN DESNIVEL	3A	3,283.24	830,659.47	0.15	12.46	3,426.47
REACTORES INCLINADOS PLANOS	4	6,580.73	1,421,437.68	0.15	21.32	5,863.43
REACTORES INCLINADOS TUBULARES	4A	2,234.16	154,156.97	0.60	9.25	2,543.59
REACTORES INCLINADOS CON COLUMNAS DE BURBUJEO	4B	1,171.67	460,230.80	0.60	27.61	7,593.81
TOTAL		28,603.19	8,094,145.50		149.06	40,991.40

Tabla 1. Cálculos de producción de biomasa.

### Tasa de fijación de CO<sub>2</sub>

La tasa de fijación fotosintética de CO<sub>2</sub> parte de la estequiometría de la reacción de fijación de este gas por cada gramo de carbono orgánico. Cada mol de CO<sub>2</sub> contiene 12 gramos de C (44/12), por lo que se retira de la atmósfera 3,66 g de CO<sub>2</sub> por cada gramo de Carbono asimilado. Por esta razón, este dato es inherente a cada cepa. En el caso de la *Senedesmus Vacuolatus*, es de 0.24g por litro al día en un cultivo semicontinuo y 1.15g por litro al día en un cultivo continuo. (García Cubero, R., 2014). En base a estos datos, se realizó el cálculo de la Fijación de CO<sub>2</sub> para la totalidad del cultivo, absorbiendo 250.17 ton diarias y 68,796.41ton por año en 245 días de funcionamiento.

Nombre	Tasa de Fijación de CO <sub>2</sub> (g l-1 d-1)	Fijación de CO <sub>2</sub> por día (Ton)	Fijación de CO <sub>2</sub> por año (275 días) (Ton)
REACTORES VERTICALES CURVOS	0.24	36.55	10,050.30
REACTORES VERTICALES INCLINADOS	0.24	30.86	8,487.26
REACTORES VERTICALES TIPO PIRAMIDE	0.24	58.05	15,965.00
REACTORES VERTICALES TIPO PIRAMIDE EN DESNIVEL	0.24	19.94	5,482.35
REACTORES INCLINADOS PLANOS	0.24	34.11	9,381.49
REACTORES INCLINADOS TUBULARES	1.15	17.73	4,875.21
REACTORES INCLINADOS CON COLUMNAS DE BURBUJEO	1.15	52.93	14,554.80
TOTAL		250.17	68,796.41

Tabla 2. Cálculos de la fijación de CO<sub>2</sub>.

## CONCLUSIONES

Una nueva modalidad de verde urbano, mediante un parque o jardín tecnológico productor de microalgas y combinado con vegetación, permitirá, no solo, incorporar un nuevo lugar de disfrute en la ciudad, sino una factoría de energía que, en 17.85 Ha. de recuperación de zonas intersticiales del futuro Madrid Nuevo Norte, producirá 40,991 toneladas de biomasa. La conversión de la biomasa en biogás generará 384,573.85 l. de metano (biogás) en un año, lo que significaría alimentar la energía de 166 viviendas del entorno en dicho período. El laberinto de microalgas, por otra parte, tiene capacidad de absorción de 68,796 toneladas de CO<sub>2</sub>, que en una comparativa de emisiones equivaldría a eliminar el CO<sub>2</sub> producido por 965.930 kwh o el equivalente al consumo de gasolina de un coche que recorriera 361.618 km. De esta manera la reinterpretación del Laberinto Histórico aporta valores rupturistas a la ciudad, tanto desde un nuevo entendimiento estético como bio-tecnológico para un modelo urbano ecológico y autosuficiente.

## REFERENCIAS

- Cervera, R, Pioz, J, 2015, Architectural Bio-Photo Reactors: Arvesting microalgae on the surface or architecture, Pacheco Torgal et al, Biotechnologies and Biomimetics for Civil Engineering, Springer :163-180
- Cervera, R. et al, 2014, Architecture as an Energy Factory: Pushing the envelope, in Llinares-Millán et al., Construction and Building research, Springer:209-219
- Chisti, Y., U. Jauregui-Haza., 2002, Oxygen transfer and mixing in mechanically agitated airlift bioreactors. Biochem. Eng. J. 10: 143-153.
- García Cubero, R., 2014, Producción de biomasa de microalgas rica en carbohidratos acoplada a la eliminación fotosintética de CO<sub>2</sub> (Tesis doctoral). Universidad de Sevilla. Sevilla.
- Fernández, G., J. Sevilla, J. Pérez, E. Grima, Y. Chisti., 2001, Airliftdriven external loop tubular photobioreactors for outdoor production of microalgae: assessment of design and performance. Chem. Eng. Sci. 56: 2721-2732.
- Jacob-Lopes, E., C. Ferreira, T. Teixeira., 2008, Biomass production and carbon dioxide fixation by *Aphanothece microscopica* Nägeli in a bubble column photobioreactor. Biochem. Eng. J. 40: 2734.
- Madrid Nuevo Norte., 2018, El Proyecto de Madrid. El Proyecto de Tod@s. Distrito Castellana Norte, S. A. (DCN). Madrid, España.
- Algaenergy, S.A. 2016, Proyecto CO2ALAEFIX, Informe Final. Madrid, España.

# PROYECTO RED DE CALOR CON BIOMASA EN EL BARRIO DE CORONACIÓN (VITORIA-GASTEIZ)

Iñaki Hernanz, Director Oficina Técnica de Explotación, Giroa-Veolia  
Andoni Anero, Oficina Técnica de Explotación, Giroa-Veolia  
Carmen Muñoz, Oficina Técnica, Giroa-Veolia

**Resumen:** Proyecto de despliegue de una red de calor para calefacción y agua caliente sanitaria, con biomasa como combustible principal que tiene lugar en la ciudad de Vitoria-Gasteiz.

**Palabras clave:** Energías renovables, Ciudades inteligentes, Edificios de consumo de energía casi nula, Sostenibilidad.

## PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

El Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz aspira a ser una ciudad más verde, neutra en carbono y que potencie los recursos y economía locales por lo que licitó la ejecución y explotación de la red de calor mediante un concurso de uso privativo del dominio público.

La empresa GIROA VEOLIA fue la adjudicataria del concurso que incluye el diseño, desarrollo, ejecución y explotación del sistema de central de calefacción, red de distribución y venta de energía a las viviendas y edificios terciarios conectados a la red.

Este proyecto se encuentra financiado dentro del programa Horizon 2020 de la Comisión Europea a través del proyecto SmartEnCity

## Resultados e impactos esperados del proyecto

- Desarrollar una metodología para guiar el proceso de evolución del área urbana hacia las ciudades inteligentes a través de la estrategia "Smart Zero Carbon City"
- Demostrar que las tecnologías disponibles actuales allanan el camino para el concepto de "Smart Zero Carbon City"
- Impacto social, medioambiental y económico a escala de ciudad.
- Involucrar a los ciudadanos en los procesos de renovación del distrito.
- Alto potencial de replicabilidad en otros barrios.

## El barrio de Coronación

Los promotores del proyecto (Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz y Gobierno Vasco, a través de Visesa) eligieron el barrio de Coronación por haber sido identificado como el barrio de mayor prioridad dentro del inventario de los barrios más vulnerables desde el punto de vista social y en habitabilidad, accesibilidad y eficiencia energética.

El barrio de Coronación está situado en el núcleo urbano de la ciudad de Vitoria-Gasteiz.

Este distrito reúne los principales desafíos en términos de modernización e implementación del concepto de ciudad inteligente. La densidad de población es elevada (5% del total de población en Vitoria-Gasteiz) y la edad media del distrito cada vez se incrementa más. Todo ello sumado a una baja capacidad de ingresos hacen de este barrio uno de los más necesitados a la hora de elegir un barrio a reformar.

Este barrio presenta una compleja mezcla de edificios, principalmente residencial, que están construidos en los años 50, 60 y 70. Los edificios presentan fundamentalmente sistemas individualizados de calefacción, utilizando principalmente gas natural como combustible. En algunos portales existe un sistema de calefacción centralizado y en otros mantienen aún gasóleo como combustible.

La primera regulación para la conservación de la energía en España en los edificios fue aprobada en 1979, por lo que los edificios construidos antes de esa fecha no tenían la obligación de usar aislamiento, y por lo tanto es muy poco común encontrar aislados edificios residenciales construidos antes de dicho año. Aunque los edificios no tienen problemas estructurales debido a las típicas estructuras de hormigón de los años 50, tienen claramente un gran potencial de mejora en términos de energía eficiencia y confort térmico.

Desde una perspectiva social, el distrito se enfrenta a un proceso de decadencia en el que la edad media de la población es aumento, así como las tasas de desempleo, mientras que los ingresos de los residentes se están reduciendo, así como actividad económica en el vecindario.

Estas circunstancias, junto con su limitado rendimiento energético del edificio, representaban una oportunidad relevante para una acción como la planteada con el fin de mejorar la economía y la calidad de vida de la zona.

## Ámbito de actuación

Desde un inicio, el proyecto comprende el ámbito de actuación de 1313 viviendas. Durante un largo periodo se realizan labores de comercialización instalando una oficina en las inmediaciones de barrio de Coronación con el fin de solventar posibles dudas y reforzar las fortalezas de este proyecto. Hasta el momento, el número de viviendas adheridas al proyecto es de 308, a la que se suman edificios del ámbito terciario como la iglesia del barrio, un gimnasio y la posibilidad de seguir adhiriendo nuevas viviendas.



Figura 1. Número de viviendas por edificio en Coronación.

Para llevar a cabo la ejecución y explotación de la nueva red de calor de distrito, el ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz publicó una licitación para el otorgamiento del uso privativo del dominio público, concurso adjudicado a GIROA VEOLIA.

La implantación de una nueva sala de calderas de biomasa para una red de calor de distrito es un reto que supone la implantación de una infraestructura importante en una zona de la ciudad con fuerte densidad edificatoria en la que no se dispone de espacios libres. Tras varios proyectos estudiados, finalmente se opta por aprovechar parte de la infraestructura del centro cívico ubicado en el barrio que supone la solución con menor impacto de la nueva infraestructura.

La nueva sala de calderas requiere de una pequeña ampliación del centro cívico para la incorporación de las calderas de biomasa y elementos auxiliares.



Figura 2. Centro cívico con infografía nueva sala de calderas.

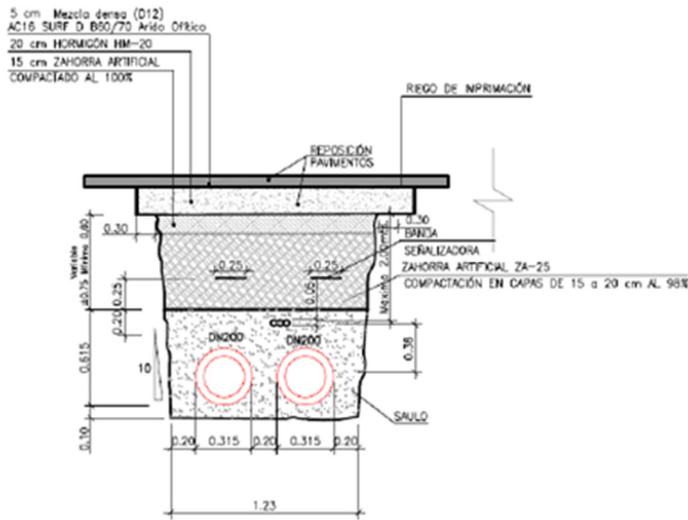


Figura 3. Ejemplo de zanja y tubería de red de calor.

La Red de Calor del Barrio de Coronación distribuye energía térmica (en forma de agua caliente) por la vía pública para proporcionar agua caliente sanitaria y calefacción a todos los bloques de viviendas y edificios privados que se conecten a dicha red. La red de calor se distribuye por las calzadas del barrio en tuberías pre-aisladas consistentes en un tubo interior de acero para el transporte del fluido, de una capa de aislamiento de espuma de poliuretano rígida y de un revestimiento exterior de polietileno de alta densidad enterradas hasta llegar a la acometida de cada edificio.



Figura 4. Red de calor en el barrio de Coronación.

La sala de calderas distribuye la energía (utilizando biomasa) hasta el bloque de viviendas donde se instala un intercambiador que separa la red de las montantes de edificios. A su vez, cada vivienda dispondrá de un módulo de transferencia para el suministro de calefacción y la producción de agua caliente sanitaria.

La sala de calderas dispondrá de dos calderas de biomasa de 540 Kw cada una más un apoyo con calderas de gas que servirán para cubrir los picos de demanda y de backup, de forma que al menos el 70% de la energía suministrada sea de origen renovable.

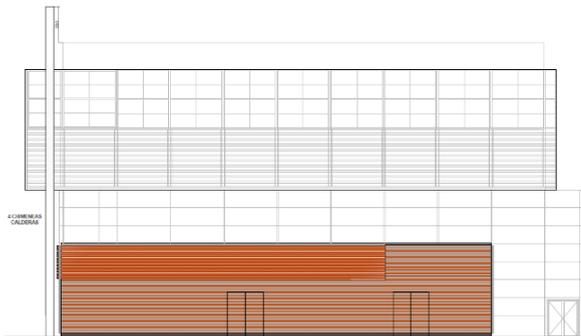


Figura 5. Vista exterior nueva sala de calderas.



Figura 6. Sección sala de calderas biomasa.



Figura 7. Centro cívico con infografía nueva sala de calderas.

Por último, la red de calor contará con un sistema de telelectura y facturación que permitirá a cada usuario consultar el consumo a través de internet.



Figura 8. Ejemplo de visualización de webapp.

El usuario podrá ver sus consumos por periodos de tiempo predefinidos: últimos 30-60-90 días, este mes-trimestre-año o puede personalizar el periodo de tiempo que desee. El usuario tiene una visión general de sus consumos gracias a la información sobre el consumo máximo, mínimo y la media de ambos, pudiendo así controlar sus consumos de forma fácil y rápida. Asimismo, tendrá la posibilidad de configurar dos niveles de alerta de consumos, “Aviso” y “Alerta”.

Asimismo, el explotador asumirá todos los gastos de mantenimiento y reposición de equipos durante la duración de la concesión (máximo de 40 años), tanto de los equipos de la sala de calderas, red de distribución como centrales de transferencia de las viviendas.

En términos de ahorro, este nuevo sistema será más económico que el sistema actual de calderas individuales de que dispone la mayoría de las viviendas del barrio, previéndose un ahorro medio del 18% teniendo en cuenta tanto el gasto energético como el de mantenimiento y reposición de equipos.

# DISTRITOS DE ENERGÍA POSITIVA (PEDS) EN ESPAÑA, UNA PROPUESTA DE INICIATIVA TECNOLÓGICA PRIORITARIA DE LA PTE-EE

**Manel Sanmartí y Paolo Civiero, IREC**  
**Rubén García, Andrea Gabaldón y Manuel Adrés Chicote, CARTIF**  
**José Antonio Ferrer, Ciemat**  
**Joan Enric Ricart y Pedro Franca, IESE**  
**Guillermo J. Escobar, PTE-ee**

**Resumen:** La propuesta de Iniciativa Tecnológica Prioritaria (ITP) promovida por la PTE-ee sobre Distritos de Energía Positiva (PED), tiene por objetivo impulsar el desarrollo de los PEDs en toda España para la transición urbana hacia un modelo de ciudad sostenible. El documento incluye: (1) un enfoque general y definición de las acciones necesarias para el despliegue de los PEDs en España, coherentemente con el SET Plan; (2) un análisis de las principales potencialidades e impactos de los PEDs para alcanzar los objetivos nacionales y europeos; (3) una hoja de ruta para el desarrollo de los PEDs a nivel nacional según distintos horizontes temporales (corto/medio/largo plazo) de acuerdo con los objetivos de la Unión Europea y del PNIEC así como con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (SDGs).

**Palabras clave:** Distritos de energía positiva, transición energética, ciudades descarbonizadas, renovación urbana, Plan Estratégico en Tecnologías Energéticas (SET Plan).

## INTRODUCCION

El objetivo general de la Iniciativa Tecnológica Prioritaria (ITP) promovida por la PTE-ee sobre Distritos de Energía Positiva (PED) es facilitar e impulsar la planificación, la difusión y la replicabilidad de los PEDs en toda España para la transición urbana hacia un modelo de ciudad sostenible y una economía climáticamente neutra. Europa está preparada para permitir la transición hacia este modelo, y se han puesto en marcha varias iniciativas para acelerar la introducción del concepto de PED en la planificación energética de muchas ciudades y comunidades en los próximos años. Sin embargo, la más destacada es la iniciativa de la Unión Europea bajo el Plan Estratégico en Tecnologías Energéticas (SET Plan), TWG 3.2 Smart Cities and Communities, que considera los PEDs como impulsores de la urbanización sostenible. Alrededor de 20 países europeos están participando actualmente en esta iniciativa, que también involucra a los usuarios finales, así como a todas las partes interesadas y su objetivo es tener para 2025 al menos 100 PEDs conectados sinérgicamente al sistema energético. El SET Plan, que apoya las políticas de la Unión Energética definiendo las estrategias para el sector energético de la UE, actualmente está intensificando sus esfuerzos hacia una amplia transformación de la ciudad mediante la introducción del concepto pionero PED, que se basa en el paradigma de las Smart Cities.

De acuerdo con estas premisas, el objetivo del documento ITP sobre PEDs ha sido crear una base de conocimiento y una hoja de ruta que permitan alcanzar una transición energética positiva de las ciudades españolas, de acuerdo a unos horizontes temporales establecidos y las políticas energéticas nacionales como el PNIEC.

## DEFINICIONES E INICIATIVAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CONCEPTO DE PED EN EUROPA Y ESPAÑA

En este proceso de implementación hacia un modelo de ciudades más sostenibles y eficientes, un Distrito de Energía Positiva se puede ver como un vecindario urbanizado cuyo objetivo es la sobreproducción local de energía mediante fuentes renovables, integrando esta producción en el sistema energético urbano y regional. La gestión activa y la respuesta de la demanda permitirán el equilibrio y la optimización, allanando la curva de la demanda y reduciendo los recortes de la producción de energías renovables promocionando el autoconsumo de electricidad y energía térmica a nivel de distrito. El concepto PED integra la edificación y entornos urbanos, producción y consumo sostenible, y soluciones de movilidad para reducir el uso de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero, permitiendo crear un valor agregado e incentivos para el consumidor. Por esta razón, otros factores a tener en cuenta son también la movilidad o los residuos generados. Además, la implementación debe asegurar una transición justa y asequible para sus habitantes. Aunque los PEDs resultan más fáciles de adaptar a las nuevas promociones urbanísticas, el conocimiento, las soluciones y las metodologías hasta ahora desarrolladas también deben adaptarse tanto a las comunidades energéticas locales de autoconsumo, como a escenarios de rehabilitación energética a escala de barrio.

Aunque no exista una definición consolidada de los PEDs, el “Temporary Working Group 3.2 (TWG3.2)” del SET Plan, denominado “Smart Cities and Communities”, define los PEDs como “distritos de uso múltiple que se caracterizan por su eficiencia energética, un balance cero de emisiones de CO<sub>2</sub> y que activamente gestionan y controlan el exceso anual de producción renovable local”. Para ser PED es necesario la integración e interacción entre edificios, usuarios, Tecnologías de la Información (TICs), movilidad y el sistema energético regional, garantizando el desarrollo sostenible tanto social, económico como medioambiental para las generaciones actuales y futuras”. Otras plataformas como la “Joint Programme Initiative (JPI) Urban Europe” añaden los matices de “balance anual cero de emisiones de CO<sub>2</sub> y un balance cero de energía importada” incluyendo la perspectiva “tecnológica, espacial, regulatoria, económica, legal, y social” y de movilidad. Otras definiciones tienen en cuenta aspectos cualitativos, como que un PED tendría que tener un impacto positivo, que activamente gestionan los recursos de su distrito o que está compuesto por edificios integrados. Junto al trabajo del SET Plan TWG 3.2. y de la JPI Urban Europe existen numerosos enfoques, herramientas y diferentes iniciativas coordinadas para la implementación de la estrategia PED, entre los que destacan:

1. Consultas con representantes de ciudadanos y partes interesadas de distintos países dentro de la JPI Urban Europe en particular para recoger información y estrategias sobre el desarrollo de programas PED en Europa.
2. Soporte de la “European Energy Research Alliance (EERA) Joint Programme on Smart Cities (JPSC)” y del “Smart Cities Information System (SCIS)” para la definición de PED y delinear la ruta hacia los PEDs en Europa, con el fin de acelerar el desarrollo de las nuevas energías mediante la cooperación en programas paneuropeos.
3. Iniciativas de investigación a nivel global como el programa de la “International Energy Agency’s Energy in Buildings and Communities (IEA EBC)” sobre PEDs (Annex 83) o la “European Cooperation in Science & Technology (COST) Action CA19126”. El propósito de estas acciones es el desarrollo y la definición detallada de PEDs y de las tecnologías asociadas, herramientas de planificación y de toma de decisiones, y del proceso de planificación relacionado con los Distritos de Energía Positiva.
4. La “European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities (EIP-SCC)” y varias ciudades que están involucradas en el desarrollo de procesos y proyectos de ciudades inteligentes de acuerdo a la Agenda Urbana para la UE lanzada en mayo de 2016.
5. Las normas ISO 50001:2018 (Sistemas de gestión de la energía – requisitos de uso), ISO 52000-1:2017 (Rendimiento energético de los edificios) e ISO 37101:2016 (Desarrollo sostenible en las comunidades) son herramientas estratégicas para establecer un sistema de gestión energética y usar la energía de manera más eficiente y efectiva.

Sin embargo, todos coinciden en que la definición del área debería ser limitada, aunque no necesariamente de forma geográfica, con edificios de uso diferente (residencial, terciario, etc.) y con un balance de energía anual positivo. Dentro de este contexto, se han identificado cuatro tipos de PEDs debido a que, desde un punto de vista técnico, un PED se caracteriza por un balance de energía positivo dentro de sus límites. Por esta razón uno de los primeros enfoques ha sido estudiar la posibilidad de definir los distritos en base a diferentes límites: geográfico, funcional y virtual.

La EERA JPSC junto con la JPI Urban Europe y el SET Plan TWG 3.2 han elaborado un borrador de definiciones surgidas desde diferentes proyectos y programas europeos incorporando una perspectiva de I+D+i – como el “Booklet of Positive Energy Districts in Europe” – que recoge las principales características de los proyectos PED y precursores de PED, workshop específicos de PED, los proyectos Faro (H2020 Smart Cities and Communities -SCC- Lighthouse projects) y las iniciativas cofinanciadas de la ERA-NET. De hecho, en el marco de los programas y proyectos europeos de los últimos años, la amplia definición de Smart Cities ha ido cambiando en función de los objetivos de los diferentes proponentes y partes interesadas, hasta llegar a la última definición del “Strategic and Implementation Plan” impulsado por la “European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities” (EIP-SCC), y que puede considerarse como precursor del concepto de PEDs.

Aunque el concepto PED es relativamente nuevo y no exista una **definición** estándar y compartida, ya existen ciertas iniciativas que se están desplegando en el territorio nacional. La Unión Europea y España han apoyado extensivamente en los últimos años una serie de proyectos e inversiones para el desarrollo e implementación en el mercado de soluciones, cuyos niveles de conocimiento y de madurez tecnológica (TRL) y de mercado (MRL) permiten disponer de una muy buena base para la planificación, implementación y replicación de los futuros PEDs. Algunas de estas iniciativas son meramente de planificación de PEDs en el futuro. Otras se refieren al desarrollo de PEDs en ciudades españolas en el marco de proyectos Faro financiados en los últimos años y están relacionadas con distintas iniciativas relevantes que son directamente aplicables a los PEDs, entre las cuales destacan tecnologías y soluciones, iniciativas sociales, modelos de negocio y urbanísticos, TICs, regulación y legislación, movilidad y transporte.

## Retos claves

De acuerdo con las distintas definiciones propuestas a nivel internacional, se puede resumir que el concepto general de los Distritos de Energía Positiva integra un **enfoque** holístico hacia la urbanización sostenible y un balance energético positivo, según **5 principios fundamentales**:

1. Coordinación, compromiso e integración entre las distintas partes interesadas (Stakeholders): Actores y agentes, Facilitadores, Usuarios.
2. Interacción e integración entre: Datos, Edificios, Sistemas distribuidos de energía, Movilidad, TICs / IoT.
3. Enfoque integrado y perspectivas: Técnicas y tecnológicas, Territoriales, Regulatorias, Legales, Sociales, Económicas, Financieras.
4. Ambiciones y necesidades específicas de las comunidades sostenibles y del sistema energético (regional y local): Eficiencia Energética, Producción de energía renovable y/o local, Flexibilidad Energética, Resiliencia.
5. Soluciones y medidas necesarias: Metodologías de guía al proyecto de transformación y evaluación de los resultados, Herramientas fiables de evaluación y soporte a los proyectos y a la realización de comunidades energéticas, Soluciones tecnológicas comprobadas y eficaces (eficientes, bajo impacto ambiental y económicas según el LCA y “metodología de coste óptimo”), y recursos energéticos distribuidos (DERs), incluyendo la generación y el almacenamiento de electricidad distribuida, Modelos de negocio viables.

Un conjunto de retos claves, asociados a estas primeras definiciones genéricas y principios, nos permiten delinear el marco de los retos y acciones necesarias para acompañar el desarrollo y despliegue de los PEDs en España.

Retos	Acciones
<b>La complejidad del sistema urbano y las interrelaciones resultantes entre los sistemas de energía, movilidad, infraestructuras, inclusión social y economía circular a lo largo del Green Deal para una urbanización sostenible.</b>	Definición de los KPIs (tipología, dimensión y unidad) y de PED (4 tipologías definidas por la EERA/JPI Urban Europe) para el cálculo en la fase de proyecto y la evaluación en la fase de realización, teniendo en cuenta: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Distintas fases y ámbitos de aplicación como aspecto fundamental de la metodología a desarrollar.</li> <li>o KPIs según el sitio, (dependiendo del contexto local, específico) y su relevancia (obligatorio, soporte, opcional).</li> <li>o KPIs diferentes para cada fase y/o ámbito del proceso.</li> </ul>
<b>El papel de la producción/consumo de energía renovable e integración de los DERs (renovables, flexibilidad - almacenamiento, DHC) en la planificación urbana tanto de nueva construcción que de rehabilitación del entorno urbano construido.</b>	Cálculo del balance positivo y la funcionalidad de un distrito según: <ul style="list-style-type: none"> <li>o La dimensión y entorno del distrito a considerarse para la producción y consumo.</li> <li>o Las herramientas y metodología a utilizar para los cálculos a escala de barrios/districtos.</li> <li>o Los aspectos técnicos de las infraestructuras necesarios para garantizar la flexibilidad y resiliencia del sistema energético.</li> </ul>
<b>La necesidad de garantizar el bienestar, la salud y la participación de forma inclusiva de los ciudadanos, a fin de mejorar la habitabilidad de las ciudades y reducir el impacto sobre el sistema sanitario nacional.</b>	Compromiso, interacción e integración entre las partes interesadas y actores claves a través de metodologías que permitan: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Una participación activa de los ciudadanos.</li> <li>o Un análisis de la demanda más adecuada al perfil de cada actor.</li> </ul>
<b>La sostenibilidad del modelo de negocio para todos los actores (público y privado) que participan en el proceso de transformación.</b>	Estudio y validación de modelos de negocio que refuercen la viabilidad económica para el despliegue de los PED considerando la aportación e impacto para cada uno de los actores implicados: administración pública, industria, inversores, operadores y usuarios finales.
<b>La resiliencia urbana según un enfoque integrado que incluya un buen equilibrio entre las medidas de mitigación y adaptación para ciudades más habitables en sinergia con las acciones sobre el medioambiente.</b>	Experimentación de soluciones técnicas y metodologías mediante PED Labs y que, una vez valoradas, se puedan implementar y desplegar asegurando una óptima integración en las infraestructuras técnicas y de gestión de ciudad en distintos contextos locales.
<b>La seguridad del servicio a los usuarios y comunidades a través de la creación de islas energéticas.</b>	Desarrollo y validación de algoritmos de control y gestión que permitan minimizar los impactos a los usuarios, gracias a la flexibilidad y gestionabilidad energética de los PEDs.

Tabla I. Análisis de los principales retos y acciones necesarias para el desarrollo y el despliegue de los PEDs.

## Análisis de las principales potencialidades e impactos de los PEDs

Dentro del documento de la ITP se han analizado a nivel nacional las principales potencialidades e impacto de los PEDs para alcanzar los objetivos nacionales y europeos y que constituyen los principales aspectos que pueden constituir una barrera (debilidades, amenazas) o aquellos que pueden favorecer (fortalezas, oportunidades) su desarrollo y despliegue.

Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Madurez tecnológica:</b> la competitividad de las tecnologías de generación renovable y eficiencia energética permiten la diversificación de la generación y consumo de energía.</li> <li>- <b>Fuerte Ecosistema de conocimiento:</b> el aprendizaje derivado de los conceptos de transición energética y sostenibilidad por parte de la ciudadanía y de las administraciones gracias a las experiencias en Proyectos Faro y en las distintas iniciativas de comunidades energéticas.</li> <li>- <b>Sector industrial favorable:</b> diversificación y proliferación de proveedores de tecnologías energéticas eficientes y renovables combinado con descarbonización industria y tejido productivo.</li> <li>- <b>Entorno político-económico favorable:</b> el programa de ayudas para el "Green Deal" y Directivas Europeas, estrategia Naciones Unidas ODS junto a las condiciones de financiación favorables a nivel europeo (intereses bajos, reactivación económica).</li> <li>- <b>Concienciación social:</b> el cambio climático ha reforzado la concienciación social hacia un nuevo modelo energético y económico sostenible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Efecto dinamizador local:</b> incentivo para las alcaldías y municipalidades para el desarrollo de actividad económica y social local.</li> <li>- <b>De-carbonización de las ciudades:</b> desarrollo de una visión y modelo urbano holístico y sostenible con un impacto favorable en la calidad de vida de los ciudadanos</li> <li>- <b>Fomento de la economía sostenible y de bajas emisiones.</b></li> <li>- <b>Impulso a una renovación inteligente y eficiente</b> del parque de edificios y la <b>optimización de las infraestructuras públicas.</b></li> <li>- <b>Elevado impacto en el mercado a nivel macro y micro económico</b> debido a la escala de actuación de los PEDs.</li> </ul>
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Dificultades en la integración y la colaboración innovadora inter-sectorial e inter-silo</b> de todos los interesados.</li> <li>- <b>Desfase entre los modelos teóricos y la situación real del comportamiento energético</b> de los distritos <b>por falta de datos reales de consumo.</b></li> <li>- <b>Falta de una normalización/ regularización urbanística y fiscal favorable</b> a la regeneración urbana sostenible y <b>que incentiven los PEDs y las comunidades energéticas.</b></li> <li>- <b>Falta de un marco legislativo e incentivos</b> que sean favorables a las <b>asociaciones de vecinos y comunidades energéticas locales.</b></li> <li>- <b>Elevada inversión</b> para la implementación de algunas tecnologías e infraestructuras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Divergencia de intereses:</b> los diferentes intereses, a veces incluso opuestos, de los actores de los distintos sectores lo que generaría una falta de coordinación y el fracaso del programa.</li> <li>- <b>Barreras técnicas y legislativas al desarrollo del autoconsumo,</b> a la <b>generación eléctrica distribuida,</b> y a la constitución de las <b>comunidades energéticas locales.</b></li> <li>- <b>Falta de un marco económico estable</b> y de <b>mecanismos de financiación fiables</b> adaptados a la multiplicidad de actores, y que puedan favorecer la inversión.</li> </ul>

Tabla II. Principales aspectos que pueden constituir una barrera (debilidades, amenazas) o aquellos que pueden favorecer (fortalezas, oportunidades) el desarrollo y despliegue de los PEDs.

## Objetivos y horizontes temporales definidos en la ITP para el desarrollo e implementación de los PEDs en España

De acuerdo con estas actividades y necesidades clave, se han identificado **3 principales desafíos y requisitos** para el desarrollo y despliegue de los PEDs dentro de la perspectiva de la ITP y que deberán alcanzarse dentro del marco temporal definido también por otros objetivos a nivel internacional y nacional como el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC). El PNIEC 2021-2030 presenta para España una hoja de ruta para la próxima década y está diseñada en coherencia con la neutralidad de emisiones, basada en el criterio de neutralidad tecnológica, a la que aspiramos en 2050 coherentemente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (SDGs) y dentro de una trayectoria coste-eficiente de las diferentes tecnologías capaz de lograr los objetivos de descarbonización asumidos por el Plan. Los resultados previstos en el PNIEC a 2030 y 2050 son coherentes con la definición de PEDs y se logran principalmente mediante tres vías:

- Un aumento de la eficiencia energética del país que reduce la demanda total de energía, lo que implica ayudas a la rehabilitación de edificios para comunidades y la rehabilitación energética de edificios en el ámbito estatal (PAREER II), subvenciones directas por parte de la administración y cobertura económica de la Estrategia de Rehabilitación Energética del Sector de la Edificación en España (ERESEE).

- Una electrificación del sistema energético y, consecuentemente, el desarrollo de mercados y comunidades locales de energía, tema en el cual IDAE, REE y OMIE, entre otros actores relevantes, están trabajando en el proyecto para el desarrollo de mercados locales de electricidad (IREMEL).
- Una importante sustitución de combustibles fósiles por otros autóctonos (energías renovables fundamentalmente).

A partir de los retos claves evidenciados y que abarcan distintos ámbitos (regulatorio y legislativo, de planificación urbana/urbanística, tecnológico y social, de modelos de negocio sostenibles e inclusivos) se han identificado **tres macro objetivos** según **tres horizontes temporales**.

Objetivo/ Tareas	Fecha Cumplimiento
<b>1. Definición y enfoque para el desarrollo de PEDs</b> (según objetivos del SET-PLAN WG 3.2)	<b>Corto plazo (2021-2022)</b>
Desarrollo conceptual: I+D para la definición de metodologías, KPIs, herramientas y procedimiento óptimo de cálculo de balance energético anual.	2021
Planificación urbana: Identificación de las zonas de la ciudad más susceptibles de implementar un PED.	2021
Análisis de barreras para el desarrollo y diseño de PED: Planteamiento de cada uno de los componentes que permitan alcanzar el balance energético positivo.	2022
<b>2. Medidas y herramientas para el diseño e implementación de PEDs</b> (según objetivos del Marco sobre clima y energía para 2030)	<b>Medio plazo (2022-2030)</b>
- Despliegue de proyectos piloto: En diferentes barrios de ciudades españolas, o PED labs, realización de proyectos PED.	Desde 2022 hasta 2025
- Monitorización y evaluación: Resultados finales considerando los límites de aplicación.	Desde 2022 hasta 2025
- Implementación comercial de las soluciones: Roll-out de los componentes industriales.	Hasta 2030
- Replicación de las soluciones ejecutadas con éxito en casos estudios reales de la ciudad o en PED labs.	Hasta 2030
<b>3. Estrategias nacionales a largo plazo para el despliegue e integración de modelos PEDs en las ciudades del futuro</b> (según la meta de neutralidad climática para la UE en 2050)	<b>Largo plazo (desde 2030)</b>
- Integración en políticas de planificación urbana y energética	>2030
- Plan de despliegue de los PEDs a largo plazo (2030-2050)	2030-2050

Tabla II. Macro objetivos con sus tareas correspondientes, y el horizonte temporal definido para su cumplimiento.

1. Corto plazo (2021-2022): Definición y enfoque para el desarrollo de PEDs. En la primera fase se definirán los principales elementos para conseguir que los Distritos de Energía Positiva puedan configurarse como “nodos clave” de la transición hacia ciudades sostenibles e inteligentes. Los distritos ofrecen un tamaño manejable en términos de integración entre la planificación urbana y la planificación energética, incluyendo las diferentes perspectivas tecnológica, espacial, regulatoria, financiera, legal, ambiental, social y económica. Para su implementación en el territorio se requiere el desarrollo de enfoques sistémicos y medidas adaptadas al contexto regional español específico, ya que no se pueden adoptar plenamente los principios y soluciones de otras ciudades europeas con diferentes antecedentes históricos, condiciones climáticas y económicas, entre otros.
2. Medio plazo (2022-2030): Medidas y herramientas para el diseño e implementación de PEDs. En la segunda fase se identificarán y valorarán las medidas y herramientas para el diseño y la implementación de los PEDs, en laboratorios (PED Labs) y proyectos piloto, que permitirán la implementación comercial y la replicabilidad de las distintas soluciones aplicables en las ciudades a largo plazo.
3. Largo plazo (2030-2050): Estrategias nacionales a largo plazo para el despliegue e integración de modelos PEDs en las ciudades del futuro. De las fases previas se podrán extraer suficientes aprendizajes y lecciones que permitan el desarrollo de políticas integrales tanto a nivel nacional como local y también las soluciones más maduras, tecnológica y comercialmente, y sus modelos de negocio asociados para su incorporación en los PEDs. La replicabilidad de estas soluciones en diferentes entornos geográficos, urbanísticos y sociales proporcionaran una valiosa información para administraciones, empresas y usuarios finales garantizando la sostenibilidad de estas soluciones.

Como consecuencia de todas las actividades descritas y como acompañamiento a la política nacional sobre los PEDs de acuerdo con las convocatorias y objetivos de la Unión Europea, el plan de despliegue presentado en el documento de la ITP incluye la planificación, los objetivos, los indicadores y las medidas de soporte para evaluar y garantizar su correcto cumplimiento según los horizontes temporales definidos. Asimismo, se ha introducido un concepto base que

puede ser utilizado para definir el grado de madurez de las ciudades respecto a los PEDs (PED readiness level o PRL) y evaluar así su grado de preparación para el despliegue. Otra iniciativa clave asociada a los PED y finalizada a su implementación, es la experiencia de PED Labs, entendidos como modelos pilotos que permiten experimentar la planificación y el despliegue de los PEDs parcial o totalmente en sus diferentes ámbitos (técnico, regulatorio, económico, social, etc.), así como también sembrar terreno para nuevas ideas, soluciones y servicios para desarrollar en un futuro. A partir de los PED labs se podrá establecer una lista de prioridades en cuanto a las diferentes actuaciones y soluciones PED en función de su madurez e impacto, así como definir una metodología basada en el despliegue de PEDs referentes (“lighthouse”) para poder utilizar el poder de tracción de iniciativas líder en el resto de las ciudades y entornos urbanos.

## CONCLUSIONES

La promoción e implementación de PEDs constituye un motor de inversión, crecimiento y empleo muy potente, que podría impulsar, de forma significativa y con mucha mayor masa crítica en el mercado, la rehabilitación del parque nacional de edificios ayudando a la vez al cumplimiento del objetivo del 3% en rehabilitación anual, según lo que propone la Comisión Europea. Las actuaciones de rehabilitación energética constituyen un componente fundamental del cumplimiento de objetivos ambientales y de lucha contra el cambio climático, definidos por la legislación vigente y los compromisos internacionales asumidos. Junto con los impactos macroeconómicos, los PEDs también contribuirán directamente a la prosperidad de los consumidores y familias, a la mejora en el entorno de los barrios residenciales o a la calidad de vida en las ciudades. Por otro lado, la transición a fuentes de energía renovables también generará nuevas oportunidades en el mercado laboral, aumentando el capital humano y la creación de empleo, lo que también beneficia el crecimiento económico. Por último, invertir en un distrito completo beneficiaría a todos los edificios residenciales y también terciarios (centros comerciales, centros deportivos, etc.) o educativos (escuelas) que generan altos rendimientos para el ahorro o la producción de energía, pero también generarían escala para obtener rendimientos de las inversiones en edificios residenciales que no serían financieramente atractivas si se renovaran de forma independiente. Es decir, el sistema de producción y distribución de energía del distrito que servirá a las instalaciones que consumen grandes cantidades de electricidad diariamente y tendrán grandes ahorros en las facturas de electricidad, también puede servir a otros edificios más pequeños que normalmente consumen menos energía. Por otro lado, la agregación de la demanda y la escala de intervención permiten reducir los gastos y costes generales del proceso de intervención, tanto de renovación como de nueva construcción. Debido a la complejidad y la gran cantidad de aspectos y barreras administrativas que se deben resolver en dichos procesos (Propiedad Vertical y Horizontal, Ley del Suelo, la Ley de Ordenación de la Edificación o el Código Técnico de la Edificación), la implementación de nuevos esquemas financieros y colaboraciones entre actores locales (PYME, instituciones financieras, agencias de energía o inversores privados, entidades y administraciones públicas, etc.) es crucial para el éxito de estos procesos de transformación. Las ciudades y las comunidades en cooperación con instituciones financieras locales e inversores pueden ayudar a superar estas deficiencias mediante el desarrollo de productos y modelos financieros personalizados hacia el usuario (por ejemplo modelos de gestión público-privados (PPP), entidad cornerstone) y métodos innovadores (por ejemplo ventanillas únicas) los cuales permitan que la inversión sea más atractiva, más ágil y adaptada para diferentes tipos de propietarios y para diferentes tipologías de edificios, y con condiciones económicas (sobre todo en el caso de autoconsumo) más fiables y rentables.

## AGRADECIMIENTOS

La ITP sobre los PEDs, coordinada por la PTE-ee y liderada por IREC, se ha realizado con la contribución de distintos autores (PTE-ee, CARTIF, CIEMAT y IESE), con la ayuda de la Agencia Estatal de Investigación en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2017-2020, y también con la ayuda del programa de investigación e innovación TECNIOSpring PLUS (Marie Skłodowska-Curie grant agreement No 712949) financiado por la EU Horizon 2020 y ACCÍO al proyecto PEDRERA (Positive energy District renovation model).

## REFERENCIAS

- [1] <https://static.ptee.org/media/files/documentacion/itp-01-2019-districtos-de-energia-positiva-peds-tzu.pdf>  
(02 septiembre 2020)

# GESTIÓN INTELIGENTE DE ENERGÍA EN EDIFICIOS: RENTABILIZANDO LOS SISTEMAS DE BATERÍAS MEDIANTE PREDICCIÓN Y MACHINE LEARNING

Carlos Alonso Castro, Director Técnico, Cefiner  
Ricard Gorgues Griñán, Product Manager Quantum, Cefiner

**Resumen:** La hibridación de sistemas fotovoltaicos con el almacenamiento en baterías es uno de los puntos clave en la transición energética y en la mejora sustancial de la eficiencia energética y la sostenibilidad de los edificios. Sin embargo, el elevado CAPEX de las baterías para sistemas a escala de edificios (< 1MWh de capacidad) hacen hasta ahora la mayoría de estas soluciones no viables económicamente, a pesar de sus ventajas en cuanto a la sostenibilidad y la flexibilidad. Se presenta en esta comunicación el sistema desarrollado por Cefiner, basado en algoritmos de carga / descarga de baterías apoyados en la predicción del comportamiento energético del edificio, tanto en demanda como en producción. Dicha predicción se realiza mediante módulos de *machine learning*, que evitan la complejidad de los modelos físicos para edificios de grandes dimensiones o con subsistemas complejos. La comparación del algoritmo optimizado con predicción con algoritmos comerciales no basados en predicción muestra el gran potencial de la solución presentada, al lograr ahorros mucho mayores que permiten rentabilizar y hacer atractivos económicamente los sistemas de baterías.

**Palabras clave:** Baterías, Fotovoltaica, Machine Learning, EMS, Predicción.

## INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de almacenamiento son claves en la transición energética, pues son un vector facilitador para la integración de las EERR (energías renovables) en el sistema eléctrico. El almacenamiento, y las baterías en particular, mejoran esta integración de dos formas:

- Proporcionando una solución a la variabilidad y la impredecibilidad de las EERR, dotando de flexibilidad al sistema.
- Aumentando la cobertura renovable, reduciendo así las emisiones asociadas al sistema eléctrico.

En los últimos años se está viviendo un aumento significativo de la implantación de sistemas de baterías a nivel mundial [1], gracias al aumento en la densidad de energía que proporcionan las nuevas tecnologías y a la disminución en el precio de las mismas, debido principalmente al crecimiento del vehículo eléctrico. No obstante, la mayor parte de la penetración se está produciendo a nivel de generación (grandes plantas de EERR) y distribución. Le sigue muy de lejos el sector doméstico, estando el sector terciario e industrial en un estado embrionario en cuanto a la adopción del almacenamiento BTM (*behind the meter*).

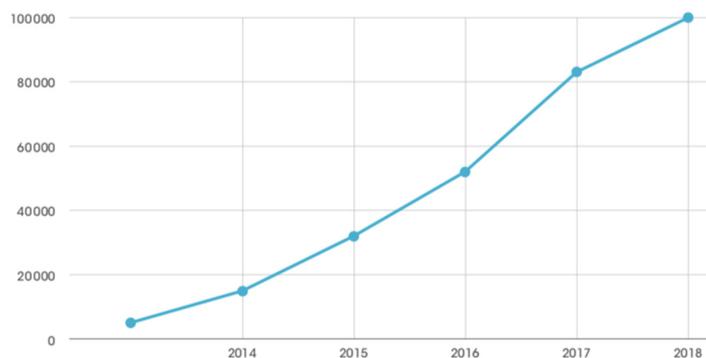


Figura 1. Número de sistemas de baterías domésticos en Alemania. Figura 7. Previsión de crecimiento de la capacidad de sistemas de almacenamiento (utility y BTM).

Hay que tener en cuenta además que la hibridación de fotovoltaica con baterías, junto a tecnologías de *smart building*, son tecnologías habilitadoras de los nuevos modelos de negocio energéticos como la agregación, el comercio de energía entre usuarios, las comunidades energéticas o la flexibilidad de demanda.

*Los sistemas de baterías presentan sin embargo un grave inconveniente, que explica su baja penetración: el coste de las baterías, aunque desciende cada año, es aún muy elevado, lo que convierte a los sistemas de almacenamiento de tamaño pequeño-medio (< 1 MWh) en no rentables ni atractivos como inversión. Especialmente si la estructura tarifaria penaliza poco el consumo de energía, como es el caso de España.*

Hoy en día, la mayoría de sistemas comerciales de autoconsumo híbridos con baterías tienen sus propios algoritmos de gestión, basados en árboles de decisión predefinidos. Esta aproximación, aunque genera ahorros, puede necesitar de la participación activa del consumidor y no es capaz de considerar un aspecto fundamental en la búsqueda de rentabilidad: el comportamiento dinámico del mercado, de la demanda y de la generación in-situ. Así, los ahorros obtenidos (tanto en energía como en término de potencia) no consiguen compensar el elevado CAPEX. En este aspecto ciertos fabricantes de baterías domésticas (Sonnen, Ampere Energy) están comenzando a introducir sistemas de control propietarios que permiten una hibridación avanzada FV y baterías.

En Cefiner hemos visto clara la necesidad de optimizar la integración de baterías en los edificios y lograr la rentabilidad de la hibridación de FV y baterías. Esto constituirá un punto de inflexión en la participación de los edificios en servicios auxiliares del mercado eléctrico a través de la futura agregación, además de maximizar su eficiencia energética, tal y como exigen las directivas europeas. Para ello hemos decidido mejorar los algoritmos de carga y descarga de baterías mediante la predicción del comportamiento energético del edificio, usando algoritmos de *Machine Learning*, dando lugar al sistema Quantum Demand Manager. Esta predicción, como veremos, permite mejorar los ahorros de los algoritmos predefinidos actuales en hasta un 100%.

## DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

### Evolución del EMS aplicando predicción – Quantum Demand Manager

En Cefiner llevamos tiempo trabajando en los sistemas EMS (*Energy Management System*) y la gestión activa de la demanda para edificios. Contamos con nuestro producto Quantum Smart Energy, que permite integrar el control de todos los sistemas energéticos: cargas no gestionables, cargas gestionables, generación, vehículo eléctrico, almacenamiento, permitiendo además el control remoto del edificio y la visualización de todas las variables desde cualquier punto a través de la plataforma web Quantum.

Frente al desafío de buscar la rentabilidad de los sistemas de baterías en edificios, hemos decidido desarrollar nuestro propio sistema basado en la ventaja que supone para la optimización de la gestión de la batería (y por lo tanto para la optimización de los ahorros) el conocer de antemano cómo se comportará la demanda y la generación fotovoltaica del edificio: ¿cuántos excedentes tendremos en cada momento? ¿cuánta energía “cara” a cubrir? ¿cuál será el precio de los excedentes y de la energía? Este sistema, llamado Quantum Demand Manager, se apoya en algoritmos de *Machine Learning* y otros modelos para realizar las predicciones, calculando el perfil óptimo de carga / descarga de las baterías. Aplicando este perfil óptimo, los ahorros se maximizan.

El desarrollo ha sido subvencionado por el CDTI dentro de su programa PID-Cervera.

### Predicción del comportamiento energético del edificio. Uso de *Machine Learning*

Existen dos métodos principales para realizar predicciones del comportamiento energético de un sistema: los modelos basados en la caracterización física (entre ellos los simuladores) y los modelos basados en Inteligencia Artificial (específicamente *Machine Learning*).

- Los modelos basados en la caracterización física se refieren al uso de ecuaciones detalladas basadas en la física para modelar / predecir el comportamiento de todo el edificio y sus subsistemas, como el consumo de energía y las condiciones ambientales interiores. Los modelos pueden ser de mayor o menor complejidad, lo que influye también en la precisión.
- Los modelos basados en *Machine Learning* simplifican la aproximación a la predicción, ya que no requieren conocimiento de la física del edificio ni de los intercambios energéticos, ya que emplean únicamente históricos de datos (de las variables adecuadas y tratadas de forma adecuada) para realizar la predicción.

Dado que los modelos basados en la caracterización física suponen un aumento exponencial de la complejidad del problema cuando los edificios son grandes o cuentan con muchos subsistemas, se ha optado por realizar las predicciones mediante modelos basados en *Machine Learning*, aprovechando las ventajas de su mayor simplicidad y la posibilidad de usar un mismo algoritmo para diferentes edificios (siempre que tengamos un histórico de datos disponible).

#### Módulos de predicción

Como hemos dicho anteriormente, el principal objetivo de los módulos de predicción es el de calcular el comportamiento energético previsto del edificio para las próximas horas, en concreto:

- Demanda de energía prevista
- Generación fotovoltaica prevista

- Flexibilidad de demanda prevista

Estas 3 predicciones permitirán optimizar el algoritmo de carga y descarga de baterías para maximizar los ahorros obtenidos con la hibridación FV + baterías. La predicción de flexibilidad busca poder añadir un plus de rentabilidad en un futuro cercano, mediante la participación en servicios de balance del mercado eléctrico.

Para la optimización de la predicción se ha buscado el algoritmo de aprendizaje más adaptado a la aplicación, así como las variables con mayor influencia en la demanda de energía (que pueden variar para distintos tipos de edificios). Ha sido necesario, por supuesto, tener históricos de todas las variables necesarias para todos los edificios a probar.

El módulo de predicción de demanda se ha probado en 3 tipos de edificios diferentes: grandes concesionarios de automóviles, centros educativos y teatros, para verificar su versatilidad. Los errores MAPE obtenidos están en el orden del 15 – 20%. La siguiente figura muestra la gráfica comparativa entre la predicción de la demanda de un edificio (centro educativo) y la demanda real:

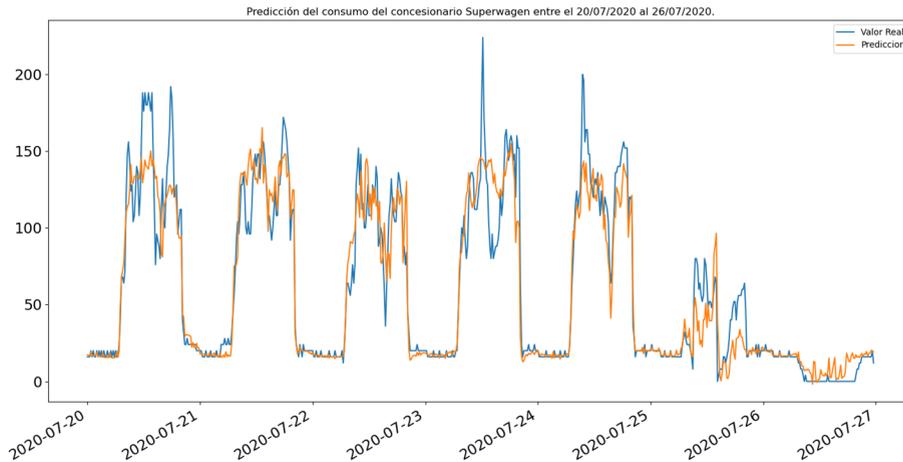


Figura 3. Demanda del edificio(azul) vs predicción (naranja).

El módulo de predicción de generación fotovoltaica integra un híbrido de modelo físico y modelo con *machine learning*. Se ha probado igualmente con varias plantas fotovoltaicas, obteniendo errores MAPE en torno al 5% (sin incluir el error en la predicción de datos meteorológicos).

## Algoritmos de gestión de sistemas de baterías

Los algoritmos de gestión de sistemas de baterías hibridados con fotovoltaica, en instalaciones conectadas a red, tienen dos objetivos básicos:

- Minimizar el coste de la energía, optimizando tanto el término de energía como el de potencia.
- Maximizar el aprovechamiento renovable, minimizando las emisiones de CO2 asociadas.

Con estos objetivos en mente, los algoritmos de carga / descarga de baterías pueden agruparse en 3 tipos principales:

1. **Algoritmos de máximo aprovechamiento renovable:** El objetivo es cargar la máxima energía de excedentes fotovoltaicos en la batería para descargarlos en momentos de demanda, preferiblemente en periodos caros. Genera un máximo aprovechamiento renovable y reduce el precio de la energía.
2. **Algoritmos de mínimo coste:** El objetivo es cargar la batería en momentos en que el precio de la energía es barato (como por la noche) y descargar en periodos caros, para aprovechar la diferencia de precio. No mejora el aprovechamiento renovable, pero sí reduce el precio de la energía
3. **Algoritmos de peak shaving:** El objetivo es reducir al máximo los picos de potencia, a partir de energía procedente de excedentes o de carga en periodos baratos. Los picos se reducen mediante la descarga de la batería. Permite aumentar el aprovechamiento renovable, reducir el precio de la energía y reducir el término de potencia.

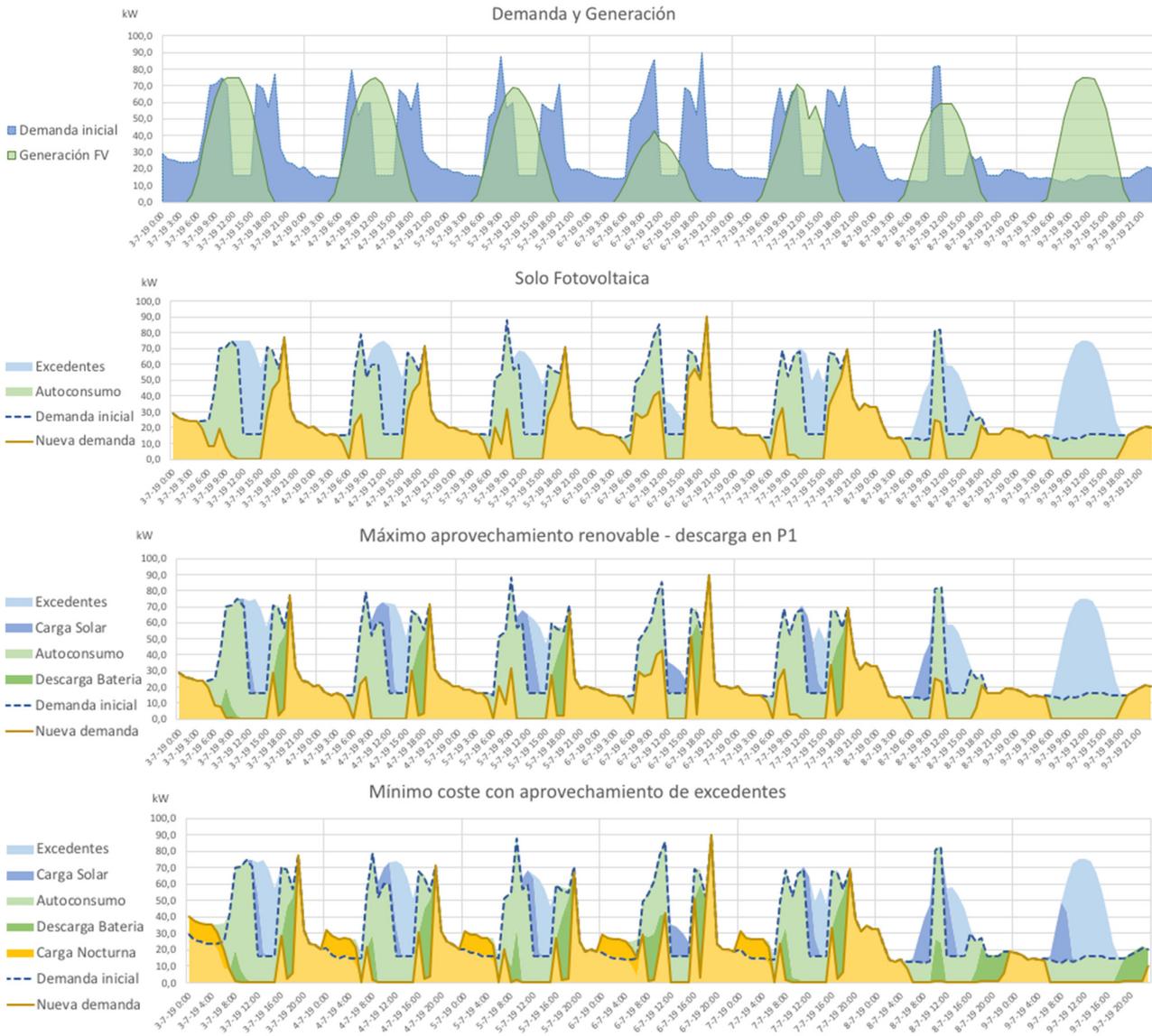
En función de la inteligencia del sistema, se puede usar un solo algoritmo o una hibridación de ellos.

### Algoritmo optimizado de gestión de baterías

Como hemos venido apuntando en los puntos anteriores, la predicción permite optimizar el comportamiento de los algoritmos de carga y descarga. ¿Qué ventajas incorpora a los mismos?:

- Permite conocer qué cantidad de excedentes se generarán (y cuándo). Esto ayuda a maximizar el precio de la energía cargada en la batería, optimizando la relación entre carga de la batería con excedentes y carga nocturna.
- Permite conocer la cantidad de energía a cubrir, y la relación temporal entre “bolsas” de excedentes y “bolsas” de energía, lo que permite optimizar el algoritmo de peak shaving, aplanando al máximo la curva de demanda.
- Permite conocer el perfil de demanda, lo que ayuda a optimizar el algoritmo de peak shaving, con una descarga programada (y no constante).

El algoritmo desarrollado por Cefiner aplica las ventajas indicadas, integrando los 3 tipos de algoritmos de carga / descarga de manera óptima. Las siguientes gráficas muestran los efectos en la demanda semanal de un concesionario de los diferentes tipos de algoritmos sin predicción y del algoritmo desarrollado por Cefiner usando predicción:



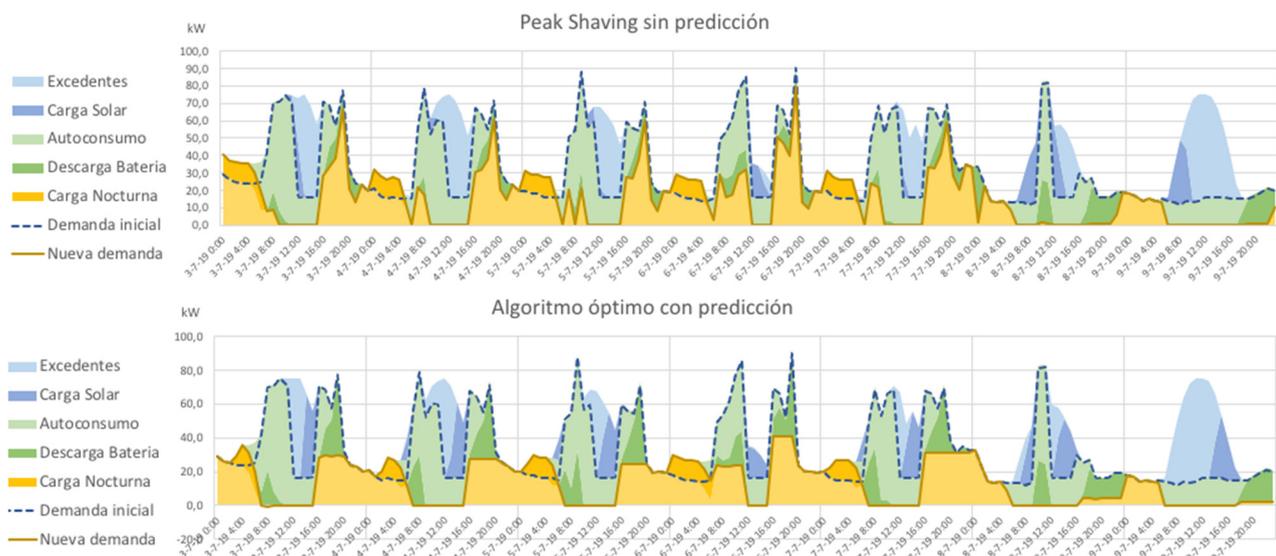


Figura 4. Demanda original del edificio (concesionario) y generación fotovoltaica, y demanda final tras aplicar cada algoritmo. Semana de julio. Potencia FV: 100 kWp, Batería: 100 kWh (DoD 90%, RTE 90%).

## RESULTADOS

En la figura 4 se observan las ventajas del algoritmo óptimo con predicción respecto al resto: máximo aprovechamiento de los excedentes y de la carga nocturna para aplanar al máximo la curva, maximizando los ahorros.

En las siguientes tablas se muestran los parámetros de la instalación estudiada, y los resultados económicos al aplicar los diferentes algoritmos de carga / descarga de baterías. El ahorro incluye el término de energía y el término de potencia al optimizar la potencia contratada del edificio:

Potencia FV	102 kWp
Precio FV	1 €/kWp
Capacidad batería	100 kWh (optimizada)
Precio batería	360 €/kWh
Tarifa eléctrica	3.0 TD (6 periodos, nuevos peajes a partir 2021)
Otros costes	Cargador baterías, sistema control baterías (solo algoritmo optimizado), O&M

Tabla I. Parámetros de la instalación estudiada

Algoritmo	Coste	Ahorro	Ahorro (solo bat.)	Aprov. FV	Cobert. Renov.	Retorno simple	TIR	Retorno (bat.)	TIR (bat.)
FV sin bat.	102.000€	9.450€	-	61%	31%	10,7 añ.	9,3%	-	
Max. aprov. renovable	152.700€	13.780€	2.960€	81%	41%	11,1 añ.	9,0%	17,1 añ.	-7,6%
Mínimo coste	152.700€	13.900€	2.770€	76%	38%	11,0 añ.	9,1%	18,2 añ.	-8,5%
Optimizado predicción	157.700€	16.310€	5.480€	81%	41%	9,7 añ.	11,1%	9,8 añ.	3,0%

Tabla II. Resultados energéticos y económicos de los diferentes algoritmos de carga / descarga de baterías.

El resultado más importante del estudio es ver cómo los ahorros obtenidos con el algoritmo optimizado prácticamente doblan los obtenidos con los algoritmos sin predicción. Esto tiene una consecuencia fundamental: **el sistema de baterías, que con los algoritmos sin predicción no es rentable y empeora la rentabilidad de la fotovoltaica, se vuelve económicamente rentable al emplear el algoritmo optimizado con predicción de Cefiner.**

La siguiente gráfica muestra el estudio de sensibilidad realizado para determinar el resultado económico de los algoritmos con la evolución del precio de las baterías. Se observa que, mientras los algoritmos actuales sin predicción no lograrían ser rentables hasta precios por debajo de 150 €/kWh, el algoritmo con predicción desarrollado por Cefiner ya puede considerarse rentable para una vida útil de las baterías de 10 años y dobla los ahorros y la rentabilidad de los algoritmos sin predicción.



Figura 58. Estudio de sensibilidad de los algoritmos (periodo de retorno) en función del precio de las baterías.

Los resultados mostrados en la figura 5 y en este apartado son teóricos, obtenidos al aplicar el algoritmo óptimo suponiendo que se conocen la curva de demanda y de generación sin error (es decir, con un MAPE=0). Posteriores estudios verificarán el efecto del error en la predicción.

## CONCLUSIONES

Los resultados del desarrollo y estudio presentados en este artículo ponen de manifiesto las ventajas de los algoritmos optimizados con predicción del comportamiento energético del edificio, como el desarrollado por Cefiner para su sistema Quantum, frente a los algoritmos de carga / descarga de batería comerciales sin predicción.

Los resultados muestran cómo los algoritmos sin predicción consiguen ahorros, pero la estructura tarifaria impide que dichos ahorros compensen el LCOE (*levelised cost of energy*), elevado debido a un CAPEX de las baterías aún demasiado alto (300 – 400 €/kWh en la actualidad). La consecuencia es que los sistemas de batería no son rentables, no suponiendo una ventaja en el resultado económico de la instalación.

El algoritmo basado en la predicción del comportamiento energético del edificio logra, gracias a conocer ciertos parámetros claves (cantidad de excedentes en cada momento, energía a cubrir por la batería, distribución temporal de bolsas de excedentes y de energía a cubrir, perfil de la demanda), maximizar el ahorro en energía y en el término de potencia, llegando incluso duplicar el ahorro obtenido respecto a algoritmos sin predicción. Estos números logran dar rentabilidad a los sistemas de baterías, dando sentido al gran potencial de los sistemas híbridos de fotovoltaica y baterías para maximizar la cobertura renovable de los edificios y del sistema eléctrico.

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto y estudio ha sido apoyado financieramente por el programa de I+D PID Cervera del CDTI. Los centros tecnológicos IREC y EURECAT han desarrollado los algoritmos de predicción utilizados por Quantum Demand Manager.

## REFERENCIAS

- [1] IRENA (2019), Innovation landscape brief: Behind-the-meter batteries, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

# QUALDEEPC - CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA Y REHABILITACIÓN HACIA EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO

**Margarita Puente Salve**, Jefe de Proyectos, Escan Energy Consulting  
**Francisco Puente Rivas**, Director, Escan Energy Consulting

**Resumen:** El proyecto europeo QualDeEPC tiene como objetivo mejorar el proceso de certificación energética de edificios y la rehabilitación hacia edificios de consumo de energía casi nulo. Impulsar la calidad en la certificación energética de los edificios como primera etapa de una rehabilitación energética profunda. Es necesario un “diálogo nacional” con las instituciones y actores relacionados para concretar las contribuciones que puede ofrecer el proyecto a nivel de cada país participante y después preparar una “hoja de ruta hacia la convergencia”, basándose en los elementos exitosos registrados en el conjunto de Estados Miembros. Con las aportaciones recibidas y las iniciativas del proyecto se establecerán estrategias para la próxima generación de certificados con recomendaciones de rehabilitación hacia edificios de energía casi nulo. Al elaborar el certificado energético de un edificio, el técnico competente incluye las mejoras energéticas. Las recomendaciones para la rehabilitación de los edificios serán coherentes con la renovación energética en profundidad (rehabilitación energética integral), con tendencia hacia los edificios de “consumo energético casi nulo”.

**Palabras clave:** Certificación energética, rehabilitación profunda, convergencia certificados, mejoras energéticas

## INTRODUCCIÓN

El proyecto europeo QualDeEPC tiene como objetivo proponer mejoras al proceso de la certificación energética de edificios y la rehabilitación hacia edificios de consumo de energía casi nulo.

Este proyecto comenzó en el mes de septiembre de 2019 y tiene una duración de tres años. Participan agencias de energía y consultoras de varios países europeos, el coordinador es Wuppertal Institute de Alemania. Las actividades en España son lideradas por la consultoría energética Escan.

Impulsar la calidad en la certificación energética de los edificios como primera etapa de una rehabilitación energética profunda. Es necesario un “diálogo nacional” con las instituciones y actores relacionados para concretar las contribuciones que puede ofrecer el proyecto a nivel de cada país participante y después preparar una “hoja de ruta hacia la convergencia”, basándose en los elementos exitosos registrados en el conjunto de Estados Miembros. Con las aportaciones recibidas y las iniciativas del proyecto se establecerán estrategias para la próxima generación de certificados con recomendaciones de rehabilitación hacia edificios de energía casi nulo. Al elaborar el certificado energético de un edificio, el técnico competente incluye las mejoras energéticas. Las recomendaciones para la rehabilitación de los edificios serán coherentes con la renovación energética en profundidad (rehabilitación energética integral), con tendencia hacia los edificios de “consumo energético casi nulo”.

## Descripción y Metodología

Con las aportaciones recibidas y las iniciativas del proyecto se establecerán estrategias para la próxima generación de certificados con recomendaciones de rehabilitación hacia edificios de energía casi nulo. Al elaborar el certificado energético de un edificio, el técnico competente incluye las mejoras energéticas. Las recomendaciones para la rehabilitación de los edificios serán coherentes con la renovación energética en profundidad (rehabilitación energética integral), con tendencia hacia los edificios de “consumo energético casi nulo”.

Escan ha iniciado los contactos y organizado un primer taller en el que participaron el Ministerio para la Transición Ecológica, Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, Instituto Energético de Galicia (INEGA), Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN), CIEMAT, Junta de Andalucía, Ayuntamiento de Alcorcón, Asamblea de Madrid, Green Building Council, Laboratorio de Control de Calidad del Certificado del País Vasco, Colegio de Arquitectos de Madrid, Colegio de Aparejadores Ferroviario, Sacyr, Maeswell, Saint Gobain - Isover, Tecnalia, CSIC— Instituto Eduardo Torroja, Confederación Española de Cooperativas de Consumidores, Comunidades de Propietarios y el grupo Tecmared.

La Metodología que se ha utilizado fue, primero a nivel europeo seleccionar 4 áreas en donde es necesario mejorar el proceso de certificación energética y la rehabilitación hacia edificios de energía casi nulo. A continuación, se envió un cuestionario y se mantuvieron reuniones organizadas por Escan con las principales instituciones

En el Taller se propusieron una serie de preguntas basadas en las cuatro áreas y se recogieron las demandas de los asistentes

Grupo	Taller “Certificación energética y rehabilitación hacia edificios de energía casi nulo”: Areas temáticas para la mejora
1	Calidad del proceso de certificación energética de edificios -mejora de recomendaciones
2	Requisitos de los técnicos competentes
3	Sistemas independientes de control
4	El certificado en la publicidad de compra-venta y de alquiler de inmuebles.

Tabla I. Taller Certificación energética y rehabilitación hacia edificios de energía casi nulo.

Se han identificado los primeros edificios que serán utilizados como piloto con la nueva versión de certificación en diferentes zonas climáticas de España.

## RESULTADOS

En el VII Congreso de Edificios de Energía Casi Nula se presentarán los resultados del Taller “Certificación energética y rehabilitación hacia edificios de energía casi nulo”. Entre los resultados se pueden destacar:

- El informe de las medidas de ahorro de energía es obligatorio
- Se debe hacer un enfoque de impacto de estas medidas de forma combinada, pues p.e. una mejora de la envolvente puede suponer un equipo de climatización de menor consumo
- Incluir la visión del uso de inmueble
- Poner en valor aspectos cualitativos, además del económico (VAN, PRS) como el confort, la calidad del aire interior, habitabilidad, etc.
- Para lograr una estandarización en la calificación la nueva normativa de la UE incorpora estos conceptos:
- Indicador de Inteligencia del Edificio como equiparación desde el punto de vista de la Eficiencia Energética en zona UE
- Pasaporte del edificio: hoja de ruta hacia la descarbonización del edificio “cuándo” conviene hacer una medida de ahorro de energía (MAE) con una propuesta de MAEs progresivas en función del caso.

Más de diez edificios de uso residencial y público se han identificado en diferentes zonas climáticas (Burgos, Madrid y Valencia) para realizar los proyectos piloto. En este Congreso se presentarán las características de varios de estos edificios.

## AGRADECIMIENTOS

Se desea mostrar el agradecimiento a las instituciones, agencias de la energía, colegios de arquitectos, cooperativas de consumidores y usuarios, presidentes de comunidades de propietarios, plataformas tecnológicas de la construcción, centros tecnológicos y empresas que participaron en el Taller y siguen participando en el proyecto QualDeEPC. Sus aportaciones, opiniones y consejos son siempre valorados.

## REFERENCIAS

- Carreira Perez, O. Conclusiones Taller Certificación energética y rehabilitación hacia edificios de energía casi nulo: Grupo 1.
- Cadórniga Pedrosa, A. Conclusiones Taller Certificación energética y rehabilitación hacia edificios de energía casi nulo: Grupo 2.
- Pérez Alvarez, A. Conclusiones Taller Certificación energética y rehabilitación hacia edificios de energía casi nulo”: Grupo 3.
- Puente, F. Conclusiones Taller Certificación energética y rehabilitación hacia edificios de energía casi nulo: Grupo 4.
- <https://qualdeepc.eu>
- [www.escansa.com](http://www.escansa.com)

# HERRAMIENTA PARA LA PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA COMO CAMINO PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA URBANA DE LAS CIUDADES Y CASO DE ESTUDIO APLICADO

**Carlos Prades Gil, Enrique Fuster Palop, Ximo Masip Sanchis y Joan Dídac Viana Fons**

Instituto Universitario Ingeniería Energética - Cátedra Transición Energética Urbana, Universitat Politècnica València

**Resumen:** El parque inmobiliario juega un rol esencial para hacer frente al cambio climático dado su gran potencial de ahorro de emisiones. Las estrategias urbanas colectivas son una solución esencial para la consecución de dicho objetivo. Se presenta así IMPACT-E, la herramienta para materializar la transición energética en los núcleos urbanos, que permite evaluar el estado actual de las ciudades y analizar las posibles medidas de ahorro y mejora a varios niveles de agregación. Como caso demostrativo, se presenta en este estudio un caso aplicado para el barrio de Algirós de València sobre comunidades energéticas.

**Palabras clave:** Transición Energética, Energía Renovable, Prosumidores, Comunidad Energética, Near Zero Energy Districts.

## INTRODUCCIÓN

La estrategia de la UE frente al cambio climático marca los objetivos para la mitigación de los efectos negativos provocados por el mismo. Entre ellos se encuentra una reducción del 40% de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector residencial, un aumento de la energía renovable en 32% y un aumento de la eficiencia energética del 32.5% para 2030 [1]. Estos objetivos se incrementan para 2050 con una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero por sectores, siendo del 90% para el caso del sector residencial [2]. Se pretende alcanzar esta reducción de emisiones del sector residencial para 2050 a través del concepto de Edificio de Energía Casi Nula (EECN), la rehabilitación energética, la sustitución de combustibles fósiles y la introducción de energías renovables.

El sector de la construcción es actualmente responsable del 40% del consumo de energía, generando el 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas [3] y siendo un sector con un gran potencial de mejora. Además, casi el 75% del parque de viviendas europeo es ineficiente, con un 35% de edificios por encima de los 50 años y una tasa de rehabilitación energética por debajo del 1.2% [4]. Por tanto, es muy necesaria una intervención sobre el sector residencial con medidas para reducir el consumo energético y sus emisiones asociadas para cumplir con la estrategia de la UE para 2030 y 2050. Al mismo tiempo, las ciudades albergan al 75% de la población mundial pese a abarcar sólo el 2% de la superficie mundial. Por esta razón las ciudades son la clave para conseguir los objetivos fijados por la UE. Además, cabe destacar que la inversión en eficiencia energética y rehabilitación estimula la economía, especialmente en el sector de la construcción, que genera el 9% de PIB en Europa y genera 18 millones de puestos de trabajo. Este hecho beneficia especialmente a las PYMEs, que contribuyen a más del 70% de las actuaciones sobre los edificios [5].

Habiendo identificado que el sector residencial es clave para la mitigación de los efectos del cambio climático y que el gran cambio reside sobre la actuación en las ciudades, dado que albergan los grandes consumos mundiales, es estrictamente necesaria la planificación energética para acometer una transición energética urbana justa y de calidad en las ciudades. Con este objetivo se desarrolla la herramienta IMPACT-E, que se describe en el siguiente apartado. Mediante el uso de una parte de esta herramienta se realiza el análisis presentado en este trabajo.

## EL PROYECTO – IMPACT-E UNA HERRAMIENTA PARA LA PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA COMO CAMINO PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA URBANA DE LAS CIUDADES

IMPACT-E es una herramienta web (Software as a Service) con tecnología GIS (Sistema de Información Geográfica), como se muestra en la Figura 1, para facilitar la transición energética de las ciudades a través de la planificación. Las políticas nacionales y regionales para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible (fijados por la UE) marcan los sectores de actuación, los presupuestos destinados a cada uno y los resultados y objetivos esperados en el PACES [6]. Pero estos informes no concretan donde y como aplicar los esfuerzos y como debe ser la actuación. La decisión de donde y como focalizar las ayudas y materializar los presupuestos cae en gran medida sobre los técnicos y planificadores de los municipios. Esta tarea tiene una serie de dificultades referentes a la información.

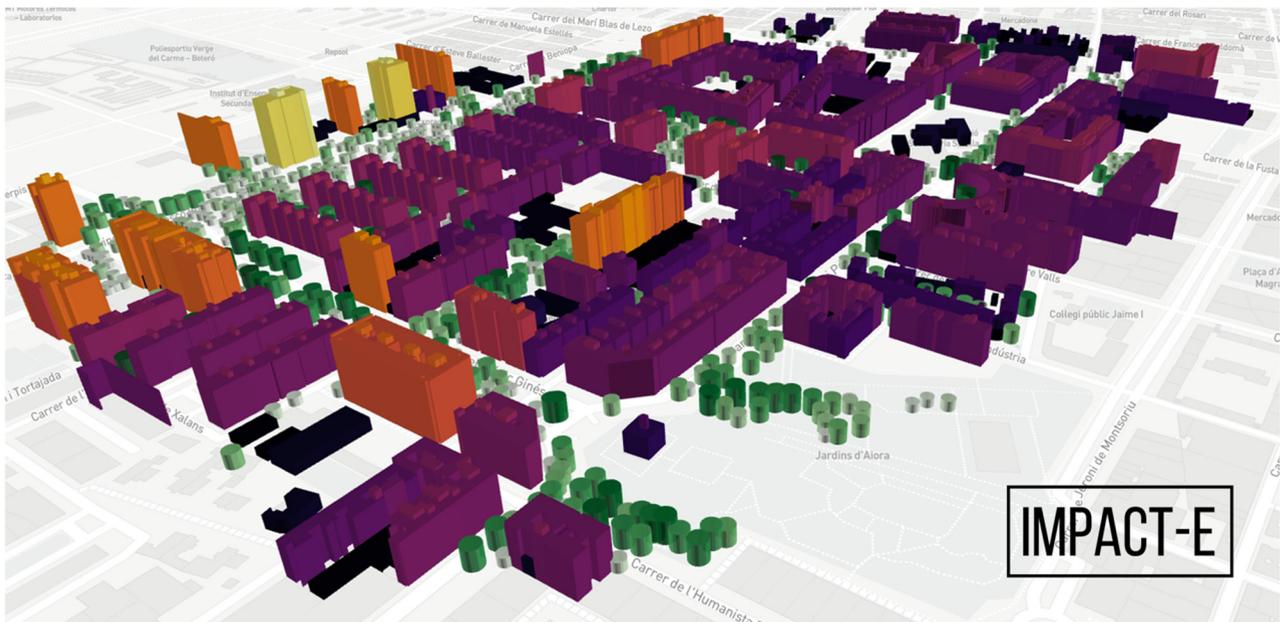


Figura 1. Ilustración de la herramienta web.

Como punto de partida, se tiene una gran cantidad de información en bruto, generalmente difícil de tratar, lo cual dificulta y ralentiza el proceso de decisión. Además, puede encontrarse dispersa y con ordenaciones variadas, siendo complicado la síntesis para comprender el global. Finalmente puede darse el caso de que los técnicos no tengan formación suficiente para entender y ordenar toda la información necesaria, imposibilitando la correcta toma de decisiones. Por ello, y con este problema identificado, se presenta una herramienta que tiene como objetivo sintetizar y englobar toda la información en un visor web. Cuenta con dos versiones, una sencilla y libre para la ciudadanía, donde podrán consultar la información sobre su entorno urbano y viviendas, además de una versión mucho más completa para los planificadores, una versión guiada y con recomendaciones para planificar la transición energética urbana.

La herramienta IMPACT-E permite evaluar, cuantificar y priorizar múltiples acciones de eficiencia energética a varios niveles o escalas de la ciudad, desde evaluar una vivienda y/o edificio hasta evaluar la ciudad al completo pasando por el análisis barrio a barrio o distrito a distrito. Las acciones que la herramienta permite evaluar son:

- Análisis micro-climático de la ciudad y de nivel de vegetación,
- Estado actual del stock de viviendas de la ciudad y mejoras de eficiencia energética sobre los edificios,
- Consumo de climatización y de producción de agua caliente sanitaria actual del stock de viviendas y mejoras de eficiencia energética e
- Integración de energías renovables.

En este trabajo de investigación se presenta un caso de aplicación de la herramienta sobre la ciudad de Valencia considerando la acción de integración de renovables, en concreto energía solar fotovoltaica y comunidades de energía.

## CASO DE ESTUDIO

La parte de la herramienta de integración de energías renovables, en concreto, energía solar fotovoltaica, toma como partida un modelo para la estimación del potencial solar fotovoltaico que ha sido desarrollado dentro del marco de trabajo de la Cátedra de Transición Energética Urbana de la UPV. Dicho modelo es capaz de estimar la producción fotovoltaica que generaría el campo de paneles instalado en el edificio objeto de estudio, mediante un modelo de radiación isotrópico considerando las sombras de los edificios adyacentes mediante información catastral y LiDAR, así como las ecuaciones definidas en el pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red. La energía generada se casa con la curva de demanda eléctrica estimada del edificio y el balance económico se estima de acuerdo con la modalidad de autoconsumo con excedentes acogida a compensación establecida en el RD 244/2019 [7] y la

Guía de tramitación del autoconsumo del IDAE [8]. Asimismo, automáticamente se dimensiona y se obtiene los costes de inversión la instalación fotovoltaica mediante ratios e información catastral. Cabe señalar que los costes por unidad de potencia instalada decrecen conforme se incrementa la superficie disponible o potencia a instalar, tal y como refleja la tabla I. El modelo incluye una estimación de las emisiones evitadas que considera, por un lado, las emisiones generadas debidas a la fabricación y transporte de paneles y, por otro, las emisiones ahorradas por no consumir energía de la red. Todos los cálculos de la simulación se realizan a nivel horario a lo largo de toda la vida útil de la instalación, establecida por defecto en 25 años.

Los valores de las variables de entrada asumidos para los resultados mostrados pueden ser consultados en [9].

Rango de potencia instalada (P)	Coste de referencia (€/kWp)
P<10kWp	1.600
10 kWp < P < 20 kWp	1.800-20·P
20 kWp < P < 50 kWp	1.566-8.33·P
50 kWp < P < 500 kWp	1.178-0.556·P

Tabla I. Costes de potencia unitarios asumidos [10].

## RESULTADOS

En este apartado se muestran diferentes facetas de la herramienta para una rápida evaluación y diagnóstico sobre en qué edificios y/o zonas de la ciudad fomentar la implementación de instalaciones fotovoltaicas garantizando una mínima viabilidad económica. Primero se muestra la estimación del potencial solar fotovoltaico de la ciudad al completo y distrito a distrito, posteriormente se muestra un análisis de un barrio concreto con la evaluación de las comunidades energéticas con mayor potencial teniendo en cuenta diferentes criterios y finalmente se muestra el potencial de las comunidades energéticas de vecinos.

### Aplicación del modelo sobre muestra de edificios de la ciudad

Se ha simulado con la herramienta una muestra aleatoria simple de 1000 edificios pertenecientes al núcleo urbano de la ciudad de Valencia, tal y como se muestra en la figura I, donde además se ha identificado el periodo de retorno de las instalaciones fotovoltaicas en sus cubiertas.

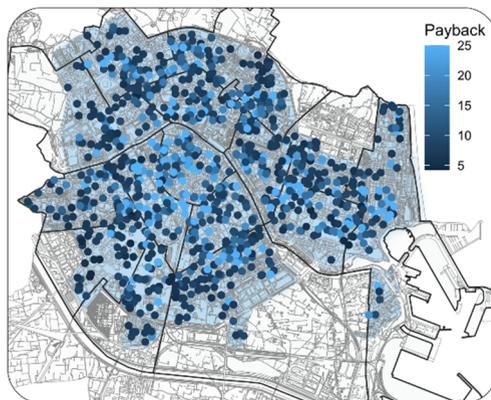


Figura 2. Muestra simulada de edificios residenciales en la ciudad de Valencia indicando su rentabilidad.

Variable (TWh)	1,000 edificios residenciales
Demanda	264,21
Producción	35,67
Excedentes	1,26 (3,5 %)
Autoconsumo	34,41 (96,5 %)
Cobertura renovable	13,03 %

Tabla II. Resultados energéticos agregados de la muestra simulada de edificios residenciales en la ciudad de Valencia.

El periodo de retorno económico medio es de 11,5 años, quedando el 50% de los edificios por debajo de 11 años. Los distritos más antiguos, como es el casco histórico presentan los peores resultados de rentabilidad debido a un mayor nivel de sombras dada la irregularidad de alturas entre edificios y el escaso espacio libre de cubiertas, que encarece

los costes de instalación. A su vez, el periodo de retorno ambiental promedio se sitúa en 2 años, indicando el elevado ahorro de emisiones por no consumir energía de red durante su vida útil, por lo que se podría incentivar la instalación de autoconsumo mediante subvenciones para promover la sostenibilidad ambiental. Cabe destacar, que generalmente esta tipología de edificios en viviendas en bloque no suele generar grandes excedentes, constituyendo estos en promedio un 4% de la producción fotovoltaica anual.

La tabla II muestra los resultados energéticos agregados para la muestra de 1.000 edificios analizada, donde se aprecia que aproximadamente un 13% del actual consumo eléctrico de estos edificios podría ser reemplazado por generación fotovoltaica, cantidad nada despreciable considerando que la ciudad cuenta con más de 25.500 edificios.

### Aplicación del modelo en todos los edificios de un barrio

Se presenta un caso de estudio desarrollado con la herramienta, donde es posible identificar, entre otras variables, la viabilidad económica y la energía producida de las posibles instalaciones en cubierta en un conjunto de edificios en el barrio de Illa Perduda correspondiente al distrito de Algirós, Valencia. La consideración de parámetros económicos permite realizar análisis más avanzados que una evaluación exclusiva del recurso solar disponible, tal y como queda reflejado en la figura III, donde no siempre una mayor producción garantiza una mayor recuperación de la inversión, de este modo es posible orientar la inversión no sólo bajo criterios energéticos sino también económicos.

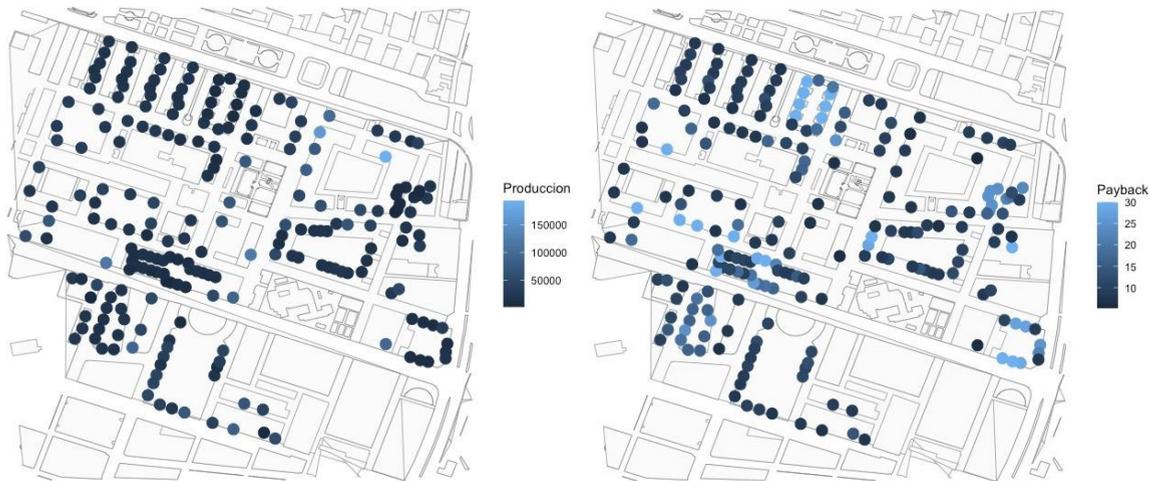


Figura 3. Resultados de las simulaciones de los edificios del barrio de Illa Perduda (a la izquierda se indica la producción anual que generaría cada instalación fotovoltaica en kWh y a la derecha su periodo de retorno económico en años).

En consecuencia, se emplea la herramienta para la conceptualización y diseño de dicho distrito en uno de energía casi nula (NZED) que queda enmarcado dentro de las áreas de investigación de la Cátedra de Transición Energética de la Universitat Politècnica de València. En base a los resultados obtenidos se concluye que los edificios que proporcionan las mejores rentabilidades son aquellos con amplias superficies (para reducir costes por economía de escala), grandes consumos (para garantizar grandes ahorros en la factura) y escasas sombras en cubierta (para maximizar la producción).

### Aplicación del modelo para la planificación de comunidades energéticas

En base a los resultados obtenidos se ha observado que los edificios más beneficiados son aquellos con grandes consumos y amplias superficies de cubiertas, ya que presentan menores costes unitarios por economía de escala. Las comunidades energéticas, consistentes en la agrupación de consumidores en torno a única instalación fotovoltaica, busca conseguir dicho efecto. En el siguiente caso de estudio, mostrado en la figura IV, se han simulado las posibles instalaciones de dos edificios residenciales, uno de ellos con viviendas en bloque y varios comercios (A) y el otro, una vivienda unifamiliar (B), además de una instalación conjunta (A+B).



Figura 4. Ejemplo de agrupación de edificios para la planificación de comunidades energéticas.

En la tabla II podemos ver los resultados de las plantas generadoras que se podrían instalar tanto en el edificio A como en el B. Se observa que la instalación del edificio B casi duplica el periodo de retorno de la del edificio A, por lo que será prácticamente imposible que esta vivienda (B) instale y use energía fotovoltaica. Pero se estudia un 3er caso donde los edificios A y B comparten instalación (la instalación montada en el edificio A) y se obtiene que el periodo de retorno se reduzca en este caso en 1 año. Así, se consigue que los dos edificios se beneficien del autoconsumo fotovoltaico y además se reduzca el periodo de retorno de la inversión. El hecho de que se reduzca el periodo de retorno es que, a mayor demanda eléctrica (unir consumos de A y B), se aumenta el porcentaje de energía autoconsumida, siendo mucho más rentable que la energía vertida a red.

Edificio	Producción (kWh/año)	Autoconsumo (%)	Cobertura renovable (%)	Payback (años)
A. Residencial	15.000	87	28	10
B. Unifamiliar	1.800	100	15	19
A+B.	15.000	98	23	9

Tabla III. Resultados para el ejemplo de agrupación de edificios en comunidades energéticas.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo introduce la herramienta IMPACT-E. Una herramienta para facilitar una transición energética urbana justa y de calidad a través de la planificación energética de las ciudades. El trabajo incluye un caso de aplicación mediante el uso de dicha herramienta para la introducción de energías renovables en el sector residencial de la ciudad de València.

Los resultados agregados mostrados por la amplia muestra de edificios simulada proporcionan una idea de la cantidad de energía nada despreciable que se podría generar in situ en la ciudad de València. No obstante, quedan grandes barreras que superar, especialmente en la evaluación del parque edificatorio y en la concienciación social. La herramienta constituye un primer paso para los planificadores para facilitar la puesta en marcha de la transición energética en ciudades, identificando no sólo las actuaciones con mayor impacto (económico, de ahorro de emisiones o social) si no también las áreas de la ciudad en las que dirigir las actuaciones.

Como se ha observado en los resultados de la comunidad energética evaluada, un enfoque comunitario o por conjunto de edificios o distritos resulta más conveniente para favorecer la rentabilidad y el alcance real de los distritos de energía casi nula. Son las mismas conclusiones obtenidas en el estudio [11] para la actuación en el sistema de producción de agua caliente sanitaria, el enfoque comunitario tendrá una importancia enorme en la transición energética urbana.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está enmarcado dentro de la Cátedra de Transición Energética Urbana, financiada por la fundación Las Naves del Ayuntamiento de València, dentro del Instituto Universitario de Ingeniería Energética de la Universitat Politècnica de València.

## REFERENCIAS

- [1] European Commission, “Going climate-neutral by 2050,” p. 20, 2019.
- [2] European Commission, “The roadmap for transforming the EU into a competitive, low-carbon economy by 2050,” pp. 1–4, 2011.
- [3] D. Mulvaney, “Green New Deal,” *Sol. Power*, pp. 47–65, 2019.
- [4] “Energy performance of buildings directive - European Comision.” [Online]. Available: <https://tinyurl.com/y93pswm9>. [Accessed: 07-Aug-2020].
- [5] P. Vaze, L. Mok, and Z. Malik, “A green, fair and resilient recovery: the role of energy efficiency and domestic renewables home retrofits.”
- [6] Ajuntament de València, “Plan de Acción para el Clima y la Energía Sostenible de la ciudad de València,” 2018.
- [7] BOE, “BOE.es - Documento BOE-A-2019-5089,” Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica, 2019.
- [8] IDAE, “Guía profesional de tramitación del autoconsumo,” 2019.
- [9] E. Fuster, C. Prades-Gil, X. Masip, J. Viana-Fons, and J. Paya-Herrero, “Evaluation of the solar photovoltaic generation potential of a district in the city of Valencia.,” *SDEWES 2020*.
- [10] IVACE, “Diari Oficial de la Comunitat Valenciana Num. 8477.” 2019.
- [11] X. Masip, C. Prades-Gil, E. Navarro-Peris, and J. M. Corberán., “Evaluation of the potential energy savings of a centralized booster heat pump in front of conventional alternatives,” *SDEWES 2020*.

# CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO REAL DE INSTALACIONES TÉRMICAS - CASO DE ESTUDIO 32 VIVIENDAS SOCIALES EN SANTURTZI, BIZKAIA

**Julen Hernández**, Investigador Eficiencia Energética, Tecnalia, Basque Research and Technology Alliance (BRTA)

**Patxi Hernández**, Investigador Eficiencia Energética, Tecnalia, Basque Research and Technology Alliance (BRTA)

**Iñigo Urrea**, Investigador Eficiencia Energética, Tecnalia, Basque Research and Technology Alliance (BRTA)

**David Grisaleña**, Técnico de Innovación y Sostenibilidad, Visesa (Vivienda y Suelo de Euskadi)

**Alberto Ortiz de Elgea**, Director de Innovación y Sostenibilidad, Visesa (Vivienda y Suelo de Euskadi)

**Resumen:** Este artículo presenta un análisis del comportamiento real de las instalaciones térmicas en un bloque de 32 viviendas sociales en Santurtzi, Bizkaia. Las instalaciones tienen como elemento principal dos bombas de calor aire-agua, que cumplen los requisitos de eficiencia y renovables del CTE según las herramientas de cálculo oficiales. Se presentan datos de monitorización del comportamiento real de los equipos, obtenidos durante una serie de pruebas realizadas en la fase de comisionado del edificio. Los resultados muestran que existen diferencias considerables entre los cálculos de diseño, de cálculos de cumplimiento del CTE, y las medidas reales. El análisis resalta la importancia de protocolos de medida y verificación de las prestaciones reales de instalaciones térmicas, como paso necesario para poder establecer esquemas de garantía de comportamiento energético.

**Palabras clave:** análisis, instalaciones, rendimiento, aerotermia, bomba de calor, eficiencia, garantía de rendimiento energético, medida y verificación, comisionado.

## INTRODUCCIÓN

A menudo, durante la fase de mantenimiento y uso de un edificio, se descubre que el comportamiento de las instalaciones de agua caliente y calefacción en el uso diario dista de lo esperado y de lo diseñado inicialmente para ese edificio. Este hecho puede deberse a múltiples factores, desde el rendimiento real de los equipos a la variabilidad del comportamiento de los usuarios, factores que pueden ser difíciles de determinar en la fase de diseño del edificio. Lo que es evidente es que un comportamiento de las instalaciones distinto al previsto provocará un mayor coste energético y de mantenimiento al tiempo que su funcionalidad se verá, con toda probabilidad, disminuida con la consiguiente afección a las personas usuarias del edificio.

Es necesario, por tanto, establecer protocolos adecuados de comisionado, medida y verificación de las instalaciones que vayan más allá de la mera comprobación de la funcionalidad de los equipos. Será igualmente importante, desde la fase de diseño del edificio y las instalaciones, establecer los indicadores a medir y, consecuentemente, dotar a las instalaciones de los elementos necesarios para monitorizar el comportamiento de las mismas, no como una suma de elementos o equipos sino como “un todo” al servicio del edificio. Las modificaciones del RITE planteadas en el borrador del Real decreto a finales del 2019, con el nuevo IT 1.2.4.8. añadido sobre “Eficiencia energética general de la instalación técnica”, indica que este tipo de medidas serán un requisito en el futuro próximo.

En el presente artículo, se describe la metodología empleada para analizar el comportamiento de las instalaciones de un edificio residencial de vivienda protegida mediante una serie de ensayos llevados a cabo durante los meses previos a su ocupación definitiva por las personas adjudicatarias.

Asimismo, se analizan los resultados obtenidos para sacar conclusiones sobre las causas que llevan a un comportamiento en condiciones reales menos eficiente que el esperado en fase de diseño. Finalmente se propone incorporar estos protocolos en sucesivas promociones de vivienda, de cara a reducir la brecha entre el diseño y el funcionamiento real de las instalaciones de agua caliente y calefacción, y poder facilitar la implementación de garantías de comportamiento energético de instalaciones.

## EL EDIFICIO Y SUS INSTALACIONES:

El edificio elegido para servir de caso de estudio es un edificio residencial de 32 viviendas para alquiler social, promovido por Visesa, sociedad pública del Gobierno Vasco. Está situado en la localidad vizcaína de Santurtzi, ubicado por tanto en la zona climática C1 según la definición del CTE 2019.

### Características del caso de estudio:

- Uso: residencial (vivienda protegida)
- Propiedad: pública (ALOKABIDE)
- N° de viviendas: 32 (superficie total de viviendas ≈ 3.000 m<sup>2</sup>)
- Perfil:
  - 6 viviendas x 4 plantas
  - 4 viviendas x 1 planta baja
  - 2 viviendas x 2 semisótanos
  - 32 trasteros en sótano -1
  - 14 + 18 plazas de aparcamiento en sótanos -2 y -3
- Geometría del edificio: 36,2 x 15,6 m
- Orientación: Norte - Sur
- Programa:
  - 22 viviendas x 3 dormitorios (2 vv adaptadas)
  - 10 viviendas x 2 dormitorios
- Estado actual: terminado, entrada de propietarios
- Fecha de finalización: febrero 2019

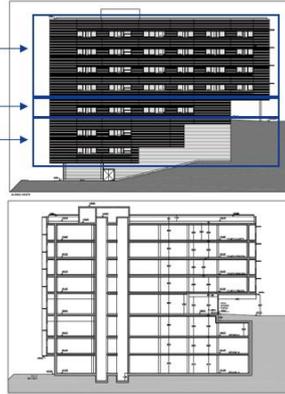


Figura 1. Principales características del caso de estudio.

Gracias a un detallado diseño para la reducción de infiltraciones y puentes térmicos, la instalación de ventilación mecánica de doble flujo con recuperación de calor y unas excelentes características térmicas para la envolvente, la demanda de calefacción calculada para una vivienda de estas características y zona climática es muy baja: sólo 6 kWh/m<sup>2</sup>-a. El edificio está alimentado por un sistema centralizado de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), en cuya sala hidráulica y cubierta se encuentran 2 bombas de calor aire-agua de 47 kWh cada una, 3 depósitos y 2 tanques de expansión. Cuenta además con un sistema de Ventilación Mecánica con Recuperador de Calor.



Figura 2. Bombas de Calor y Ventilación Mecánica sobre la cubierta del edificio.

## LOS ENSAYOS

Tal y como especifica el RITE, las instalaciones térmicas deben diseñarse y calcularse, ejecutarse, mantenerse y utilizarse de tal forma que se reduzca el consumo de energía convencional de las instalaciones térmicas y, las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos. Esto se consigue mediante la utilización de sistemas eficientes energéticamente, de sistemas que permitan la recuperación de energía y la utilización de las energías renovables y de las energías residuales. Como procedimiento de comisionado de las instalaciones técnicas, previo a la entrega del edificio al cliente, en este edificio se han llevado a cabo una serie de pruebas que permiten comparar los rendimientos reales de la instalación con los teóricos utilizados en fase de proyecto.

La instalación se configuró para trabajar durante los ensayos en las condiciones de diseño fijadas (exigencia CTE), con temperaturas de distribución de ACS a 50°C, y de calefacción 45°C. Se efectuaron las siguientes pruebas durante 4 semanas en el mes de marzo 2020, en las condiciones que se explican a continuación:

- **Semana 0:** Acondicionamiento del edificio con una puesta a régimen gradual de las instalaciones para evitar patologías en viviendas debido a cambios bruscos de temperatura en el interior. Verificación de la ventilación mecánica (conectada permanentemente según especificaciones de diseño).
- **Semana 1: Sólo calefacción.** El sistema de producción de ACS anulado.
- **Ensayos días 1 a 4:** Tª de consigna (SP) de los cronotermostatos 20°C de 08.00h a 22.59h, resto de horas 17°C. Cronotermostatos activados en todas las viviendas (32 viviendas en total).
- **Días 5 a 7:** Tª de SP de los cronotermostatos 20°C de 08.00h a 22.59h, resto de horas a 17°C. Cronotermostatos activados sólo en 2 viviendas, en el resto quedan en modo OFF.
- **Semana 2: Calefacción + ACS.** Sistema con ambos controles activados, el de calefacción y ACS.
- **Días 1 a 3:** Instalación sin apenas demanda en calefacción (2 viviendas en consignas de diseño) y sin demanda de ACS, pero manteniendo el circuito a régimen (24h).
- **Días 4 a 6:** SP de cronotermostatos de las 32 viviendas activados y programados según el ciclo de 20°C de día y 17°C de noche. El circuito de ACS activado y a régimen.
- **Día 7:** Cronotermostatos de las 32 viviendas activados y programados según el ciclo de 20°C de día y 17°C de noche. Circuito de ACS activado y generación de pico de demanda (2.800 l según diseño) en 2-3 horas.
- **Semana 3: Sólo ACS.** Sistema de calefacción anulado y el sistema de ACS a régimen, pero sin demanda.
- **Días 1 a 3:** Se deja el sistema durante 72h a régimen sin demanda.

Para la realización de los ensayos, el primer paso consistió en la evaluación del grado de monitorización de la instalación. Este proceso se llevó a cabo mientras la instalación estaba en fase de ejecución, lo que permitió añadir los elementos de medición y comunicación necesarios para poder medir las variables de interés. A continuación, se muestra el esquema de principio de la instalación centralizada:

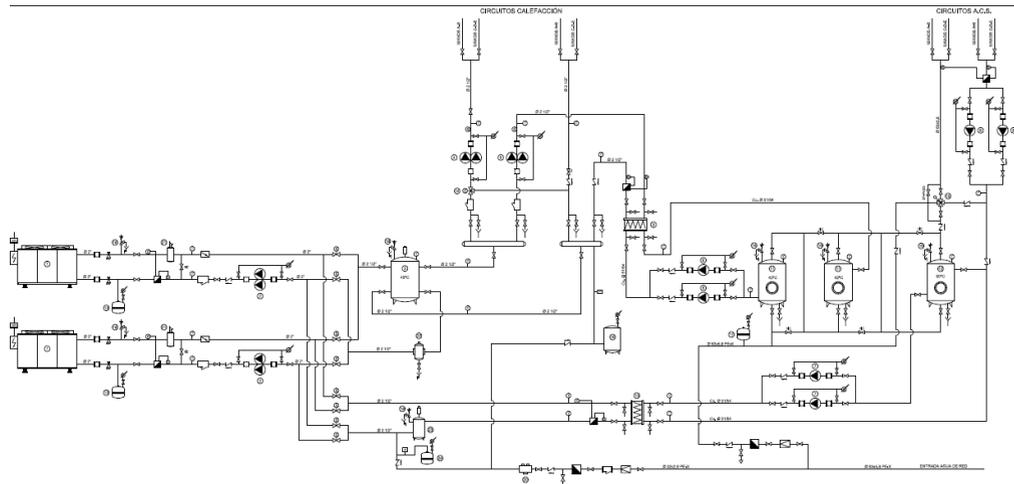


Figura 3. Esquema de principio de la instalación térmica del proyecto.

La empresa instaladora realizó las modificaciones necesarias añadiendo los siguientes elementos:

- 9 sensores de temperatura adicionales a los contemplados en el proyecto de ejecución.
- 1 contador de energía en el circuito de distribución de calefacción.

Con el sistema de control y monitorización de la instalación optimizado, configurado e implantado, se ha podido monitorizar, registrar y tratar todas las variables necesarias para obtener los siguientes indicadores:

- $C_g$  (kWh<sub>e</sub>): Consumo eléctrico en generación (energía final).
- $E_{tg}$  (kWh<sub>t</sub>): Energía térmica suministrada por los equipos de generación (energía útil).
- $\sum E_{vn}$  (kWh<sub>t</sub>): Sumatorio de energía térmica registrada en contadores de energía de cada vivienda
- $C_{aux}$  (kWh<sub>e</sub>): Consumo de energía eléctrica de equipos auxiliares de la instalación energética (bombas de impulsión, sistemas de control, adquisición, ventilación, etc.).
- Registro de T<sup>a</sup> exterior (°C) y humedad relativa (%) exterior.

Con los datos obtenidos durante las pruebas, se calculan los siguientes rendimientos energéticos:

$$COP_{mBC1} \text{ (COP medio Bomba Calor 1)} = E_{tg1} \text{ (kWh}_t\text{)} / C_{g1} \text{ (kWh}_e\text{)}$$

$$COP_{mBC2} \text{ (COP medio Bomba Calor 2)} = E_{tg2} \text{ (kWh}_t\text{)} / C_{g2} \text{ (kWh}_e\text{)}$$

$$COP_{mic} \text{ (COP medio instalación completa)} = \sum E_{vn} \text{ (kWh}_t\text{)} / ((C_{g1} \text{ (kWh}_e\text{)} + C_{g2} \text{ (kWh}_e\text{)} + C_{aux} \text{ (kWh}_e\text{)})$$

## RESULTADOS

Las pruebas, han tenido una duración total de 432 horas. El 67% de las horas, la T<sup>a</sup> exterior registrada se ha mantenido por debajo o igual a 15°C y los grados día calculados para una T<sup>a</sup> de referencia de 15°C, han sido 21. Estas condiciones climatológicas durante el periodo de ensayo han sido más suaves que las esperadas, y la temperatura media exterior ha sido superior a la temperatura media anual. A continuación, se muestran algunas de las variables monitorizadas durante los días 1, 2, 3 y 4 de la semana 1 de ensayo que se utilizarán para el cálculo de los indicadores mencionados en el apartado “Ensayos”.

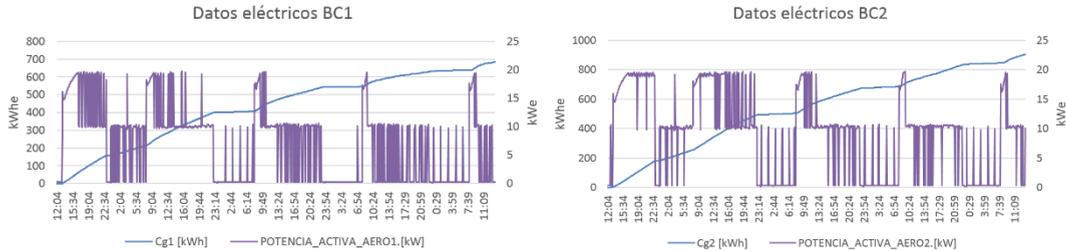


Figura 4. Gráfica datos eléctricos de las bombas calor BC1 y BC2. Potencia eléctrica (kW) y energía eléctrica C<sub>g1</sub> (kWh)

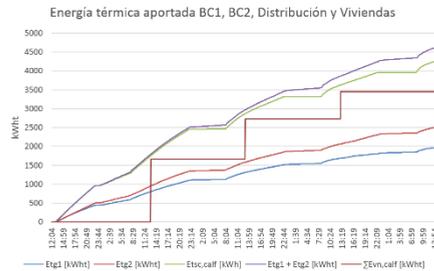


Figura 5. Gráfica de datos de energía térmica durante el periodo de ensayo.

En la figura 5 se puede observar cómo evoluciona la energía a lo largo del tiempo, desde la generación ( $E_{tg1} + E_{tg2}$ ) hasta la energía útil entregada a las viviendas ( $\sum E_{vn,caif}$ ), valores que permiten obtener los rendimientos energéticos de instalación completa. En este caso, todos los datos han sido registrados cada 5 minutos, excepto el de “sumatorio de energía de las viviendas”, que los contadores de viviendas registran únicamente una vez al día.

En la tabla 1 se han reflejado los resultados obtenidos de rendimiento energético medio de la instalación completa ( $COP_{mic}$ ) y las variables más importantes definidas en el apartado “Ensayos” durante los 4 primeros días de la semana 1 y los 4 últimos días de la semana 2.

Variable	Unid.	Semana 1				Semana 2			
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
$E_{tg1}$	kWh <sub>t</sub>	771	512	387	306	789	287	272	179
$E_{tg2}$	kWh <sub>t</sub>	907	647	491	478	179	379	327	150
$\Sigma E_{vn,calif}$	kWh <sub>t</sub>	1660	1065	727	616	896	611	532	104
$C_{g1}$	kWh <sub>e</sub>	280	182	124	100	217	100	103	61
$C_{g2}$	kWh <sub>e</sub>	332	238	167	168	79	140	130	64
$C_{gaux}$	kWh <sub>e</sub>	38	36	35	37	39	36	36	11
$COP_{mBC1}$	-	2,76	2,82	3,13	3,06	3,64	2,87	2,63	2,93
$COP_{mBC2}$	-	2,73	2,72	2,94	2,84	2,26	2,71	2,52	2,34
$COP_{mic}$	-	<b>2,55</b>	<b>2,34</b>	<b>2,23</b>	<b>2,02</b>	<b>2,67</b>	<b>2,21</b>	<b>1,97</b>	<b>2,09</b>
$SCOP_{diseño}$	-	<b>2,57</b>							

Tabla 1. Resultados de  $COP_{mic}$  rendimientos energéticos obtenidos durante los ensayos vs rendimientos de diseño y objetivo.

En la semana 1 con sólo demanda de calefacción, se puede observar con las 32 viviendas demandando calefacción (días 1 a 4 de la semana 1), la diferencia entre generación ( $E_{tg1} + E_{tg2}$ ) y energía entregada a viviendas ( $\Sigma E_{vn,calif}$ ) es relativamente pequeña, y las pérdidas energéticas equivalen a un 12 % de la energía generada. Al reducir el número de viviendas que demandan calefacción en días posteriores hasta las 2 viviendas, las pérdidas energéticas suben hasta el 68% de la energía generada.

En la semana 2 al activarse la generación de ACS, se observa de manera similar que el porcentaje de pérdidas aumenta (y el  $COP_{mic}$  disminuye) considerablemente al reducir las demandas de las viviendas, lo que da muestra de la importancia del diseño y operación de la instalación en función de los perfiles de usuario de las viviendas. Se observa que los  $COP_{mic}$  en los diferentes días del ensayo son en su mayoría menores que el  $SCOP_{diseño}$ , introducido en la herramienta HULC para justificación del CTE, a pesar de las temperaturas medias exteriores relativamente altas durante el ensayo.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

Este artículo ha presentado los resultados de caracterización mediante ensayos reales de las instalaciones térmicas en un edificio de 32 viviendas sociales de Santurtzi. La aplicación de protocolos de medida, verificación y comisionado como los presentados suponen un paso más hacia edificios de energía casi nula asequibles, en los que se pueda garantizar que los resultados de diseño concuerdan con los esperados y el consumo energético asociado a calefacción y ACS sea mínimo. El edificio en estudio presenta unas excelentes prestaciones de envolvente y ventilación mecánica con recuperación de calor, lo que reduce en gran medida la demanda. Los ensayos se han centrado en analizar la eficiencia de las instalaciones centralizadas de bomba de calor en condiciones reales, para comprobar que cumplen con las expectativas de diseño.

Las pruebas demuestran que, a la entrega de edificio, la instalación no llega a alcanzar el funcionamiento óptimo para el que se ha diseñado, independientemente del perfil de demandas que pueda tener a futuro. Extrapolando los resultados del ensayo a todo el año para comparación con  $SCOP_{diseño}$ , se obtienen COPs de instalación de 2,29 para calefacción y de 2,24 para ACS, en comparación con el 2,57 de diseño. Especialmente se ha observado que, en condiciones en las que haya una baja demanda por parte de los usuarios, la instalación tendrá unos consumos parásitos considerables.

Las pruebas también han ayudado a optimizar, en la medida de lo posible, el funcionamiento, llevando a cabo modificaciones y detección de no conformidades. Se ha observado también que el rendimiento de la instalación se ve

disminuido por una generación con bombas de calor no suficientemente flexible y limitada a 4 etapas, información relevante para ingenierías y equipos de diseño.

De manera específica para proyectos con bombas de calor, hay que recalcar que la utilización de los diferentes COP o SCOP del fabricante en fase de diseño (ej. COP declarado por el fabricante de la máquina en base a la EN 14511, o al SCOP en base a la norma EN 14825), deben hacerse de manera conservadora teniendo en cuenta la integración de los equipos en instalaciones complejas y con diferentes elementos. Los ensayos efectuados en la fase de comisionado como los presentados en este artículo, son una fuente de información muy relevante para intentar estimar en fase de diseño el comportamiento real de instalaciones completas.

Como conclusión, se recalca la importancia de protocolos de comisionado, medida y verificación, para la comprobación del comportamiento energético de las instalaciones en condiciones reales, antes de la entrega al cliente del edificio. Este tipo de estudios puede aportar beneficios a los distintos agentes, desde la promotora, pasando por el gestor o mantenedor del edificio, hasta el usuario final.

Para la promotora, este estudio facilita un análisis técnico-económico exhaustivo de opciones para sistemas de climatización y ACS, teniendo en cuenta demandas del usuario final y comportamiento real de las instalaciones. Esto facilita un aprendizaje continuo, hacia estrategias de diseño de instalaciones más robustas y simples donde se reduzca el coste y las diferencias entre expectativas y comportamiento real. La implantación de un procedimiento de comisionado como el presentado antes de la entrega del edificio, permite verificar el cumplimiento de los requisitos energéticos planteados en proyecto e incluso establecer términos de garantía de comportamiento energético con la constructora responsable del proyecto.

Para el operador, gestor, o mantenedor de un edificio, y de especial interés en el caso de viviendas sociales, esta metodología de comisionado permite conocer al detalle el comportamiento de la instalación energética bajo diferentes perfiles de uso, optimizar el control y hacer una mejor estimación de costes de operación. Los resultados de la prueba de comisionado pueden incluso facilitar la inclusión de criterios de garantía de comportamiento energético en contratos de gestión y mantenimiento de instalaciones.

Para el usuario final, el proceso revierte en una mejora de la eficiencia de las instalaciones, y de los costes asociados a su operación y mantenimiento.

## AGRADECIMIENTOS:

Los autores agradecen la financiación recibida del programa de investigación e innovación Horizon 2020 de la Unión Europea, dentro del contrato número 754174, correspondiente al proyecto AZEB “Affordable Zero Energy Buildings”. El proyecto trata del desarrollo de una metodología para disminuir el coste global de ciclo de vida de edificios de consumo casi nulo.

## REFERENCIAS

- [1] Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el reglamento de instalaciones térmicas en los edificios
- [2] Propuesta de real decreto que modifica el real decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el reglamento de instalaciones térmicas en los edificios fecha: 26/07/2019
- [3] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (2016), EN 14825:2016 Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling. Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance
- [4] HULC (2016). Herramienta unificada LIDER-CALENER, versión 1.0.1493.1049. Disponible en: <http://www.codigotecnico.org/>

# COLEGIO EL GARROFER, MONITORIZACIÓN DE UN EDIFICIO ENERPHIT EN VILADECANS/ESPAÑA

**Andreu Villagrasa**, Arquitecto Técnico, Energiehaus  
**Martín Amado**, Arquitecto Técnico, Energiehaus  
**Micheel Wassouf**, Arquitecto, Energiehaus

**Resumen:** El Colegio “Garrofer” de Viladecans es el primer edificio en España de educación pública en el que se llevó a cabo una rehabilitación tipo EnerPhit, realizado en verano del 2018. A pesar de no cumplir con el valor límite n50 de infiltraciones de aire (valor final 1,15/h, respecto al valor máximo permitido 1,04/h), el análisis de los consumos energéticos y de las condiciones de confort de este edificio puede facilitar las decisiones de futuros promotores (sean públicos o privados) hacia una rehabilitación energética del tipo EnerPhit. La experiencia ha demostrado que la brecha entre un estándar Enerphit y el HE0/1 del nuevo CTE no es tan grande, que el valor K se acerca al valor exigido por el nuevo Código Técnico: 0,52 W/m<sup>2</sup>k EnerPhit versus 0,72 W/m<sup>2</sup>k valor límite K según la compactidad del proyecto. Los resultados de consumos energéticos reales del invierno 2019/20 han sido inferiores a las calculadas por la simulación energética, y los resultados de confort en estos meses claramente mejores que antes de la reforma. Desgraciadamente, la monitorización se tuvo que parar debido a la crisis Covid en marzo del 2020.

**Palabras clave:** Rehabilitación energética, EnerPhit, Edificio docente, EECN



*Imagen 1. Colegio El Garrofer.*

## INTRODUCCIÓN

En verano del 2018, el Colegio público “Garrofer” en Viladecans/Barcelona se rehabilitó conforme los criterios EnerPhit con el protocolo prestacional. El ayuntamiento encargó a Energiehaus en octubre del 2019 la monitorización de los resultados de confort y de energía de dicho edificio. Además de disponer de un monitoreo de confort en un aula tipo, realizado antes de la reforma, se han registrado los consumos energéticos y datos de confort desde octubre 2019 hasta marzo 2020. Este último monitoreo ha abarcado 6 espacios típicos del edificio (4 aulas, comedor, biblioteca), para así

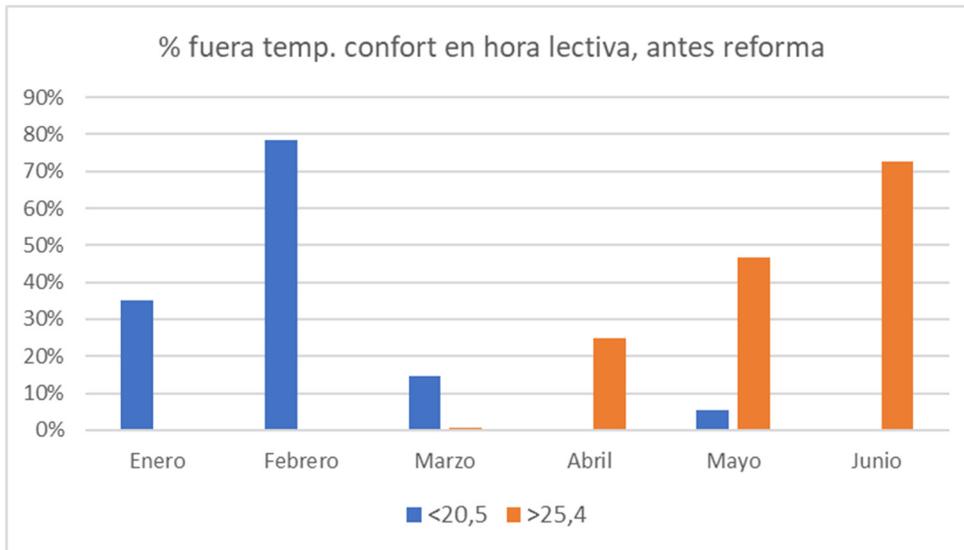
disponer de resultados con mayor fiabilidad. Debido a la emergencia sanitaria, se tuvo que parar el registro del 2º semestre escolar 2019/20.

A continuación, se comparan los resultados antes y después de la reforma, además de situarlo en el contexto del estudio de monitorización más amplio que se llevó a cabo por parte de la Plataforma PEP en el año 2017/18.

## ANÁLISIS CONFORT ANTES REFORMA

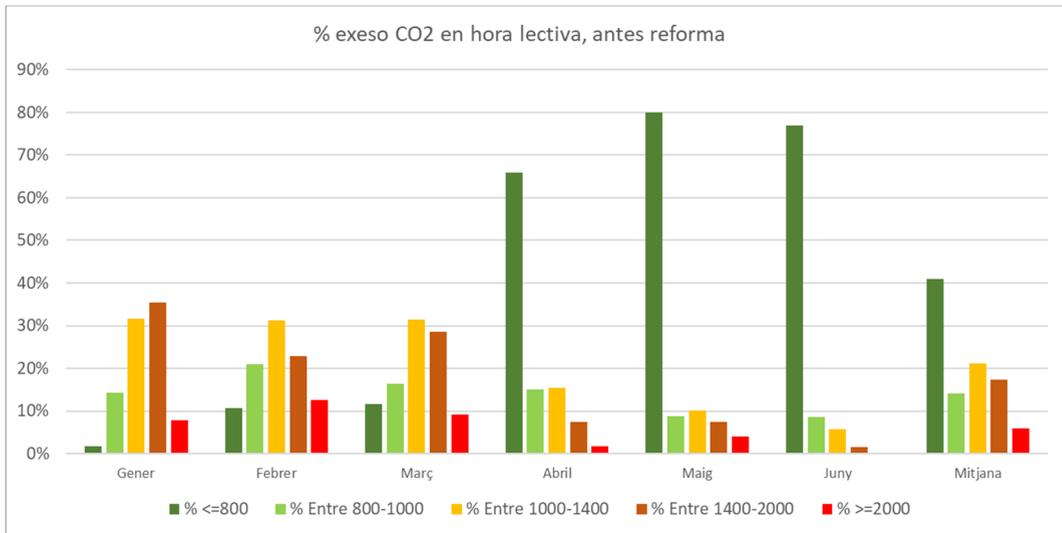
A continuación, se presentan las gráficas de CO<sub>2</sub> y temperatura que se registraron entre los meses enero-junio del 2018, antes de realizar las obras de reforma. Se excluye de este análisis los valores de humedad relativa, al constatar que no presentaron deficiencias de confort, y al ver que los valores no cambiaron de modo relevante después de la reforma.

Se tomaron como referencia de temperatura los límites marcados por el CTE, de 21°C en invierno (se ajustó a 20,5°C) y de 25°C en verano (se ajustó a 25,4°C).



Gráfica 1. Franjas de temperaturas en aula tipo antes de la reforma.

En la gráfica 01, se puede ver que el aula analizado tenía en invierno grandes franjas de disconfort de temperaturas, a pesar de disponer de un sistema de calefacción en activo. El mes de febrero, casi el 80% de las horas lectivas estaban asociadas con temperaturas fuera de los rangos establecidos por el CTE. El mes de junio, más del 70% de las temperaturas registradas en horas lectivas estaban por encima de los límites marcados por la normativa española ¡En el mes de julio, la temperatura más alta registrada (durante hora lectiva) fue 30,7°C!

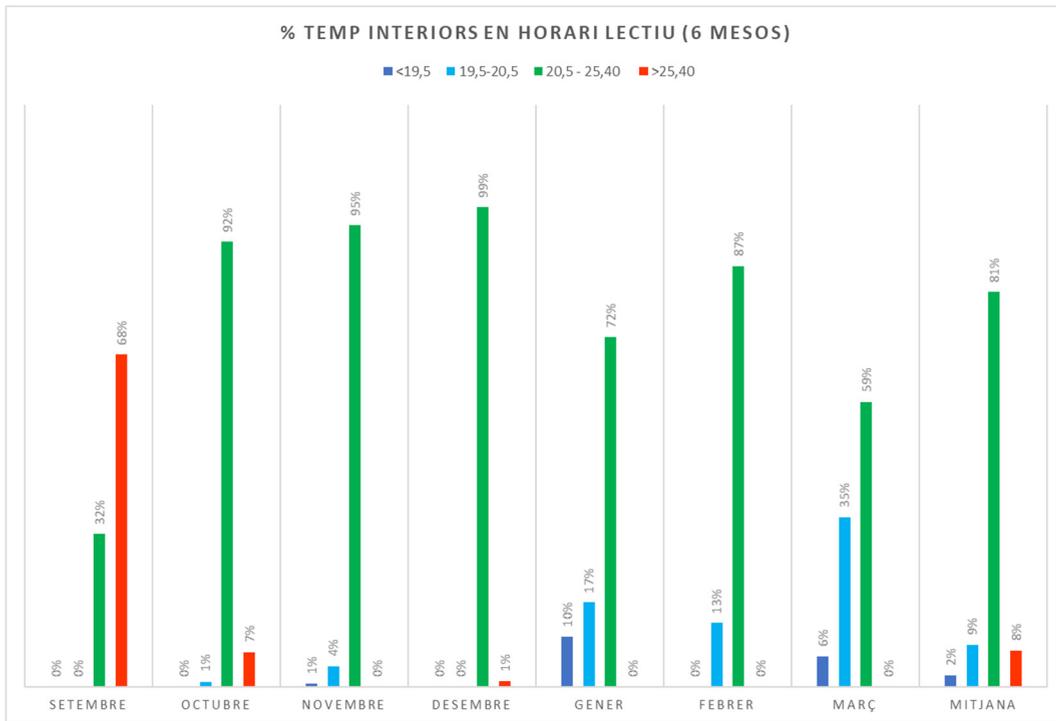


Gráfica 2. Franjas CO2 en aula tipo antes de la reforma.

En la gráfica 02 se puede detectar un cambio de resultados importante entre el mes de marzo y de abril. Hasta el mes de marzo, el aula funciona con las ventanas cerradas (desde luego sin ventilación controlada), y como consecuencia con altas concentraciones de CO2. Más de la mitad del tiempo, la concentración de CO2 está por encima de IDA-2 (>1000ppm-CO2), referencia que marca el RITE para la calidad del aire interior en escuelas. Los meses de abril, mayo y junio se caracterizan por una buena calidad de aire en términos de CO2.

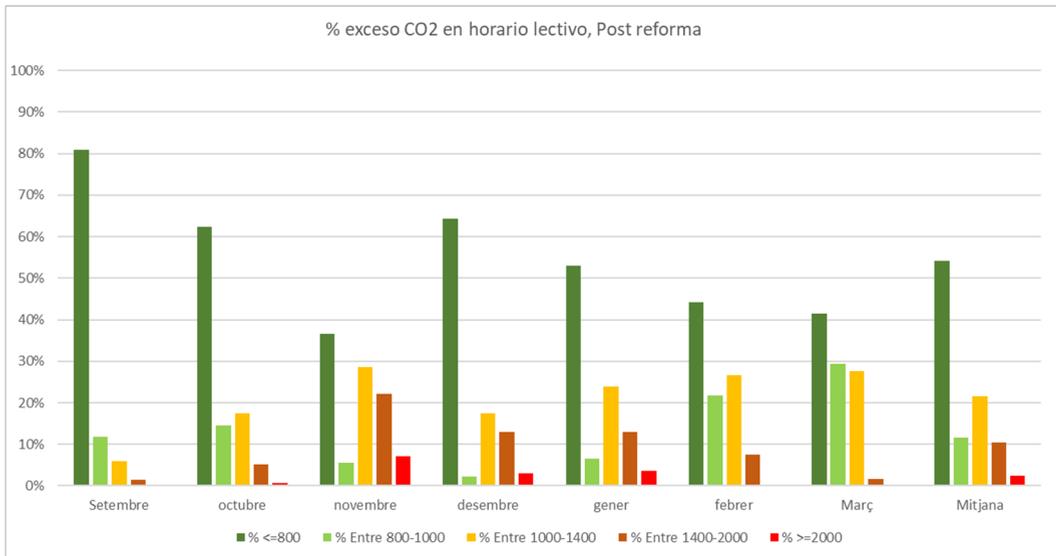
## ANÁLISIS CONFORT POST REFORMA

A continuación, se muestran en la gráfica 03 los resultados de temperatura de la misma aula, conforme la monitorización "post-reforma". Se detecta un alto porcentaje de temperaturas altas en el mes de septiembre, debido entre otro a que faltaba por instalar la protección solar exterior en esta parte (ya realizada a inicios del 2020). Aún así, cabe mencionar que los rangos de confort Passivhaus/Enerphit según PHPP no son alcanzables para este edificio sin la instalación de un sistema de aporte de frío activo, cosa que hasta la fecha de redacción de este artículo aún no se ha planteado por parte del ayuntamiento. En los meses de octubre hasta marzo, la frecuencia de temperaturas registradas por debajo de 20°C es del 2%, reflejando así la excelente calidad en términos de temperatura en los meses de invierno.



Gráfica 3. Franjas de temperatura interior en aula tipo después de la reforma.

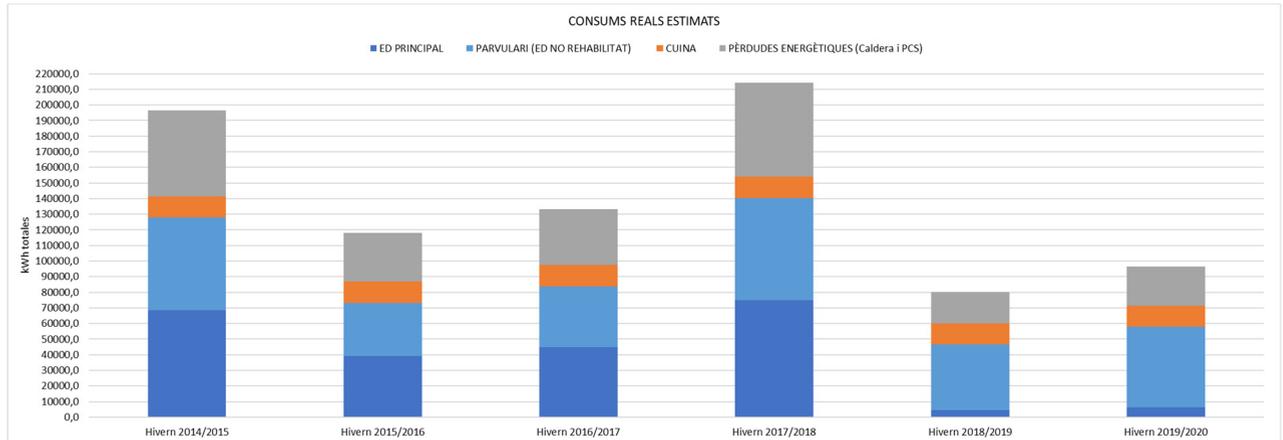
En la gráfica 04 se presentan para la misma aula los resultados de concentración de CO2 durante el periodo de análisis después de la rehabilitación. Se puede ver la mejora en los valores de CO2 de los meses de invierno, comparado con la gráfica 02. Los resultados de los siete meses analizados muestran un desarrollo llamativo: con el paso de los meses, van subiendo las concentraciones de CO2. Eso tiene que ver con problemas técnicos de ajuste de la máquina de ventilación, que está actualmente en proceso de revisión. Se prevé un reajuste de los caudales de ventilación para el ciclo lectivo 2020/21.



Gráfica 4. Franjas CO2 en aula tipo después de la reforma

## ANÁLISIS AHORRO ENERGÉTICO

El análisis de la calefacción (caldera de gas) para el invierno 2019/20 da un consumo anual de 5.115 kWh, que es equivalente a un gasto anual para calefacción de 400€ aproximadamente. Los consumos para calefacción antes de la reforma, reseteados con la misma severidad climática del 2019/20, da un promedio de 56.626 kWh/a. Esto equivale a una rehabilitación “factor diez”, típico para este tipo de actuaciones. Es interesante comprobar que el consumo adicional eléctrico de los ventiladores para el mismo periodo suma 4.776 kWh, prácticamente igual al de calefacción. Dato muy común en edificaciones Passivhaus debido al haber conseguido una demanda de calefacción muy baja y poseer un sistema de ventilación con recuperación de calor de alta eficiencia mediante unidades certificadas y un consumo eléctrico límite muy bajo ( $\leq 0,45$  Wh/m<sup>3</sup>).



Gràfica 5. Consumos calibrados de gas, incluyendo cocina y guardería (no rehabilitada).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos del monitoreo, realizado entre septiembre 2019 y marzo 2020, demuestran que la mejora energética y de confort, medida en invierno 2019/20 respecto a años anteriores, coincide con las buenas experiencias realizadas en otras obras de escuelas Passivhaus en Centroeuropa. Se registra un ahorro en consumo de gas para calefacción del 90% respecto a los consumos de los años antes de la reforma. El consumo eléctrico del edificio sube del 28%, debido al sistema de ventilación controlada. Por esta razón, los autores de este artículo aconsejan calibrar los sistemas de ventilación de este tipo de edificios no basándose en un IDA-2, sino yendo hacia una IDA-3, con concentraciones de CO<sub>2</sub> algo más altas, pero en cambio un ahorro en consumo eléctrico más pronunciado. Esto garantizaría además un confort acústico mayor para los usuarios del edificio.

Después de la rehabilitación, el promedio medido de franjas de temperaturas conforme con la norma española es del 85%, y de ppm de CO<sub>2</sub> del 76% (conforme Passivhaus, que aceptan franjas más ampliadas, de hasta IDA3: 92% según el caso del actual monitoreo).

En cuanto a la humedad relativa, se ha registrado un 82% del tiempo dentro de los márgenes de 30-60%.

El estudio de monitorización de colegios públicos existentes, realizado por la Plataforma Española Passivhaus (PEP) en 2017/18, ha registrado en los dos colegios analizados en el mismo Área Metropolitana de Barcelona, un promedio del 43% de tiempo dentro de los valores admitidos de CO<sub>2</sub>, contra los 76% registrados en el Garrofer. Eso significa una mejora factor 1,8 en términos de calidad de aire interior.



Imagen 2. Router Loxone - Gestor del sistema de monitoreo.

En cuanto a las temperaturas de confort, se ha registrado en el análisis de PEP un promedio de 66% dentro de las franjas de confort, contra un promedio del 85% registrado en el Garrofer, una mejora del factor 1,3. Si bien la comparativa no es del todo completa, porque en el Garrofer solo se dispone del análisis hasta marzo del 2020 (debido a la emergencia sanitaria), se puede constatar que en las épocas de calefacción, tanto el ahorro energético como la mejora de confort son sustanciales. No obstante, la experiencia de los autores en casos similares de rehabilitaciones tipo EnerPhit en España demuestra que se ha de proyectar un sistema de aporte de frío activo en tipologías similares, para poder cumplir con los altos estándares de confort de Passivhaus, establecidos para los climas de la Península Ibérica.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al ayuntamiento de Viladecans por la iniciativa de rehabilitación del Colegio El Garrofer conforme los criterios EnerPhit/Passivhaus.

## REFERENCIAS

- Wassouf, M., 2015, "De la Casa Pasiva al Estándar Passivhaus, Editorial Gustavo Gili, Barcelona.
- Silvia Vilčeková, Peter Kapalob, Ľudmila Mečiarová, Eva Krídlová Burdová, Veronika Imreczeová, "Investigation of Indoor Environment Quality in Classroom - Case Study"
- Lorenza Pistore, Giovanni Pernigotto, Francesca Cappelletti, Piercarlo Magnoni, Andrea Gasparella, "From energy signature to cluster analysis: an integrated approach"

# REMOURBAN: EVALUACIÓN FINAL DE LAS ACCIONES LLEVADAS A CABO EN EL DISTRITO DE FASA (VALLADOLID) PARA CONVERTIRLO EN UN DISTRITO DE ENERGÍA CASI NULA

**Javier Antolín Gutiérrez**, CMVP y responsable de evaluación de proyectos, Fundación CARTIF  
**Miguel Á. García Fuentes**, Responsable de Estrategia y Desarrollo de Negocio de Energía, Fundación CARTIF  
**Cristina de Torre Minguela**, Jefa de proyecto, Fundación CARTIF  
**Jaime Gómez Tribiño**, Ingeniero de estudios, Veolia Servicios LECAM  
**Jaime Jose Cubillo Capuz**, Gerente de Innovación División de Ingeniería, ACCIONA

**Resumen:** El proyecto REMOURBAN es un proyecto demostrativo a gran escala cuyo principal objetivo es acelerar la transformación urbana hacia el concepto de ciudad inteligente considerando todos los aspectos de la sostenibilidad. Con este propósito, se ha desarrollado un Modelo de Regeneración Urbana que ha sido validado en las tres ciudades faro del proyecto (Valladolid-España, Nottingham-Reino Unido y Tepebasi-Turquía). El proyecto REMOURBAN ha llevado a cabo diferentes intervenciones en la ciudad de Valladolid con el objetivo de conseguir edificios de bajo consumo energético. Entre las intervenciones energéticas implementadas en el distrito de FASA, se encuentra la rehabilitación de la envolvente de los edificios, la integración de una innovadora fachada fotovoltaica, la instalación de luminarias más eficientes y la renovación de la red de calor del distrito mediante el uso de biomasa, integrando además soluciones TIC para mejorar el comportamiento de estos edificios desde el punto de vista energético y de confort. Para evaluar el impacto energético de las intervenciones y facilitar la replicabilidad en otros distritos, se ha analizado la mejora conseguida tras el despliegue de las distintas acciones, aplicando para ello el Protocolo Internacional de Medida y Verificación de Ahorro Energético (IPMVP) a escala distrito.

**Palabras clave:** Distrito de energía casi nula, Rehabilitación energética, Red de calor, integración energías renovables en edificación, medida y verificación

## INTRODUCCIÓN

El proyecto REMOURBAN tiene como principal objetivo el desarrollo de un Modelo de Regeneración Urbana, holístico y replicable que facilite el proceso transformación de entornos urbanos en áreas más sostenibles e inteligentes. Este modelo integra todas las innovaciones técnicas desarrolladas y demostradas en el proyecto en sus tres áreas prioritarias -energía, movilidad e ICT- así como innovaciones no-técnicas. En el ámbito de la energía, REMOURBAN se ha centrado en la transformación de barrios en Distritos de Energía Casi Nula, reduciendo su demanda, mejorando la eficiencia de sus sistemas energéticos, incrementando el uso de fuentes renovables e implementando sistemas de control que optimicen los rendimientos y las condiciones de confort.

En la ciudad de Valladolid, se han llevado a cabo un conjunto de intervenciones centradas en mejorar la sostenibilidad de los edificios del distrito de FASA (Valladolid, España), incrementando su eficiencia energética y reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub>. Para lograr este objetivo y convertir el barrio de FASA en un Distrito de Energía Casi Nula, desde el proyecto REMOURBAN se han realizado una serie de intervenciones entre las que se encuentran el aislamiento de las fachadas y cubiertas de los edificios, la sustitución de la iluminación de las zonas comunes por LED y la renovación de la red de calor del distrito para sustituir las fuentes de generación basadas en combustibles fósiles (gas natural y gasóleo) por fuentes renovables (biomasa y solar fotovoltaica), tanto para suministrar calefacción como ACS (Agua Caliente Sanitaria).

Con el objetivo de demostrar que los resultados conseguidos se ajustan a lo esperado y lograr que estas acciones se repliquen en otras zonas con características similares, se ha llevado a cabo una evaluación de los ahorros energéticos considerando para ello los fundamentos del Protocolo Internacional de Medida y Verificación (IPMVP).

## PROTOCOLO DE EVALUACIÓN - IPMVP

La Medida y Verificación (M&V) ha sido el proceso utilizado para la determinación de los ahorros reales conseguidos. Para su aplicación, se ha optado por el Protocolo Internacional de Medida y Verificación de ahorros que se basa en la estimación de ahorros mediante la comparación del rendimiento de los edificios tras las intervenciones con el que hubieran tenido en esas mismas condiciones sin haber llevado a cabo ninguna de las medidas.

IPMVP es un protocolo desarrollado por la Organización de la Valoración de la Eficiencia (EVO). Es el protocolo de Medida y Verificación (M&V) más ampliamente usado y reconocido mundialmente. Este protocolo se ha desarrollado con la idea de ayudar a mejorar la credibilidad y el atractivo de los proyectos de renovación de eficiencia energética.

IPMVP es un documento guía que describe las mejores prácticas disponibles en medida y verificación de ahorros conseguidos con los proyectos de eficiencia energética. Presenta un marco y cuatro opciones para de una manera transparente, fiable y consistente reportar los ahorros energéticos conseguidos.

En REMOURBAN, tras el análisis de diferentes opciones, se optó por la aplicación de este protocolo ya que su metodología se adaptaba muy bien a las circunstancias del proyecto. Sin embargo, en el caso de REMOURBAN la evaluación ha ido más allá de la metodología propuesta en el IPMVP ya que ha sido necesario extender la escala del protocolo de edificio a distrito, considerando no solo el ahorro energético logrado sino también la mejora del confort y la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

## ACCIONES IMPLEMENTADAS EN EL BARRIO DE FASA PARA ALCANZAR UN DISTRITO DE ENERGÍA CASI NULA

El barrio de FASA es un barrio construido durante los años 60 para los trabajadores de la fábrica Renault en Valladolid, formado por 19 bloques de 5 plantas, una torre de 14 plantas así como un pequeño edificio que alberga la central térmica que abastece de calefacción a las 398 viviendas que conforman el barrio. Estos edificios presentaban severas deficiencias en su aislamiento térmico que se traducían en falta de habitabilidad y confort, además de un elevado consumo de calefacción. La red de calor se componía de tres circuitos, alimentada por dos calderas una de gas natural y otra mixta de gas natural-gasóleo, mientras que el sistema de agua caliente sanitaria era individual por vivienda con tres diferentes fuentes energéticas: gas natural, butano y electricidad.

El proyecto REMOURBAN ha diseñado e implementado un conjunto de intervenciones pasivas, con el objetivo de reducir la demanda de calefacción y aumentar el confort interior en las viviendas, así como un conjunto de intervenciones activas que incrementan la eficiencia de los sistemas que cubren esa demanda reduciendo el consumo de energía y cubriendo la mayor parte de dicho consumo con fuentes de energía renovables. A continuación, se describe brevemente las intervenciones llevadas a cabo en el distrito de FASA.

### Medidas para reducir la demanda energética

#### *Rehabilitación de la envolvente de los edificios*

Las medidas pasivas persiguen reducir la demanda de calefacción mediante el aislamiento de las fachadas y las cubiertas. En el caso de las fachadas el sistema empleado ha sido el sistema SATE de 60 mm de espesor de aislamiento y para las cubiertas, en la torre se ha colocado un sistema de lana de roca con lámina asfáltica impermeable de 80 mm de espesor directamente sobre la cubierta plana existente, mientras que en el caso de los bloques se ha proyectado 60 mm de espuma de poliuretano sobre los forjados del espacio bajo cubierta, ya que en estos casos las cubiertas son inclinadas.

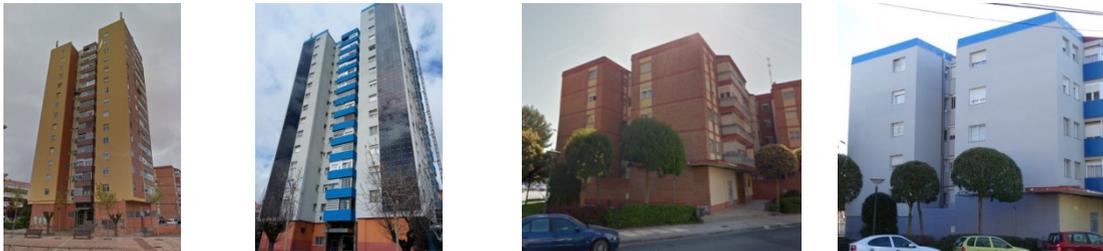


Figura 1. Aislamiento de fachadas y cubiertas (antes y después de la intervención)

### Medidas para la mejora de la eficiencia energética

Las medidas activas persiguen mejorar el rendimiento de la infraestructura de calefacción y ACS e integrar energías renovables como biomasa y solar fotovoltaica.

**Renovación de la red de distribución de calor y generación con biomasa**

La red de tuberías existente ha sido renovada consiguiendo un importante aumento del rendimiento de la instalación, ya que al mejorar el aislamiento se han reducido las pérdidas de calor. Por otro lado se ha comenzado a trabajar con agua caliente en vez de con agua sobrecalentada, lo que permite trabajar a menos temperatura y presión.

Gracias a la reducción de la demanda y de las pérdidas del sistema de distribución, ha sido posible sustituir una de las dos calderas existentes de gas natural de 3.721 kW por dos calderas de biomasa de 499 kW cada una.

Las dos calderas de biomasa generan entre un 80-90% de la energía necesaria para el distrito, quedándose la caldera restante de gas natural como apoyo para picos de demanda y periodos de mantenimiento de las calderas de biomasa.

La nueva red de distrito de biomasa es la encargada no solamente de cubrir las necesidades de calefacción del barrio, sino que también se encarga de cubrir la demanda de ACS de aquellos usuarios que han decidido conectarse a la red. Por lo tanto, se ha pasado de un sistema individual de calderas para aportar ACS a un sistema centralizado.

**Integración de un sistema fotovoltaico en fachada**

En la fachada sur de la torre de 14 plantas se ha instalado un sistema solar fotovoltaico de 27,4 kWp integrado en un sistema de fachada ventilada. La energía eléctrica producida se utiliza directamente en corriente continua para alimentar unas resistencias eléctricas alojadas en un depósito de inercia de 500 litros que a su vez realiza un intercambio de calor constante con la red de calor del distrito y por lo tanto reduce el aporte de combustible a las calderas.

**Iluminación**

El consumo eléctrico de los edificios se ha disminuido gracias a la renovación del sistema de iluminación de las zonas comunes. Antes de la intervención, la capacidad de iluminación total en el distrito FASA ascendía a 24,28 kW y ha sido reducida a 4,15 kW gracias al uso de tecnología LED.

**Sistema de control y gestión de la energía**

El sistema de gestión y control implementado está estructurado en tres niveles diferentes: distrito, edificio y vivienda. A nivel distrito el sistema se encarga de gestionar la calefacción de distrito en conjunto. En cada uno de los 20 edificios, el sistema de gestión se encarga de monitorizar y controlar las instalaciones de calefacción y ACS. El mismo SCADA que monitoriza las instalaciones a nivel de distrito también controla el equipo a nivel de edificio. Por último, se han instalado dos tipos de equipo en las 398 viviendas: repartidores de costes en cada radiador para medir el consumo individual de las viviendas y válvulas termostáticas para ajustar la temperatura dentro de cada estancia.

En la Tabla I se muestra de un modo resumido el estado del distrito FASA antes y después de la implementación de las intervenciones que acaban de detallarse.

Alcance	Antes	Después
<b>Intervenciones para la reducción de demanda energética</b>		
Envolvente de los bloques Valor-U [W/m <sup>2</sup> ·K]	Fachada: 1.52 Balcones: 2.38 Tejado: 1.65	Fachada: 0.41 Balcones: 0.48 Tejado: 0.36
Envolvente de la torre Valor-U [W/m <sup>2</sup> ·K]	Fachada: 1.52 Balcones: 2.38 Tejado: 1.63	Fachada: 0.41 Balcones: 0.48 Tejado: 0.41
<b>Intervenciones para la mejora de la eficiencia energética</b>		
Calefacción	Calefacción de distrito con 2 calderas alimentadas con combustibles fósiles	Calefacción de distrito y ACS con dos calderas de biomasa. Sistema de apoyo: Caldera existente de combustible fósil
Agua Caliente Sanitaria	Calderas individuales en cada vivienda alimentadas con gas natural, butano y electricidad	
Sistema de distribución de calor de distrito	Obsoleto y mal dimensionado	Diseño óptimo para reducir pérdidas energéticas

Subestaciones de intercambio de calor en los edificios	Intercambiadores de calor tubulares en cada bloque, intercambiador de placas en la torre	Intercambiador de calor de placas para calefacción y ACS con un mejor rendimiento
Iluminación en zonas comunes	Lámparas incandescentes	Lámparas LED
Sistemas de energía renovable	No disponible	Fachada ventilada con integración de fotovoltaica en la fachada sur de la torre + Calderas de biomasa
Sistemas de control	Sistema analógico en tres niveles: distrito, edificio y vivienda	Sistema de gestión energética en tres niveles: distrito, edificio y vivienda.

Tabla 1. Estado del distrito FASA antes y después de las intervenciones.

## EVALUACIÓN DE LAS ACCIONES

### Descripción del sistema de monitorización

El sistema de monitorización para la producción de calor incluye tanto las calderas de biomasa, como la caldera de gas, así como los 20 bloques de viviendas con sus medidores cubriendo los sistemas tanto de calefacción como ACS.

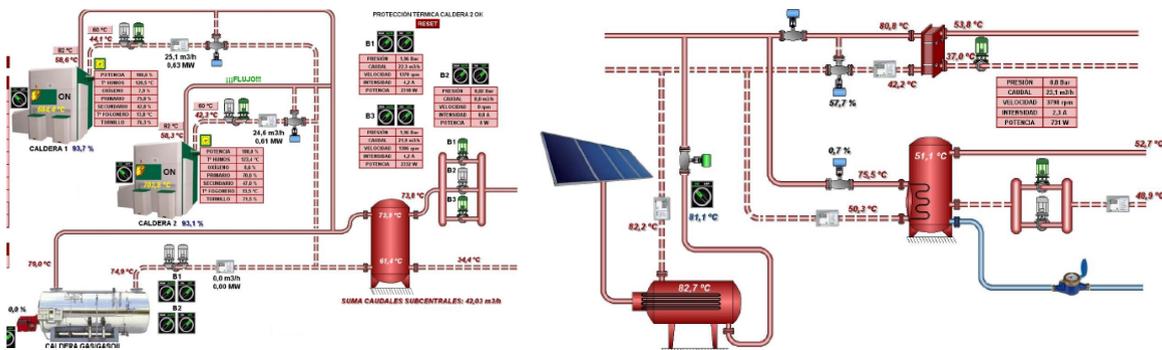


Figura 2. SCADA a nivel de sala de calderas y de subestación de la torre.

El equipamiento de monitorización instalado para medir en iluminación, consiste en dos medidores eléctricos instalados en dos bloques diferentes que representan todas las tipologías existentes en el distrito (Torre y bloque).



Figura 3. Medidores eléctricos en la torre y bloque para iluminación

### Aplicación del protocolo IPMVP para cada una de las acciones

Como se ha mencionado anteriormente, el protocolo IPMVP presenta 4 opciones para estimar los ahorros energéticos en función de las características específicas de cada proyecto. La opción IPMVP seleccionada para medir el impacto de las acciones llevadas a cabo en el distrito de FASA de Valladolid son la Opción C para estimar los ahorros en calefacción, la Opción A para estimar los ahorros en iluminación y la Opción D para estimar los ahorros en ACS.

**Evaluación de ahorros en calefacción – IPMVP Opción C**

La opción seleccionada es la Opción C ya que se cuenta con datos reales del consumo de calefacción antes de la rehabilitación del distrito. En este caso se ha elaborado un modelo matemático de referencia para estimar los ahorros en base a los datos reales de monitorización energética del periodo de referencia y los grados día de calefacción en dicho periodo. Este modelo permite calcular la referencia ajustada durante el periodo demostrativo considerando las condiciones climáticas en el momento de la evaluación. Comparando los resultados del modelo de referencia ajustado con los datos reales obtenidos en el periodo demostrativo, es posible estimar los ahorros en calefacción.

**Evaluación de ahorros en iluminación – IPMVP Opción A**

En el caso del ahorro en iluminación en las zonas comunes, la Opción A del protocolo ha sido seleccionada como la más apropiada. La Opción A permite estimar los ahorros en base a la medición de un parámetro clave y a la estimación del resto. En este caso concreto el parámetro clave que se ha medido es la potencia de las luminarias antes (lámparas incandescentes) y después del cambio (LED) y se ha estimado por lo tanto el número de horas de operación de estas pudiendo conseguir de esta manera una estimación del ahorro eléctrico en iluminación.

**Evaluación de ahorros en ACS – IPMVP Opción D**

Durante el periodo de referencia la producción de ACS era descentralizada y no existían dispositivos de medida, por lo tanto no existían datos reales del periodo de referencia. Una vez que se realizó la rehabilitación del distrito, el ACS se ha centralizado y por lo tanto es posible medir el consumo para la producción de ACS durante el periodo demostrativo. Debido a todo esto la única opción posible para aplicar es la Opción D que se basa en simulaciones calibradas. Por lo tanto para determinar los ahorros en ACS, los datos reales obtenidos en el periodo demostrativo, se han comparado con el consumo energético simulado durante el periodo de referencia.

**Resumen de resultados**

En la tabla II y Figura 4 se muestra la comparación entre los datos de referencia (pre-intervención) y el periodo de reporte (post-intervención).

	Unidades	Línea base	Periodo de reporte
Consumo de calefacción y ACS	kWh/m <sup>2</sup> año	183.60	133.68
Consumo de iluminación	kWh/m <sup>2</sup> año	1.44	0.73
Consumo eléctrico auxiliar	kWh/m <sup>2</sup> año	5.30	1.83
Consumo total de energía	kWh/m <sup>2</sup> año	190.34	136.23
Contribución de renovables	kWh/m <sup>2</sup> año	0.00	99.01
Uso total de energía (non renovable)	kWh/m <sup>2</sup> año	190.34	37.22

Tabla II. Resumen de resultados

El consumo de energía para calefacción y ACS durante el periodo de referencia fue de 183,60 kWh/m<sup>2</sup> año, mientras que después de la implementación de las intervenciones, el consumo se redujo a 133,68 kWh/m<sup>2</sup> año, consiguiéndose 49,93 kWh/m<sup>2</sup> de ahorro energético. Estos ahorros se lograron principalmente gracias al nuevo aislamiento de los edificios, aunque el nuevo sistema de distribución y la renovación de las subestaciones tuvieron un importante papel en los ahorros conseguidos.

La centralización del ACS supuso un aumento del consumo energético pero, considerando que el consumo de ACS ronda el 25% del consumo térmico, las mejoras obtenidas para la calefacción suponen una mejora generalizada del consumo térmico.

El consumo en iluminación también se redujo gracias a la implementación de iluminación LED de 1,44 kWh/m<sup>2</sup> año a 0,73 kWh/m<sup>2</sup> año.

Con la instalación de las nuevas calderas de biomasa y la instalación fotovoltaica integrada en fachada, se han conseguido, en el periodo de reporte, un total de 99,01 kWh/m<sup>2</sup> año de producción con energías renovables. Alrededor del 99% del aporte de renovables se produjo en las calderas de biomasa, ya que la capacidad energética de la instalación es mucho mayor. Este aporte significó que más del 70% del total de energía consumida en el distrito provino de fuentes de energía renovable, reduciendo el uso total de energía no renovable en 153,12 kWh/m<sup>2</sup> año, pasando de 190,34 kWh/m<sup>2</sup> año durante el periodo de referencia a 37,22 kWh/m<sup>2</sup> año durante el periodo de reporte.

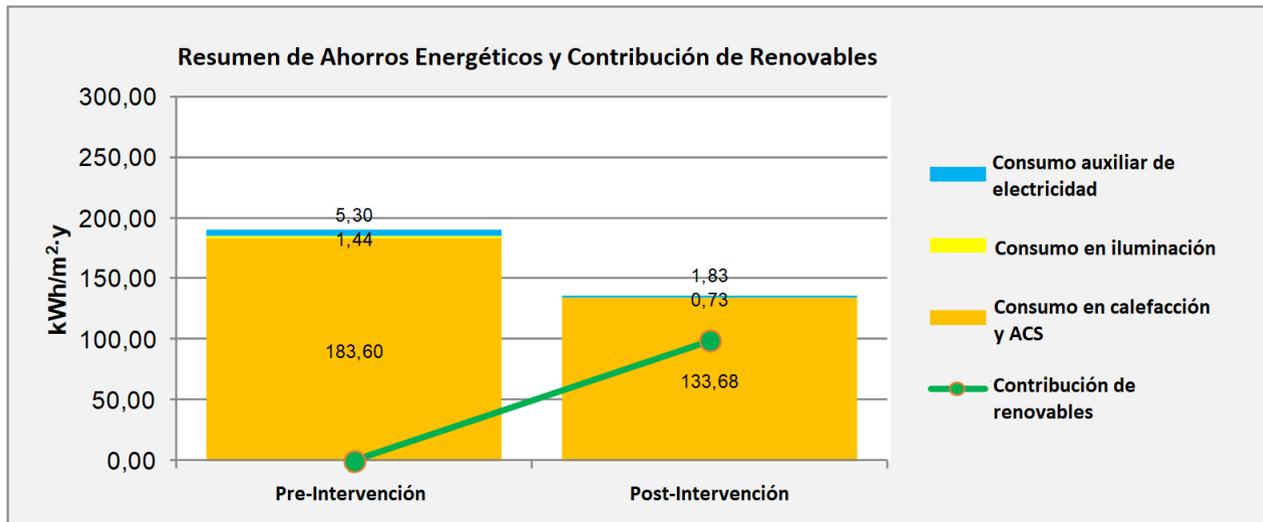


Figura 4. Resumen de los ahorros energéticos y contribución de renovables en el distrito FASA.

## CONCLUSIONES

Como se muestra en los resultados presentados, las acciones implementadas en el distrito han permitido la reducción del consumo de energía en alrededor de un 30% con una contribución del 80% de biomasa, lo que reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> del distrito en un 77%. Estas cifras, que se espera que aumenten en los próximos meses debido a la optimización del funcionamiento de los sistemas, reflejan el potencial de los distritos para ser más eficientes energéticamente y contribuir a lograr los objetivos de la UE de neutralidad de carbono en 2050, donde el sector de la construcción es esencial.

Conseguir estos ahorros ha sido posible gracias a la integración adecuada de medidas pasivas, activas y de control, donde la reducción de la demanda de energía y el aumento de las condiciones de confort ha sido un elemento clave en el diseño del proyecto de rehabilitación.

Además de la reducción del consumo energético y de las emisiones de CO<sub>2</sub>, cabe destacar que la factura energética de los vecinos del distrito se ha reducido en un 64% incrementando en un 14% su confort térmico.

Existe un gran potencial para replicar medidas a esta escala, donde la agregación de demandas y la integración de los sistemas de energía a nivel de distrito permiten la integración de sistemas más eficientes basados en fuentes de energía renovables que, de lo contrario, no podrían implementarse.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha sido parcialmente financiado por la UE a través del Programa de Investigación e Innovación Horizon 2020 de la Unión Europea en el marco del proyecto de investigación REMOURBAN con el acuerdo de subvención No 646511. Los autores desean agradecer al resto de los socios por su apoyo. Toda la información relacionada con el proyecto está disponible en [www.remourban.eu](http://www.remourban.eu).

## REFERENCIAS

- [1] REMOURBAN project Deliverable 4.14 "Analysis of performance".
- [2] Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings. Volume 1. IPMVP. EVO 10000-1:2012.
- [3] Core concepts. International Performance Measurement and Verification Protocol. EVO 10000-1:2016.

# MARKETcons, UNA HERRAMIENTA PARA LA REUTILIZACIÓN DE PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y LA EFICIENCIA ENERGÈTICA

**Jordi Marrot i Tíó**, Director Área Técnica, Colegio de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Barcelona

**Resumen:** A finales de la década de los 60 y principios de los 70 del siglo pasado, se inició la preocupación planetaria sobre la continuidad del modelo de desarrollo existente. Todo ello supuso un gran impacto, del cual todos hemos tenido que tomar conciencia, aunque las decisiones que ello comporta están evolucionando de una forma lenta y tortuosa, provocando una crisis ambiental global, que también tiene componentes sociales y económicos. Esta crisis es consecuencia de la forma particular en la que los humanos nos hemos relacionado con el planeta Tierra y ello nos ha conducido a la insostenibilidad del modelo de crecimiento sin límites. Uno de los retos más preocupante que tenemos de afrontar es el ritmo de consumo de recursos naturales que está agotando los no renovables del planeta, básicamente abióticos, poniendo en peligro el ciclo de reposición de muchos de los que sí se consideran renovables. Con estos recursos naturales, extraídos generalmente de la litosfera, se fabrican, transportan y consumen productos que luego se acumulan en la biosfera en forma de residuos. En todo este proceso se consume energía y se emite emisiones de CO<sub>2</sub>. Para corregir este despropósito se han planteado diferentes modelos como es la “economía circular” o la estrategia de “residuo cero”, que afectan y afectarán de forma directa al sector de la construcción, por ser uno de los sectores con los peores indicadores en consumo de recursos y generación de residuos. Conscientes de todo ello, se están iniciado e impulsado acciones que permiten afrontar este importante reto. En esta comunicación se presenta un proyecto de “economía circular” relacionado con la reutilización de productos de la construcción, en la que se pretende aportar un granito de arena en este ámbito. Su nombre es MARKETcons.

**Palabras clave:** Economía circular, reutilización, preparación para la reutilización, jerarquía de residuos, energía enbebida.

## INTRODUCCIÓN

La huella ambiental de los europeos es muy elevada, ya que consume los recursos naturales de todo un año en poco más de cuatro meses [1], generando de media, más de 2.500 millones de toneladas de residuos. El sector de la construcción es uno de los sectores que más contribuye, consumiendo cerca de la mitad de los recursos naturales y generando poco más de un tercio del total de los residuos [2]. Para producir los productos que consume se requiere energía y esta ha de ser la mínima posible y lo más barata posible. Europa carece de muchos recursos naturales y de fuentes fósiles para alimentar su industria. Esto hace que sea menos competitiva globalmente llegando también a generar, en algunos casos, problemas geopolíticos. Con esta coyuntura es imprescindible una gestión eficiente, mediante una apuesta decidida por la reducción del consumo de recursos naturales, incluyendo la energía, con el objetivo de crear un sistema de producción y consumo que genere pocos residuos y mantenga los productos y materiales en uso durante el mayor tiempo posible. Esto permitirá ser más competitivos internacionalmente y más resilientes ante las crisis económicas y ambientales. Reduciendo la dependencia de los recursos externos, también se logrará un mayor grado de inclusión y justicia social, particularmente intergeneracional, a una escala global. Llegados a este punto, es necesaria una apuesta decidida y por este motivo la Comisión Europea ha adoptado un Plan de Acción [3] con el que quiere contribuir a acelerar la transición de Europa hacia una economía circular que impulse su competitividad y promueva el desarrollo económico sostenible, generando nuevos puestos de trabajo [4].

Para impulsar este cambio disruptivo se está desplegando diferentes fondos financieros europeos, como los fondos estructurales e inversión europeos (Fondos EIE), con 5.500 millones de euros para la gestión de residuos, 650 millones de euros procedentes del Horizonte 2020 para la investigación e innovación de la Unión Europea en economía circular, así como una parte importante del Plan de Inversiones Sostenibles que prevé movilizar una gran cantidad de dinero durante la próxima década a través del “European Green Deal”, que la nueva presidenta de la Comisión Europea, Ursula Von der Leyen, ha presentado en el inicio de su mandato y donde la economía circular es un eje estratégico.

## ¿Qué es la economía circular?

La economía circular plantea una propuesta regenerativa que cierra ciclos, de forma similar a lo que pasa en la naturaleza y nace por oposición al modelo de economía lineal, basado en extraer recursos, elaborar productos, consumirlos y desecharlos. Este modelo lineal es irresponsable, ya que el 80% de los productos no se recuperan, siendo esto un problema muy grave y por ello ha llegado a su fin, no pudiéndose aplicar de forma indefinida en un Planeta con los recursos limitados.

La construcción es un sector clave en la economía circular tal y como señalan los indicadores europeos. El elevado consumo de recursos y de generación de residuos en su construcción y desconstrucción indican que se desperdicia entre el 10 y el 15% de los materiales de construcción debido a la ineficiencia de los sistemas constructivos utilizados, el 60% de las oficinas no se usan y 11 millones de viviendas están vacías, etc. [5]. Todo estos datos plantean muchos retos que deberán comportar cambios importantes, los cuales afectarán muchos procesos como la titularidad de los edificios, la reconversión del sector transformador de suelo hacia un modelo de reciclado de ciudad existente, la modificación de procesos que afectaran la licitación de las obras, la relación entre los agentes de la construcción, la forma de proyectar los edificios, el diseño de los sistemas constructivos, los tipos de materiales que se utilizaran, la forma como se desconstruyen los edificios, la prevención de residuos, etc... [6]

## ¿Qué es la prevención de residuos?

La legislación define la prevención como el conjunto de medidas a adoptar antes de que una sustancia, material o producto termine siendo residuo. En cualquier política estratégica que persiga ser eficiente es fundamental la prevención y por esta razón, está se ha convertido en la principal estrategia política de gestión de residuos de la Unión Europea. La Directiva Europea 2008/98/CE, transpuesta a la normativa española, establece claramente que la prevención es el principal medio de acción para avanzar hacia el “residuo cero”, mientras que la alternativa final es eliminarlos. Es por ello que la prevención es la base de la jerarquía de residuos

## ¿Qué es la jerarquía de residuos?

Toda jerarquía es la ordenación de algún aspecto según un criterio de mayor o menor importancia o relevancia. En este sentido la Unión Europea estableció por primera vez, en el año 1975, una jerarquía en la política europea de residuos, mediante la Directiva 75/442/CEE del Consejo, de 15 de julio de 1975, relativa a los residuos [7]. Esta jerarquía hacía hincapié en la importancia de la minimización de los residuos, la protección del medio ambiente y la salud humana. En 1989 se convirtió en una jerarquía de opciones para la gestión de residuos. Esta estrategia de residuos fue aprobada posteriormente en el estudio de la Comisión Europea de 1996. En 2008, el Parlamento de la Unión Europea introdujo en su legislación sobre residuos una nueva *jerarquía de residuos formada por cinco etapas*, que se recoge en la Directiva 2008/98/CE [8]. Esta jerarquía ha sido transpuesta por los Estados miembros a las diferentes legislaciones nacionales. En el artículo 4 se describen las cinco fases de la jerarquía donde la prevención de residuos es la base y la primera prioridad, no formando parte del concepto residuo, sino del producto. La segunda prioridad de la jerarquía es “la preparación para su reutilización”, que incluye operaciones de revisión, limpieza o reparación, para las que se preparan un producto o sus componentes, que se han convertido en residuos, para que pueda ser reutilizado sin necesidad de ninguna otra transformación anterior. La prevención y la preparación para la reutilización son jerárquicamente previas al reciclado y a otros tipos de valorización, siendo el orden jerárquico el siguiente:

- Prevención (donde se encuentra la reutilización de productos)
- Preparación para la reutilización
- Reciclaje (incluido el compostaje)
- Otros tipos de valorización (por ejemplo, la valorización energética)
- Eliminación (o disposición en el caso de residuos peligrosos como el amianto)

## ¿Qué es la reutilización de productos?

La reutilización de productos permite conseguir reducir la necesidad de tener que consumir más productos nuevos, los cuales requieren la extracción de materias primas del Planeta y el consumo energético para su transporte y producción. En el caso de la construcción es especialmente importante, tal y como se desprende del análisis de los indicadores ambientales. En la tesis doctoral de Gerardo Wadel [9], se cuantifica en un 60% el total de recursos del Planeta, bióticos y abióticos, que son usados en el sector de la construcción. Además, estima que se necesitan 6 toneladas de recursos materiales por cada metro cuadrado construido en un edificio y que se generan 0,8 toneladas/m<sup>2</sup> por superficie edificada.

## ¿Qué relación tiene con el consumo de energía y la eficiencia energética?

El estudio de ECORYS, para la dirección general de medio ambiente de la Unión Europea, sobre eficiencia de recursos en el sector de la construcción [10], estima que, a nivel europeo, en 2011, la energía incorporada en los productos de construcción fue de 1,9 millones de Tera Joules. El acero y el aluminio juntos son responsables de aproximadamente el 51% de la energía incorporada, y el hormigón es responsable de otro 17%. En 2010 la energía de funcionamiento en

edificios residenciales era casi 7 veces la energía incorporada en todos los materiales de construcción de nueva producción. Sin embargo, esta proporción se redujo en 2007 a 4,5. Esto es debido al mayor volumen de producción (en 2007) y, por tanto, una mayor energía incorporada, no debido a una reducción de la energía consumida en los edificios. En este mismo sentido, la comunicación 445/2014 de la UE [11], recoge que la energía utilizada en la fabricación de productos de construcción y en los procesos de construcción tienen un papel fundamental en el impacto ambiental global de un edificio, señalando que entre el 5% y el 10% del consumo total de energía en la UE está relacionado con la producción de productos de construcción. Además, las emisiones de gases de efecto invernadero que lleva incorporada van en aumento y pueden suponer un porcentaje significativo de las emisiones totales de gases de efecto invernadero. Todos estos datos, hacen ver que existe una necesidad de actuar en el sector de la construcción, donde no se ha incorporado, ni se ha asentado la idea, que la “economía circular” puede significar una ventaja económica y competitiva. Para conseguirlo serán necesarios muchos cambios, como es mejorar la durabilidad de los edificios y sus productos, incluyendo cambios semánticos, donde el concepto “residuo” tienda a desaparecer, dando paso a la consideración de “recurso”, o que la energía embebida en los productos sea considerada en los cálculos de eficiencia energética. Estos aspectos son importantes, porque ayudan a visualizar los edificios y las infraestructuras existentes como las canteras de los nuevos edificios y de la obra civil. En línea con estos planteamientos se ha impulsado el proyecto MARKETcons.

## ¿Qué es MARKETcons?

El proyecto MARKETcons es una iniciativa, del Colegio de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de la Edificación de Barcelona, que pretende implementar en el mercado un nuevo servicio para crear, impulsar y difundir un punto de encuentro entre usuarios para la reutilización de productos de la construcción presentes en los edificios existentes mediante un portal web y una APP para smartphones.

## METODOLOGÍA DE FUNCIONAMIENTO

La versión web de MARKETcons es accesible en la página web de la Agenda de la Construcción Sostenible. La APP en versión para Android se puede descargar desde la Play Store y la versión iOS desde la App Store. Ambas aplicaciones para móvil son gratuitas. En la primera pantalla de acceso se da información sobre la propia aplicación y a través del menú podemos acceder a los distintos apartados: lo más destacado, publicar anuncio, mis anuncios, sobre MARKETcons, usuario e idioma, que hoy está disponible en español, catalán e inglés. El primer paso para publicar un producto es registrarse como usuario. Se realiza desde el apartado “usuario”, con los campos siguientes: nombre y apellidos, dirección, código postal, municipio, correo electrónico y fotografía de perfil de usuario. Una vez registrado ya se puede publicar el anuncio de un producto de la construcción que pueda ser reutilizado, mediante el acceso en el apartado “publicar un anuncio”. Los datos necesarios son un título con el que se identificará el producto, la categoría a la cual pertenece el producto, que se debe elegir en un menú desplegable, una descripción del producto, el precio, el peso aproximado del producto, indicación sobre cómo se realizará el envío o recogida del producto, la dirección donde se encuentra el producto y finalmente las imágenes y documentación (en caso de que exista) del producto tal y como se puede ver en la “Figura 1” (página web) y en la “Figura 2” (APP).

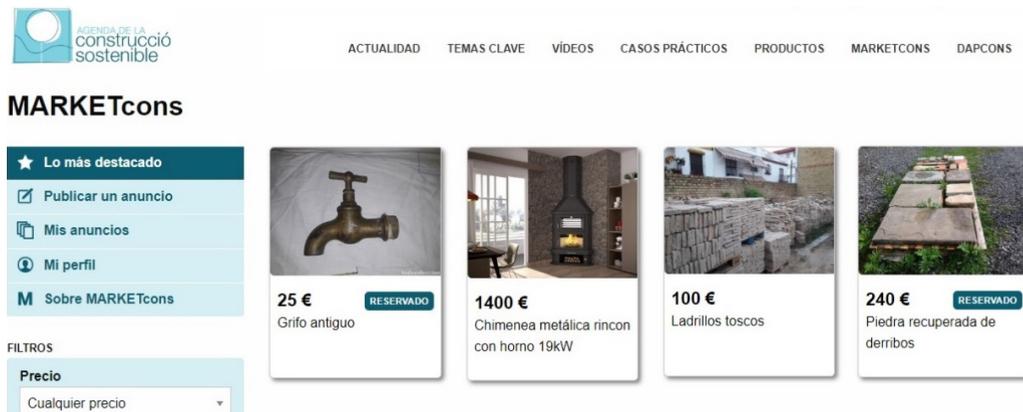


Figura 1. Imagen de la web: Agenda de la Construcción Sostenible. Fuente: [www.csostenible.net](http://www.csostenible.net)

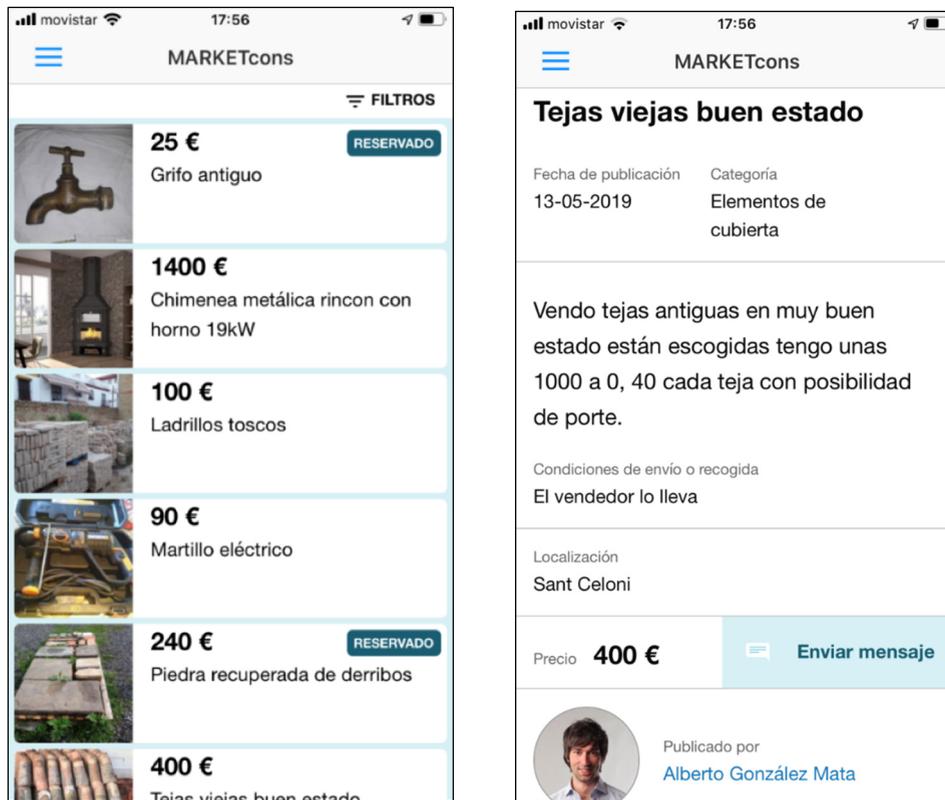


Figura 2. Imágenes de la herramienta en uso. Fuente: APP MARKETcons

La aplicación permite enviar mensajes entre usuarios y reservar un producto, de manera que mientras no se realiza la transacción el producto sigue apareciendo, pero se indica que alguien ya lo ha reservado. No todos los productos existentes en la edificación pueden ser reutilizados, pero la cantidad y tipología es muy alta y en la fase inicial de un proyecto de rehabilitación o de una auditoría de residuos [12] se debe hacer un listado exhaustivo de los tipos de productos que se pueden incluir en la herramienta MARKETcons, como por ejemplo pueden ser: puertas, pomos y manetas, cerraduras, arcos y jambas, ménsulas de piedra, piezas ornamentales, ventanas, fallebas, vidrios, persianas, toldos, rejas, barandas, escaleras, peldaños, mosaicos, tejas, lozas de pizarra, mecanismos eléctricos, lámparas, grifos, sanitarios, fregadera, muebles de cocina, radiadores, conductos de aire, sombreretes, depósitos, canalones, vallas de parcela, bancos, papelera, farolas, fuentes de jardinería, celosías, elementos ornamentales, etc...

## RESULTADOS Y DATOS OBTENIDOS

Con esta herramienta se plantea conseguir unos objetivos cualitativos genéricos y unos objetivos cualitativos sectoriales que pueden ser muy interesantes para el sector de la construcción.

### Resultados cualitativos del proyecto MARKETcons

Algunos objetivos cualitativos genéricos que podemos destacar son:

#### Objetivos ambientales:

- Alargar la vida de referencia de los productos.
- Reducir el volumen de residuos de la construcción provenientes del sector de la edificación.
- Reducir el consumo de materia prima para obtener nuevos productos.
- Reducir el consumo de energía para obtener nuevos productos.
- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Especialmente de CO<sub>2</sub>, debido a la reducción del consumo energético para obtener nuevos productos.
- Reducir otros impactos ambientales que se generarían al utilizar productos nuevos.

**Objetivos sociales:**

Sensibilización y concienciación creando una cultura de conservación y mantenimiento de los productos y en la eficiencia en el uso de los recursos. La reutilización de productos es una posibilidad que hoy no está fuertemente arraigada en nuestra cultura de consumo. En este sentido, el proyecto también persigue sensibilizar y concienciar socialmente, modificando la forma de pensar de los usuarios y técnicos que trabajan en este tipo de intervención, favoreciendo su aproximación a la economía circular y fomentando una cultura que de valor a los productos existentes en los edificios dándoles una nueva vida en otro emplazamiento.

**Objetivos económicos:**

Generar una economía vinculada a la durabilidad de los productos. Económicamente se consigue generar beneficios económicos a los propietarios de los productos por su venta y un ahorro en los costes de gestión de los residuos.

**Otros objetivos cualitativos:**

Otros objetivos cualitativos sectoriales que podemos destacar son:

Objetivos en la rehabilitación y mantenimiento de edificios. En la fase de uso de los edificios se realizan una multitud de intervenciones para alargar su vida útil, mediante operaciones de mantenimiento preventivo o actuaciones de mantenimiento reparador (rehabilitación, renovación). En estas intervenciones se sustituyen algunos productos que en algunos casos no han terminado su vida útil y que pueden continuar usándose por parte de otros usuarios en otro edificio con la misma finalidad para la que fueron concebidos. Esto es debido a que muchas de las obras de renovación que se realizan están motivadas por cuestiones de moda, tendencia, estilo, etc. Si avanzamos esta operación en una fase inicial de los trabajos de rehabilitación, se podrá conseguir la reutilización de productos y evitar que estos productos no sean convertidos en residuos.

Objetivos en la profesionalización y generación de valor. Esta iniciativa es impulsada por el colegio profesional que agrupa a los arquitectos técnicos, lo que comporta un plus de seguridad y rigurosidad a esta operación de reutilización de los productos de construcción, ya que esta profesión tiene por misión el trasladar los conocimientos técnicos y científicos a su ámbito profesional, el sector de la edificación. Una parte importante de este colectivo profesional ejerce su actividad de forma única y especializada en la fase de uso de los edificios (interioristas, consultores de mantenimiento y rehabilitación, directores facultativos, auditores de residuos, etc...), siendo los primeros en enterarse de las posibilidades de reutilización de dichos productos. Esto les permite avanzar temporalmente las decisiones y posibilitar las mejores opciones de reutilización de productos. Al mismo tiempo, los arquitectos técnicos son por formación, peritos en materiales y expertos en control de calidad de las obras de edificación, dando seguridad y rigurosidad a la operación de reutilización de productos. Por otro lado, los arquitectos técnicos ejercen diferentes perfiles profesionales en el sector de la edificación, por lo que les confiere muchas posibilidades de difusión a una iniciativa como ésta, habiendo sido impulsada por el colegio profesional que les agrupa. Es por todo ello importante que esta iniciativa haya nacido vinculada al colectivo profesional de los arquitectos técnicos, ya que permite profesionalizar y aportar valor a un ámbito profesional que lo requiere y que hoy no lo tiene.

**Resultados cuantitativos del proyecto MARKETcons**

Para poder medir de forma efectiva cualquier estrategia es necesario disponer de datos. Los datos sirven para cuantificar y ayudar a tomar decisiones. En el ámbito medioambiental son fundamentales ya que muchas veces se cuestiona los objetivos planteados.

La herramienta MARKETcons generará anualmente unos indicadores sobre los impactos ambientales que se han evitado con el uso de esta herramienta y que se harán públicos en la página web de la Agenda de la Construcción Sostenible. El cálculo será posible a través del peso de los productos que se han incluido en el portal MARKETcons. Los indicadores inicialmente previstos son: consumo energético embebido en los materiales que se han evitado, emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas, agotamiento de recursos evitados, consumo de agua evitados, etc...

Para aportar estos indicadores se analizarán y compararán los datos con los productos incorporados en el programa operador DAPconstrucción® (administrado por el Colegio de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de la Edificación de Barcelona) y las bases de datos ambientales de productos de la construcción del Instituto de Tecnología de la Edificación de Catalunya (ITeC) (<https://itec.es/metabase/productos-sostenibles/0/0/0/>), del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc) (<http://www.opendap.es/>), INdata (<https://www.indata.network/>), Ecoinvent (<https://www.ecoinvent.org/>) o GaBI.

## CONCLUSIONES

El sector de la edificación requiere cambios estratégicos significativos para acercarse a la sostenibilidad. Uno de los principales cambios tiene que ver con el uso de los recursos que tiene a su alcance y en cada lugar. Resolver este reto y generar un cambio de sistema técnico que implique alargar la durabilidad de los productos y prevenir la generación de residuos será un objetivo importante del sector en los próximos años, lo cual implicará un retorno a un modelo orgánico de cierre de ciclos materiales, ya sea usando la biosfera o usando el propio sistema técnico. Un retorno que comportará retos importantes con repercusiones sociales y culturales, tan trascendentales como fue el paso de las sociedades tradicionales a nuestra sociedad industrial. Este cambio, en el sector de la edificación, debería ser liderado por los agentes del propio sector y en el que el proyecto MARKETcons quiere aportar su pequeño granito de arena.

## AGRADECIMIENTOS

Para desarrollar este proyecto se solicitó, el año 2018, una subvención pública a la Agencia de Residuos de Cataluña, habiendo sido puntuada como el segundo mejor proyecto de las 78 solicitudes presentadas. Por ello queremos agradecer a la Agencia de Residuos de Catalunya su confianza y colaboración, sin la cual este proyecto no hubiera sido posible.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Tycho Vandermaesen y otros. (2019) Vivir por encima de los límites de la naturaleza en Europa. World Wide Fund (WWF). Accedido el 10 de febrero del 2020:  
[http://awsassets.wwf.es/downloads/wwf\\_overshoot\\_europa\\_esp\\_.pdf?\\_ga=2.184078499.443633241.1557128455-915602465.1536837880](http://awsassets.wwf.es/downloads/wwf_overshoot_europa_esp_.pdf?_ga=2.184078499.443633241.1557128455-915602465.1536837880)
- [2] Estadística sobre residuos (junio 2019). Eurostat. Accedido el 10 de febrero del 2020:  
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics/es#Generaci.C3.B3n\\_total\\_de\\_residuos](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics/es#Generaci.C3.B3n_total_de_residuos)
- [3] Circular Economy Action Plan. Comisión Europea. Accedido el 10 de febrero del 2020:  
[https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new\\_circular\\_economy\\_action\\_plan.pdf](https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf)
- [4] Hacia una economía circular. Comisión Europea. Accedido el 10 de febrero del 2020:  
[https://ec.europa.eu/commission/priorities/jobs-growth-and-investment/towards-circular-economy\\_es](https://ec.europa.eu/commission/priorities/jobs-growth-and-investment/towards-circular-economy_es)
- [5] "Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe. Ellen Macarthur Foundation. Accedido el 10 de febrero del 2020:  
[https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation\\_Growth-Within\\_July15.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Growth-Within_July15.pdf)
- [6] Informe de posicionamiento de GBCE sobre economía circular. Accedido el 10 de febrero del 2020:  
<https://gbce.es/recursos/informe-de-posicionamiento-de-gbce-sobre-economia-circular/>
- [7] Directiva 75/442/CEE del Consejo, de 15 de julio de 1975, relativa a los residuos. Accedido el 10 de febrero del 2020: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:31975L0442&from=ES>
- [8] Directiva 2008/98 / CE del Parlamento Europeo y el Consejo de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. Accedido el 10 de febrero del 2020:  
<https://web.archive.org/web/20140312223737/http://ec.europa.eu/environment/waste/legislation/a.htm>
- [9] Gerardo Wadel Raina (2009) La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: la construcción modular ligera aplicada a la vivienda. UPC. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93448>
- [10] Resource efficiency in the building sector, Ecorys y el Copenhagen Resource Institute, Rotterdam, (mayo de 2014) Accedido el 10 de febrero del 2020:  
<https://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Resource%20efficiency%20in%20the%20building%20sector.pdf>
- [11] Oportunidades para un uso más eficiente de los recursos en el sector de la construcción. COM (2014) 445 final. Accedido el 10 de febrero del 2020: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014DC0445&from=ES>
- [12] Marrot, J. Auditorías de residuos de construcción y derribos. Accedido el 11 de marzo de 2020:  
<http://informatiu.apabcn.com/es/blog/auditorias-de-residuos-de-construccion-y-derribos/>

# LOS REFRIGERANTES NATURALES Y LAS BOMBAS DE CALOR COMPACTAS, EL PRESENTE Y EL FUTURO EN LA CLIMATIZACIÓN RESIDENCIAL - LA SOLUCIÓN IDÓNEA TRAS LA IF-20

**Gorka Goiri**, Director Técnico y de Formación Preventa, Vaillant Group

**Resumen:** La instrucción técnica IF-20 del RSIF publicado el último trimestre del 2019 abre la puerta de una forma definitiva a la instalación de máquinas compactas de ciclo frigorífico para climatización de viviendas. Esta Instrucción Técnica facilita en gran manera la utilización de refrigerantes naturales con las citadas máquinas compactas mejorando la seguridad de este tipo de instalaciones y permitiendo reducir las emisiones de efecto invernadero producidas por estos gases a valores mínimos inimaginables hace unos años. Por la configuración propia de las instalaciones de climatización mediante bombas de calor compactas la huella de carbono de este tipo de instalaciones es sensiblemente menor que las realizadas con máquinas partidas.

**Palabras clave:** Refrigerantes naturales, Bombas de calor compactas, Climatización, RSIF, emisiones efecto invernadero, huella de carbono, Aerotermia compacta

## LAS BOMBAS DE CALOR EN LA CLIMATIZACIÓN RESIDENCIAL

La climatización residencial es un factor clave en la habitabilidad de un edificio y tratándose de Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo lo es también por el consumo energético.

Además de para la generación de Agua Caliente Sanitaria, los sistemas de climatización son necesarios para suministrar la calefacción y el enfriamiento de la vivienda, los cuales, con la aplicación de los nuevos estándares de construcción han disminuido drásticamente los consumos; sin embargo, sigue siendo imprescindible la adecuación de los sistemas en nuestros hogares, especialmente la climatización que, los últimos años está tomando un protagonismo cada vez mayor aunque siempre dentro de unos parámetros de consumo muy contenidos.

Desde hace años la utilización de bombas de calor sobre todo Aire/Aire ha sido una solución habitual en aquellos sitios en donde las necesidades de frío eran puntuales y la distribución tanto de frío como de calor por sistemas de convección de aire a velocidades altas, aunque es muy rápida en su efecto no es confortable. Para evitar este inconveniente se están utilizando cada vez más las bombas de calor Aire/Agua que permiten una distribución del frío o calor por cualquiera de los medios habituales, Aire a través de fancoils por ej., pero también por superficies radiantes con lo que esa falta de confortabilidad quedaría solucionada. Además, con las bombas de calor Aire/Agua se soluciona la producción de ACS con el mismo generador, con lo que se convierte en un sistema adecuado y completo para una solución en residencial.

De forma general existen dos tipos de bombas de calor que se utilizan para climatización, las Compactas (Monobloc) y las Partidas (Bibloc) (Split). En los dos casos la distribución del calor o frío se realiza mediante agua.

En el caso de las bombas Compactas / Monobloc, todos los componentes del circuito

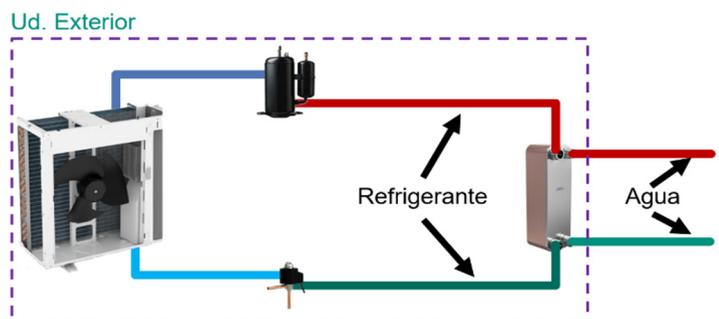


Figura 1. Bomba de calor Compacta/Monobloc

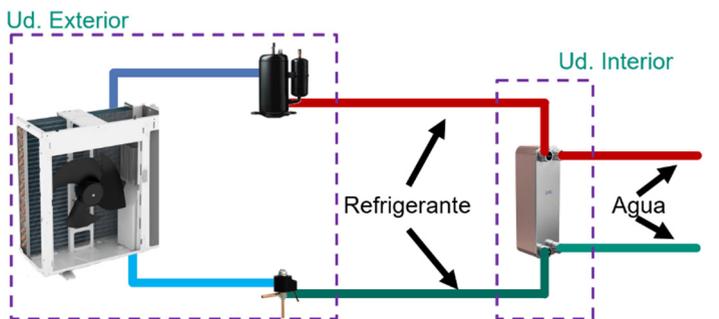


Figura 2. Bomba de calor Partida/Split/Bibloc.

frigorífico (lleno de gas refrigerante), incluido el intercambiador de placas, se encuentran ubicados en un mismo mueble en el exterior, de forma que solo conecta con la instalación a través de tuberías de agua (Figura 1).

En las bombas de calor Partidas / Bibloc / Split, el circuito frigorífico se encuentra partido en dos unidades separadas. Una es exterior y contiene una parte del circuito frigorífico. La otra unidad, se ubica en el interior y contiene el resto de componentes y el intercambiador de placas. La conexión entre ambas es con gas refrigerante (Figura 2).

En la climatización residencial, sobre todo en la nueva edificación y en rehabilitaciones profundas, la utilización de las bombas de calor se está generalizando debido a que es una tecnología probada, y con muy altos rendimientos estacionales si la comparamos con cualquier otra tecnología convencional, debido al gran porcentaje de energía útil renovable que ya aporta de por sí con la tecnología de bomba de calor. Utilizan generalmente electricidad como energía para su trabajo (existen también modelos con gas como energía) lo que las hace muy versátiles y susceptibles de usar energías renovables para la generación eléctrica.

## REFRIGERANTES NATURALES

Las bombas de calor, para poder realizar su misión, llevan en su interior un líquido refrigerante que en menor o mayor medida afecta al medio ambiente por su capacidad para el agotamiento de la capa de ozono o por la de calentamiento atmosférico.

Existen multitud de gases refrigerantes (en el último Reglamento de Seguridad para Instalaciones Frigoríficas hay contemplados 160 refrigerantes) y se desarrollan nuevos día a día

Estas características intrínsecas de los diferentes tipos de refrigerantes que no emiten de por sí en su funcionamiento gases contaminantes, como por ej. los generados por la combustión, pero sí lo hacen por fugas a la atmósfera y en el desmantelamiento de las instalaciones frigoríficas, han hecho necesaria la regulación de su utilización a nivel mundial.

Además de la prohibición de algunos de ellos por su gran capacidad de acción sobre la capa de ozono y calentamiento atmosférico, existe un Reglamento Europeo (F-GAS 517/2014) que exige una reducción gradual total de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente de los citados gases refrigerantes.

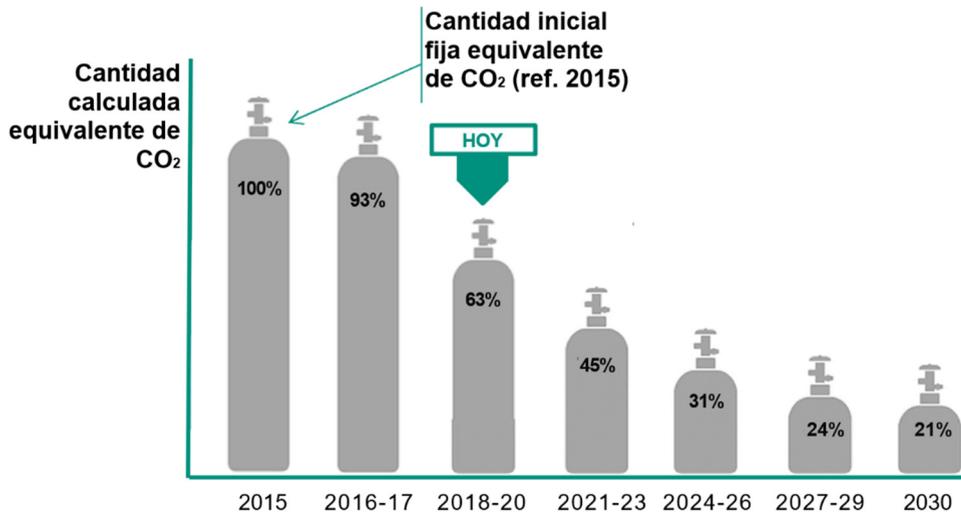


Figura 3. Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente para gases refrigerantes según F-GAS 517/2014.

El PCA-GWP (Poder de Calentamiento Atmosférico) se utiliza para describir la capacidad de provocar el efecto invernadero que tiene cada gas y representa cuál sería el impacto en el medio ambiente en caso de una fuga y, teniendo en cuenta que cada vez se instalan más máquinas con gases refrigerantes para su funcionamiento, la única forma de poder conseguir esta reducción obligatoria pasa por la utilización de gases que contaminen menos (menor PCA) junto a la menor cantidad de gas en las instalaciones.

Para intentar aclarar un poco véase un ejemplo de dos bombas de calor de 8 kW, una tipo Partida/Bibloc/Split con un refrigerante de última generación (R32) y la otra de tipo Compacta/Monobloc con un refrigerante natural (R290).

Última Generación -Partida/Bibloc-	REFRIGERANTE	Natural -Compacta/Monobloc-
1,5 kg	Carga refrigerante	0,9 kg
PCA = 675	PCA	PCA = 3
1.012 kg	CO <sub>2</sub> Equivalente	2,7 kg

Figura 4. Comparativa CO<sub>2</sub> equivalente para B. de C. Compacta con refr. natural y Partida con refr. última generación.

En este caso, la carga de refrigerante de la bomba de calor Partida es un 65% superior a la Compacta teniendo en cuenta que las tuberías entre la unidad exterior y la interior llevan refrigerante (distancia considerada estándar) pero, aunque la Partida utiliza un refrigerante de última generación de un PCA medio (R32), la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente comparada con el modelo compacto con refrigerante natural (R290) es unas 375 veces superior.

La utilización de un refrigerante natural es pues, clave en la sostenibilidad medioambiental y además proporciona otro tipo de ventajas como muy alta eficiencia, con lo que se necesita menos cantidad de gas para producir la misma potencia o incluso proporcionar temperatura más alta lo que está muy bien valorado en adaptación de instalaciones antiguas.

## ¿QUÉ APORTA LA IF-20 DEL REGLAMENTO DE SEGURIDAD PARA INSTALACIONES FRIGORÍFICAS?

Aunque el Reglamento de Seguridad para Instalaciones Frigoríficas (RSIF) es de por sí un documento técnico amplio, dada la importancia que los equipos de ciclo frigorífico tienen cada vez más en la climatización de edificios residenciales (confort humano), ha querido cubrir una parte de las instalaciones indicadas mediante la Instrucción Técnica IF-20, debido al aporte medioambiental y en términos de seguridad que las máquinas compactas aportan.

Esta instrucción marca unas pautas para la simplificación tanto en trámites como en los requerimientos de instalación de máquinas compactas dedicadas a climatización residencial sea cual sea el tipo de refrigerante utilizado.

Asumiendo que las máquinas compactas no requieren manipulación en el refrigerante de su circuito y por tanto las posibilidades de fugas de refrigerante son casi nulas y que el instalador no debe manipular el circuito de refrigerante, sino que trabaja con tuberías de agua, ha adecuado las condiciones de instalación para que los instaladores habilitados en instalaciones térmicas puedan realizarlas.

En cuanto a los trámites, este tipo de instalaciones se consideran de nivel 1 lo que no requerirá un proyecto específico (sí, si el RITE así lo exige) y la presentación de documentación se hace ante el órgano RITE de la CA.

Esta simplificación de instalación y trámites facilita enormemente la instalación de bombas de calor compactas a la hora de climatizar una vivienda.

## CONCLUSIONES

Los edificios residenciales necesitan cada vez menos energía y potencia punta para su adecuación al confort (tanto calefacción como climatización).

Con las eficiencias actuales de las bombas de calor, que aumentan día a día, es muy rentable su utilización para climatización residencial desde el punto de vista energético, más, cuanto que la energía que consume se puede obtener de forma renovable y autogenerada.

A priori, desde un punto de vista medioambiental sería muy interesante su utilización porque al ser equipos muy eficientes la energía utilizada es menor que con otros sistemas convencionales y las emisiones a la atmósfera por ello muy reducidas; no obstante, la utilización de gases refrigerantes perjudiciales para la atmósfera podría hacerlas desaconsejables si queremos ser respetuosos en su totalidad con el medio ambiente. Esta característica es casi despreciable cuando se incorpora refrigerante natural en los equipos como se ha visto anteriormente. Las bombas de calor compactas y ecológicas con refrigerante natural cumplen ya hoy la exigente legislación medioambiental del 2030 en cuanto a valores de potencial de calentamiento atmosférico.

Las bombas de calor compactas (también llamadas “aeroterminia compacta”) con cantidades muy reducidas de refrigerante a ser posible natural y altas eficiencias permiten cumplir con los objetivos indicados, con la ventaja de su instalación, sencilla y fácilmente implementable por cualquier instalador homologado RITE puesto que el instalador trabaja y realiza la distribución a emisores con agua pudiendo utilizarse cualquier tipo de emisor.

La utilización de estas bombas de calor compactas y ecológicas permiten si llega el caso sustituir solamente uno de los emisores averiado o incluso la misma unidad exterior por otro equivalente manteniendo el resto de equipos, con lo que la instalación tendrá una vida más larga y por tanto la huella de carbono será mucho menor.

La administración se ha dado cuenta de las ventajas medioambientales, ecológicas y de idoneidad que implica la instalación de bombas de calor compactas con refrigerantes naturales en la climatización residencial y, mediante la inclusión de la Instrucción Técnica IF-20 en la reciente publicación del Reglamento de Seguridad para Instalaciones Frigoríficas (RSIF) ha facilitado, tanto para la instalación como para los trámites, la utilización de estos equipos como generadores de confort humano en las futuras construcciones que el propio CTE marca como Edificios de Consumo Casi Nulo.

## REFERENCIAS

- Unión Europea. Reglamento (UE) 517/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de abril de 2014 sobre los gases fluorados de efecto invernadero y por el que se deroga el Reglamento (CE) 842/2006
- España. Real Decreto 552/2019, de 27 de septiembre, por el que se aprueban el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias. Boletín Oficial del Estado, 24 de octubre de 2019, núm. 256, pp. 117065 -117066
- España. Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. Boletín Oficial del Estado, 27 de diciembre de 2019, núm. 311, pp. 140488 a 140674



Figura 5. Integración medioambiental de la B. de Calor.

# ARQUITECTURA PARA LA DESCARBONIZACIÓN DE LA ECONOMÍA - EJEMPLOS DE PROYECTOS CO2nulo

Iñaki Alonso, Arquitecto y director de sAtt  
Paloma Suárez, Arquitecta Passivhaus de sAtt

**Resumen:** Abordamos el desarrollo de cuatro proyectos con certificación CO2nulo de ECÓMETRO y con reconocimiento internacional en criterios de sostenibilidad: la Oficina Triodos Bank en Málaga, la Sede Greenpeace España, el Coworking Triple y el Cohousing Entrepatis - Las Carolinas en Madrid. El certificado CO2nulo reconoce que estos edificios son EECN (Edificios de Energía Casi Nula), no dependen de ningún combustible fósil, que toda la energía que usan es electricidad 100% renovable y que calculan y compensan su Huella de carbono.

**Palabras clave:** EECN, Descarbonización, CO2nulo, Ecómetro, ACV, Ecología, Huella de carbono

## INTRODUCCIÓN

CO2nulo es una certificación desarrollada por ECÓMETRO para aquellos edificios que cumplen una serie de requisitos y no tienen emisiones de CO2. La certificación, cuyo cálculo se realiza través de la herramienta ECÓMETRO ACV, nace con el objetivo de promover la descarbonización en la arquitectura y un edificio puede obtenerla tras seguir los siguientes pasos:

1. MEDICIÓN de la Huella de carbono de la construcción o rehabilitación de un edificio en sus diferentes etapas: extracción de los materiales, transporte a obra, puesta en obra y etapa operacional (50 años de vida útil estimada).
2. MINIMIZACIÓN de la Huella de carbono a través de medidas relacionadas con la elección de materiales y el diseño de máxima eficiencia energética.
3. COMPENSACIÓN de la Huella de carbono a través de programas de compensación reconocidos. El hecho de contaminar debe llevar un pago asociado para su compensación y consiste en destinar una inversión para apoyar proyectos que conlleven la absorción de emisiones de CO2 y un impacto positivo sobre ecosistemas y poblaciones.
4. ELECTRIFICACIÓN del edificio o local al 100% para que no exista ninguna fuente de combustión en el edificio.
5. USO DE 100% ENERGÍAS RENOVABLES a través de producción propia en el edificio o local, o a través de un contrato con una comercializadora de energía de origen 100% renovable.

A continuación, se desarrollan en detalle cuatro proyectos que han obtenido la certificación CO2nulo, tres de ellos actualmente certificados y uno en proceso.

## PROYECTOS

### Oficina Triodos Bank



Figura 1 y 2. Oficina Triodos Bank Málaga.

**Descripción**

Consiste en la adecuación de un local comercial situado en un edificio de viviendas, intervenido bajo criterios de bioconstrucción y eficiencia energética.

- Localización: Málaga
- Año construcción: 2016
- Superficie: 237 m<sup>2</sup>
- Certificaciones: CO2nulo, Análisis de Ciclo de Vida, BREEAM, Certificación energética A y madera FSC.
- Reconocimientos: Primer Premio nacional y Segundo Premio internacional GREEN SOLUTIONS AWARDS 2017 en categoría internacional de Salud y Comodidad.

**Datos certificación CO2nulo**

A través de la herramienta ECÓMETRO ACV (una metodología desarrollada de Análisis de Ciclo de Vida según la norma UNE-EN 15978), calculamos las emisiones derivadas de la construcción: fabricación, transporte y puesta en obra de todos los materiales. Este Análisis de Ciclo de Vida mide, entre otros, el impacto en términos de Huella de carbono, arrojando un resultado de 66 toneladas de CO2 emitidas (278 Kg CO2/m<sup>2</sup>).

Esas 66 tn de CO2 emitidas en el proceso de construcción se han compensado con un programa de compensación de CO2, en nuestro caso se eligió un proyecto en Nicaragua que tiene el programa Cero CO2 de la Fundación ECODES. La compensación de la obra ha tenido un coste de 495 € para el promotor, Triodos Bank; y la tonelada de CO2 se pagó a 7,50 €, un precio que es variable en función del proyecto que se elija.

Las emisiones de CO2 de los viajes realizados por la constructora Altave y del estudio de arquitectura sAtt también se han contrarrestado con el mismo programa; e incluso hemos encontrado materiales que ya habían realizado la compensación de CO2 desde el proveedor, como es el caso de las placas de cartón yeso de Knauf. En total, Altave ha compensado 0,092 tn de CO2 y sAtt 0,132 tn de CO2, con el programa de Cero CO2 de ECODES, y Knauf ha compensado 4,30 tn de CO2, con la herramienta de compensación "CleanCO2", en un programa de cocinas eficientes en Kenia. Todas las entidades hemos obtenido los correspondientes certificados de compensación de CO2.

Hasta aquí nos hemos referido a la fase de construcción y puesta en obra; ahora bien, el mayor coste ambiental suele estar en el uso del edificio, en el consumo de energía a lo largo de su ciclo de vida. En este caso, la estrategia ha sido instalar una sola fuente de energía, la electricidad. Para ello hemos trabajado con la comercializadora Gesternova, que garantiza el uso exclusivo de energías renovables.

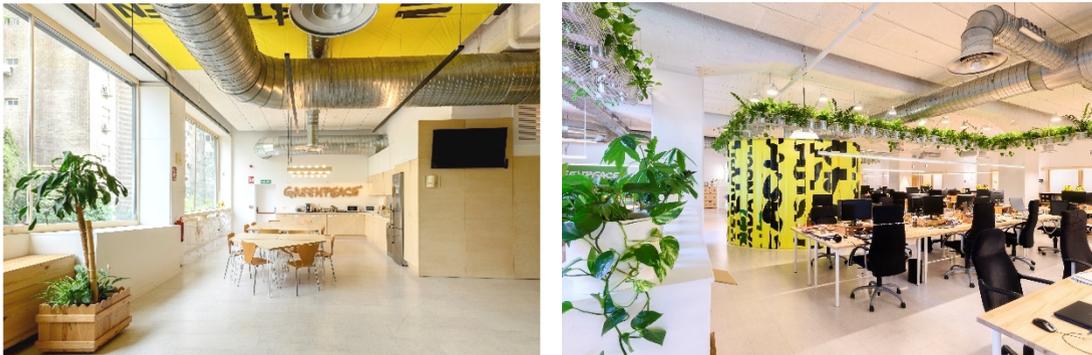
**Sede Greenpeace España**

Figura 3 y 4. Sede Greenpeace España.

**Descripción**

Se trata de la rehabilitación de un local situado en un edificio de oficinas, para abrir la nueva Sede de Greenpeace España. Su diseño y construcción se realizó bajo estrictos criterios de bioconstrucción y eficiencia energética.

- Localización: Madrid
- Año construcción: 2018-2019

- Superficie: 1.004 m<sup>2</sup>
- Certificaciones: CO2nulo, Análisis de Ciclo de Vida, Certificación energética A, Madera FSC.
- Reconocimientos: Gran Premio Internacional GREEN SOLUTIONS AWARDS 2019 de Renovación sostenible y Premio nacional en categoría Bajo Carbono.

### Datos certificación CO2nulo

A través de la herramienta ECÓMETRO ACV se realizó el Análisis de ciclo de vida del proyecto, obteniendo un impacto de Huella de carbono de 124 tn de CO<sub>2</sub> en todo el proceso de obra, lo que supone un impacto relativamente bajo (124 Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>), debido al bajo coste medioambiental de los materiales elegidos.

Las 124 tn de la obra las ha compensado sAtt a través del programa de reforestación de la Fundación ECODES. En este caso, sAtt eligió la iniciativa “CommuniTree-Reforestación comunitaria” en San Juan de Limay, Nicaragua.

Esta iniciativa, en uno de los espacios de América Central más ricos en biodiversidad, agrupa a pequeños agricultores con el fin de reforestar partes de sus tierras en desuso. A través de un mejor uso de la tierra y una gestión más sostenible de los recursos forestales, el proyecto aumenta la cobertura forestal, ayudando a retener la humedad durante la estación seca y mejora la calidad de vida de las comunidades locales.

Como el edificio funciona con 100% energías renovables y no tiene ningún elemento de combustión, cumple con los requisitos para ser CO<sub>2</sub>nulo, ya que ha compensado su coste ambiental en términos de carbono y en su uso no emite ni un solo gramo de CO<sub>2</sub>. Con ello, Greenpeace consigue que su sede en España participe de la descarbonización de los edificios y que su propia sede sea lo más coherente posible con sus valores de defensa del medioambiente.

## Coworking TRIPLE



Figura 5 y 6. Edificio Triple, primer coworking CO<sub>2</sub>nulo de España.

### Descripción

Consiste en la rehabilitación de un edificio para crear el primer coworking y espacio de eventos CO<sub>2</sub>nulo en España. TRIPLE es un espacio de trabajo orientado a personas y organizaciones comprometidas con los valores de sostenibilidad de la filosofía Triple Balance: medioambiental, social y económico.

- Localización: Madrid
- Año construcción: 2019-2020
- Superficie: 538 m<sup>2</sup>
- Certificaciones: CO<sub>2</sub>nulo, Análisis de Ciclo de Vida, Certificación energética A, Madera FSC.

### Datos certificación CO2nulo

A través de la herramienta ECÓMETRO ACV se calcularon un total de 196 toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas durante la construcción (364 KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>). Estas emisiones han sido compensadas a través del programa de reforestación de la Fundación Ecología y Desarrollo (ECODES). En este caso, TRIPLE también eligió la iniciativa “CommuniTree-Reforestación comunitaria” en San Juan de Limay, Nicaragua.

La compensación del CO2 emitido durante la obra ha tenido un coste de 1.999,20 € para TRIPLE, lo que representa apenas un 0,38% del PEM y la tonelada de CO2 se pagó a 10,20 €.

En cuanto al impacto ambiental durante la fase de uso, la estrategia ha sido instalar una sola fuente de energía, la electricidad; y eliminar cualquier sistema de combustión. Además, mediante el contrato de suministro, la cooperativa La Corriente garantiza que el edificio consumirá exclusivamente energías de origen 100% renovable.

De esta forma, el coworking TRIPLE en Madrid es neutro en carbono, convirtiéndose en el primer espacio de trabajo colaborativo y eventos CO2nulo. Un espacio pionero en la descarbonización de la construcción y que contribuye con su diseño a mitigar el cambio climático a través de la arquitectura.

## Cohousing ecológico Entrepatrios - Las Carolinas



Figura 7 y 8. Cohousing ecológico Entrepatrios-Las Carolinas.

### Descripción

Primer Cohousing en derecho de uso en Madrid, un edificio de 17 viviendas donde cobra especial importancia la comunidad. Combina espacios privados con espacios comunes y otros abiertos al barrio, superando el aislamiento de la forma actual de habitar. El proyecto se desarrolla bajo criterios de bioconstrucción, diseño Passivhaus, eficiencia energética y Análisis de Ciclo de Vida. Se presenta como un Edificio de Energía Casi Nula sostenible social, medioambiental y económicamente.

- Localización: Madrid
- Año construcción: 2018-2020
- Superficie: 3.313 m<sup>2</sup>
- Certificaciones: CO2nulo (pendiente de compensación), Análisis de Ciclo de Vida, Certificación energética A, Madera FSC.
- Reconocimientos: Premio Europeo de Vivienda Colaborativa del INTERNATIONAL SOCIAL HOUSING FESTIVAL 2019

### Datos certificación CO2nulo

En Entrepatrios - Las Carolinas hemos realizado el Análisis de Ciclo de Vida y medido la Huella de carbono del edificio a 50 años mediante la herramienta ECÓMETRO ACV y estamos en proceso de compensarla con programas de reforestación específicos para ello, esperamos que para el momento de celebración del congreso se haya podido concluir.

En este proyecto, las emisiones totales han sido de 1.300 toneladas de CO2 y 392 KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> en las diferentes fases A1-A3, A4, A5, B4 y B6. Estos datos corresponden al cálculo obtenido durante la fase de proyecto, una vez finalizada la obra se emitirá el certificado de Análisis de Ciclo de Vida correspondiente a obra terminada.

## COMPARATIVA

Proyecto	Superficie construida (m <sup>2</sup> )	Huella de Carbono (tn CO <sub>2</sub> )	Huella de Carbono (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )
Triodos Bank España	237	66	<b>278</b>
Sede Greenpeace España	1.004	124	<b>124</b>
Coworking Triple	538	196	<b>364</b>
Cohousing Entrepatis - LC	3.313	1.300	<b>392</b>

Tabla I. Comparativa Huella de Carbono.

Es importante a la hora de comparar o referenciar estos valores con datos obtenidos a través de otras herramientas de cálculo, considerar que Ecómetro ACV analiza el impacto del edificio en las siguientes fases: A1-A3 (Fabricación), A4 (Transporte), A5 (Construcción), B4 (Sustitución) y B6 (Uso de energía operacional).

## CONCLUSIONES

Estamos en plena lucha contra el cambio climático y sufriendo ya las consecuencias de una emisión desbocada de gases de efecto invernadero, en especial el CO<sub>2</sub>. Sin contar con los costes ambientales de su construcción, los edificios en España son los causantes en su uso del 28% de las emisiones de CO<sub>2</sub> anuales, el principal gas causante del cambio climático. Sólo el cemento ya supone un 6% de todas las emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo, en nuestras manos y en nuestra responsabilidad está el poder de cambiar las cosas. Si de algo tenemos certeza es de que tenemos el conocimiento técnico suficiente para transformar los diferentes sectores, entre ellos, la arquitectura y la construcción.

Lo importante es empezar a medir y minimizar este coste medioambiental de los sistemas de construcción que estamos utilizando e introducir medidas fiscales y económicas para afrontarlo de la mejor manera. La descarbonización del parque inmobiliario es un reto para nuestra sociedad y al mismo tiempo una gran oportunidad. Desde la arquitectura, el compromiso pasa por alcanzar el objetivo de construir edificios sin ningún tipo de emisión, que sean CO<sub>2</sub>nulo.

## AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de la certificación ha sido posible gracias a la colaboración e implicación de ECÓMETRO Asociación como entidad certificadora junto con los diferentes agentes que participamos en el proyecto: promotores, el estudio de arquitectura sAtt y resto de colaboradores.

## REFERENCIAS

- <https://co2nulo.ecometro.org>
- <https://satt.es/oficina-cero-co2-de-triodos-bank-en-malaga>
- <https://satt.es/la-sede-greenpeace-premio-internacional-renovacion-sostenible>
- <https://satt.es/primer-coworking-espana-co2nulo>
- [https://satt.es/portfolio\\_page/cohousing-entrepatis](https://satt.es/portfolio_page/cohousing-entrepatis)

# LA REVOLUCIÓN DE LO COMÚN. UNA BASE DE DATOS DE CARBONO ABIERTA Y COMÚN.

Iñaki Alonso Echeverría, ECOMETRO

**Resumen:** El reto medioambiental para esta década 2020/30 en el sector de la edificación es su descarbonización tal y como reza el lema de la VII edición este Congreso de Edificios de Energía Casi Nula. Ya estamos haciendo un gran trabajo en la descarbonización de los edificios en la fase de uso de los mismos. Hemos desarrollado normativa y técnica para hacer los edificios cada día más eficientes y el sector de la energía está en plena revolución con un crecimiento importante de las energías renovables tanto en el mix energético nacional, como en contrataciones 100% de renovables y en la incorporación in situ en los edificios de sistemas principalmente fotovoltaicos. Pero tenemos que afrontar la fase de construcción y para ello necesitamos generar herramientas, bases de datos y procesos que nos hagan más fácil el cálculo y medición de los impactos ambientales, el ACV (análisis de Ciclo de Vida) y Huella de Carbono derivados de la extracción de materiales y la construcción de los edificios.

**Palabras clave:** descarbonización, base de datos, ACV, certificación, medición de impacto, compensación, eficiencia energética, energías renovables, glocal, huella de carbono, minimización de impacto, común,

## INTRODUCCIÓN

Para afrontar el reto de la descarbonización en esta próxima década en el proceso de construcción de edificios necesitamos poder poner unos cimientos sólidos en su análisis y cálculo y para ello proponemos la necesaria colaboración de diferentes agentes implicados en este reto. Necesitamos una base de datos estable, abierta, oficial, gratuita y común. Presentamos la base de datos desarrollada por Ecómetro para el Instituto Torroja (CSIC), con el apoyo de la Oficina Española de Cambio Climático para que todos y todas podamos medir con el mismo criterio. Esta presentación también es una invitación a todos los agentes implicados a mejorar y evolucionar la base de datos desde una perspectiva del dato como un bien común.

## Antecedentes

En el congreso internacional de construcción sostenible en Barcelona SB14, ya hace 6 años presentamos una ponencia desde la asociación titulada "ECOMETRO y las Declaraciones Ambientales del Edificio DAE" hablando de la necesidad de generar una certificación tipo III de los edificios, lo que llamábamos una Declaración Ambiental del Edificio (DAE) basándonos en la metodología de ACV (Análisis de Ciclo de Vida) y en el desarrollo de las DAPs (Declaraciones Ambientales de producto). La metodología y regulación del ACV avanza y poco a poco se van creando más DAPs pero hasta que no haya un marco regulatorio global y una exigencia administrativa y/o fiscal no va a dar el gran salto. Hay mucho camino por recorrer y se avanza despacio, pero está claro que la dirección es la necesaria.

En breve el sector de la construcción tiene que salir de los sectores difusos. Los sectores difusos abarcan las actividades no sujetas al comercio de derechos de emisión. En teoría representan aquellos sectores menos intensivos en el uso de la energía, pero solo el sector residencial es responsable de más del 30% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Está previsto que en breve estos sectores pasen a ser actividades sujetas al comercio de derechos de emisión.

Por último, es previsible que en poco tiempo se regule todo el mercado del Carbono, una tarea pendiente para la próxima cumbre de cambio climático en Glasgow y que se ha pospuesto un año por el COVID. En breve tendremos un marco nacional e internacional adecuado para empezar a contabilizar el impacto del sector de la construcción y mantenimiento de edificios en el calentamiento global.

## La construcción de lo común

Partiendo de un marco global sobre las tendencias actuales podemos afirmar que estamos en un resurgimiento importante de la cultura de lo común. Una de las características más relevantes de nuestro sistema actual es hacer la guerra cada uno por su cuenta. En un sistema y una sociedad mecanicista y reduccionista, lo que entendemos como el paradigma científico, hemos perdido la conexión entre departamentos, instituciones y diferentes agentes que trabajan sobre sistemas similares. El reduccionismo es la máxima expresión de este contexto científico: separa cada caso y lo analiza a fondo sin tener en cuenta el contexto global, así simplificamos y evitamos resolver la complejidad de las relaciones entre instituciones que tienen un fin común. Esto nos ha llevado a grandes descubrimientos y a avances muy importantes, pero hemos perdido la noción del todo, la visión más holística. De esta manera, hemos

desarrollado numerosas herramientas muy interesantes, desarrolladas por agentes diferentes, y sobre aspectos similares, como por ejemplo el CICLOPE (2009-2010), ENERBUILCA (2010-2012), SOFIAS, ENSLIC, PRESCO, EXTERNE, SUR EURO, etc. Estas herramientas desarrolladas con programas europeos en su mayoría se han quedado en un cajón en cuanto se ha terminado la financiación. Mucho dinero invertido y todavía no hemos conseguido desarrollar un sistema de medición práctico y estable que sea reconocido públicamente y sea fácilmente usable. Las razones de su fracaso son tres:

1. Las metodologías utilizadas son complejas exigen un esfuerzo extra considerable para los técnicos.
2. No existe una base de datos oficial y estable de información ambiental.
3. La financiación se termina y los receptores abandonan los proyectos porque no hay interés en el mercado.

Es curioso como habiendo unos objetivos comunes tan definido en estos momentos como es el de los ODS (Objetivos de desarrollo Sostenible) y un riesgo tan alto para la humanidad como el que padecemos con el calentamiento global sigamos sin ser capaces de ponernos juntos a trabajar en un objetivo común. Hay sectores que lo están haciendo y cada vez hay más sociedad civil trabajando en lo que autores como Christian Laval y Pierr Dardot denominan “La revolución de lo común”.

Obviamente lo común significa transversalidad y complejidad. Ponerse de acuerdo es más difícil, hay que poner por delante lo común frente a intereses particulares; es más sencillo que cada agente tome sus propias decisiones sin tener que construir una interlocución. Por otro lado hay diferentes recorridos, hay mucho capital particular invertido que se quiere capitalizar económicamente. Esto ha funcionado en un contexto de bonanza, teníamos de todo y venía mucho dinero de Europa, hemos desarrollado un montón de trabajo y de herramientas y nos hemos permitido que acaben en un cajón sin generarnos ningún complejo. Seguirá viniendo mucho dinero de Europa pero lo que ya no queda es tiempo.

Frente a esta desconexión entre diferentes programas y una estructura de pensamiento exacerbado han surgido muchas iniciativas en la última década que nos muestran que lo común y un pensamiento sistémico está en pleno desarrollo. Estamos en la era de la cultura colaborativa y la revolución de lo común. Iniciativas como el compartir conocimiento de la ética hacker, el copy left frente al copy right, el código abierto, el cohousing, coworking, coeverything, la economía del bien común, etc. Esto lo podemos observar en sectores tan tradicionales como la economía, en los últimos 10 años dos premios nobel han sido asignados a dos trabajos sobre la economía del bien común. La primera mujer premio Nobel en Economía, Elionor Ostrom, marcó un punto de inflexión en 2009 con su trabajo sobre los bienes comunes. Más adelante, en 2014 ganó el Nobel de Economía Jean Tirole, que posteriormente publicó “La economía del bien común”, un libro donde incita a los estados a reconstruir el bien común.

Esta reflexión sobre lo común la tenemos que trasladar a la necesidad de construir valores comunes para avanzar en el la introducción de la sostenibilidad en la edificación, y en este caso a entender las bases de datos como un bien común, abierto, transparente y compartido.

## Estabilidad del dato

Estamos a las puertas de empezar a tener en cuenta las emisiones de CO2 derivadas de los procesos de construcción y de generar una regulación del mercado de carbono dentro de los objetivos del acuerdo de París de 2015 por lo tanto es importante que nos pongamos de acuerdo en cómo afrontar este proceso y establecer acuerdos para ello.

El concepto de estabilidad probablemente es el más importante para que podamos afrontar un proceso equitativo y con garantías. La situación actual es muy confusa, cada actor coge el dato de una base de datos diferente o se genera una base de datos propia en función a sus criterios, los hay mejores y peores. Para una puesta en común apropiada y un cálculo objetivo es necesaria la creación de una base de datos abierta y estable que dé rigor y homogeneidad a los datos medioambientales que están en proceso de creación. Es cierto que estamos en un momento de incipiente creación de metodología y de análisis de datos para poder introducirlo en el análisis de los procesos constructivos, pero no puede generar desconcierto y batallas aisladas cuando la intención general es construir ese marco común que establezca unas reglas claras para el análisis de la sostenibilidad en la construcción. En este contexto creemos que es necesaria una base de datos medioambientales que sea oficial, abierta, transparente, y estable. y entre todos los agentes intervenir en la mejora de la calidad del dato de esa base de datos. Esto evitará las batallas actuales que se están produciendo en el contexto de la Huella de Carbono, con diferentes iniciativas privadas en el cálculo de Huella de Carbono pero sin una base de datos única, transparente y clara no vamos a poder comparar y avanzar conjuntamente en el proceso de cálculo de ACV. Estas herramientas han surgido por una demanda clara del sector de

servicios de la construcción, sobre todo de las certificaciones, para poder hacer un análisis del impacto en Huella de Carbono y de esta manera poder ofrecer alternativas.

Necesitamos una base de datos nacional con valores estimados de referencia (VER) y donde poder introducir las diferentes DAPs de los fabricantes de producto de la construcción que las vayan desarrollando. En Europa podemos encontrar las siguientes bases de datos ambientales:

ELCD data base	<a href="http://eplca.jrc.ec.europa.eu/">http://eplca.jrc.ec.europa.eu/</a>	Europa
ECOINVENT	<a href="http://www.ecoinvent.ch/">http://www.ecoinvent.ch/</a>	Suiza y Alemania
IVAM LCA	<a href="http://www.ivam.uva.nl/">http://www.ivam.uva.nl/</a>	Holanda
BOUSTEAD MODEL	<a href="http://www.boustead-consulting.co.uk/">http://www.boustead-consulting.co.uk/</a>	U.K.
IDEMAT 2001	<a href="http://www.io.tudelft.nl/">http://www.io.tudelft.nl/</a>	Países Bajos
BABI DATA BASE	<a href="http://www.gabi-software.com/">http://www.gabi-software.com/</a>	Europa
ETH-ESU	<a href="http://www.uns.ethz.ch/">http://www.uns.ethz.ch/</a>	Suiza
GEMIS	<a href="http://www.iinas.org/gemis-de.html">http://www.iinas.org/gemis-de.html</a>	Alemania

Desde ECOMETRO queremos presentar en este congreso y poner en común de forma gratuita el trabajo realizado de desarrollo de una base de datos a nivel nacional para el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), un centro oficial del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), perteneciente al Área de Ciencia y Tecnología de Materiales. La base de datos IETcc será una base de datos abierta y gratuita, con información ambiental estable y oficial, apoyada por la Oficina Española de Cambio Climático, que se denomina OPENDAP. Esta base de datos está en proceso de desarrollo y albergará los datos medioambientales divididos en tres calidades de dato:

- Calidad 1: DAPs de fabricantes específicos, son los datos más objetivos.
- Calidad 2: DGs datos genéricos, son datos estimados de otras DAPs similares
- Calidad 3: VER Valores Estimados de Referencia, son datos recogidos de bases de datos generales, a las que tenemos acceso libre pero no podemos comprobar todo su proceso de obtención de los datos.

El futuro del análisis medioambiental de los edificios se dibuja a través de la incorporación de las DAPs en los sistemas de medición, es decir las diferentes bases de precios, y añadiendo la parte derivada del transporte y la vida útil de cada producto. Mientras que no se disponga de esa base de datos de DAPs tendremos que trabajar con información de datos genéricos (DGs) o valores estimados de referencia (VER). Se hace necesaria la creación de un marco consensado que permita desarrollar los estudios de ACV con un grado suficiente de rigor, credibilidad y transparencia. Aunque se ha recorrido un largo camino en el alineamiento y armonización internacional de las RCP de diferentes sistemas DAP, la robustez, transparencia y veracidad sólo se alcanzará cuando éstas se conviertan en normativa de aceptación internacional (Subramanian et al. 2012).

## Conclusiones

Los últimos informes del IPCC son bastante dramáticos, nos queda poco tiempo y es necesario en esta década tomar medidas coordinadas. Cada vez tenemos más herramientas para coordinar coordinarnos y existe una inteligencia colectiva que tiene que atravesar también a las instituciones y ponerla a trabajar en un fin común. Desde Ecometro a través del trabajo realizado para el CSIC de forma gratuita pone a disposición de todos los actores una base de datos de Carbono y el resto de categorías de impacto de la norma UNE como un punto de partida para empezar a trabajar una base de datos común que venga respaldada por los agentes más importantes del sector, Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, GBCE, Ministerio de Industria, Consejo Superior de Arquitectos de España, CSIC, ASPRIMA, etc. Todos debemos trabajar en la misma dirección desde una perspectiva transversal, holística y con un reto común, avanzar lo más rápido posible en la descarbonización de la edificación.

## AGRADECIMIENTOS

A todas las personas de Ecometro Asociación sin ánimo de lucro que trabajan intensamente para la medición y difusión de la ecología en la arquitectura.

# EDIFICIOS CO<sub>2</sub>NULO - CÓMO HACER UN EDIFICIO NEUTRO EN CARBONO

Giorgos Tragopoulos, CEO, Ecómetro  
Iñaki Alonso Echeverria, CEO, Satt Triple Balance

**Resumen:** Un EECN reduce las demandas al mínimo que es el primer objetivo para reducir consumos y emisiones de CO<sub>2</sub>. Pero se pueden tomar más medidas enfocadas a la descarbonización. Si además se electrifica el edificio al 100% y se usan energías renovables para cubrir la demanda total, bien por contratación a comercializadoras de energía renovable o por producción in situ, se consigue un edificio sin emisiones de CO<sub>2</sub> en su uso. En este caso el mayor impacto está en el proceso de construcción. Pero también se puede medir la huella de carbono en todo el análisis de ciclo de vida de la construcción para poder minimizarla y llegar a compensarla con programas de compensación nacionales o internacionales de emisiones de Carbono. Al medir, minimizar, compensar, electrificar y poner 100% renovables, se puede llegar a tener un edificio CO<sub>2</sub>Nulo un gran paso para la descarbonización de la economía y la mitigación del cambio climático. Esta es la metodología y la certificación ecómetro CO<sub>2</sub>Nulo (<https://co2nulo.ecometro.org/>).

**Palabras clave:** descarbonización, ACV, certificación, medición de impacto, compensación, eficiencia energética, energías renovables, global, huella de carbono, minimización de impacto

## INTRODUCCIÓN

Las ciudades acogen la mayor parte de la población del mundo y son responsables, directa o indirectamente, de la mayoría de emisiones de gases de efecto invernadero. Consumen más del 70% de la energía mundial, como revela el quinto informe de la IPCC, y siguen, en su mayoría, un metabolismo lineal de producción, consumo y generación de residuos, mientras contribuyen drásticamente al aumento de la presión a los ecosistemas y al planeta. Los edificios, como unidades funcionales de las ciudades, tienen una responsabilidad importante del aumento de la huella de carbono, tanto en la fase de construcción, como en la fase operacional, ya que producen un 40% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, a nivel mundial, como subraya la Agencia Internacional de la Energía. La nueva agenda urbana, los objetivos del desarrollo sostenible, la hoja de ruta para la descarbonización de la economía en 2050, coinciden en que tenemos que la tarea de descarbonizar los edificios es imprescindible y urgente.

La UE ha puesto en marcha varios instrumentos y herramientas legislativas y de mercado, que apuntan hacia esta dirección y obligan a los estados miembros a tomar medidas para minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector de la edificación. El principal objetivo de la UE es rehabilitar el conjunto del parque edificado, convirtiéndolo en neutro en carbono y simultáneamente crear las bases para que los nuevos edificios que se construyen sean edificios descarbonizados. La Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética del sector de la edificación, o las Directivas de eficiencia energética de los edificios que desde 2002 está legislando sucesivamente la UE son una evidencia de las afirmaciones anteriores.

Por otro lado, los estados miembros tienen que encontrar las formas de poner en marcha los esquemas necesarios para llegar a edificios descarbonizados y verificar esta descarbonización. Para conseguir la verificación de la descarbonización de los edificios, es necesaria la puesta en marcha de metodologías y certificaciones que rigurosamente midan la reducción del impacto y certifiquen que realmente un edificio está descarbonizado.

En este sentido, Ecómetro CO<sub>2</sub>Nulo es un certificado que propone una metodología rigurosa de 5 pasos para llegar a edificios descarbonizados, abordando el ciclo de vida de los edificios en su totalidad. La certificación es una ECOETIQUETA TIPO II según la regulación de las ECOETIQUETAS europeas, pero depende de una ecoetiqueta tipo III para el cálculo de la huella de carbono según metodología de ACV. En un futuro próximo los edificios se tienen que adaptar a las exigencias de la sociedad y del planeta para no ser el nicho de contaminación que representan ahora en las ciudades.

## LA METODOLOGÍA Y LA CERTIFICACIÓN CO<sub>2</sub>NULO

El Cambio Climático es un gran problema para la humanidad y con toda seguridad el rey de los impactos en la selva de impactos al medio ambiente. Asimismo, es el elemento que debería definir nuestras economías en un futuro inminente. Es el momento de poner atención a la excesiva carbonización de nuestras ciudades y de nuestros edificios ya que el sector de la construcción contribuye al calentamiento global con un 40% de las emisiones de CO<sub>2</sub>

mundialmente, mientras que en España la huella de carbono de los edificios supone un 30% de las emisiones del país (Mercader et. al, 2012).

Para invertir esta situación y avanzar hacia la descarbonización de las ciudades, necesitamos herramientas que consideren todo el ciclo de vida de estos e involucren estrategias de descarbonización de la arquitectura. Ecómetro CO<sub>2</sub>Nulo es una herramienta que incorpora una estrategia clara para conseguir objetivos de descarbonización tanto en edificios en rehabilitación como de nueva construcción.

CO<sub>2</sub>Nulo (<https://co2nulo.ecometro.org/>) es una certificación de 5 pasos desarrollada por ecómetro para aquellos edificios que cumplen una serie de condicionantes y no tienen emisiones de CO<sub>2</sub>. Los pasos que se tienen que seguir para obtener esta certificación son los siguientes.

1. Medir la huella de carbono de la construcción o rehabilitación de un edificio en sus diferentes etapas, extracción de los materiales, transporte a obra, puesta en obra y etapa operacional, a través de herramientas de análisis de ciclo de vida (ACV).
2. Minimizar la huella de carbono a través de medidas relacionadas con la elección de materiales y el diseño de máxima eficiencia energética.
3. Compensar la huella de carbono a través de programas de compensación reconocidos (p.ej. el programa CEROCO2 de ECODES). El hecho de contaminar debe llevar un pago asociado para su compensación.
4. Electrificar el edificio o local al 100% para que no exista ninguna fuente de combustión en el edificio.
5. Cubrir la necesidad restante con 100% energías renovables, a través de producción propia en el edificio o local, o a través de un contrato con una comercializadora de energías 100% renovables.

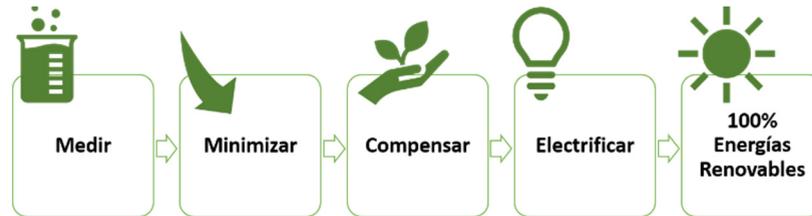


Figura 1. Metodología de certificación CO<sub>2</sub>Nulo.

Estas cinco medidas convertirían a un edificio en un ejemplo de arquitectura para la mitigación del cambio climático. Un edificio que pueda obtener la certificación CO<sub>2</sub>Nulo. Sin embargo, los beneficios para el medio ambiente, por obtener esta certificación no son solo estos, ya que los impactos de la edificación no se limitan tan solo en la huella de carbono. Al ser una certificación que se basa en el análisis de ciclo de vida del edificio (ACV), ofrece información clara e inequívoca sobre otros impactos derivados de la construcción del mismo. Así que además del potencial de calentamiento global, las partes interesadas puede obtener información sobre el potencial de agotamiento de ozono estratosférico, el potencial de agotamiento de recursos abióticos, el potencial de recursos hídricos y del suelo, el potencial de eutrofización, el potencial de formación de ozono fotoquímico, el consumo de energía primaria no renovable.

## EDIFICIOS CO<sub>2</sub>NULO

Existen ya varios edificios CO<sub>2</sub>Nulo, tanto de nueva construcción como de rehabilitación, que han medido, han minimizado y han compensado su impacto, mientras que han puesto las bases por un impacto cero en la fase operacional del edificio a través de la reducción de la demanda energética, la electrificación de los consumos y la satisfacción de la necesidad energética restante por 100% energías renovables. Algunos de estos edificios y locales se analizan a continuación.

### La oficina de Triodos

La oficina de Triodos Bank en Málaga que se llevó a cabo por el estudio de arquitectura Satt Triple Balance. Una oficina de 237m<sup>2</sup> donde a través de una metodología ACV se detallaron las emisiones de CO<sub>2</sub> en la fase de la construcción, se planteo una estrategia de minimización y se compensó la huella de carbono de 66tnCO<sub>2</sub>eq (278KgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>), a través del programa de CeroCO<sub>2</sub> de ECODES. Además, se utilizaron materiales de bajo impacto (p.ej. barro en las

paredes) y se electrificaron todos los consumos. La necesidad energética se satisfizo al 100% con energías renovables, a través de un contrato con una comercializadora de energías renovables.



Figura 2. Oficina de Triodos en Málaga (fuente: Satt Triple Balance).

## Entrepatrios

El edificio de viviendas en derecho de uso, entrepatios, en Madrid (Satt Triple Balance). El edificio tiene una superficie de 3.300m<sup>2</sup> y la huella de carbono de la construcción ha sido de 1.270tnCO<sub>2eq</sub> (385 KgCO<sub>2eq</sub>/m<sup>2</sup>). Las emisiones producidas se compensarán a través del programa CeroCO<sub>2</sub> de ECODES. La demanda de calefacción del edificio es de 10KWh/m<sup>2</sup>.a y la demanda de refrigeración de 15Kwh/m<sup>2</sup>.a. Los consumos energéticos son totalmente electrificados y la necesidad se cubre por energías renovables al 100%, con 30KW de energética in situ y contratación de una comercializadora 100% renovable.



Figura 3. Viviendas entrepatios (fuente: Satt).

## El Coworking Triple

El espacio de coworking triple, en Madrid (Satt Triple Balance). El edificio tiene una superficie de 528m<sup>2</sup> y las emisiones de carbono de la intervención han sido de 196 toneladas de CO<sub>2eq</sub> que se compensaron a través de un programa de reforestación, a través de la iniciativa “CommuniTree-Reforestación comunitaria”. El edificio se ha diseñado con alta eficiencia energética y con criterios PassiveHaus, mientras que todos los consumos están electrificados y se cubren con energías renovables, a través de un contrato con una cooperativa de energía renovable.

En todos los casos, la metodología de análisis de ciclo de vida y las estrategias de minimización de la huella de carbono, han permitido reducir la huella de carbono en la fase de construcción en un 40% de media, mientras que la compensación de las emisiones restantes, junto con la electrificación de los consumos y las energías renovables ha generado un edificio descarbonizado, un edificio CO<sub>2</sub>Nulo. En todo caso hay que tener presente que la compensación de las emisiones no debe funcionar como vía libre para contaminar, sino debe ser acompañada por firmes estrategias de minimización de las emisiones, tanto en la fase de construcción como en la fase operacional.



Figura 4. Espacio coworking Triple (Fuente: Satt).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Estamos en un cruce sin retorno para nuestra supervivencia como especie. El cambio climático está amenazando los fundamentos de nuestra organización social, nuestra capacidad de abastecimiento con los recursos básicos para nuestra supervivencia y pone en peligro nuestras vidas. Es evidente que ante este peligro tan inminente ya tenemos que reaccionar rápida y firmemente, pero para esto tenemos que cambiar drásticamente la manera que hacemos las cosas para por un lado mitigar los impactos del cambio climático y por otro adaptarnos a las nuevas realidades más abruptas para nuestra sociedad global.

En este contexto, la manera que construimos nuestros edificios y nuestras ciudades ha de cambiar para y darle el sitio a nuevos modelos de arquitectura y urbanismo, regenerativos que descarbonicen nuestras ciudades y minimicen nuestro impacto sobre el planeta.

Para conseguir esto, en primer lugar, necesitamos medir cual es nuestro impacto. Definir cuál es el impacto de cada edificio, de cada construcción, para poder luego minimizarlo, para poder optar por otros materiales, recursos y procesos menos contaminantes. En esta senda necesitamos herramientas y metodologías que nos ayuden a cumplir estos objetivos de manera rigurosa. Simultáneamente, estas herramientas han de tener la capacidad de hacer sencilla la complejidad, en un mundo que la toma de decisiones es sobre temas cada vez más complejos. Asimismo, necesitamos herramientas de carácter global, que aborden conceptos globales y los adaptan a situaciones y necesidades locales.

La metodología y la certificación ecómetro CO<sub>2</sub>Nulo cumple con estas expectativas, ya que se basa en mediciones rigurosas a través de procesos de análisis de ciclo de vida, estrategias de minimización del impacto y compensación del impacto generado. Además, se puede adaptar a las necesidades específicas locales, buscando siempre el balance entre la eficiencia, medioambiental, energética y económica y ofreciendo información útil, no solo sobre la huella de carbono, sino también sobre una serie de impactos generados al medio ambiente.

Es una metodología ya probada con éxito en varios edificios de distintos usos y distintas realidades urbanas y geográficas en España. La descarbonización de los edificios no es un relato del futuro y no debería serlo. Hoy se tienen que poner las bases para descarbonizar nuestras ciudades y llegar a los objetivos de mitigación del cambio climático y del desarrollo sostenible. Así construimos también una mayor resiliencia y capacidad de adaptación de nuestras sociedades a los cambios que de venir.

## REFERENCIAS

- [1] M<sup>a</sup>. P. Mercader, M. Olivares, A. Ramírez de Arellano, 2012, Modelo de cuantificación del consumo energético en edificación, Materiales de Construcción Vol. 62., Madrid
- [2] International Energy Agency and the United Nations Environment Programme 2018, 2018 Global Status Report-Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector, International Energy Agency & United Nations Environment Programme, Paris
- [3] Intergovernmental Panel on Climate Change 2014, Quinto Informe de Evaluación Cambio climático 2013-2014, IPCC, Bern
- [4] <https://www.entrepatis.org/> (29 agosto 2020)
- [5] <https://satt.es> (30 agosto 2020)

# VIVA RESEARCH PARK: INVESTIGACIÓN COMPARADA SOBRE LA INFLUENCIA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN LA SALUD Y UNA MEDIDA DEL CONFORT

**Hans Peter Hutter**, Especialista en Medicina Ambiental, Facultad de Medicina (Viena)  
**Christian Heschl**, Director de Máster “Tecnología Constructiva y Gestión de Instalaciones”, FH Burgenland  
**Peter Tappler**, Director General, IBO Innenraumanalytik OG General  
**Jurgen Lorenz**, Director de Investigación y Desarrollo, Baunit Internacional  
**Fernando Arrabé Gómez**, Director General, Baunit España

**Resumen:** Edificaciones sostenibles o eficientes energéticamente dan por hecho aspectos como el confort o la salud de sus habitantes. Pasamos más del 90% de nuestro tiempo en espacios cerrados; vivienda, oficinas, espacios comerciales y de ocio. Desde el año 2015 Baunit Viva Research Park evalúa el impacto de los materiales de construcción sobre las personas, recopilando más de 5 millones de datos en los 14 módulos fabricados con diferentes sistemas constructivos, y enviándolos a la Universidad de medicina de Viena y otras entidades externas para su análisis. Comparamos ciclos de temperaturas, humedad y su absorción, olores, VOC's, radón, Iones aéreos, acústica y aislamiento, campos electromagnéticos de alta frecuencia; confort y bienestar.

**Palabras clave:** Materiales de construcción, Salud, Confort, Bienestar.

## PROYECTO VIVA RESEARCH PARK

### Introducción

Como parte de nuestro trabajo diario en Baunit somos conscientes de que sobre la interacción de los materiales constructivos y sus efectos sobre la salud y el bienestar de las personas existen muchas hipótesis, y nos lleva al convencimiento y la decisión de realizar estas afirmaciones sobre bases científicas y probadas en el Viva Research Park.



Figura 1. Viva Research Park y Fase de construcción de Viva Park Research.

### El proyecto

En 2014 diez módulos habitacionales contruidos de hormigón, ladrillo macizo, paneles de madera, estructura de madera ligera con paneles de cartón yeso, terminados todos ellos con diferentes sistemas de aislamiento exterior y materiales para revestimiento interior fueron instalados próximos al centro de innovación de Wopfung. Al exterior, todos los módulos parecen iguales; todos tienen dimensiones interiores de 4x3 metros y 2,83 m de altura, consisten en un solo habitáculo con una ventana y una puerta de iguales dimensiones ya que era especialmente importante que todos ellos estuvieran expuestos a iguales condiciones ambientales.

### Material y métodos. Proceso de construcción.

La fase de construcción del Proyecto duró 18 meses y para asegurar las mismas condiciones de radiación solar los módulos se sitúan evitando las sombras arrojadas entre sí. Otros elementos de sombreado como marquesinas han

sido deliveradmete omitidos para evitar interferencias. Para permitir la posibilidad de sombreado deseado, las ventanas de los módulos incorporan persianas exteriores.

### **Estanqueidad y contaminación cero**

Para minimizar la presencia de COVs se han evitado selladores con disolventes o se han usado unos con bajísimas emisiones. La ciementación se cubre con una lámina impermeabilizante de polietileno de aluminio libre de COVs adherido con materiales libres de emisiones, y las mismas láminas se han usado como barrera de vapor en la cubierta.

La estanqueidad de los módulos se ha comprobado mediante ensayos normalizados, la instalación de ventanas con ventilación integrada en el marco y eligiendo un sistema de ventilación por conductos con medidas de caudal de volumen y sistema de sellado con flaps

### **Aislamiento Térmico y sistemas de climatización.**

Todos los módulos -excepto el que se ha dejado sin aislar- se han diseñado para alcanzar un valor de U de 0.15 w/m<sup>2</sup>K correspondiente al estándar de aislamiento más exigente. Para alcanzar este valor uniforme pese a la variedad constructiva len os diferentes materiales de cerramiento se han instalado Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior con diferentes medidas de espesor aislante

Todos los módulos de investigación cuentan con un sistema de calefacción mediante de agua caliente servido por una caldera instalada en el exterior del módulo técnico. La demanda de calefacción se determina mediante un medidor de energía. Además, se instala en cada módulo un sistema de inyección y sustracción de aire para predeterminar el intercambio de aire en las casas y simular condiciones de uso.

## **Monitorización y simulación de modelos**

Se ha recogido en cada módulo del parque de investigación datos de medida a lo largo de todo el día. Solo en los dos primeros años de investigación más de 5 millones de datos se han medido y analizado con los siguientes parámetros: Humedad relativa del aire interior, Temperatura interior, Temperatura en la superficie, iones aéreos, Formaldehido, Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), Radón, Olores, Acústica y sonido, Absorción de vapor de los materiales de construcción, Difusión del vapor de agua de los materiales de construcción, Atenuación de los campos electromagnéticos de alta frecuencia.

En cada módulo se han instalado 31 sensores que han grabado todos los parámetros físicos medibles a lo largo del día. Enviándose los datos al módulo de recolección de datos donde se archivaban y enviaban a la Universidad FH Burgerland para posterior análisis.

Además de los datos analizados en el interior de los módulos, se han recogido los datos de temperatura y humedad exterior, precipitación, velocidad y dirección del viento y la radiación global, difusa y de rayos UV. Respiramos, producimos vapores al cocinar, ducharnos y lavarnos, y en invierno calefactamos las viviendas para estar confortables. Para simular todo ello se instalaron los sistemas de humidificación, calefacción, y ventilación para los dos supuestos de invierno y verano, en los que los expertos especificaron cuándo, cuánto y cuán a menudo cada casa se ventilaba o cuanto vapor se suministraba mediante un humidificador, modelizando así el uso de una vivienda.

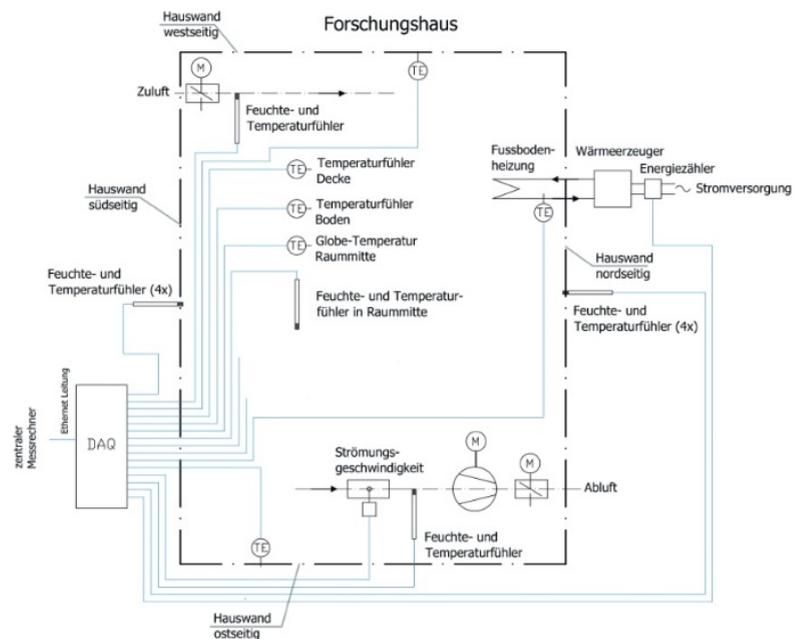


Figura 2. Esquema de instalación de sensores.

## FISICA DE LA CONSTRUCCIÓN Y SALUD

La construcción es siempre un equilibrio entre arquitectura, funcionalidad y requisitos estéticos siempre limitados por las propiedades de los materiales de construcción disponibles y las leyes fundamentales físicas de los mismos. uso.

### Clima interior

#### Temperatura operativa

Temperatura aérea es del aire que rodea a las personas en los interiores. Se mide en el centro de la habitación a 1 metro de altura- la temperatura superficial es por otro lado la de las superficies envolventes- como paredes, suelos, techo o mobiliario. Es influida por la temperatura del exterior y la conductividad térmica del material. La mayoría de las personas nos sentimos confortables cuando las temperaturas de superficie y de ambiente están alrededor de 20-22°C y las diferencias entre las temperaturas ambiente y superficiales y entre suelo y techo no exceden los 4°C.

#### Efectos de las fluctuaciones de temperatura en superficie.

En invierno la más pequeña diferencia de fluctuación de temperaturas se produce en los módulos de hormigón con 1°C, mientras que las casas de madera fluctuaron hasta 3°C. también en verano son las viviendas de hormigón las que menos fluctúan con 4°C mientras que las de madera oscilan 8°C. Teniendo en cuenta que todas ellas tienen un valor de U de 0.15 w/m<sup>2</sup>K esta mayor oscilación es debida a la menor capacidad de las viviendas de madera de almacenar calor (energía).

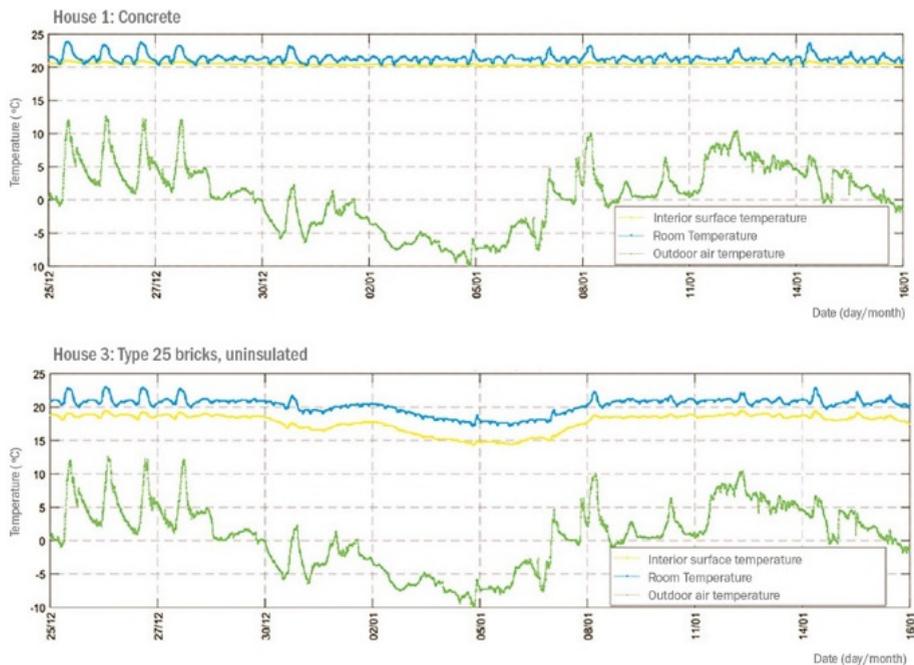


Figura 3. Fluctuación de temperatura en superficies interiores.

#### Humedad interior y su efecto en la salud

Además de la temperatura, la humedad interior es importante y se percibe un espacio confortable si la humedad se encuentra entre 40 y 60%. Por debajo del 30% las membranas de la mucosa de la nariz y garganta se secan al igual que la conjuntiva. En ambientes secos el polvo, bacterias y virus permanecen más tiempo en suspensión. Si la humedad es demasiado elevada el vapor de agua no se puede absorber por los materiales, y se condensan en paredes especialmente durante el invierno, lo que provoca el crecimiento algas y hongos. En invierno la humedad no debería superar los 45-50% de forma permanente. La presencia de algas u hongos en las viviendas incrementa el riesgo de asma y alergias entre un 30 y un 50%.

### Efecto de los materiales de interiores en la humedad del aire interior y la temperatura

Los revestimientos minerales abiertos a la difusión tienen efecto de eliminación de vapor y asegura un clima interior más equilibrado, y el espesor de estos varía entre 0,5 y 2cm para tener un efecto medible, aunque cuanto mayor es este espesor, mejor es la absorción de humedad.

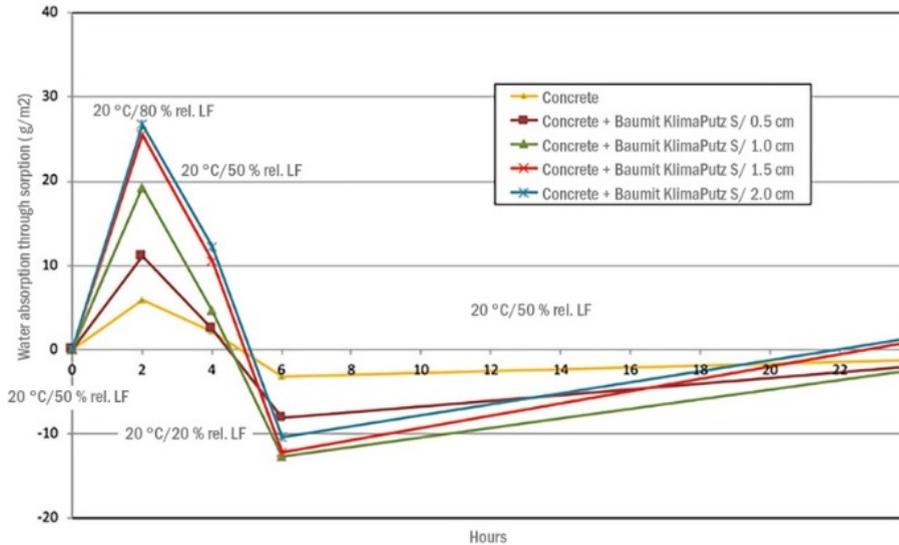


Figura 4. Absorción en hormigón en función del espesor de revoco.

## Calidad del aire interior

### Contaminantes. COVs, formaldehidos e Iones en el aire

La calidad del aire interior se ve directamente afectada por la del área circundante exterior, pero no únicamente por ella. Los materiales de construcción emiten Compuestos volátiles, olores y formaldehidos que hay se han medido y en el proyecto de investigación. Estos compuestos orgánicos volátiles tienen una mayor presencia en las viviendas de madera en los primeros meses tras su construcción, dependiendo del tipo y tratamiento de esta. Los resultados han sido concluyentes y en las viviendas de ladrillo aisladas las medidas arrojaban valores muy pequeños (< 500MG/m3) mientras que las de estructura de madera (1000 mg/m3) y paneles de madera (8000mg/m3) son significativamente mayores. Los revestimientos minerales usados no han mostrado valores significativos de COVs tampoco.

Algunos estudios relacionan un efecto positivo en la salud con una alta concentración de iones en el aire debido fundamentalmente a que reduce la cantidad de polvo y partículas contaminantes presentes en el aire. Esta concentración de iones puede llegar a multiplicarse por dos al usar pinturas de interiores minerales con un efecto ionizante. Estos minerales se combinan con las partículas aéreas para crear iones dejando espacio para nuevas partículas. El efecto es natural y no requiere intercambio de energía.

### Aislamiento al ruido y acústica interior. Campos electromagnéticos.

La exposición continua a niveles de ruido elevados incluye desórdenes en la salud como afecciones al aparato cardiovascular pudiendo incluir el riesgo de sufrir ataques al corazón. El organismo interpreta el ruido en términos de situaciones de ataque y huida constantes aumentando la tensión muscular, la presión arterial, las pulsaciones por minuto y la producción de hormonas del estrés, especialmente cortisona.

En el proyecto de investigación se constata que las viviendas masivas tienen los mejores valores de aislamiento, llegando a percibirse un 50% menos de ruido en estas que en las construidas con estructura de madera. El aislamiento exterior térmico de las viviendas contribuye a ello debido a la capacidad de absorción y aislamiento acústico de los aislamientos térmicos. La diferencia entre las frecuencias, bajas (como la voz humana) elevadas o medias (música) influye en la capacidad de los materiales para mejorar la acústica. Viviendas de hormigón tienen tiempos de reverberación más largos, y los de madera los más cortos. Allí donde estos tiempos de reverberación son problemáticos, algunos revocos de interiores ayudan a mejorar la calidad del sonido.

Overall evaluations for the Viva Research Park research houses				
Research houses	House 4	House 1	House 2	House 10
Wall materials	Type 25 bricks	Concrete	Concrete	Timber block house
Thermal Insulation	Baumit open air climate protection facade with Baumit open air facade panel	Baumit open air climate protection facade with Baumit open air facade panel	Baumit WDVS XS 022 with Baumit facade insulation panel XS 022	Baumit WDVS XS Nature with Baumit solid soft wood fiber panel
Cleaning systems	Lime Plaster Baumit KlimaPutzS	Lime Plaster Baumit KlimaPutzS	Dispersion filler	kein Innenputz nur Holz-Blockwand
Wall paint	Mineral paint Baumit KlimaColor	Special paint Baumit Ionit	Dispersion paint Baumit Divina Classic	No interior coating
<b>Well being and comfort</b>				
Evaluation	high			
Score	1,4	1,4	1,5	1,7
Research houses	House 9	House 6	House 7	House 3
Wall materials	Type 50 bricks	Wood frame with gypsum plaster-board paneling	Wood frame with gypsum plaster-board paneling	Type 25 bricks
Thermal Insulation	Insulation inside bricks-filled with mineral wool Baumit GrundPutz Leicht	Baumit WDVS ECO with Baumit facade insulation panel ECO plus	Baumit WDVS ECO with Baumit facade insulation panel ECO plus	No insulation for Baumit MPA 35
Cleaning systems	Lime Plaster Baumit KlimaPutzS	No interior plaster, only gypsum plasterboard sheets	Gypsum plaster-board sheets + special plaster Baumit Ionit Spachtel	Gypsum plaster Baumit GlättPutz d
Wall paint	Mineral paint Baumit KlimaColor	Dispersion paint Baumit Divina Classic	Special paint Baumit Ionit	Dispersion paint Baumit Divina Classic
<b>Well being and comfort</b>				
Evaluation	average			low
Score	1,9	1,9	1,9	2,1

Figura 5. Cuadro sinóptico resumido de conclusiones.

Se han medido las capacidades de los materiales de construcción de bloquear las frecuencias de comunicaciones móviles más comunes (900,1800 y 2600 MHz) mediante antenas emisoras en el exterior y receptoras en el interior a 1 metro de altura sobre el terreno con resultados claros; los módulos de hormigón atenúan casi el 100% de las tres frecuencias mencionadas. Las de ladrillo sin aislamiento se comportan peor para las de 1800 y 2600 MHz. Una elevada atenuación de este efecto al exterior conlleva que las radiaciones de los móviles en interiores se incrementan.

## CONCLUSIONES. UNA MEDIDA DEL BIENESTAR Y CONFORT

El aislamiento térmico y la tipología constructiva afectan a la salud y al confort. La Universidad Médica de Viena tras recibir de forma oculta todos los datos evaluados por los investigadores independientes de la Universidad de Burgenland y de IBO Analytcs sin mención del tipo constructivo, evaluó los mismos en térmicos de confort y bienestar que consideran una base de una vida saludable.

### Análisis de la calidad del aire interior

Utilizando el llamado Analisis de Calidad del aire Interior (IAQ) y tomando los datos individualizados ambientales y físicos recogidos en cada módulo constructivo los investigadores realizan una puntuación de disconfort basada en condiciones biofísicas fundamentales con la así llamada ecuación de Fanger ISO 7730 (2005). Los investigadores han desarrollado su propia fórmula tomando como base esta misma e incluyendo los otros factores analizados en los modulos de estudio.

Analizando los datos de la temperatura ambiente, humedad del aire y temperatura superficial de los cerramientos interiores, se determina una puntuación de disconfort por hora y se lleva a una media diaria. Tomando como base la temperatura interior de 21°C y humedad relativa de 50%, el valor que se aleja de ellos se mide en términos de disconfort al compararlos con los individualizados en cada módulo.

### Conclusiones

Si dos viviendas tienen las mismas propiedades de aislamiento térmico, las estructuras masivas se comportan mejor que los métodos constructivos ligeros. Si los métodos constructivos son los mismos, la vivienda térmicamente aislada se comporta significativamente mejor. Los revocos de interiores contribuyen a la regulación de la humedad interior y no solo no aportan productos nocivos, sino que pueden producir efectos beneficiosos para la salud y el bienestar de las personas.

En la percepción del confort y aporte de salud, además de un diseño adecuado de las viviendas y la tipología constructiva, la elección de los materiales de construcción es parte determinante en la calidad de vida de los habitantes.

El aislamiento térmico es fundamental en factores como la temperatura ambiente y reducción de estrés térmico, evitar corrientes de convección, humedad relativa del aire, formación de moho además de los ahorros en energía.

La inercia de los materiales cuenta en los factores de reducción de ruido aéreo, la atenuación en la fluctuación de temperaturas, la reducción a la exposición de radiaciones de campos electromagnéticos, aportando equilibrio y mejorando el sueño y el descanso.

Los valores interiores son clave en la reducción de las emisiones perjudiciales COVs, la absorción y difusión del vapor de agua equilibrando la humedad relativa del aire, y para aportar calidad al aire interior.

# ESTUDIO DE PUENTES TÉRMICOS Y PATOLOGÍAS ASOCIADAS EN PROCESOS DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS

**Marta Epelde Merino**, Passivhaus Designer & Tradesperson, Consultoría Energética  
**Iñaki del Prim Gracia**, Passivhaus Designer & Tradesperson, blancodelprim arquitectura ecopasiva  
**Alberto Ortiz de Elgea Olasolo**, Responsable de Innovación y Sostenibilidad, Visesa-Gobierno Vasco

**Resumen:** ¿Qué relación existe entre un puente térmico y las condiciones ambientales de un espacio interior? En la presente comunicación se pretende demostrar que existe una relación directa entre ambos fenómenos, y cómo es vital en las rehabilitaciones energéticas analizar los puentes térmicos vinculados a las condiciones ambientales existentes, con más hincapié si cabe en las grandes operaciones de rehabilitación y regeneración urbana. El riesgo de condensación que puede tener un puente térmico debe entenderse siempre en el contexto de las condiciones ambientales interiores de la vivienda a la que afecta, ya que éstas incidirán decisivamente en la aparición final de la patología. El estudio toma como punto de partida el análisis de los proyectos de rehabilitación energética enmarcados dentro del proyecto europeo SmartEnCity Coronación, pero tiene como objetivo ser también un documento de referencia sobre los riesgos de condensación en puentes térmicos para futuras intervenciones.

**Palabras clave:** Puente Térmico, Rehabilitación Energética, Condiciones Ambientales Interiores, SmartEnCity Coronación.

## INTRODUCCIÓN

Al proyectar y ejecutar una rehabilitación energética, es vital atender a la correcta resolución de los puentes térmicos que se puedan crear por discontinuidad de la envolvente térmica, de cara a no crear superficies descompensadas térmicamente que generen nuevos riesgos de condensación. Pero lo cierto es que existe una dificultad inherente en rehabilitación para solucionar encuentros constructivos de manera óptima, y por ello este estudio se considera necesario de cara a analizar y optimizar tipologías de puentes térmicos habituales en los proyectos de rehabilitación. Como valor añadido, el estudio pretende evaluar el potencial riesgo de condensación de aquellos puentes térmicos que constructiva y/o económicamente no sea viable optimizar y por tanto, sean susceptibles de generar patologías.

El riesgo de condensación que puede tener un puente térmico debe entenderse siempre en el contexto de las condiciones ambientales interiores de la vivienda donde ocurre, ya que éstas incidirán decisivamente en la aparición final de la patología. Es por ello que en el presente estudio se incluye una relación de ambientes interiores “amplificadores” del riesgo de patología, ya que una humedad ambiental interior excesiva bajo unas determinadas condiciones de temperatura, puede generar que puentes térmicos que no se consideraban de excesivo riesgo, terminen finalmente condensando.

## DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

El “Estudio de puentes térmicos y patologías asociadas en procesos de rehabilitación energética de viviendas” es el resultado del encargo que Vivienda y Suelo de Euskadi S.A. (en adelante Visesa), sociedad pública del Gobierno Vasco, hace con el objeto de analizar los riesgos de patologías por humedades de condensación asociados a los procesos de rehabilitación energética de viviendas.

En el momento del encargo y redacción de este estudio, el barrio de Coronación de Vitoria-Gasteiz está siendo objeto de una rehabilitación energética a escala de barrio dentro del proyecto europeo SmartEnCity Coronación y, como consecuencia, además de otras mejoras, se prevén intervenciones mediante sistemas de aislamiento térmico exterior. El presente estudio toma como punto de partida el análisis de los proyectos de rehabilitación energética del proyecto mencionado, pero tiene como objetivo ser también un documento de referencia para la consulta de los riesgos de condensación en puentes térmicos para futuras intervenciones de rehabilitación que gestione Visesa.

## METODOLOGÍA

Se propone como inicio del trabajo el estudio de puentes térmicos y su influencia en el riesgo de condensación. Sin embargo, la propia evolución del estudio ha añadido fases posteriores de análisis de la influencia de las condiciones interiores en el riesgo de condensación, que se han presentado como necesarias para completar el análisis, haciéndolo más práctico y aplicable. Para el cálculo de los puentes térmicos en condiciones de peligro de condensación, se ha

utilizado el software de cálculo específico Flixo Energy, desarrollado por Infomind gmbh en aplicación de las normativas EN ISO 10077-2 y EN ISO 10211.

### **1ª fase: Análisis de los proyectos licitados**

Este trabajo se inicia mediante el análisis de los proyectos licitados en el marco del proyecto europeo SmartEnCity Coronación, donde el objetivo es obtener información de los posibles puentes térmicos que surgen a la hora de definir la actuación de rehabilitación.

### **2ª fase: Identificación de elementos críticos**

De cada proyecto analizado, se identifican aquellos encuentros constructivos susceptibles de ser considerados puente térmico con riesgo de patologías por condensación, basando la identificación en la discontinuidad de aislamiento que se aprecia en los detalles constructivos, tanto la ausencia de aislamiento puntual como las variaciones en espesores y disposición de dicha capa aislante, así como aquellos detalles constructivos cuya definición proyectual presenta altos grados de difícil ejecución o probabilidades de que, debido a esa difícil ejecución, varíen sustancialmente en obra tanto la prescripción de aislamientos como su disposición constructiva.

### **3ª fase: Agrupación por tipologías**

Buscando identificar distintas tipologías de puentes térmicos, se clasifican según el elemento y/o detalle constructivo al que pertenecen, de manera que pueda crearse una suerte de “catálogo tipológico de puentes térmicos”, donde se agrupen en función de su disposición constructiva, elementos interceptados y/o tipo de disminución o ausencia de aislamiento, tal y como queda reflejado en el apartado 4 de este estudio.

### **4ª fase: Análisis de diferentes condiciones de contorno para puentes térmicos en escenarios variables.**

Una vez obtenida una clasificación por tipologías de puentes térmicos, y habiendo hecho una comparativa entre los diferentes comportamientos higrótérmicos de los puentes térmicos analizados, surge esta fase de análisis de condiciones de contorno para aquellos puentes térmicos con condiciones ambientales interiores muy variables.

### **5ª fase: Pautas para la detección de puentes térmicos peligrosos y propuestas para la subsanación o mitigación del riesgo de condensación.**

Como base para la revisión y control de los proyectos de las siguientes fases de licitación, así como futuras actuaciones de rehabilitación, se definen criterios para la detección de puentes térmicos problemáticos y se estudian una serie de mejoras que pueden tomarse como referencia para la subsanación o mitigación de posibles patologías en los encuentros constructivos conflictivos considerados puentes térmicos.

### **6ª fase: Identificación de condiciones de ambiente interior que pueden agravar los riesgos de condensación**

En esta fase se analizan las condiciones de ambiente interior en las cuales las temperaturas superficiales aparentemente fuera de riesgo teórico de condensación se ven influenciadas por la variación de dichas condiciones.

## **RESULTADOS Y DATOS OBTENIDOS**

En total se recogen 74 casos de puentes térmicos extraídos de los proyectos de rehabilitación analizados. Con su compilación se pretende crear una base documental de referencia y de consulta para el análisis de puentes térmicos de similares características que pudieran surgir en futuros proyectos de rehabilitación a estudiar. Una vez analizados y categorizados, se propone la siguiente clasificación por elementos constructivos de similar casuística:

- Encuentros entre edificios colindantes
- Encuentros en cubiertas, aleros y/o terrazas
- Interrupciones de aislamiento en fachada: cornisas, balcones y/o salientes
- Interrupción de aislamiento entre planta primera residencial y planta baja terciario
- Encuentro fachada con forjado de patio
- Encuentros en carpinterías
- Instalaciones
- Puentes térmicos puntuales

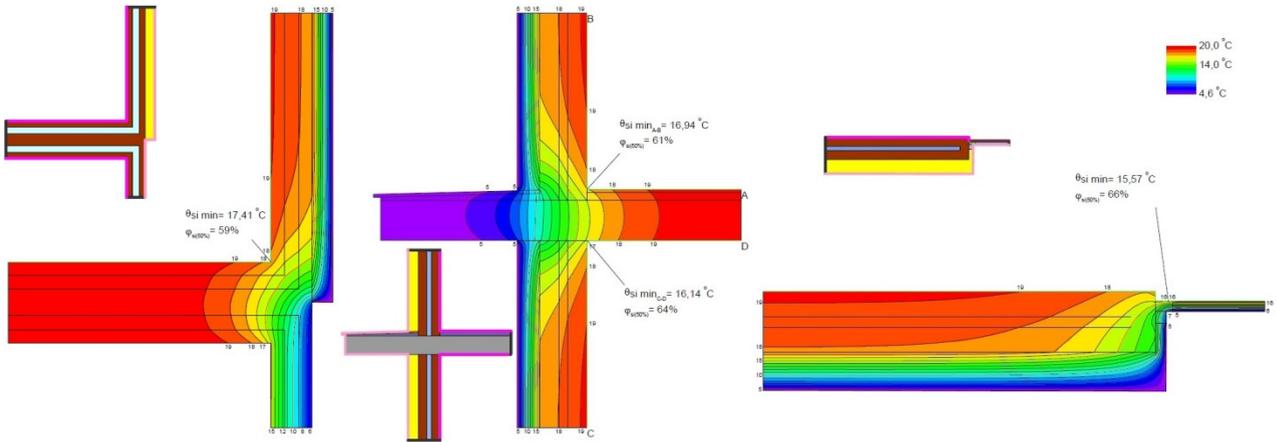


Figura 1. Ejemplo de simulaciones de puentes térmicos: Encuentros entre edificios colindantes; Interrupciones de aislamiento en fachada: cornisas, balcones y/o salientes; Encuentros en carpinterías.

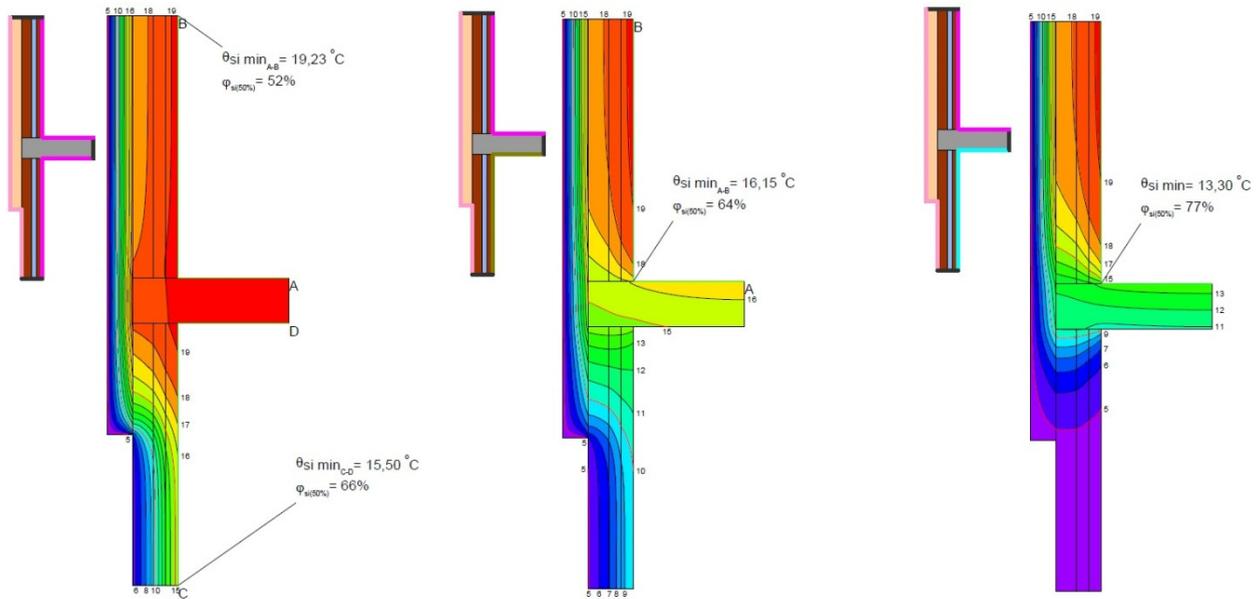


Figura 2. Ejemplo de simulaciones de puentes térmicos: Interrupción de aislamiento entre planta primera residencial y planta baja terciario en diferentes condiciones de contorno (diferentes simulaciones con temperatura ambiente interior en local terciario de 20°C, 12°C y 4,6°C).

**Resumen de temperaturas superficiales de los puentes térmicos contenidos en el catálogo del estudio**

Las temperaturas superficiales son una fuente de información importante para detectar, a través de los métodos de cálculo situaciones de riesgo de formación de moho y de condensación. La tabla resumen, además de reflejar los resultados de las temperaturas superficiales obtenidas en la simulación, indica también información relevante a la hora de analizar el riesgo de formación de patologías en un puente térmico: las condiciones ambientales a las que ha sido simulado. Cada grupo de puentes térmicos ha sido simulado para unas temperaturas de 20°C interiores y 4,6°C exteriores (según condiciones del Código Técnico de Edificación). Sin embargo, algunos de ellos, por sus condiciones de contorno más complejas (con tres condiciones) y/o de casuística variada (contacto con locales comerciales, bajocubiertas, etc.), han sido calculados también en otras condiciones de ambiente interior u otras condiciones de contorno.

Cuando las condiciones ambientales del espacio y/o los espacios que rodean el puente térmico varían, se observa claramente cómo las temperaturas superficiales cambian en consonancia y por tanto también cambia el riesgo de formación de moho. Esta afirmación sirve para poner el foco de atención en la evaluación de las condiciones ambientales o de contorno de los espacios donde se encuentran los puentes térmicos, así como de los espacios que lindan con los puentes térmicos. Por esta razón, los puentes térmicos con temperaturas superficiales más preocupantes se aglutinan en aquellos puentes térmicos que lindan con espacios que pueden no estar calefactados como los bajocubiertas y los locales comerciales.

Para permitir un manejo intuitivo de la tabla a la hora de consultar y analizar el riesgo de formación de mohos, en esta tabla se han marcado con símbolos de exclamación aquellas temperaturas superficiales que, a 55% de humedad ambiental interior, están cerca de riesgo de formación de moho (!) o en riesgo de formación de moho (!!).

Encuentros entre edificios colindantes (apartado 4.1):				
20°C interior vivienda; 20°C interior colindante; 4,6°C exterior				
17,41	17,99	18,69	17,64	18,68
Encuentros en cubiertas, aleros y/o terrazas (apartado 4.2):				
20°C int. vivienda 4,6°C exterior	12°C int. bajocubierta 4,6°C exterior	20°C int. vivienda 20°C int. bajocubierta; 4,6°C exterior	20°C interior vivienda; 12°C int. bajocubierta; 4,6°C exterior	20°C interior vivienda; 4,6°C int. bajocubierta; 4,6°C exterior
13,74 !!				
14,65 !				
15,22				
15,3				
13,8 !!	9,02			
16,01	10,08			
16,57	10,35			
17,12	10,61			
16,6	10,37			
		17,58	14,86 !	
		18,02	14,76 !	11,74 !!
		18,7	15,85	13,22 !!
		17,73	15,01	12,49 !!
Interrupciones de aislamiento en fachada: cornisas, balcones y/o salientes (apart. 4.3):				
20°C interior vivienda inferior; 20°C interior vivienda superior; 4,6°C exterior				
16,14	14,70 !	16,50	18,70	17,84
17,28	15,70			
Interrupción de aislamiento entre planta primera residencial y planta baja de uso terciario (apartado 4.4):				
20°C int. vivienda 20°C int.terciario		20°C interior vivienda; 12°C int.local terciario		20°C interior vivienda; 4,6°C int. local terciario
17,82		15,67		
19,23		16,15		13,30 !!
15,26		13,84 !!		12,39 !!
Encuentro fachada con forjado patio (apartado 4.5):				
20°C int. vivienda 20°C int.terciario		20°C interior vivienda; 12°C int.local terciario		20°C interior vivienda; 4,6°C int.local terciario
16,93		14,83 !		12,51 !!
16,92		14,81 !		12,52 !!
19,30		16,29		13,12 !!
Encuentros de carpinterías con fachadas (apartado 4.6):				
20°C interior vivienda; 4,6°C exterior				
15,57	15,14	15,38	17,27	13,54 !!
17,33	15,24	8,75 !!	16,10	13,71 !!
14,86 !	15,15	17,40	15,81	16,22
15,07	15,37			
Instalaciones que interrumpen aislamiento (apartado 4.7):				
20°C interior vivienda; 4,6°C exterior				
19,03	15,93	18,54		

Tabla I. Cuadro resumen de temperaturas superficiales de los puentes térmicos contenidos en este estudio y escala de color para riesgo de formación de moho en condiciones ambientales de 55% humedad relativa

## DISCUSIÓN

Exigir a un cerramiento una temperatura superficial mínima a través de la calidad térmica de sus cerramientos y ausencia de puentes térmicos es lo recomendable. Sin embargo, de los proyectos analizados para la elaboración del presente estudio se desprende que los puentes térmicos se han mejorado hasta lo constructivamente y económicamente viable y que, por tanto, ya no se puede hacer nada más por mejorar las temperaturas superficiales que presentan algunos de los detalles constructivos calculados, encontrándose riesgos potenciales a pesar de las medidas tomadas por los proyectistas.

Una vez agotada esa vía de actuación, en lo que se puede incidir, es en el estudio de las condiciones higrotérmicas ambientales interiores que pueden hacer que esos puentes térmicos no totalmente mejorados alcancen o no alcancen condiciones de riesgo de moho y/o condensación. Como se ha venido introduciendo en los apartados anteriores, el hecho de que el riesgo de formación de moho dependa en gran medida de las condiciones higrotérmicas interiores, es uno de los aspectos fundamentales desarrollados en el presente estudio.

Tal y como se ha expuesto, los cálculos del CTE se realizan para condiciones interiores de 20°C y 55% de humedad relativa. Sin embargo, a menudo estos no son valores representativos de las condiciones ambientales interiores reales de las viviendas existentes.

Tal como se indica en los comentarios del DA DB HE/2:

Debe cuidarse el uso de datos de temperatura y humedad relativa interior que se correspondan adecuadamente con las condiciones existentes ya que en caso contrario los cálculos pueden dar lugar a resultados incorrectos. Por ejemplo, para una vivienda en zona marítima la humedad relativa interior puede ser muy superior al 55% indicado y producirse condensaciones con gran facilidad que no se detectarían de usar el valor por defecto.

Figura 3. Comentario en el Documento de Apoyo al Documento Básico de Ahorro de Energía HE (DA DB HE/2).

Ante esta circunstancia, el estudio deja de manifiesto la necesidad de análisis de la influencia de la variación de las temperaturas ambientales interiores, y su influencia en el riesgo de formación de moho y condensación. Por esta razón, en el estudio se ha incluido un “Check list para la comprobación de encuentros constructivos susceptibles de crear puente térmico” donde se han incluido tablas para evaluar estas temperaturas superficiales con otras condiciones de humedad ambiental interior, en concreto, para hallar la temperatura de riesgo de moho para humedades de 50%, 62%, 70% y 80%.

Tª ext. media	Tª int. ambiental θint (°C)	% humedad relativa interior H%	Tª superficial de rocío θSI (°C) (condensación superf., φsi100%)	Tª superf. θSI (°C) de riesgo de moho (φsi80%)
4,6	20	80%	16,4	20,0
4,6	20	70%	14,4	17,9
4,6	20	62%	12,5	15,9
4,6	20	55%	10,7	14,1
4,6	20	50%	9,3	12,6
4,6	18	80%	14,5	18,0
4,6	18	70%	12,5	15,9
4,6	18	62%	10,6	14,0
4,6	18	55%	8,8	12,2
4,6	18	50%	7,4	10,7
4,6	16	80%	12,6	16,0
4,6	16	70%	10,5	13,9
4,6	16	62%	8,7	12,1
4,6	16	55%	7,0	10,3
4,6	16	50%	5,6	8,8

Tabla II. Ejemplo resumido de tabla de evaluación de temperaturas superficiales con diferentes condiciones ambientales interiores.

## CONCLUSIONES

El estudio recoge una serie de casos en los que se pone de manifiesto que en rehabilitación energética se producen una gran variedad de Puentes Térmicos que pueden no ser correctamente solucionados y que su comportamiento y riesgo de formación de moho es muy variable. Por ejemplo, se puede concluir que determinadas discontinuidades o diferencias de espesor en el aislamiento térmico, producen menos riesgo de formación de moho del esperado. Sin embargo, que exista bajo riesgo de formación de moho, no quiere decir que deba considerarse el encuentro constructivo como “libre de Puente térmico”, sino que debe distinguirse muy bien entre el bajo riesgo de condensación de un Puente Térmico y su influencia en las pérdidas energéticas. A modo de ejemplo, es ilustrativo cómo los puentes térmicos de balcones que se han calculado en este estudio, no dan aparentes problemas de riesgo de condensación o moho para el clima estudiado y sin embargo, energéticamente sí suponen grandes pérdidas energéticas y afectan sin duda al balance energético del edificio.

También se puede concluir que es factible hacer una clasificación del riesgo de formación de moho atendiendo al tipo de encuentro constructivo que se examina. Esta afirmación se basa en la observación de cómo las diferencias de espesor a priori no crean grandes problemas en los aleros siempre que haya una continuidad del aislamiento. O en cómo las bajocubiertas que se han calculado en condiciones ambientales iguales al exterior generan riesgo de formación de moho en las viviendas inferiores en prácticamente todos los casos estudiados.

Sin embargo, adquiere mayor relevancia remarcar la influencia sobre el potencial riesgo de condensaciones las condiciones del ambiente interior de la vivienda por el uso concreto y habitual de las estancias, así como la calidad de la ventilación del aire interior. Es habitual considerar que un alto grado de humedad en el interior de una vivienda tiene como único responsable a su usuario, pero esta situación debe estudiarse con mayor detenimiento, ya que el origen de la problemática puede hallarse en deficiencias de ventilación de la edificación, donde el usuario no esté directamente implicado. Por ello, el uso de la monitorización de viviendas o espacios existentes es una base fundamental que permitirá realizar un seguimiento adecuado del comportamiento higrotérmico de los espacios habitables, así como un análisis pormenorizado del funcionamiento del edificio y su influencia en el riesgo de aparición de patologías de condensación asociadas a los puentes térmicos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a Visesa la sensibilidad hacia esta problemática y el impulso para su análisis más profundo mediante el encargo del estudio mencionado en esta comunicación. En especial, quieren agradecer su dedicación, entrega y colaboración en la coordinación y aportación al estudio a los responsables de Visesa involucrados en el Proyecto Europeo SmartEnCity Coronación (financiado por la Comisión Europea a través de su programa H2020 de I+D+i).

## REFERENCIAS

- Documento Básico HE. Ahorro de energía con comentarios de Ministerio de Fomento. Versiones Marzo 2016 y 20 diciembre 2019.
- DA DB-HE / 2 Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos. Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía. Código Técnico de la Edificación
- DA DB-HE / 3 Puentes térmicos. Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía. Código Técnico de la Edificación.
- UNE-EN ISO 10211:2012 Puentes térmicos en la edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Cálculos detallados. (ISO 10211:2007)
- UNE-EN ISO 13788:2016 Características higrotérmicas de los elementos y componentes de edificación. Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial. Métodos de cálculo. (ISO 13788:2012).
- UNE-EN ISO 13789:2017 (RATIFICADA) Prestaciones térmicas de los edificios. Coeficientes de transferencia de calor por transmisión y ventilación. Método de cálculo. (ISO 13789:2017). (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en diciembre de 2017.)

## CONSUMO ENÉRGICO Y CALIDAD DEL AIRE ¿SON COMPATIBLES?

**Andrés López Sánchez**, Ingeniero mecánico, Responsable oficina técnica, Aldes Ventilación

**Álvaro Sancho Gómez-Zurdo**, Arquitecto técnico, Jefe de obra, Altius

**Eduardo Guillén Pérez**, Arquitecto técnico

**Resumen:** Una de las premisas de la nueva normativa es limitar el consumo energético, uno de los elementos que contribuye en mayor medida es la ventilación mecánica de doble flujo con recuperación de calor, esto permite, no solo mejorar la eficiencia de las viviendas reduciendo los consumos y mejorar la calidad del aire en el interior de las viviendas teniendo repercusión directa en la salud de los inquilinos, sino también garantizar la calidad del aire interior, minimizando los contaminantes mediante el uso de filtros con base en la norma ISO 16.890. En esta comunicación se pretende dar a conocer dicha normativa, que eleva la exigencia de filtrado, haciendo especial hincapié en los contaminantes presentes en viviendas y que afectan en mayor medida a los usuarios según la OMS, así como familiarizar a los profesionales con las nomenclaturas indicadas en esta norma.

**Palabras clave:** Ventilación, filtrado, calidad del aire, normativa, eficiencia energética, ahorro energético.

### SITUACIÓN ACTUAL

Debido al ritmo de vida actual las personas permanecen entorno al 90% del tiempo en el interior de los edificios, tiempo que se ha visto incrementado por la crisis sanitaria provocada por el COVID-19, poniendo de manifiesto y encima de la mesa la falta de calidad del aire interior en la mayoría de las viviendas.

A comienzos de la década de los años 80, la Organización Mundial de la Salud ya definió el Síndrome del Edificio Enfermo como un conjunto de afecciones de la salud desarrolladas por los usuarios, originadas o agravadas por la contaminación del aire existente en el propio edificio.

Proyectar los edificios bajo criterios de edificios de consumo casi nulo, provoca una mejora del confort y aumenta la calidad del aire interior gracias a la instalación de un equipo de recuperación de calor, que asegura una ventilación continua y controlada. La capacidad de filtrado de estos sistemas y la estanqueidad de la envolvente provocan beneficios térmicos e higiénicos.



Figura 1. Situación actual.

### NORMATIVA ISO 16.890 Y RELACIÓN CON EN-779

La OMS define la materia particulada (PM) como una compleja mezcla de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire, cuyos principales componentes son los sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro de sodio, el hollín, los polvos minerales y el agua. Las PM son el indicador más representativo de la contaminación del aire que afecta a más personas que cualquier otro contaminante.

La Organización Internacional de Normalización (ISO) ha creado el nuevo estándar ISO 16890: "Filtros de Aire utilizados en ventilación general", el cual establece un sistema de clasificación de eficiencia de filtros de aire para ventilación general, basado en las partículas de suspensión (PM) para armonizar el procedimiento de prueba y clasificación de filtros para el aire en sistemas de ventilación, que se caracteriza por requerir ensayos más severos y adaptados a la realidad.

Han sido dos los principales cambios, por una parte, la norma EN779 se enfocaba en partículas finas de 0,4  $\mu\text{m}$ , mientras que la norma ISO amplía esa caracterización a partículas de 0,3  $\mu\text{m}$  - 10  $\mu\text{m}$ , orientando el estándar hacia aquellas que más afectan a la salud. El segundo cambio importante fue el método de ensayo, anteriormente se ensayaban los filtros únicamente en condiciones ideales con carga de iones positivos, permitiendo obtener valores de rendimiento máximo. Ahora este resultado se debe promediar con un ensayo en condiciones de trabajo reales, lo que permite obtener un valor más cercano a la verdadera eficiencia de los filtros y a su vez aumentar el nivel de exigencia en cuanto a retención de estos contaminantes.

La norma ISO 16.890 proviene de la necesidad de realizar una armonización de las diferentes normativas internacionales (ASHRAE 52.2, UNE 779, etc.) con las que se estaba trabajando en el sector, entrando en vigor en 2018 establece la clasificación en 4 categorías según el tamaño de partículas: PM1 (0,3µm – 1µm), PM2.5 (0,3µm – 2,5µm), PM10 (0,3µm – 10µm) y COARSE (partículas gruesas tales como polvo). Estos cambios han significado que no exista una correspondencia exacta entre la antigua EN779 y la nueva ISO16890, sin embargo, se pueden establecer similitudes con los antiguos FX, MX y GX.

ISO ePM1		ISO ePM2,5		ISO ePM10		ISO COARSE	
ePM1 95%	F9	ePM2,5 95%	F7	ePM10 95%	M6	Coarse 95%	G4
ePM1 90%		ePM2,5 90%		ePM10 90%		Coarse 90%	
ePM1 85%		ePM2,5 85%		ePM10 85%		Coarse 85%	
ePM1 80%		ePM2,5 80%		ePM10 80%		Coarse 80%	
ePM1 75%	F8	ePM2,5 75%	F7	ePM10 75%	M6	Coarse 75%	G4
ePM1 70%		ePM2,5 70%		ePM10 70%		Coarse 70%	
ePM1 65%	F7	ePM2,5 65%	M6	ePM10 65%	M5	Coarse 65%	G3
ePM1 60%		ePM2,5 60%		ePM10 60%		Coarse 60%	
ePM1 55%		ePM2,5 55%		ePM10 55%		Coarse 55%	
ePM1 50%		ePM2,5 50%		ePM10 50%		Coarse 50%	

Tabla 1. Equivalencia filtros entre ISO 16.890 / EN-779.

## VIVIENDA EECN, VENTILACIÓN Y CALIDAD DEL AIRE

Cuando se proyecta una vivienda, uno de los puntos que hay que prestar especial atención desde el comienzo del proyecto es la instalación de ventilación, decidir el equipo, la ubicación, sistema a utilizar, el pre dimensionado de la instalación, etc. Realizar una correcta instalación teniendo en cuenta todos los criterios es crucial para un correcto funcionamiento y poder realizar las operaciones de mantenimiento del equipo. El estándar ya recoge un protocolo de actividades y comprobaciones para su puesta en funcionamiento y posterior control.

En cuanto a calidad del aire interior, como norma general los filtros más utilizados son, uno de categoría F7 para el aire que proviene del exterior y para la extracción uno de categoría G4, como se indica en el punto anterior, esta nomenclatura a la que hace referencia está basada en la norma EN779, en la tabla 1 se puede ver su equivalencia respecto a la ISO16.890.

Hay que tener en cuenta algunos criterios en el filtrado de aire cuando se proyecta el edificio, los filtros de ventilación de aire son elementos que tienen una vida útil de unas  $\pm$  4000 - 6000 h de funcionamiento (unos 6 - 9 meses) dependiendo de la ubicación, por lo tanto, es necesario dejar un espacio accesible para su sustitución.

Es posible utilizar filtros para partículas más pequeñas, bien porque se quiera una mayor calidad de aire en las estancias o porque alguno de los usuarios de la vivienda tiene alguna afección en las vías respiratorias. En caso de aumentar la capacidad de filtrado del aire exterior se debe tener en cuenta en la fase de diseño, ya que se aumentarán las pérdidas de carga del circuito.

## CONTAMINANTES PRESENTES EN EL AIRE

Actualmente la sociedad está cada vez más concienciada del impacto que tiene en nuestra salud la contaminación del aire exterior, tanto es así que las propias AAPP van implantando medidas para reducirla, como promover el transporte público, el uso de bicicletas, patinetes, etc. e incluso subvenciones a la compra de vehículos eléctricos, el problema radica en pensar que los contaminantes se encuentran únicamente en el exterior. La propia actividad en viviendas, oficinas, escuelas, etc., la presencia de personas, el mobiliario que contienen junto con otros factores, hace que se vayan emitiendo diferentes contaminantes, llegándose a alcanzar grandes concentraciones debido, generalmente, a una renovación de aire insuficiente, lo que hace que con el paso de las horas estos contaminantes se vayan incrementando. Está demostrado que se puede llegar a tener un aire interior hasta 8 veces más contaminado que el exterior.

## Contaminantes exteriores y sus consecuencias

Son varios los contaminantes que están presentes en el aire exterior, uno de ellos es el ozono, este gas se crea cuando en ambientes cálidos la luz solar desencadena una reacción química entre el oxígeno y determinados contaminantes procedentes de automóviles, fábricas... Tal como apunta el NIH (National Institutes of Health) de EEUU, concentraciones muy altas de ozono pueden derivar en irritaciones del revestimiento de las vías respiratorias, lo que puede provocar síntomas como falta de aire, opresión en el pecho y terminar derivando en enfermedades como asma y bronquitis.

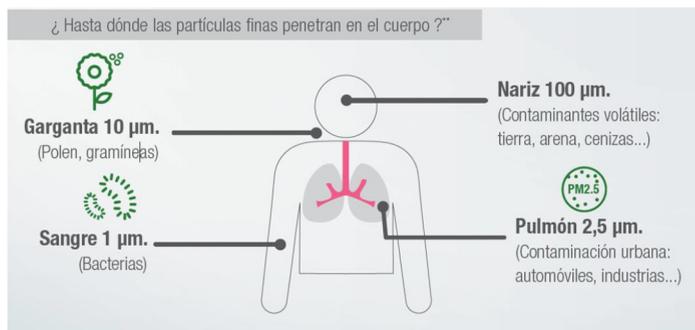


Figura 2. Relación entre el tamaño de las partículas y su penetración en el organismo

Otro contaminante que no se debe perder de vista son las partículas, estas provienen de la quema de combustibles ya sea de automóviles, fábricas, plantas de energía o incendios forestales y se clasifican según norma ISO16.890. Este contaminante genera síntomas como tos, respiración sibilante, flemas y pueden acabar desarrollando enfermedades como enfisema, bronquitis e incluso neumonía. Como puede apreciarse en la figura 1 las partículas con tamaños inferiores a 1 µm pueden acabar produciendo efectos cardiovasculares como enfermedad de las arterias coronarias, ritmos cardiacos anormales o insuficiencia cardiaca congestiva.

## Contaminantes interiores y sus consecuencias

Los contaminantes más presentes en los edificios son las partículas, las cuales en espacios interiores provienen del uso de insecticidas, el humo del tabaco, el cocinado... la fuente de producción de las PM en interiores y exteriores puede ser diferente, pero sus consecuencias en la salud son las mismas que se han descrito anteriormente.

El CO<sub>2</sub> es un contaminante que con una insuficiente ventilación se incrementa exponencialmente, y más rápido a mayor ocupación y menor volumen de la estancia, ya que se genera por la propia respiración humana. Concentraciones muy altas de CO<sub>2</sub> pueden acabar generando síntomas como cansancio, dolores de cabeza y falta de sueño.

Estos dos contaminantes comentados son los que podemos encontrar en mayor proporción, pero hay otros contaminantes como los compuestos orgánicos volátiles (VOC) generados por perfumes, velas perfumadas y productos de limpieza, que en altas concentraciones pueden generar síntomas como irritaciones, disminución de la capacidad respiratoria e incluso a largo plazo puede tener efectos cancerígenos.

Otro contaminante que hasta ahora no se había tomado en consideración en la normativa y que se ha demostrado que es la segunda causa de cáncer de pulmón es el gas Radón, los niveles de este gas en espacios interiores dependen principalmente de las características geológicas del terreno sobre el que se encuentre la edificación (niveles de uranio presentes y porosidad del suelo) pero también se genera de los propios materiales de la construcción (granito, piedra pómez, pizarra de alumbre), el incremento de los niveles de este gas está íntimamente relacionado con el grado de ventilación del edificio.

## RELACIÓN ENTRE EL CONSUMO DE ENERGÍA Y LA CALIDAD DEL AIRE

Para determinar la relación existente entre el consumo de energía y la calidad del aire se compara el caso de la instalación de un equipo de doble flujo con recuperador de calor en la misma vivienda simulando el equipo con dos opciones diferentes de filtrado un ePM1 55 y un ePM1 85 ya que en función del filtro seleccionado se deberá considerar la pérdida de carga para ver cómo afecta al aumento de energía necesaria en el motor del equipo, un filtro de mayor opacidad, tendrá un aumento mínimo de consumo, necesario para vencer las pérdidas de carga.

Para empezar a dimensionar se deben conocer las características de la vivienda, el tipo y las longitudes de la instalación, para conocer las pérdidas de carga total del circuito. En el ejemplo se ha tomado una vivienda de alrededor de 90 m<sup>2</sup>, con una ocupación de 4 personas y con tres cuartos húmedos cocina, baño (con bañera) y un aseo (plato de ducha).

Se ha establecido un caudal necesario de ventilación de 100 m<sup>3</sup>/h por las cualidades de la vivienda se requiere un equipo que se posible su instalación en un falso techo por lo tanto se selecciona un equipo que cumpla con las condiciones proyectadas.

En la figura 3 se observa el consumo eléctrico del mismo equipo con dos filtros de distinta clasificación a diferentes caudales.

W (Filtro partículas finas) por Caudal (m<sup>3</sup>/h) y Modelo/ ISO 16.890

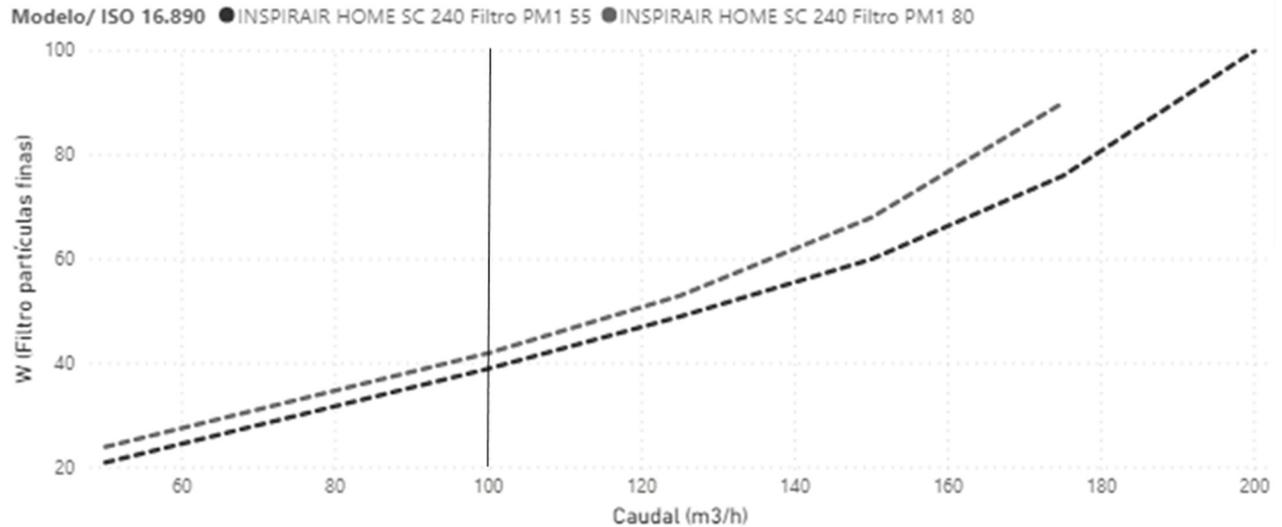


Figura 3. Relación entre el caudal (m<sup>3</sup>/h) del equipo y el aumento de energía debido al filtro seleccionado (W). Datos extraídos del Software Aldes Selector PowAIR/ V4.5.0.3

Con los datos de funcionamiento proporcionados por el fabricante, se establece un precio medio para la energía y se repercute el coste de los filtros para realizar el mantenimiento del equipo el coste anual de la instalación solo aumenta un 9.36%, con el cambio de filtro propuesto se ha incrementado un 45% la eficiencia de filtrado en las partículas de ePM1.

Tipo de filtro según ISO 16.890	Precio energía €/kWh	Coste energía eléctrica anual (€)	Δ Anual energía eléctrica %	Cambio filtro admisión (€)	Cambio filtro extracción (€)	Mantenimiento anual [1 cambio de filtros] (€)	Coste instalación anual (€)	Δ Anual Coste Mantenimiento + electricidad %
ePM1 55%	0.14	47.83		69.40	41.70	111.10	158.93	
ePM1 80 %		51.51	7.69	80.60	41.70	122.30	173.81	9.36

Tabla II. Datos comparativos de consumo entre los filtros ePM1 55% y ePM1. 80%.

## CONCLUSIONES

Actualmente se pasa el 90 % del tiempo en lugares cerrados donde el aire esta hasta ocho veces más contaminado que en exterior, pero los técnicos, el sector de la construcción y en general la sociedad, está tomando conciencia de importancia de la calidad del aire en el interior de los edificios y de los problemas que vienen derivados por una calidad de aire insuficiente, como puede comprobarse en el auge en los últimos años de certificaciones como Passivhaus o Well preocupándose de la salud de los inquilinos.

La redacción de la nueva normativa ISO 16.890 es una actualización de la normativa existente suponiendo además una armonización global de todas las normativas existentes con anterioridad (ASHRAE 52.2, EN-779, etc.). Según la actual normativa los filtros quedan clasificados según la capacidad de retención de las partículas en función del tamaño de estas, por lo tanto, la influencia del filtro en cada uno de los contaminantes depende del tamaño que tienen.

<b>ePM1 ≤1 μm</b>	<b>ePM2,5 ≤2,5 μm</b>	<b>ePM10 ≤10 μm</b>	<b>Grossier &gt;1 μm</b>
Virus	Bacterias	Polen	Arena
Nanopartículas	Hongos	Polvo del desierto	Pelo

Tabla III. Tipos de filtro.

La nueva normativa establece nuevas pruebas de laboratorio acercando las pruebas realizadas a las condiciones reales de trabajo a las que se verán sometidos los filtros durante su vida útil realizando los ensayos con varios tamaños de partículas de 0,3 a 10  $\mu\text{m}$ , en la anterior normativa solo se ensayaban partículas uniformes de 0,4  $\mu\text{m}$ . Una vez realizados los ensayos de laboratorio los filtros quedan clasificados según su capacidad de capturar las partículas de los distintos espesores redondeándose al 5% más cercano. Se puede mejorar la calidad del aire interior instalando una categoría superior, teniendo en cuenta que al ser un filtro con un mayor nivel de “opacidad” al paso de aire provoca una mayor pérdida de carga produciendo un aumento del consumo de energía.

El aumento de coste económico depende del equipo utilizado, el régimen de potencia al que trabaja el motor debido al caudal que debe impulsar y al tipo de filtro seleccionado, por lo que el porcentaje de aumento puede variar de un 9% hasta un 20% no siendo cantidades económicas elevadas.

El sistema de ventilación con recuperador de calor es fundamental en las viviendas proyectadas bajo criterios de un edificio de consumo casi nulo éste es un elemento necesario para garantizar y controlar una ventilación continua en todas las estancias, permitiendo reducir la humedad y controlar los niveles de CO<sub>2</sub>, además de generar un impacto en el ahorro energético.

## REFERENCIAS

- [1] United States Environmental Protection Agency (EPA) EPA-452/F-05-001
- [2] Institutos Nacionales de la Salud (NIH), 2018, 9000 Rockville Pike, Bethesda, Maryland 20892
- [3] Software Aldes Selector PowAIR - Versión 4.5.0.3.

# APORTACIONES CONSTRUCTIVAS PARA UNA HABITABILIDAD, BIENESTAR Y CONFORT “DESCARBONIZADOS”, SOSTENIBLES, EFICIENTES E INTEGRALES DE LOS EDIFICIOS

Carlos Castro Martín, Arquitecto, Responsable Técnico, DANOSA

**Resumen:** Se contraponen las dos eficiencias energéticas principales para la descarbonización: la de la envolvente térmica del edificio, y la de las máquinas incorporadas a él. En DANOSA se aprecia la sostenibilidad referida no sólo al aspecto medioambiental, sino al social y al económico. Esto significa poner al alcance de todos edificios y viviendas que procuren bienestar y calidad de vida. Es lo que buscamos “visibilizar” al hablar de un “confort invisible”. Más allá de las “eficiencias” energéticas para la descarbonización, es la habitabilidad integral del edificio el “efecto” o fin principal, como se mostrará mediante ejemplos de soluciones para el bienestar térmico, la protección ante el ruido o la salubridad y estanquidad.

**Palabras clave:** Descarbonización, eficiencia energética, ahorro energético, sostenibilidad, ACV, economía circular, reciclado, calidad de vida, confort invisible, habitabilidad, soluciones constructivas.

El VII Congreso de EECN (Edificios de Energía Casi Nula) se aborda bajo el lema “*La descarbonización de la edificación, una palanca para reactivar el sector: obra nueva y rehabilitación*”.

Desde DANOSA pensamos que la descarbonización es un medio para perseguir el fin de la buena calidad de la construcción y, sobre todo, la calidad de vida de los usuarios de los edificios, dentro de una meta “sostenible” de la actividad humana, tanto en su aspecto medioambiental como el social y el económico.

## ANTECEDENTES LEGISLATIVOS

El recorrido hasta ese fin y esa meta, la “hoja de ruta”, pasa obligadamente por dicha descarbonización, de cara al cumplimiento de los objetivos globales, definidos en las sucesivas COP’s (*Conference of the Parties*) organizadas por Naciones Unidas. La más relevante de las COP’s hasta ahora ha sido la 21, de 2015, que llevó al ya famoso “acuerdo de París”, para limitar el aumento de la temperatura superficial media del planeta a 2 °C, con expresa voluntad de no superar 1,5 °C. Su reflejo principal hasta ahora en legislación europea es el Reglamento (UE) 2018/1999 sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y la Acción por el Clima, que, a su vez, encuentra en España reflejo en sucesivos *Planes Nacionales Integrados de Energía y Clima* (PNIEC), empezando por el PNIEC 2021-2030, y en la “Estrategia de descarbonización 2050”. Destaquemos que, precisamente, dos de las directrices principales que se abordan en los PNIEC son la “eficiencia energética” y la propia “descarbonización”.

Además la Comisión Europea dio a conocer a principios de marzo de 2020, justo antes del estallido de la pandemia de coronavirus, el borrador de la llamada Ley Europea del Clima. Tiene el objetivo central de total neutralidad climática (valga por “descarbonización completa”) en 2050 y un paso intermedio en 2030, alcanzando una descarbonización entre el 50 y el 55%. En España, en mayo de 2020, se aprobó el anteproyecto en que se viene trabajando desde la administración central del Estado: la *Ley de Cambio Climático y Transición Energética*. Sus objetivos se “alinean” con mayor o menor fortuna con los europeos (¡el 50-55% en reducción de emisiones de GEI’s pasa a un 23%!). Con la pandemia se quiere vincular a la “reconstrucción social y económica del país”.

Para acabar las referencias legislativas principales, la Directiva (UE)2018/844, de eficiencia energética de los edificios, plantea, mediante rehabilitación energética, la transformación de todo el parque de edificios en EECN y su descarbonización completa en 2050. Esta directiva ya ha sido parcialmente reflejada en la revisión de diciembre de 2019 del CTE DB-HE.

## Eficiencia de los edificios vs. eficiencia de las máquinas en los edificios: las “mochilas tecnológicas” EEN vs. EECN

En el lema del Congreso se señala que el “sector” de la construcción tiene que “reactivarse” y se sugiere que la descarbonización pueda ser la palanca. Esto es así si, previo a “reactivarse”, logra “reorientarse”, asumiendo y comprometiéndose con la hoja de ruta de la descarbonización. Bajo nuestro punto de vista significa ante todo seguir el muy conocido principio de que “*la energía más limpia, es decir, más descarbonizada, es... la que no se consume*”.

Podemos, por ejemplo, ir un paso más allá sobre los “EECN” quitando la “C” del acrónimo: EEN. Pensemos que la “C” = *Casi*, implica todavía el uso de máquinas, equipos e instalaciones con consumo de energía. Eso sí, será energía de fuentes renovables, es decir, energía descarbonizada en origen, pero energía, al fin y al cabo. Seamos conscientes de que, hasta ahora, no se contempla un futuro donde fuentes renovables puedan proporcionar energía tan abundante como la proporcionada por los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural). Es decir, lo más probable es que en unas pocas décadas –o lustros- haya bastante menos energía disponible para cualquier uso y aplicación. Es decir, menos oferta de energía. Y la demanda de energía se tendrá que adaptar. De ahí el énfasis creciente en eficiencia energética. En los edificios la mayor eficiencia se alcanza aprovechando todo lo posible, “pasivamente”, la energía solar directa.

Además, aunque las nuevas máquinas funcionen con energía renovable, con frecuencia se pasa por alto algo tan básico como que habrá habido que fabricarlas. En su fabricación habría que “rastrear” (verbo ahora tan de moda debido a la pandemia) todos sus múltiples componentes para ver si siguen el proceso de descarbonización, por un lado, pero también, medir todo impacto que puedan suponer sobre el planeta, sobre la “biosfera”.

Hay dos aspectos más que suelen pasar desapercibidos:

- Sustituir todas las máquinas basadas en energía no renovable carbonizada por máquinas basadas en energía renovable descarbonizada, llevará a un aumento coyuntural de consumo de recursos, no a su disminución: el salto a otro modelo productivo descarbonizado llevará eventualmente a un pico en el uso de recursos. Se puede dar la paradoja de quitar máquinas para poner máquinas, sin promover otras alternativas, en un caso extremo y generalizado de obsolescencia programada.
- Las máquinas que se incorporan a los edificios tienen siempre un período de vida útil muy inferior al de las propias fábricas, estructuras, productos y materiales que configuran el edificio como construcción. La durabilidad de lo que se hace es clave en cualquier enfoque sostenible sobre la sostenibilidad, valga la redundancia. La durabilidad se complementará, por supuesto con la “circularidad” en el flujo de materiales.

## Medida de los impactos ambientales: ACV y DAP. Reciclado y circularidad de flujo de materiales

Las reflexiones anteriores pueden concretarse, para cualquier material, producto, servicio y actividad, mediante una herramienta científica potente, neutral y precisa que puede cuantificar los posibles impactos: el *Análisis de Ciclo de Vida* (ACV), referido en las *Declaraciones Ambientales de Producto* (DAP).

La experiencia en DANOSA está siendo muy positiva al respecto. Se dispone actualmente con 4 DAP’s (basadas en 4 ACV’s) y se trabaja en una quinta, con previsión en el futuro próximo de una sexta DAP. El objetivo es contar con toda la producción analizada de este modo. Es, sin duda, la mejor forma de “rastrear” los impactos medioambientales y de arrinconar demagogias del tipo “lavado verde de cara” (*green washing*) en que se califica de “ecológicos” a ciertos productos sin mayor fundamento ni criterio. Es un paso esencial para caminar decididamente hacia la circularidad de la economía y de toda actividad en general.

Precisamente, para poder cerrar los flujos de materiales con toda eficacia y eficiencia, en 2012 DANOSA crea “Renovación sostenible”, empresa del grupo cuya principal actividad es la gestión y valorización de residuos para su incorporación en la fabricación de productos. En 2016 se inició la comercialización de residuos valorizados a otras empresas, tanto en España como en el resto de Europa.

La cifra total de uso de material plástico reciclado en 2019 fue de casi 8000 toneladas, de las cuales 1538 fueron HDPE (polietileno de alta densidad), 4870 de EPS (poliestireno expandido), 1077 de PP (polipropileno) y 375 de LDPE (polietileno de baja densidad). Representaba ya un 40% de los materiales utilizados en producción por DANOSA.

## Aportaciones constructivas para una habitabilidad descarbonizada, sostenible, eficiente e integral de los edificios

En construcción DANOSA como proveedora de productos y soluciones apoya al 100% un cambio de modelo en que se prime la más elevada eficiencia energética y calidad constructiva, con el “efecto” de una mayor calidad de vida.

En este sentido, en el VII Congreso de EECN se plantean varias áreas temáticas. Desde DANOSA hemos optado por centrarnos en el área volcada a la utilidad social de “salud y bienestar en los edificios”, que no deja de ser una pieza

clave de lo que podemos denominar igualmente como “salud y bienestar del planeta”, la “casa común” que nos alberga.

Hemos acuñado el lema del “*confort invisible*”, en definitiva, para mostrar cómo los edificios deben contar con soluciones de calidad que, no siendo visibles por los usuarios, son sin embargo determinantes para su confort y bienestar. De hecho, toda nuestra actividad se centra en mejorar la “habitabilidad” de los edificios, tanto nuevos como los existentes, mediante proyectos de rehabilitación. Y con ese fin planteamos nuestras “aportaciones constructivas para una habitabilidad descarbonizada, sostenible, eficiente e integral de los edificios”. Trabajamos para innovar mejorando las soluciones que ofrecemos como partner industrial de la actividad arquitectónica y constructiva. Punto no menos importante, buscamos la adaptación y flexibilidad a cada proyecto, estudiando sus características singulares. Y, sobre todo, ponemos el foco en la *habitabilidad* de los edificios, en la cual, cierto, juega un papel obligado su completa *descarbonización* como parte del objetivo de *sostenibilidad* y *eficiencia* marcado para toda actividad humana. Hemos añadido el calificativo *integral* puesto que la habitabilidad, como el propio CTE reconoce (Documentos Básicos sobre Habitabilidad, H) tiene tres frentes esenciales, para los que trabaja DANOSA:

- CTE DB-HE, *Ahorro de energía*, en todo lo referido a soluciones de aislamiento térmico.
- CTE DB-HR, *Protección frente al ruido*, en todo lo referido a soluciones de aislamiento acústico
- CTE DB-HS, *Salubridad*, en todo lo referido a soluciones de impermeabilización, estanquidad y drenaje

## Soluciones constructivas para bienestar en “ahorro de energía-aislamiento térmico”. Estimación de ahorro energético mediante método de pérdidas de calor a partir del valor U

Cuando se habla de descarbonización, de eficiencia energética y de bienestar, todo apunta al uso adecuado de soluciones de aislamiento térmico. Ponemos el ejemplo conocido de los aislamientos de fachada por el exterior, SATE en el acrónimo más conocido en España, aunque quizá tenga más sentido “fenomenológico” la expresión italiana tan sencilla de “cappotto”, es decir, “abrigo”. En efecto hay que abrigar los edificios más, mucho más, sobre todo los existentes (que no tienen prácticamente ningún abrigo aislante), paso previo a añadir la “mochila tecnológica” más liviana posible que se pueda instalar para reforzar el comportamiento “pasivo” solar.

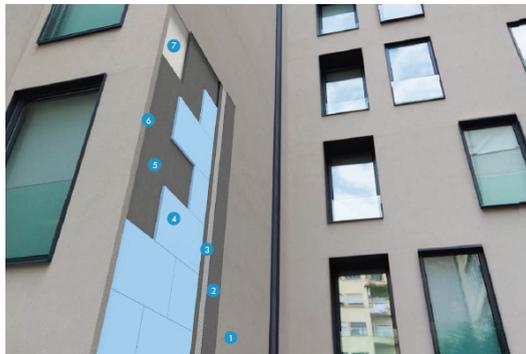


Figura 1. Esquema de soluciones constructivas para SATE en fachadas. (Leyenda: 1 Revestimiento de sistema REVESTIDAN® SATE; 2 Capa base de mortero ARGOTEC® Fixtherm; 3 Armadura de fibra de vidrio Malla PX 160; 4 Aislamiento térmico DANOPREN® FS; 5 Adhesivo de mortero ARGOTEC® Fixtherm; 6 Cerramiento de fachadas; 7 Yeso).

Proponemos además en esta comunicación una sencilla forma de estimar el ahorro energético, tanto en kWh como en €, el plazo de amortización (en años) y la reducción de emisiones de dióxido de carbono (procedente de combustión, mientras se utilice energía fósil no renovable) proporcionados, por ejemplo, por una solución de fachada aislada con SATE.

Partiendo del valor U de transmitancia térmica se llega fácilmente a una estimación de pérdidas (o ganancias) de calor no deseadas a través del cerramiento. En la figura 2 se proponen dos secciones constructivas de un muro de fachada: sin aislar y aislado con 8 cm de espesor de aislamiento térmico. Se tienen sus respectivos valores U: 2,575 W/m<sup>2</sup>·K en el caso del muro sin aislar, y 0,383 W/m<sup>2</sup>·K en el caso del aislado.

Podemos tomar un salto térmico medio representativo de las temperaturas exterior e interior durante el período de calefacción. El elegido es para una temperatura media exterior de 7,32 °C, e interior de 20 °C. La media de temperatura exterior se corresponde en este ejemplo con Madrid.

Vemos que el salto térmico, multiplicado por el valor U, nos lleva a valores con W/m<sup>2</sup> como unidad. El vatio es unidad de potencia, que es una magnitud igual a trabajo, o sea, energía, dividido por tiempo. Si multiplicamos ahora por el período de tiempo, en horas, que elijamos, por ejemplo, la temporada anual “oficial” de calefacción, del 1 de noviembre al 31 de marzo, tendremos Wh/m<sup>2</sup>, vatios-hora por metro cuadrado de muro de fachada que se “pierden” al exterior, debido a la diferencia de temperaturas existente entre el interior y el exterior. Dividiendo por mil, se tiene en kWh/m<sup>2</sup>.

Valor U = 2,575 W/m <sup>2</sup> .K	Valor U = 0,383 W/m <sup>2</sup> .K
Si tomamos un salto térmico medio representativo de un período de calefacción: T <sub>i</sub> = 20 °C, T <sub>e</sub> = 7,32 °C → ΔT = 20-7,32 = 12,68 °C	
U · ΔT = = [2,575 W/m <sup>2</sup> .K]x[12,68 °C]= = 32,651 W/m <sup>2</sup>	U · ΔT = = [0,383 W/m <sup>2</sup> .K]x[12,68 °C]= = 4,85644 W/m <sup>2</sup>
Si tomamos un período típico de calefacción, por ejemplo de 1 nov. al 31 de marzo, 3624 horas	
U · ΔT · tiempo = = [32,651 W/m <sup>2</sup> ]x3624 = = 118327,224 Wh/m <sup>2</sup> = = 118,332 kWh/m <sup>2</sup> y temporada	U · ΔT · tiempo = = [4,85644 W/m <sup>2</sup> ]x3624 = = 17599,74 Wh/m <sup>2</sup> = = 17,603 kWh/m <sup>2</sup> y temporada

Figura 2. Comparación de pérdidas de calor entre fachada aislada con SATE y sin aislar.

Resultado: la diferencia entre valores U se nos ha convertido en diferencia en pérdidas de energía en kWh por metro cuadrado de muro de fachada, en este caso. 118,3 kWh/m<sup>2</sup> para el muro sin aislar frente a 17,6 kWh/m<sup>2</sup> del muro aislado. Es sencillo preparar una hoja de cálculo para obtener estos resultados de forma comprensiva, como se muestra en la figura 3.

Capas	lambda [W/(m·°C)]	espesor (m)	R [(m <sup>2</sup> ·°C)/W]	U [W/(m <sup>2</sup> ·°C)]	Temperatura media interior (°C) en temporada de calefacción (nov. marzo)	Precio del aislante térmico por cm de espesor (€/m <sup>2</sup> ):	
1/h			0,040		20,00	Precio del aislante (€/m <sup>2</sup> ):	1,500
	1,000	0,000	sin aislar:	2,575	Temperatura media exterior (°C) en temporada de calefacción (nov. marzo)		12,000
	1,000	0,000			7,32 (MADRID)	Precio de la instalación (€/m <sup>2</sup> ):	0,600
	1,000	0,000				Precio total del aislante térmico (€/m <sup>2</sup> ):	12,600
Revestimiento SATE	1,800	0,003					
Cámara de aire						Precio kWh (€):	0,080
DANOPREN XPS	0,03600	0,08000	con aislante:	0,383		Factor de conversión:	252,000
						(gramos de CO <sub>2</sub> no emitidos por cada kWh de energía ahorrado)	
Fábrica ladrillo 1/2 pie	0,600	0,115				<b>AHORRO (kWh/m<sup>2</sup>) POR TEMPORADA DE CALEFACCIÓN [(Usin-Ucon)·(Tint-Text)·3,624]:</b>	100,73
Enlucido de y eso	0,400	0,010				<b>AHORRO (€/m<sup>2</sup>) POR TEMPORADA DE CALEFACCIÓN:</b>	8,06
	1,000	0,000				<b>PLAZO AMORTIZACIÓN (años):</b>	1,56
	1,000	0,000				<b>"PAY-BACK" (€/m<sup>2</sup>) A 50 AÑOS:</b>	390,32
1/h			0,130			<b>REDUCCIÓN EMISIONES CO<sub>2</sub> A 50 AÑOS (kg/m<sup>2</sup>):</b>	1,269,19
DEMANDA SIN AISLAR	118,332	(kWh/m <sup>2</sup> )					
DEMANDA CON AISLAMIENTO	17,603	(kWh/m <sup>2</sup> )					

Figura 3. Estimación ahorro energético en fachada aislada con SATE.

### Soluciones constructivas para alcanzar bienestar en “protección frente al ruido-aislamiento acústico”.

Cuando se contempla la eficiencia energética podríamos añadir la energía acústica en dicho objetivo de eficiencia. De hecho, el ruido es el equivalente del calor excesivo, visto desde el bienestar de las personas que habitan los edificios. Se trata de un exceso de energía, una verdadera contaminación de energía acústica que desafortunadamente invade los edificios, con interferencias acústicas continuas entre viviendas, por ejemplo. Las soluciones de aislamiento acústico contribuyen a que los elementos constructivos que conforman los recintos interiores de los edificios tengan

unas características acústicas adecuadas para reducir la transmisión del ruido aéreo y del ruido de impacto ofreciendo el confort y bienestar acústico necesarios.



Figura 4. Esquema de soluciones constructivas para aislamiento acústico. (Leyenda en pared: 1 ACUSTIDAN®; 2 ROCDAN®; 3 Placa de yeso laminado; 4 DANOSA M.A.D.® 4; 5 Placa de yeso laminado. Leyenda en suelo: 1 Aislamiento acústico IMPACTODAN® 5; 2 Mortero autonivelante ARGONIV; 3 Aislamiento acústico FONODAN® 900).

## Soluciones constructivas para alcanzar bienestar en “salubridad-impermeabilización, estanquidad y drenaje”

Destacamos la siguiente solución, de entre varias posibilidades, como podrían ser las cubiertas activas frente a NOx, con tratamientos para reducir la contaminación urbana causada por los óxidos nitrosos, o las cubiertas tipo *Cool Roof*, con superficies de elevado Índice de Reflectancia Solar para reducir el efecto de isla de calor urbana en verano:

- *Cubiertas verdes*, soluciones integrales de impermeabilización y aislamiento acabadas en una superficie vegetal natural. Además, incorporan las necesarias capas de drenaje y filtración que requiere un sistema ajardinado para asegurar el correcto desarrollo de las plantas.
- Los beneficios de cara a salud y bienestar son múltiples: La vegetación y el aislamiento térmico reducen el consumo energético para climatización, y las emisiones asociadas, en el caso de la vegetación particularmente en cuanto al aire acondicionado, ya que la superficie ajardinada minimiza la absorción de radiación solar de la envolvente térmica, contribuyendo así en verano a un refrescamiento y el consiguiente ahorro energético en refrigeración. Además, se reduce el efecto de isla de calor urbana y los niveles de contaminación por NOx y PM. Por otro lado, se posibilitan la captación y almacenamiento de agua, con reducción de la carga sobre los sistemas de recogida y evacuación de aguas pluviales, y mayor vida útil de la impermeabilización. Finalmente se mejora del paisaje urbano, con creación inclusive de nuevos hábitats para la fauna.



Figura 5. Esquema de solución constructiva de cubierta ajardinada. (Leyenda: 1 Soporte de impermeabilización; 2 Capa antipunzonante geotextil DANOFELT® PY 300; 3 Lámina impermeabilizante DANOPOL® FV 1.2; 4 Capa separadora geotextil

DANOFELT® PY 300; 5 Aislamiento térmico DANOPREN® TR; 6 Capa separadora geotextil DANOFELT® PY 200; 7 Capa drenante y filtrante DANODREN® JARDÍN; 8 Sustrato vegetal plantación).

Realmente la “naturación urbana” no deja de ser un aspecto más del nuevo énfasis e impulso que debe adoptar la relación de la humanidad con el mundo “verde” de las plantas, ese fabuloso sumidero de CO<sub>2</sub>. No tenemos más que pensar en las nuevas propuestas de reforestación urbana, como la del ayuntamiento de Madrid para el “bosque metropolitano de Madrid” con 450000 árboles que se quiere plantar en 600 Ha de “corona... forestal” en los siguientes 12 años. No dejan de ser iniciativas que entroncan con el espíritu más ilustrado del siglo XIX, como, por ejemplo, la Ciudad Lineal de Arturo Soria, que fue precisamente quien estableció el “día del árbol”, para celebrar su plantación, o el caso asombroso de Ricardo Codorníu, el ingeniero de montes que levantó todo un bosque nuevo en Sierra Espuña (Murcia), también a fines del s. XIX.

## CONCLUSIONES

La completa descarbonización no pasa solamente por el “gatopardismo tecnológico”: que todo cambie para que todo siga igual o incluso “más igual”. Que tiremos viejas máquinas para poner nuevas máquinas o incluso más nuevas máquinas, manteniendo a toda costa el “mito de la máquina” del que tan acertadamente hablaba el pensador y escritor estadounidense Lewis Mumford. Realmente se necesita un completo cambio de paradigma productivo y de consumo. Es una moneda con dos caras, “eficacia” y “eficiencia”, que permite alcanzar un “efecto”, un fin u objetivo. “Eficacia” significa la capacidad de lograr un efecto. “Eficiencia” significa la capacidad de lograr un efecto, etc. con el mínimo de recursos posibles. Ejemplo básico de eficiencia en la actividad constructiva: es casi siempre más eficiente rehabilitar un edificio que tirarlo y construir otro nuevo en su lugar (la excepción obvia es la ruina inminente). Si lo pensamos bien, hay que cuidar de las casas para que así ellas, en reciprocidad, cuiden de nosotros.

Pero el meollo del debate no está tanto en eficacia (el “qué”) o en eficiencia (el “cómo”), sino en el propio efecto (el “por qué” y el “para qué”, es decir los fines de cada sociedad). Así, los variados fines de la sociedad humana se han visto reducidos, sobre todo en los últimos 40 años de abusiva ideología “neoliberal”, al unidimensional economicismo productivista dominante hasta ahora, el llamado “*business as usual*”. Y este economicismo ha llevado aceleradamente a la situación insostenible que sufrimos. Es hora de revisar, no sólo el estado del “vehículo tecnológico”, sino la dirección y meta que persigue. De nuevo los fines y objetivos.

Sirva el ejemplo del vehículo, la máquina más mitificada quizás, para entender mejor lo que indicamos: se han hecho motores y coches mucho más eficientes y menos contaminantes. Perfecto. ¿Supone eso menos consumo de energía respecto de los vehículos de hace 50 años? Sí, si consideramos consumo y contaminación por cada vehículo separadamente considerado. Pero es que, gracias a la mayor eficiencia tecnológica, los fabricantes de automóviles han hecho más y más vehículos, y han aumentado el peso del vehículo más y más. Es un muy conocido “efecto rebote” (*rebound effect*), o “paradoja de Jevons”, de la cada vez más extremista economía dominante, expansiva y en perpetua búsqueda de “su” crecimiento cancerígeno.

En DANOSA somos conscientes de la necesidad cada vez más imperiosa de un equilibrio “sostenible” entre lo ambiental, lo económico y lo social. En ese equilibrio, la solvencia técnica y consistencia económica de la empresa se mantienen para poder proseguir con una actividad cuyo fin genuino, estamos convencidos, es social, y es mejorar las condiciones de vida de la gente. Queremos colaborar a “visibilizar” ese “confort invisible” ante los usuarios de edificios y viviendas: por detrás de lo que entra por los ojos y se queda en pura apariencia o fachada hay que poner de relieve la calidad de la construcción en su objetivo de hacer “habitabile” el edificio o vivienda. Esto es especialmente acuciante para la población más pobre, desprotegida y “vulnerable”, muchas veces además desinformada, y que no puede pagar *a posteriori* remedios a base de máquinas y equipos que palien provisionalmente la falta de bienestar y habitabilidad. En definitiva, la buena construcción evita costes diferidos y perjuicios y trastornos para los usuarios de edificios y la sociedad en general. Pensemos que la sostenibilidad debería significar mejora de nuestras condiciones de vida, pero sin perjudicar las de otros, tanto en el presente como los que vengan en el futuro, tanto por nuestros hermanos, como por nuestros hijos y nuestros nietos.

# LA INNOVACIÓN SOCIAL AL SERVICIO DE ACCIONES EECC: BIG DATA, INTERNET DE LAS COSAS Y POBREZA ENERGÉTICA

**Tomás Gómez Navarro**, Cátedra Transición de Energética Urbana, UPV - Las Naves  
**Juan Mario Lecumberri Ciáurriz**, Sociólogo, Coordinador proyectos IoT/AHA, Iniciativa Social Integral  
**Elena Rocher Vicedo**, Técnica i+D+i, Las Naves Centro de Innovación

**Resumen:** El bienestar de las personas que habitan una vivienda, vincula la EECN, a la innovación social y urbana. No solo porque así lo manifiesta la legislación en desarrollo europea y estatal, con referencias a la Agenda 2030 y varios de sus ODS, (Objetivos de Desarrollo Sostenible). Esta comunicación tiene como objetivo explicar como a partir de un proyecto con financiación europea, (cuya finalidad principal es la creación de un sistema de interoperabilidad para soluciones del Internet de las Cosas y el Envejecimiento Activo y Saludable), ha tenido como resultado no esperado ni planteado inicialmente, un estudio de la Pobreza Energética, mediante Big Data, centrado en un colectivo tan vulnerable socialmente como el de las Personas Mayores que residen solas en sus viviendas. Gracias a la confluencia de una serie de actores sociales diferentes, (empresas, administración pública, ciudadanía y Academia), estructurados mediante el modelo participativo de la Cuádruple Hélice de la innovación social, se ha desarrollado un proyecto innovador para mejorar la eficiencia energética en las viviendas de nuestros mayores, su confort y el propio entorno en el que residen. Esta iniciativa podría formar parte de la continuación de ACTIVAGE, que se encuentra en proceso de participar en un programa de Compra Pública Innovadora. Esta relación entre acción de innovación social, Pobreza Energética centrada en las Personas Mayores, demuestra el carácter transformador social en el ámbito de la EECN, en un momento tan trascendental con la tramitación de la Ley de Cambio Climático y Transición Energética y el Borrador actualizado del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030, que tendrán un impacto directo en la implementación de la EECN.

**Palabras Clave:** Agenda 2030, Transición Energética, Pobreza Energética, Personas Mayores, Cuádruple Hélice de la Innovación, Compra Pública Innovadora, Big Data, Internet de las Cosas, IoT, ACTIVAGE, EECN.

## ANTECEDENTES

En enero de 2020 se producía una declaración pública por parte de la Comisión Europea en el que declaraban que de aquí al 2050 se iba a realizar una inversión de un billón de euors, (con “b”) en la que su Presidenta afirmaba “Las personas ocupan un lugar central en el Pacto Verde Europeo, nuestra visión de una Europa climáticamente neutra de aquí a 2050. La transformación en perspectiva no tiene precedentes, y solo funcionará si es justa y si funciona para todos. Apoyaremos a nuestra población y a nuestras regiones obligadas a hacer mayores esfuerzos en esta transformación, a fin de garantizar que no dejemos a nadie atrás. El Pacto Verde lleva aparejadas grandes necesidades de inversión, que convertiremos en oportunidades de inversión. El plan que presentamos hoy para movilizar como mínimo un billón de euros indicará el camino a seguir y propiciará una oleada de inversiones ecológicas”. [1]. Paralelamente, el anteproyecto de la Ley de Cambio Climático y Transición Energética, (LCCTE) ha sido ya enviada a las Cortes en mayo de 2020 y no menos importante, se trabaja en el Borrador actualizado de Plan Integrado de Energía y Clima 2021-2030. Estos textos, suponen la piedra angular sobre la que se van a edificar las actuaciones relativas a la edificación energética de consumo casi nulo, EECN. No es casualidad que haya referencias concretas a la Agenda 2030 de Naciones Unidas y a los Objetivos de Desarrollo Sostenible en ambos. La LCCTE, nos dice en su apartado de Exposición de Motivos, en la página 8, que “El Título V recoge las medidas de adaptación frente a los impactos del cambio climático. El cambio climático ya es una realidad y sus impactos se muestran con una amplitud y profundidad crecientes en nuestro país. Sectores clave de nuestra economía dependen estrechamente del clima. Pero también otros muchos campos esenciales para nuestro bienestar, como la salud humana, la biodiversidad o la vivienda”, [2]. La conclusión de lo expuesto anteriormente no es otra que la de evidenciar que en el proceso de Transición Energética que se ha emprendido ya en Europa, el bienestar social y la salud, son aspectos vinculados a la vivienda y a la ciudadanía, y todos ellos están relacionados entre sí. Se afirma pues que la acción social es una parte fundamental de las políticas y actividades propias de la EECC. Quizás el elemento más conocido de esta dimensión social relativa a la eficiencia energética sea el de Pobreza Energética. Este ha sido un tema ya tratado en varias de las comunicaciones presentadas en, por ejemplo, la V, y VI ediciones del Congreso EECN. La Pobreza Energética, se viene entendiendo como la posibilidad de una persona de hacer frente o no al pago del recibo del consumo eléctrico, pero en la práctica, va más allá. Según el Ministerio de Transición Energética, “La pobreza energética podrá manifestarse en los ciudadanos a través de distintos hechos, como la incapacidad de mantener una temperatura adecuada en el hogar, el retraso en el pago de las facturas, un gasto energético excesivamente bajo o un gasto en suministros energéticos que es desproporcionado sobre el nivel de ingresos.” [3]. Un agente de primer orden para trabajar los aspectos de bienestar,

salud y vivienda es la innovación. La innovación y la EECC, son un binomio que no es necesario explicar aquí, ya que tanto los materiales de construcción, como la edificación en sí y la evolución de la arquitectura necesitan de esta relación. La RAE la define mediante dos acepciones, “Acción y efecto de innovar”, y “Creación o modificación de un producto, y su introducción en un mercado”. Es evidente que para poder afrontar los próximos retos vinculados a la Transición Energética, la innovación va a estar más que presente. Pero no solo la innovación en los aspectos ya mencionados. Para hacer frente a las necesidades de bienestar, salud y ciudadanía, va a ser necesario potenciar la innovación social y urbana, con la finalidad de cumplir los objetivos europeos, nacionales y locales, en términos de atención a los grupos más vulnerables. Se propone aquí, y se explicará más adelante, el beneficio de la puesta en práctica del modelo de participación conocido como la “Cuádruple Hélice de la Innovación Social”, para elaborar propuestas que conecten con el lado más social de la EECC.

Se asiste en los últimos años a una sociedad que envejece. Este fenómeno demográfico, común en Europa pero de particular incidencia en este país, está afectando en todas las vertientes del ámbito social y urbano. Las Personas Mayores se han convertido ya en un grupo prioritario para todo tipo de iniciativas, especialmente y por desgracia, tras la pandemia generada por COVID. La propia Unión Europea es consciente de esta problemática y está participando en propuestas encaminadas a mejorar el Envejecimiento Activo y Saludable de las Personas Mayores mediante iniciativas de todo tipo. Dentro de la convocatoria Horizon 2020, una de las propuestas aprobadas dentro de los denominados proyectos LSP, (Long Scale Pilot, o Pilotos de Gran Escala), ha sido el proyecto ACTIVAGE. El proyecto ACTIVAGE trabaja la creación de un ecosistema de interoperabilidad para dispositivos del Internet de las Cosas, enfocado a soluciones tecnológicas de cuidados del Internet de las Cosas, con el objetivo de facilitar la conexión de todo tipo de soluciones para el Envejecimiento Activo y Saludable. El proyecto ACTIVAGE que ahora incorpora actuaciones de eficiencia energética por voluntad de las entidades participantes, se termina en septiembre de 2020. Sin embargo, fruto del trabajo conjunto y con el apoyo de Las Naves, se está trabajando para escalar de los 525 hogares actuales, a 5.000 en la ciudad de Valencia, para transferir los resultados del proyecto, como los nuevos servicios de atención y cuidado definidos en el marco del proyecto, al mercado, tanto en el ámbito privado como un nuevo servicio público. Esto se pretende hacer mediante la utilización de herramientas existentes para la promoción de la innovación desde el ámbito público, tales como la Compra pública Innovadora. El ámbito de actuación en materia de Energía Casi Nula, debe de tener en cuenta que tiene en la innovación social y urbana, en la aplicación de modelos de participación que unen diferentes actores, y en la oportunidad que representa la CPI, un enorme campo de actuación, donde la arquitectura y la construcción también pueden estar al servicio del bienestar y la salud de los grupos sociales más vulnerables.

## **PROPUESTA DE TRANSICIÓN ENERGÉTICA: POBREZA ENERGÉTICA, MAYORES E INNOVACIÓN SOCIAL Y URBANA EN VALENCIA**

Este proyecto se ha podido plantear y desarrollar gracias a la integración de diversos actores, y al contexto local en el que la innovación social se encuentra en la ciudad de Valencia. Además, el diseño de un nuevo marco estratégico para la innovación social y urbana en la ciudad, (referenciados a la Agenda 2030 y los ODS), así como la incorporación de nuevas herramientas de participación, como la ya mencionada “Cuádruple Hélice de Innovación Social” han sido fundamentales para realizar esta acción. Para poder tener una visión amplia de como se está produciendo este estudio de la Pobreza Energética, vamos a explicarlas de manera más detallada.

### **Agenda2030, ODS, Transición Energética y EECC**

Es posible que quizás a más de uno de los profesionales de la edificación y la arquitectura, que tengan la oportunidad de leer esta comunicación, experimenten como primera reacción la de preguntarse, “¿qué relación puede haber entre la Agenda2030, los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la edificación, la arquitectura o la vivienda en el entorno de un Congreso de EECC?”. Es una pregunta lógica pero que a su vez tiene una clara respuesta: La relación de la Transición Energética, (y dentro de ella la EECC), con la Agenda 2030 es absoluta. Dicha Agenda 2030 data del año 2015. Naciones Unidas aprueba en plenario este documento con la finalidad de proponer un “plan de acción en favor de las personas, el planeta y la prosperidad.”[4]. Aprobado por 115 países, elaborando 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, (ODS), y 169 metas para lograrlos. A diferencia de los anteriores Objetivos del Milenio, en esta ocasión la ONU elaboró un texto cuyas prácticas se pretende que sean transversales, esto es, que puedan trabajarse desde todos los niveles: Desde entidades como la propia Unión Europea, pasando por gobiernos, instituciones y entidades, hasta hacerse efectivos a nivel individual por la población del planeta. En lo que respecta a Transición Energética el 7º ODS es el que tiene una relación más directa. En el documento “Pobreza Energética en España” de 2018, elaborado por la Asociación de

Ciencias Ambientales, (ACA), ya se menciona que “La idea de la defensa de los derechos energéticos de la ciudadanía se está consolidando como marco estratégico para la acción contra la pobreza energética.

Este planteamiento se apoya en propuestas normativas globales como el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 7, que reclama “el acceso a la energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos” y, en el contexto europeo, en campañas reivindicativas como la denominada Energy Rights for All Europeans de la Federación Europea de Sindicatos de Servicios Públicos (EPSU) y la Red Europea de Lucha contra la Pobreza y la Exclusión Social (EAPN)” [5].

Pero concurre que la Pobreza Energética también está vinculada a otros ODS: El 9º de Innovación, el 10º de Reducción de las Desigualdades y el 11º, Ciudades y Comunidades Sostenibles.



Figura 1. Pobreza Energética y los ODS de la Agenda 2030.

#### **ACTIVAGE Project: Internet de las Cosas, y Personas Mayores**

ACTIVAGE Project ha intervenido en más de 7.500 viviendas de Personas Mayores a lo largo de 7 países con un consorcio de 49 entidades [6]. Este proyecto europeo contó con Valencia capital como uno de los espacios donde probar soluciones del Internet de las Cosas, aplicadas al Envejecimiento Activo y Saludable, donde se ha actuado en 525 casas de Personas Mayores que viven solas mediante una solución de monitorización mediante sensores de movimiento. Este despliegue valenciano ha unido a un socio tecnológico, desarrollador de la solución, tres empresas de finalidad social, que atienden a mayores, y una entidad pública, la Fundación Las Naves, (Ayuntamiento de Valencia), que ha coordinado las actividades del resto de entidades. Ha resultado que los más de 2.100 sensores instalados en esos hogares, además de la función de monitorización por presencia, ha permitido recoger mediante Big Data, datos de temperatura y humedad. Los datos recogidos fueron adecuadamente anonimizados, siendo las entidades que han aportado a las Personas Mayores participantes, las únicas conocedoras de la ubicación de las viviendas y sus participantes. Aunque no estaba previsto inicialmente en el Deployment Site de Valencia, dar ninguna finalidad a los datos recogidos relativos a mediciones bioclimáticas, el propio interés de las entidades participantes y el buen hacer de la coordinación del proyecto de Las Naves, hicieron plantearse qué hacer con esos datos, para ofrecer un beneficio social. Para ello se invitó a la Catedra de Transición Energética Urbana UPV- Las Naves de Valencia, y en una primera reunión se planteó el reto de estudiar la posible situación de Pobreza Energética de estas Personas Mayores participantes, como una consecuencia no prevista del proyecto en la ciudad, para mediante el análisis del Big Data, ofrecer una serie de recomendaciones a mayores y familiares voluntarios del proyecto. No había mejor actor para incorporar que la Cátedra TEU, (qué entre otras actividades, está trabajando para crear un NZED, o distrito de energía casi nula, como parte de este proceso transformador urbano, acorde a la Agenda 2030). La firma de un acuerdo de colaboración para generar este proyecto de eficiencia energética para los mayores, debe entenderse dentro de los

propios Objetivos de Desarrollo Sostenible y la Agenda 2030 en su relación con la Tránsferencia Energética. En la actualidad se está procediendo a la selección de viviendas donde las temperaturas tanto en verano como en invierno reflejan parámetros bioclimáticos, que potencialmente influyen de manera negativa en la salud y el bienestar de las personas participantes. Con la información recogida se está procediendo a realizar una serie de evaluaciones de los hogares en términos de habitabilidad, arquitectura y materiales, (completados con hábitos de consumo), así como de recomendaciones prácticas para hacer que en la medida de sus posibilidades y con el apoyo de las entidades participantes, las personas participantes puedan revertir esa situación a unos parámetros adecuados.

### **MVLC2030 y la Cuádruple Hélice de la Innovación social**

Ya se ha mencionado la importancia del contexto respecto a la innovación social que actualmente se está dando en Valencia. La Fundación Las Naves, referente de la innovación social y urbana, que ha coordinado ACTIVAGE durante estos más de tres años de actividad, trabaja con la misión de aprovechar todas las oportunidades del conocimiento, de la creatividad, del talento, de la ciencia, de la investigación, de la tecnología, de las humanidades, etc. y, mediante la “innovación circular”, que empieza y acaba en las personas, canalizarlas para devolver a la ciudadanía soluciones innovadoras que mejoren sus vidas. No solo promueve a la propia Cátedra de Transición Energética de la UPV, sino que además informa y potencia la participación de las entidades con las que implementa los proyectos. De esta forma todas las entidades participantes de ACTIVAGE pudieron acudir a un curso formativo sobre eficiencia energética desarrollado por la Oficina de la Energía del Ayuntamiento de Valencia. La experiencia y conocimientos adquiridos en ese taller fueron la mecha que encaminó a las diferentes entidades a idear un proyecto de innovación social basado en el BIG DATA y la Transición Energética.

Pero para poder desarrollar esta propuesta, era necesario un adecuado marco estratégico en el que poder referenciarse, y este vino de la mano de MVLC2030, (Missions2030). MissionsVLC2030 es la aportación desde la innovación social y urbana de València a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030, (ODS2030). Es un programa de innovación aprobado en pleno del Ayuntamiento y en el que se ha definido para los próximos años, el diseño estratégico en todas las áreas que relacionan la Agenda2030, con las políticas de innovación de la Unión Europea y cómo se concretan a nivel de territorio y ciudadanía. A partir del trabajo de Mariana Mazzucato (Profesora de economía de la innovación en la University College of London y Fundadora-Directora del Institute for Innovation and Public Purpose de la UCL) en su estudio bajo el título “Mission-Oriented Research & Innovation in the European Union. MISSIONS. A problem-solving approach to fuel innovation-led growth” [7], MVLC2030 va a vertebrar cualquier acción vinculada a la innovación social y urbana. Como modelo participativo para poder hacer realidad cualquier propuesta de innovación social, MVLC2030 propone la adopción del modelo participativo de la Cuádruple Hélice de la Innovación Social. Es una iniciativa de gobernanza de vanguardia sobre los conceptos de investigación e innovación orientada a misiones de ciudad que mejoren la vida de las personas para una ciudad más saludable, sostenible, compartida y emprendedora.

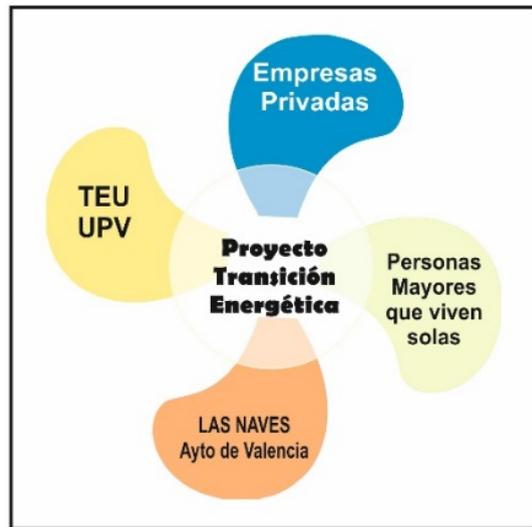


Figura 2. Cuádruple Hélice de la innovación en este proyecto.

Plantea básicamente que una acción innovadora debe de contar con al menos cuatro actores diferenciados: La administración pública, la empresa privada, la Academia (representada por los centros de conocimiento como las universidades), y la ciudadanía, donde están representados entre otros los colectivos sociales más vulnerables. De esta manera, y para proceder a la ejecución de esta propuesta de estudio de eficiencia energética, se ha creado una estructura participada por las Personas Mayores, (ciudadanía), la Administración Pública, (Ayuntamiento de Valencia en la figura de la Fundación LAS NAVES), la Academia, (Universidad Politécnica de Valencia) y la iniciativa privada, (la empresa de tecnologías proveedora de las soluciones, y las entidades que coordinan a las personas participantes que son empresas de servicios sociales: Teleasistencia y Servicio de Ayuda a Domicilio). Se ha constituido así uno de los primeros ejemplos propuestos en el marco de MVLC2030 que se ha concretado en este proyecto para estudiar la pobreza energética y la eficiencia energética de las Personas Mayores en la ciudad de Valencia.

Se cree por tanto que es de interés público, señalar el buen resultado de esta confluencia de participantes, que va a trabajar más allá de ACTIVAGE, en el ámbito de la Transferencia Energética y los mayores. Sin duda en los próximos años se va a asistir a una réplica de este modelo participativo en el ámbito de la innovación social, incluyendo futuras propuestas en el terreno de la EECC. Por lo que respecta al resultado del trabajo conjunto en el plano de la pobreza energética y la solución del Internet de las Cosas, y el Big Data, se comentará un poco más adelante, el papel que la Compra Pública Innovadora puede tener a la hora de consolidar propuestas innovadoras en el ámbito de la EECC.

### **Metodología del Proyecto: Big Data al servicio de la EECC**

Con la colaboración de la Cátedra TEU de la UPV -Las Naves,, se han definido los parámetros bioclimáticos de humedad y temperatura a partir de los datos pseudoanonimizados de las viviendas en las que se instalaron los sensores. Esta información obtenida del Big Data ha sido proporcionada por el socio tecnológico que alberga en sus servidores toda la información de los sensores instalados. A cada entidad se le ha facilitado un listado con un código de referencia anonimizado de cada hogar, con los valores recogidos en los meses de verano e invierno. Una vez acordados los límites establecidos para la salud y el bienestar, las entidades procederán a entrar en contacto con las personas mayores y sus familiares, solicitando voluntariamente información respecto a la factura eléctrica de la vivienda, además de realizar una inspección ocular de la misma, para determinar factores vinculados a la antigüedad, barreras arquitectónicas, materiales y condiciones de la misma. Ya se ha comentado anteriormente que tanto para el Ayuntamiento de Valencia, como para la Cátedra TEU los datos que se manejan son anónimos. La información que se va a recabar, por ejemplo, las facturas de consumo eléctrico serán desprovistas de datos personales, antes de ser facilitadas para su estudio.

Con toda la información recabada, se procederá a establecer un protocolo de actuación dirigido a Personas Mayores y familiares participantes con una serie de recomendaciones adaptadas a la deficiencia energética detectada. En dicho protocolo se establecerán medidas directas que puedan afrontar las personas usuarias y se tratará de interesar a los Servicios de Bienestar Social y a la Oficina de l'Energia de València, espacio de información y formación dirigido a la ciudadanía, donde se proporciona asesoramiento personalizado, talleres y actividades en derecho a la energía, energías renovable y eficiencia energética. En aquellas situaciones de urgencia que las propias familias no sean capaces de resolver por sí mismas. Cualquier acción en este sentido deberá contar previamente con la autorización expresa de las personas interesadas.

### **Compra Pública Innovadora, (CPI), y EECC**

La CPI, como herramienta de transformación social, está llamada a situarse como un pilar en futuras propuestas innovadoras sobre Transferencia Energética.. Sorprendentemente la CPI no es un instrumento nuevo de financiación. Se instauró en 2010, y llegó de la mano de recomendaciones de la Unión Europea para acelerar la innovación. Pero no ha alcanzado gran notoriedad hasta el momento presente, en que la nueva Ley de Contrato del Sector Público, (Ley 9/2017) [3], enuncia el compromiso de dedicar como mínimo el 3% de los fondos destinados a nuevas compras a este fin. Si tenemos en cuenta que las compras públicas alcanzan el 15% del PIB estatal, podemos darnos cuenta de la importancia de esta herramienta de financiación en el contexto de la innovación y la EECC.

En la “Guía Práctica del Proceso de Compra Pública de Innovación para Organismos Públicos de la Comunidad Valenciana”, editada por Agencia Valenciana de Innovación, (AVI), se puede leer que “La Compra Pública de Innovación, según la definición de la Guía 2.0 para la Compra Pública de Innovación, publicada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, es “aquella actuación administrativa de fomento de la innovación orientada a potenciar el desarrollo de nuevos mercados innovadores desde el lado de la demanda, a través del instrumento de la contratación pública”. Es decir, se trata de una modalidad de contrato público, en el que se pretende fomentar el papel

de la Administración Pública como motor de innovación, a partir del instrumento de compra pública. La CPI es el instrumento a utilizar cuando una entidad pública, con el objetivo de satisfacer una necesidad (actual o futura), requiere de un producto o sistema de carácter innovador para encontrar una solución, la cual, no se detecta en un proceso de compra ordinaria.” [9]. Un buen ejemplo de la CPI aplicada a la EACN es la reciente consulta preliminar al mercado de la Conselleria d’habitatge i Arquitectura Bioclimàtica de la Generalitat Valenciana: “Descarbonización y aumento de la resiliencia del parque de viviendas existente de la Comunitat Valenciana promoviendo la rehabilitación en aras de mejorar su respuesta en término de sostenibilidad ambiental, social y económica en un contexto señalado por la emergencia climática y la necesaria reconstrucción post-COVID.” [10]

## CONCLUSIÓN

Se está asistiendo a un momento sin precedentes, en el ámbito de la edificación de energía casi nula. La Comisión Europea ha generado legislación y previsto un gasto de un billón de euros de aquí a 2050. De manera lógica este impulso se ha trasladado a la actual legislación estatal, debido a que el impacto económico del proceso de Transferencia Energética va a ser de primer orden. Este proceso está vinculado a la innovación, como elemento simbiótico en la generación de nuevas propuestas. Un sector de estas acciones por crear debe de referenciarse a la innovación social dentro de la EEC. Existe un entorno favorecedor que está compuesto por la Agenda2030, los ODS y la línea de misiones de la propia Unión Europea, para los próximos años. Contamos también con herramientas como marcos estratégicos adecuados, modelos participativos que contemplan la posibilidad de unión de diferentes sinergias y administraciones públicas que están orientadas a generar beneficios sociales en todos los ámbitos, y entre ellos, y con especial importancia, el de la Transferencia Energética. Y existen también herramientas de financiación para ello, que alcanzan ni más ni menos que al 3% de todos los fondos destinados a la compra pública: La CPI. Es este un panorama alentador en el que se invita a todos los actores de la EECC a plantear propuestas que generen beneficio social para los colectivos de personas más desfavorecidos de nuestra sociedad. No solo generando materiales, viviendas o proyectos arquitectónicos basados en energía más eficiente, sino con propuestas de innovación social que adopten las líneas de trabajo de la Agenda2030 y los ODS. El proyecto que hemos emprendido a partir de ACTIVAGE es una pequeña demostración de esta línea de acción y esperamos constituya un referente para futuras propuestas.

## REFERENCIAS

- [1] <https://www.economista.es/energia/noticias/10297774/01/20/La-Comision-Europea-lanza-su-plan-de-un-billon-para-financiar-la-transicion-energetica.html> (4 de mayo de 2020).
- [2] Boletín Oficial de las Cortes Generales, nº 19 de 29 de mayo de 2020. Proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética. [http://www.congreso.es/public\\_oficiales/L14/CONG/BOCG/A/BOCG-14-A-19-1.PDF](http://www.congreso.es/public_oficiales/L14/CONG/BOCG/A/BOCG-14-A-19-1.PDF) (14 de junio de 2020)
- [3] Estrategia Nacional Contra la Pobreza Energética, Ministerio de Transición Ecológica de España, 2019. [https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/estrategia-pobreza-energetica/estrategianacionalcontralapobrezaenergetica\\_tcm30-502982.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/estrategia-pobreza-energetica/estrategianacionalcontralapobrezaenergetica_tcm30-502982.pdf) (30 de mayo de 2020).
- [4] Agenda 2030 de Naciones Unidas: [https://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=S](https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=S) (16 de mayo de 2020)
- [5] Tirado Herrero., S., et. al, 2018. Pobreza energética en España. Hacia un sistema de indicadores y una estrategia de actuación estatales. Asociación de Ciencias Ambientales, Madrid.
- [6] ACTIVAGE Project: <https://www.activageproject.eu/deployment-sites/Valencia/> (12 de junio de 2020).
- [7] Mariana Mazzucato. 2018. Mission-Oriented Research & Innovation in the European Union. MISSIONS. A problem-solving approach to fuel innovation-led growth [https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/mazzucato\\_report\\_2018.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/mazzucato_report_2018.pdf) (20 de junio de 2020).
- [8] Ley 9/2017 de 8 de noviembre de Contratos del Sector Público: <https://www.boe.es/eli/es/l/2017/11/08/9/con>
- [9] Guía Práctica del Proceso de Compra Pública de Innovación para Organismos Públicos de la Comunidad Valenciana. [https://innoavi.es/wp-content/uploads/2019/04/GuiaCPI\\_AVI.pdf](https://innoavi.es/wp-content/uploads/2019/04/GuiaCPI_AVI.pdf) (5 de junio de 2020).
- [10] Consulta Preliminar al Mercado para Compra Pública de Innovación
- [11] <https://innoavi.es/es/vivienda-resiliente/> (1 de septiembre de 2020)

# LA MONITORIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR COMO HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN Y MEJORA DE LA SALUBRIDAD DE UN ESPACIO

**María Figols González**, Arquitecta Técnica e Ingeniera de Edificación, Project Manager inBiot Monitoring  
**Xabier Aláez Sarasibar**, Ingeniero Industrial, CEO y CTO, inBiot Monitoring

**Resumen:** La calidad del aire interior es un factor fundamental en el ámbito de la salud en espacios interiores. De hecho, respiramos más de 15.000 litros de aire al día, entre un 80 y 90% de las veces en el interior de los edificios según la OMS. Por otra parte, la tendencia constructiva en el ámbito de la eficiencia energética incide en el aumento de la estanqueidad que, sin una adecuada renovación de aire basada en las condiciones de uso y no en perfiles prefijados, puede derivar en una mayor concentración de contaminantes interiores. La monitorización continua de la calidad del aire se presenta como la herramienta básica que permite evaluar los datos en el tiempo para una evaluación de las pautas de uso, del perfil de ocupación, el tipo y grado de contaminación (de fondo, puntual), su periodicidad y el potencial de mejora de un espacio.

**Palabras clave:** Calidad Aire Interior; ventilación; monitorización; salubridad; edificios, ambiente interior, bienestar

## INTRODUCCIÓN

La calidad de los espacios que habitamos y su aire interior son, sin duda, factores clave para nuestra salud [1], [2], [3]. Múltiples campañas, como la denominada BREATH LIFE de la OMS, señalan que una de las problemáticas más acentuadas de la sociedad actual urbanita es la calidad del aire que se respira.

Pasamos entre el 80 al 90% de nuestro tiempo en el interior de espacios cerrados, de acuerdo con la OMS, donde la calidad del aire es, según la EPA (*Environmental Protection Agency* de los EE. UU.), del orden de 2 a 5 veces peor que en el exterior. Esto principalmente se debe a que a los contaminantes exteriores se le añaden los interiores, produciendo una notable disminución de una calidad del aire que ya es deficitaria en el exterior. Sus efectos sobre la salud van desde una simple sensación de somnolencia, cefaleas, irritaciones nasales y/o oculares, pudiendo derivar en procesos alérgicos e hipersensibilidades. También puede reforzar su efecto sinérgico con otras enfermedades ambientales y que afectan a la productividad de las personas es su entorno de trabajo, a su capacidad de desempeño y creatividad y, por lo tanto, también a su confort y bienestar.

El confort térmico, en general, juega un papel importante en la forma en que experimentamos los espacios donde vivimos, aprendemos y trabajamos, y también tiene implicaciones directas en la productividad y la salud de sus usuarios.

Tanto la directiva europea EPBD – Energy Performance of Buildings Directive, como su transposición a las normativas nacionales con el concepto de “edificio de consumo de energía casi nulo (ECCN), exigen un aumento de la estanqueidad de los edificios, de forma que la renovación de aire queda exclusivamente en manos de la ventilación y su regulación. El uso de materiales de construcción que limiten las emisiones de contaminantes al aire interior debería ser el punto de partida; y la renovación de aire, estar basada en el perfil de uso. No obstante, tanto la manera de ventilar, como la regulación y medición de los sistemas actuales de ventilación, no es la adecuada.

Es por lo tanto necesario el seguimiento continuo de la evolución de la calidad del aire interior, que permita analizar patrones de comportamiento y así conocer la pauta de uso, el perfil de ocupación, el grado y fuente de contaminación, así como el potencial de mejora de un espacio en materia de calidad del aire interior. La evaluación del comportamiento del edificio es muy variable en función del uso (hábitos de climatización y ventilación, productos de higiene y limpieza, materiales de construcción, acabado y equipamiento, etc) y sólo el estudio de la evolución en el tiempo garantiza esta información.

## EL PROYECTO

La calidad del aire interior es el hilo conductor del presente proyecto. La ampliación de la tradicional medición del confort termohigrométrico a la medición y monitorización de otros parámetros de contaminación química que igualmente condicionan la salubridad de los espacios, son la base y referencia para analizar la metodología disponible. De esta manera revisar las recomendaciones y valores normativos, y plantear actuaciones donde la salud y la seguridad

sean el objetivo prioritario. Respiramos más de 15000 litros de aire al día; es hora de poner el foco en la calidad del aire que determinará nuestra salud, nuestra capacidad de desempeño y nuestro bienestar.

Los 3 pilares innovadores en los que se fundamenta el proyecto se basan en la utilización de tecnología de monitorización de calidad del aire interior de la empresa inBiot Monitoring S.L. fundamentada en los siguientes criterios:

- **AMPLIACIÓN DEL CONCEPTO IAQ:** al margen de la medición de temperatura y humedad relativa, se utilizan dispositivos de monitorización continua de la calidad del air interior MICA (Montitor Inteligente Calidad Aire, de inBiot Monitoring S.L.) que pueden incorporar otros parámetros de contaminación química que determinan la biohabitabilidad del lugar seleccionado. Además de temperatura y humedad relativa recogen, la concentración de CO<sub>2</sub>, el formaldehído, los compuestos orgánicos volátiles, las partículas en suspensión (PM2.5/PM10), el ozono, el monóxido de carbono o el radón.
- **MONITORIZACIÓN CONTINUA:** la evaluación continua en el tiempo del IAQ permite conocer el perfil de uso y ocupación de un espacio para analizar el tipo de contaminación detectada y establecer pautas de mejora para valores monitorizados fuera de rangos.
- **PLATAFORMA IoT Y ANÁLISIS DE DATOS:** la gestión en tiempo real de la información monitorizada se realiza a través de plataforma en la nube My inBiot, complemento de los dispositivos de monitorización desarrollados por inBiot Monitoring S.L. Esta plataforma ofrece información clara y accesible, evolución de los parámetros monitorizados, información personalizada sobre cada sensor y pautas de actuación, gracias a su tecnología de análisis y visualización de datos.

## MATERIAL Y MÉTODO

### Métodos de medición y monitorización

La medición de la calidad del aire interior ha seguido tradicionalmente un protocolo estandarizado para su evaluación a través de la medición directa y/o la utilización de técnicas de laboratorio como detectores de ionización de llama o cromatografía de gases-espectrometría de masas, que proporcionan una forma precisa de identificar gases específicos dentro de una muestra de aire.

Sin embargo, en mediciones donde la variación diaria es significativa, como puede ocurrir en espacios interiores, resulta aún más significativo evaluar la evolución en el tiempo de la calidad del aire. Una película aporta más información que un solo fotograma.

La monitorización continua de los datos durante un tiempo determinado (preferiblemente varias semanas), permite evaluar de una manera más fiable las pautas de uso, el perfil de ocupación, el tipo y grado de contaminación (de fondo, puntual), su periodicidad y el potencial de mejora de un espacio. Las estrategias de mejora se determinarán en función de los valores monitorizados y los riesgos detectados en cada caso. Si el confort termo-higrométrico es inadecuado será necesaria la revisión y ajuste del sistema de climatización, su control, regulación, la necesidad de humidificación o deshumidificación, pudiendo incluso calcular la cantidad de vapor de agua que un espacio necesita aportar o eliminar para unas condiciones de confort determinadas y elegir el dispositivo o sistema específico para este uso. La monitorización de la concentración de CO<sub>2</sub> permite evaluar la eficacia del sistema de ventilación y programar su regulación en función de su concentración. La evolución y pautas detectadas en relación con el resto de los parámetros que determinan la contaminación química, permiten la prescripción de purificadores de aire con filtros de alta eficiencia y adsorbentes para la reducción de contaminantes gaseosos (formaldehído, COVs, etc.), la implementación de sistemas de fitorremediación, aplicación de radiación ultravioleta o cualquier otra estrategia enfocada a la reducción de las fuentes de contaminación.

### Valores de referencia

Establecer unos valores de referencia es otro de los aspectos clave para el diagnóstico de la calidad del aire, ya que definir qué valores son óptimos requiere una revisión de la normativa existente y de las recomendaciones que desde la perspectiva de la salud se ofrecen en instituciones privadas y/o públicas.

No existe requerimiento legal, ni consenso legislativo sobre los valores de referencia para la salud en espacios interiores. La base legislativa es, por un lado, las recomendaciones higrotérmicas del RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas) y las exigencias básicas de salubridad del CTE, sin embargo, no se especifican valores de emisiones al aire

interior en el ámbito de la contaminación química en entornos residenciales o educativos, por ejemplos, por lo que se recurren generalmente, sin perspectiva legislativa, a las recomendaciones genéricas de la OMS.

Por otro lado, en ámbitos profesionales se toman como referencia los valores límite de exposición profesional del INSST (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo), con recomendaciones y valores límite en sus Normas Técnicas de Prevención, aunque siempre en el ámbito de la higiene industrial y laboral, y no tanto en el de la prevención de la salud en concentraciones continuas en el tiempo a bajas dosis.

La norma UNE 171330 recoge en su tabla A.2 – valores de referencia, los criterios de confort y máximos aceptables, como recomendación legislativa, basados en los VLA (Valores Límite de Exposición Ambiental) del INSHT o recomendaciones de la OMS según parámetros – que sirven exclusivamente para la evaluación y el control de los riesgos por inhalación de los agentes químicos [4] siendo su base de datos RISCTOX [5] una excelente referencia para la evaluación de la peligrosidad de compuestos químicos específicos.

## RESULTADOS

La metodología propuesta se verifica en la monitorización de dos edificios de usos complementarios, que permiten la obtención de datos y comprobación del estado de la calidad del aire interior, tanto a nivel residencial, como a nivel de uso terciario (oficinas). Los edificios monitorizados se recogen a continuación:

- Edificio de oficinas: monitorización de tres espacios abiertos de 250, 335 y 335 m<sup>2</sup>, y 37, 54 y 54 personas de ocupación por planta respectivamente. Edificio de construcción y estructura convencional, sistema de climatización y renovación de aire centralizado.
- Vivienda de alta eficiencia energética: vivienda de 80 m<sup>2</sup> reformada en su totalidad, con modificación de distribución y criterios de alta eficiencia energética. Test de estanqueidad n50, de 0,38 renov/hora, sistema de ventilación mecánica de doble flujo con recuperador de calor y suelo radiante como sistema de calefacción.

### Edificio de oficinas

A partir de la monitorización de la calidad del aire en estas oficinas se detecta una caída progresiva en la humedad relativa interior, causa directa de disconfort, por su contribución a la irritación y sequedad de las mucosas respiratorias y oculares y una mayor proliferación de polvo y partículas en suspensión.

A partir de los datos monitorizados y su visualización en gráficas de semana tipo, se analizan las medias horarias y diarias y se calculan los tiempos de exposición e indicadores específicos de cada uno de los parámetros monitorizados: temperatura, humedad relativa, CO<sub>2</sub> y formaldehído.

La información revela un exceso de temperatura interior (el percentil 75 en todos los espacios monitorizados está entre 23 y 24°C, superando el rango de recomendación de RITE para el invierno de entre 21 y 23°C), así como una humedad relativa inferior al 40% el 95 % del tiempo de ocupación, con valores medios en torno al 30% de humedad relativa (HR) y mínimos cercanos al 25%.

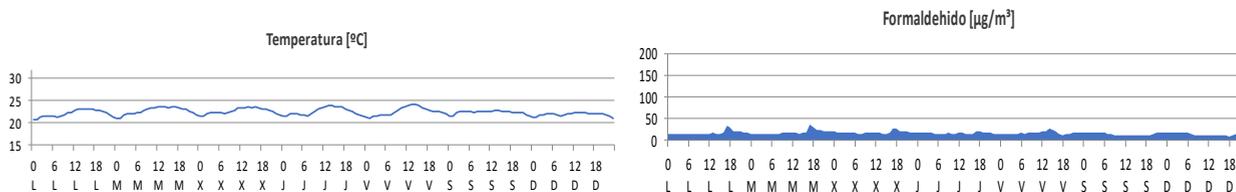


Figura 1. Evolución de la temperatura interior - semana tipo. Figura 3. Evolución de la concentración de formaldehído - semana tipo.

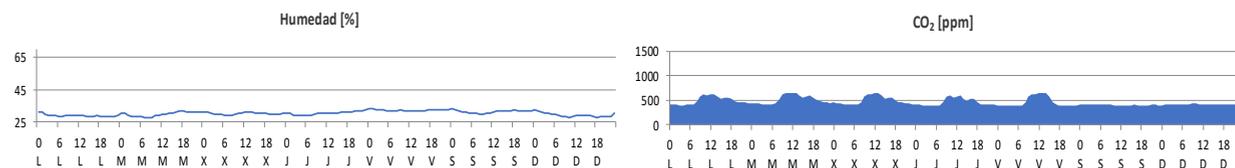


Figura 2. Evolución de la humedad relativa interior - semana tipo. Figura 4. Evolución de la concentración de CO<sub>2</sub> - semana tipo.

Las estrategias empleadas para la mejora del ambiente interior en estas oficinas se basan en las siguientes actuaciones:

- Limitar la temperatura de control a 21°C. El exceso de temperatura interior contribuye a la disminución de la humedad relativa en espacios interiores por sus propias características higrotérmicas.
- Humidificación: se precisa de un dispositivo de humidificación integrado en UTA o evaporativo portátil, con control de humedad máxima.
- Fitorremediación: la fitorremediación es la utilización tecnológica de plantas vivas y microorganismos asociados para el saneamiento ambiental de suelo, agua y aire. Las plantas de interior tienen la capacidad de regular la humedad ambiental por el efecto de la evaporación, disminuyendo los efectos fisiológicos derivados de una baja humedad relativa. La evaporación es el método más importante de perder calor para una planta. Las plantas utilizan una media de aproximadamente un 5 % de la luz para la fotosíntesis. Cerca de un 60 % de la luz que llega a la planta se convierte en calor y debe evacuarse mayormente a través de la evaporación. Se prescriben especies que resistan adecuadamente interiores con baja humedad relativa como la sansevera trifasciata, la beaucarnea, aspidistras, clivias, phoenix, potos, crasas, o cactus, según zonas por su exposición y grado de iluminación natural disponible
- Mantenimiento: filtros HEPA y criterios de limpieza. Una humedad relativa baja implica una mayor proliferación de polvo en suspensión, por lo que es fundamental el filtro HEPA cuando se empleen aspiradores.

La tecnología utilizada en la monitorización ha permitido, a partir del cálculo de la humedad específica en los espacios monitorizados, seleccionar la actuación de mejora necesaria para mantener unas condiciones de confort higrotérmico ideales de 21°C y una humedad relativa del 50%. Estas condiciones implican la necesidad de humidificación [6] del ambiente de entre 2,06 a 2,37 l/h según espacio, y se prescribe específicamente un humidificador evaporativo portátil con capacidad evaporativa entre 1,5 y 2 l/h, y, por lo tanto, un funcionamiento puntual, cuando las condiciones interiores lo requieran.

Como valor complementario, la empresa alojada en este edificio tiene mobiliario certificado libre de formaldehído, información que se verifica gracias a la monitorización y valores continuos inferiores a 40 µg/m<sup>3</sup>.

## Rehabilitación de vivienda de alta eficiencia

El presente ejemplo es el de una vivienda reformada en 2016 con criterios de alta eficiencia, situada Logroño.

La vivienda se ha reformado en su totalidad, con modificación de distribución, aislamiento interior de algodón reciclado y trasdosado con cartón yeso con acabado con pintura plástica estándar. El suelo es laminado vinílico imitación madera, colocado flotante sobre lámina antiimpacto, mortero de nivelación y aislamiento de algodón reciclado. El rodapié es de DM lacado y la carpintería de PVC, con vidrio triple.

Durante el trabajo de reforma se realizó la prueba de estanqueidad n50, con un resultado de 0,38 renov/hora. El sistema de ventilación implementado es un sistema de ventilación mecánica controlada de doble flujo con recuperador de calor, rejillas de impulsión y extracción de aire en techo y suelo radiante como sistema de calefacción

Tras varias semanas de monitorización continua, se detectan de manera continuada altos niveles de formaldehído en el interior de la vivienda, con picos que pueden alcanzar los 1.000 µg/m<sup>3</sup> y una media diaria por encima de 150 µg/m<sup>3</sup> (cuando los valores recomendados por la OMS no deberían superar los 100 µg/m<sup>3</sup>). A pesar de disponer de un sistema de ventilación controlada continua, éste no es capaz de reducir los picos de formaldehído mientras que la ventilación manual con ventanas, sí. La concentración de CO<sub>2</sub> se mantiene en niveles de confort el 96% del tiempo.

Como complemento a la monitorización continua durante 4 semanas de temperatura interior, humedad relativa, CO<sub>2</sub> y formaldehído, se verifican los datos de contaminación química con ensayos de laboratorio específicos, que aporten la concentración exacta de contaminantes en el aire interior. Para ello se realizan tomas de muestras para su análisis en laboratorio que complementen la información monitorizada, mediante análisis específico de concentración de formaldehído, y screening de COVs, para la cuantificación de los tres compuestos orgánicos volátiles presentes en mayor concentración.

En el laboratorio se detecta concentración significativa de formaldehído (89,2 y 18,3 µg/m<sup>3</sup> en salón y dormitorio respectivamente), acetato de etilo (18,23 y 22,01 µg/m<sup>3</sup>) y ciclohexano (20,89 y 18,24 µg/m<sup>3</sup>), como compuestos significativos, con una concentración superior a los 0,08 µg/m<sup>2</sup> – límite de detección del laboratorio empleado. Tanto en el caso del acetato de etilo, como del ciclohexano, se trata de compuestos irritantes y neurotóxicos en

concentraciones dentro de valores normativos, pero por encima de valores de recomendación por su riesgo toxicológico (Guidance values - AGÖEF) [7], empleadas principalmente como adhesivos.

La alta volatilidad del formaldehído en un espacio con un sistema de ventilación de doble flujo con recuperador de calor implicaría la reducción de su alta concentración gracias al funcionamiento continuo de la renovación de aire. Sin embargo, los valores monitorizados se mantienen en valores altos o muy altos más del 90% del tiempo de ocupación tanto en el dormitorio como en el salón.

La reacción cruzada del sensor electroquímico (tecnología electroquímica) con otros compuestos implica la presencia de otros compuestos en el aire interior. En este caso, el elevado peso molecular detectado en los principales compuestos del screening de COVs – acetato de etilo y ciclohexano – refleja una presencia de emisiones al aire interior, tanto de formaldehído como de otros COV y que son indicativos de un déficit en el funcionamiento del sistema de ventilación de doble flujo, ya que no es capaz de reducir su concentración en el aire interior de forma continuada.

Debido al diseño de distribución de los conductos de distribución de aire y dado que las bocas de impulsión y extracción del sistema de ventilación están ubicadas en techo en direcciones contrapuestas, y que el dispositivo de monitorización estaba colocado a una altura no superior a 40 cm., se deduce una renovación de aire únicamente del estrato superior del volumen de aire de las estancias.

En este caso, una ventilación cruzada manual con ventanas de manera puntual resulta más efectiva ya que sí que garantiza un barrido del aire de la estancia, eliminando los compuestos de mayor peso molecular, estratificados en la parte inferior del volumen de aire. Es necesaria una revisión de la regulación y diseño del sistema de ventilación.

Las estrategias empleadas para la mejora del ambiente interior en esta vivienda se basan en las siguientes actuaciones:

- Fitorremediación: la utilización tecnológica de plantas vivas y microorganismos asociados para el saneamiento ambiental de suelo, agua y aire, ayuda al filtrado de compuestos orgánicos volátiles y formaldehído continuo en bajas concentraciones. Se aprovecha la capacidad natural de algunas plantas de absorber, concentrar y metabolizar determinados compuestos químicos presentes en el ambiente interior como contaminantes, con concentraciones mínimas de entre el 5-10% de ocupación respecto a la superficie total del espacio, o a partir de 20 plantas de tamaño medio por cada 100 m<sup>2</sup> de superficie.
- Purificación del aire: los purificadores de aire son herramientas muy útiles y efectivas para el filtrado de alta eficiencia (HEPA) de partículas en suspensión, polvo o esporas, con el adecuado prefiltro de partículas de gran tamaño, filtro de polen y de polvo grueso. No obstante, para garantizar su eficacia en el filtrado de gases volátiles como COVs o formaldehído se requieren materiales de filtrado con capacidad de adsorción de gases, como puede ser el filtro de carbón activo y zeolita de al menos 6 Kg de peso y filtro HEPA
- Productos de limpieza: la concentración de sustancias volátiles en ambientes interiores requiere de una adecuada regulación de la ventilación, especialmente en viviendas de alta hermeticidad, donde la concentración de sustancias perjudiciales puede ser más significativa. Igualmente, a la toma de conciencia de reducir la presencia de contaminantes y de regular la ventilación en consecuencia, la limpieza tanto diaria, como de mantenimiento esporádico debe ser revisada de manera generalizada. Debe carecer de sustancias químicas potencialmente alérgicas que puedan estar contribuyendo a la contaminación interior, y evitar la presencia de formaldehído, insecticidas o disruptores endocrinos, reduciendo el uso de disolventes, perfumes y fragancias sintéticas o desinfectantes potencialmente sensibilizantes

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Tradicionalmente, la calidad del aire en los edificios viene determinada por el confort y la eficiencia energética. Las nuevas propuestas de las directivas europeas apuntan a la necesidad de priorizar la salud, un reto cuya relevancia ha sido subrayada por la crisis sanitaria provocada por COVID 19.

En un contexto en el que los edificios deben ser cada vez más inteligentes, se hace necesario disponer de dispositivos fiables, capaces de evaluar la calidad del aire de forma continua, dado que, generalmente, los patrones de evolución de los parámetros aportan más información que una medición puntual de laboratorio. A partir de este análisis, un servicio profesional posterior puede prescribir pautas de actuación y mejora, o determinar la necesidad de ampliar el tipo de ensayos a realizar en un laboratorio especializado, en caso de detectarse cualquier tipo de anomalía.

La película es más relevante que la fotografía puntual, por lo que la monitorización permite obtener información que una medición puntual no garantiza. Ante esta circunstancia, se plantean las tecnologías IoT y la IA como la combinación

perfecta para realizar un buen diagnóstico de la salubridad del aire, a través de la captación de datos, análisis y propuesta de soluciones, con posibilidad de regular los dispositivos involucrados.

La dificultad para la medición de los contaminantes en el aire radica en la necesidad de conocer qué compuesto o sustancia se quiere analizar, para poder elegir el método de análisis más adecuado. Sin embargo, la utilización de aparataje de alta precisión, exactitud (y coste) limita el acceso a esta información, por lo que queda relegado a servicios de prevención y no permite la mejora continua y el enfoque hacia el bienestar y la salud de trabajadores y usuarios. La monitorización continua, permite combinar la innovación tecnológica y la salud para identificar el estado de la calidad del aire interior de nuestros edificios, y, por lo tanto, valorar el margen de mejora. Y de esta manera, plantear soluciones específicas y adaptadas a cada proyecto.

La tecnología electroquímica del sensor de formaldehído empleado reacciona a su vez con determinados gases presentes y frecuentes en ambientes interiores, pudiendo ofrecer un valor de medición distorsionado. El sensor es especialmente sensible ante la presencia de alcoholes (etanol), por lo que su presencia en productos de higiene y limpieza implica valores elevados de formaldehído. Sin embargo, esta información siempre es indicativa de presencia de contaminantes en ambientes interiores, como paso previo a un ensayo de laboratorio y como indicador de alarma. En casos como el de la vivienda de alta eficiencia presentada, la monitorización deriva en un ensayo de laboratorio de concentración de formaldehído y screening de compuestos orgánicos volátiles, que complementa la información y que ofrece interesantes resultados sobre el propio diseño de la instalación de renovación de aire y su capacidad de renovar completamente el aire de una estancia.

La calidad del aire en otro tipo de espacios de uso terciario, como pueden ser centros educativos, viene generalmente determinada por su concentración de CO<sub>2</sub>, que al mismo tiempo representa la eficacia del sistema de renovación de aire, sea manual o mecánico. Este parámetro es determinante en el confort y desempeño de estudiantes y profesorado, por ejemplo, y dista mucho de estar garantizando niveles normativos y mucho menos, niveles que garanticen espacios saludables.

Finalmente, asegurar una regulación inteligente de los edificios precisa la prevalencia de protocolos abiertos de comunicación que hagan posible la interoperabilidad de los distintos elementos que componen un edificio, siendo la calidad de aire una prioridad para garantizar la salud de sus ocupantes.

## RECONOCIMIENTOS

Este artículo se nutre del trabajo en desarrollo durante 2019 y 2020 de los proyectos de I+D de Gobierno de Navarra “Internet of Buildings” y “BioSmart Ventilation”, del recién estrenado programa NEOTEC 2019 del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial, CDTI, del Ministerio de Ciencia e Innovación, y el ya concluido programa Smart Iruña Lab, del Ayuntamiento de Pamplona, desarrollado durante 2019. Agradecimiento especial a las entidades colaboradoras (Gobierno de Navarra, CDTI, Ayuntamiento de Pamplona), así como a todo el equipo de inBiot Monitoring S.L.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Lévesque B, Huppé V, Dubé M, Fachehoun R.C. Impact of indoor air quality on respiratory health: results of a local survey on housing environment. *Public Health*, Volume 163, 2018, Pages 76-79, ISSN 0033-3506, <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2018.06.015>
- [2] Wargocki P, *Productivity and Health Effects of High Indoor Air Quality*. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, Elsevier, 2019, ISBN 9780124095489, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.01993-X>
- [3] Silvestre, E. *Vivir sin tóxicos. Cómo ganar bienestar y salud en tu vida cotidiana*. RBA Integral, Barcelona 2014
- [4] Límites de exposición profesional - <https://risctox.istas.net/index.asp?idpagina=616>
- [5] Base de datos de sustancias tóxicas y peligrosas RISCTOX, Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud – ISTAS (CCOO) - <http://risctox.istas.net/index.asp>
- [6] G. Soreanu, 12 - *Biotechnologies for improving indoor air quality*, Start-Up Creation, Woodhead Publishing, 2016, Pages 301-328, ISBN 9780081005460, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100546-0.00012-1>.
- [7] AGÖF Guidance Values for Volatile Organic Compounds in Indoor Air. Disponible en: <https://cutt.ly/wrJGdhP>

# LA NECESIDAD DE GARANTIZAR UNA ADECUADA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN LOS EDIFICIOS

Juan Carlos Romero Cabra, Responsable de Producto, S&P Sistemas de Ventilación

**Resumen:** Debido a la actual situación de pandemia, la sociedad está tomando conciencia sobre los riesgos asociados a la falta de ventilación de los espacios interiores, así como sobre la importancia de mantener una buena calidad de aire interior para evitar el riesgo de transmisión de las enfermedades. Más allá de los patógenos víricos y bacterianos, existen numerosos elementos que pueden afectar negativamente a las personas e incluso pueden provocar problemas serios sobre su salud. Para evitar que esto suceda, será necesario que durante las fases de diseño y explotación de los edificios y sus instalaciones, se implementen medidas protectoras que garanticen la eliminación de los contaminantes interiores, protegiendo a los ocupantes de los contaminantes exteriores.

**Palabras clave:** CAI, IAQ, Calidad Aire Interior, HS-3, HS-6, salubridad, ventilación

## INTRODUCCIÓN

Probablemente un primer pensamiento nos llevaría a asociar el concepto “ausencia de salud” con el de enfermedad, y a su vez es posible asociar algunas enfermedades con posibles causas que las han originado. Sin embargo el término salud es mucho más amplio y engloba aspectos como las condiciones de salubridad e higiene del individuo así como del medio en el que éste habita. Y evidentemente si nos referimos al medio, el nuestro es el aire.

Nuestra relación con éste es mayúscula; lo respiramos, utilizamos su oxígeno a nivel metabólico y de hecho vivimos inmersos en él.

Cada persona respira unos 8.000 litros de aire al día, es por tanto evidente la importancia que tiene para nuestra salud, poder garantizar la salubridad del aire que nos rodea. A este dato hay que añadir que las personas pasamos entre un 75% y un 80% de nuestro tiempo en espacios interiores (hogares, oficinas, aulas, lugares de trabajo, restaurantes, gimnasios, etc.). Parece por tanto evidente la relación existente entre salud y Calidad de Aire Interior (CAI). Veamos a continuación cuales son los contaminantes más habituales contenidos en el aire interior y exterior.

## Contaminantes que son generados en el interior del edificio

- **CO2:** Gas emitido por las propias personas. Su medición se relaciona de forma directa con el nivel de ocupación de los edificios. Multitud de estudios han establecido una relación directa entre la exposición a elevadas concentraciones de CO2 y la aparición de síntomas de malestar en los ocupantes del edificio. También ha sido demostrado el efecto negativo sobre el rendimiento de los estudiantes y trabajadores, provocado por la exposición prolongada a concentraciones de CO2. En función del tipo de edificio, se consideran apropiados niveles de CO2 comprendidos entre 800 y 1200 ppm.
- **Virus y bacterias:** Llegan al aire cuando la persona infectada los expulsa de su organismo al toser, estornudar, hablar o simplemente al respirar. Una vez en el aire, bien sea de forma independiente o adheridos a partículas de mayor tamaño (como pequeñas gotas de saliva), permanecen en el aire durante un periodo de tiempo suficiente para ser inhalados por otras personas, produciéndose de esta forma la transmisión del patógeno y el consiguiente riesgo de transmisión de la enfermedad. Entre el 5% y el 10% de los pacientes que ingresan a hospitales modernos del mundo desarrollados contraerán una o más infecciones.
- **Formaldehído:** Emitidos por los materiales utilizados en la construcción del edificio y elementos del mobiliario como muebles de madera aglomerada, tapicerías y revestimientos. Este componente volátil puede producir irritación cutánea, escozor de ojos, rinitis o molestias en la garganta.
- **Benceno y Tolueno:** Emitidos principalmente por algunas pinturas y barnices en base acuosa y baldosas vinílicas. La exposición prolongada a estos componentes orgánicos volátiles está relacionada con afectaciones del sistema nervioso así como malestar general.
- **Radón:** Gas radiactivo producido en suelos de tipo granítico. La exposición al radón está considerada la segunda causa de aparición de cáncer de pulmón después del tabaco. La reciente aparición del documento básico HS-6 Protección frente al gas radón, supone un primer paso en la protección de los edificios contra este gas, sin embargo existe un gran parque de edificios en el que los ocupantes están expuestos a concentraciones elevadas de radón.

## Contaminantes del aire exterior

- **Materia en suspensión:** Se trata de material sólido que debido a su mínimo peso y tamaño queda suspendido en el aire. Son partículas no visibles al ojo humano pero que presentan una elevada capacidad de penetración en nuestro organismo a través del sistema respiratorio. En función del tamaño de las partículas, éstas se clasifican en PM1, PM2,5 y PM10 cuyo índice numérico hace referencia al tamaño máximo de las partículas (micras). Cuanto menor sea el tamaño de la partícula, mayor será su capacidad de penetración en el organismo y peores los efectos sobre la salud.

Tamaño de las partículas	Efectos sobre la salud
PM 10 $\mu\text{m}$	Pueden llegar a los conductos respiratorios y afectar a la función pulmonar
PM 2,5 $\mu\text{m}$	Pueden llegar a los conductos respiratorios y afectar a la función pulmonar, generar problemas oculares e irritación de la piel
PM 1 $\mu\text{m}$	Altamente peligrosos, pueden llegar al flujo sanguíneo. Existen estudios que relacionan la exposición a la PM1 con el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y la aparición de cáncer de pulmón

Tabla 1. Capacidad de penetración en el organismo, en función del tamaño de la partícula.

La antigua norma EN-779 que clasificaba los filtros en función de su eficiencia ha sido anulada y substituida por la ISO-16890 la cual establece la clasificación de los filtros en función de la eficacia que tienen éstos en la retención de partículas de las tres categorías anteriormente citadas. Los fabricantes de filtros están obligados a declarar y marcar en los filtros los niveles de eficiencia que estos tienen sobre cada tamaño de partícula, denominadas ePM10, ePM2,5 y ePM1.

- **Monóxido de carbono:** Se produce cuando los combustibles que contienen carbono se queman en condiciones donde el oxígeno es limitado. Los motores de gasolina son la principal fuente de monóxido de carbono. La exposición a bajos niveles de exposición de monóxido de carbono puede causar sensación de falta de aire, náuseas y mareos.
- **Óxidos de nitrógeno:** Se producen principalmente como subproducto de la combustión en vehículos a motor (especialmente diésel) y procesos industriales. En base a las mediciones realizadas en las estaciones ambientales de Barcelona, un 36% de las escuelas superan, en horario escolar, los niveles de Dióxido de nitrógeno recomendados por la Directiva 2008/50/CE y que se encuentra establecido en  $40.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## MEDIDAS A APLICAR PARA OBTENER UNA BUENA CALIDAD DE AIRE INTERIOR

La contaminación interior o la mala calidad del aire interior se han identificado como uno de los elementos clave, no sólo en relación con el síndrome del edificio enfermo sino de forma general, como uno de los factores de incidencia más negativa en el ámbito de la salud laboral.

En el caso del edificio enfermo, es habitual encontrar ejemplos de esta patología en edificaciones de la arquitectura moderna, caracterizadas por estructuras herméticas, aisladas del exterior y donde los sistemas de ventilación son clave en la aportación de soluciones.

La tendencia a la construcción de edificios de bajo consumo energético ha provocado que los edificios sean cada vez más herméticos. Ante esta situación cobra especial importancia el dimensionado del sistema de ventilación, en el que se deberá prestar especial atención a los siguientes aspectos:

### Dimensionado de la red de conductos

La eficiencia de la ventilación quedará condicionada por aspectos como:

- La ubicación de las rejillas o difusores de impulsión de aire y las tomas de extracción y retorno. Las líneas de circulación de aire entre puntos de impulsión y extracción deberán discurrir por las zonas ocupadas, provocando un efecto barrido de las partículas y contaminantes generados por personas y mobiliario. En este sentido puede

ser interesante utilizar las redes de conductos de climatización para realizar la aportación de aire exterior, bien sea mediante sistemas todo-aire o mediante la aportación de aire exterior sobre los plenum de retorno del sistema de climatización.

- La agrupación de zonas en función de las calidades de aire, realizando sistemas de ventilación independientes en zonas en las que la calidad del aire sea inferior, evitando la transmisión de contaminantes de éstas hacia otras zonas del edificio. Ejemplos de zonas a tratar de forma independiente son: Lavabos, vestuarios salas de limpieza, casos en los que los conductos de extracción deberían ser independientes. La descompensación de los caudales de impulsión y extracción también puede ser un elemento útil en el control de flujos de aire entre distintas zonas del edificio.
- El adecuado dimensionado de las redes de conductos, evitando tramos de conducto excesivamente largos, y planteando en su lugar ramificaciones en paralelo con especial atención al equilibrado de cada ramal.
- La adopción de secciones de conductos que garanticen una baja velocidad de aire en condiciones de máxima demanda, contribuyendo al aumento del confort acústico y a la reducción del consumo eléctrico de los ventiladores.
- La selección de unidades de ventilación apropiadas al tipo de instalación. En instalaciones en falso techo, será recomendable utilizar unidades con carcasa fabricada en doble panel metálico (tipo sándwich), lo que comportará en una reducción del nivel sonoro radiado a través del falso techo. El uso de silenciadores en las tomas de aspiración y especialmente la descarga de aire también son recomendables.

## Caudales de aire exterior

Para la eliminación de los contaminantes generados en el interior del edificio, la ventilación se presenta como la mejor solución, permitiendo la reposición del aire interior contaminado por aire exterior con niveles de CO<sub>2</sub> mucho más bajos. En locales con ocupación variable la regulación del caudal de ventilación de forma directa al nivel de CO<sub>2</sub> se presenta como la solución más efectiva y equilibrada para garantizar la CAI optimizando al mismo tiempo el consumo de las unidades de ventilación.

El método más extendido para establecer el caudal de aire exterior necesario es el método indirecto de caudal de aire exterior por persona, contemplado en la Instrucción Técnica 1.1.4.2.3. del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

Tipo de local	Caudal de aire exterior por persona
Calidad Óptima - IDA 1	72
Calidad Buena - IDA 2	45
Calidad Media - IDA 3	28,8

Tabla 2. Caudales de aire exterior por persona. Método indirecto IT.1.1.4.2.3.

Al margen de los valores normativos, en estos momentos con el fin de reducir el riesgo de contagios por Covid-19, las principales asociaciones europeas de técnicos en HVAC recomiendan aumentar los caudales de ventilación aportados por ocupante, pasando de 28,8m<sup>3</sup>/h a 45 m<sup>3</sup>/h, bien sea aumentando el caudal de ventilación (siempre que el sistema de ventilación así lo permita), o bien sea mediante la limitación del aforo de los espacios interiores.

## Filtración

La filtración del aire exterior es la única barrera de protección ante los contaminantes presentes en el aire exterior y su importancia será mayor cuanto mayor sea el nivel de contaminación del aire exterior.

La reducción de los niveles de partículas que pueden acceder al interior del edificio a través del sistema de ventilación se consigue mediante la instalación de uno o varios filtros de alta eficacia.

El RITE mediante la Instrucción Técnica 1.1.4.2.4, define los niveles de filtración mínima que se deberán incluir en la aportación de aire exterior, y que son función del tipo de uso del local y la calidad del aire exterior.

Calidad del aire exterior	Calidad del aire interior			
	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
ODA 1	F9	F8	F7	M5
ODA 2	F7+F9	M6+F8	M5+F7	M5+M6
ODA 3	F7+GF+F9	F7+GF+F8	M5+F7	M5+M6

Tabla 3. Filtración requerida en función del tipo de edificio y su ubicación.

- ODA 1: Aire puro que se ensucia sólo temporalmente (por ejemplo polen).
- ODA 2: Aire con concentraciones altas de partículas y, o de gases contaminantes.
- ODA 3: Aire con concentraciones muy altas de gases contaminantes (ODA 3G) y, o de partículas (ODA 3P).

En cualquier caso, no será suficiente con seleccionar los filtros apropiados, también se deberá exigir que el fabricante de las unidades de ventilación adopte sistemas de montaje de los filtros que garanticen un elevado nivel de estanqueidad y eviten el efecto by-pass del aire a través del contorno del filtro.

En el caso en que los edificios se encuentren ubicados en ambientes exteriores con elevada contaminación ambiental por gases (ODA-3G), no será suficiente con la utilización de filtros convencionales. En este caso se deberán integrar soluciones tecnológicas como el uso de materiales absorbentes, radiación UV o reacciones fotocatalíticas entre otras, que garanticen una elevada eficiencia en la eliminación de estos contaminantes.

## Elementos de control y regulación

Deben garantizar la adecuación de las prestaciones del sistema a las necesidades de cada momento, optimizando al mismo tiempo el funcionamiento de la instalación. Esto solamente será posible de la mano de un control avanzado que integre funcionalidades tales como:

- Visualización de los caudales de aire de aportación y extracción.
- Regulación automática del caudal en función del CO<sub>2</sub>.
- Detección de ensuciamiento de filtros combinada con la compensación con el aumento de la velocidad de los ventiladores.
- Funciones free-cooling y gestión de baterías de refrigeración/calefacción.

Pese a que no es conveniente generalizar sin antes haber realizado el correspondiente análisis de necesidades, algunas soluciones DCV implementadas habitualmente con resultado satisfactorio son las siguientes:

- Pequeños despachos o salas de reunión de poca ocupación: Detección de presencia combinada con compuertas bicaudal pilotando entre caudal valle y caudal pico. El caudal valle permite eliminar los olores y COV's procedentes del mobiliario de oficina como formaldehidos.
- Zonas de trabajo y oficinas con ocupación variable: Sensor de calidad de aire interior CO<sub>2</sub> con salida proporcional para la regulación de la velocidad de los ventiladores o abertura de compuertas. Se trata de una de las medidas más eficaces para prevenir situaciones de elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> en el ambiente interior y, por tanto evitar el deterioro de la CAI.

En estos sistemas, se deberán tener en cuenta una serie de consideraciones a la hora de instalar los sensores de CO<sub>2</sub> tales como:

- Evitar determinadas ubicaciones como puertas y ventanas o aquellos lugares en los que las personas puedan respirar directamente sobre el sensor, como por ejemplo sobre mesas de trabajo.
- Siempre que sea posible, optar por los sensores de montaje de pared y no por los de montaje de conducto. Los montajes de pared ofrecen información más precisa sobre la efectividad del sistema de ventilación.
- En el caso de instalar sensores de montaje de conducto deberán instalarse lo más cerca posible del espacio ocupado y con un acceso fácil para realizar las tareas de mantenimiento. En sistemas de una única zona estos son los más aconsejables.
- Los sensores de montaje de pared deberán colocarse entre 1 a 1,8 metros sobre el nivel del suelo.

## Recuperación de energía

Para minimizar el impacto energético debido a la ventilación será imprescindible que las unidades de ventilación incluyan una sección de recuperación de calor. En función de las condiciones ambientales y uso previsto del edificio, se evaluará el tipo de recuperación idónea (entálpica o sensible).

La integración de una sección de recuperación de calor es un elemento que afecta al balance energético del edificio y al mismo tiempo tiene una importante afectación al confort interior ya que permite conseguir temperaturas de aportación de aire exterior muy cercanas a la temperatura interior.

## Mantenimiento preventivo

Para que la CAI se mantenga en el tiempo, es imprescindible realizar un adecuado mantenimiento de las instalaciones, integrado en el plan de mantenimiento del edificio, que deberá considerar acciones preventivas como:

- Sustitución de filtros
- Limpieza y mantenimiento de los equipos de ventilación y las redes de conductos
- Verificación de estanqueidad de la red de conductos
- Comprobación de prestaciones de las unidades de ventilación.

## Sistemas de purificación de aire

Entendemos como purificación, a la recirculación de aire interior a través de una unidad autónoma equipada con varias etapas de filtración, que podrán ser mecánicas o químicas. El sistema de purificación de aire únicamente puede entenderse como un complemento al sistema de ventilación ya que este último seguirá siendo necesario para eliminar elementos sobre los que la filtración no es efectiva como el CO<sub>2</sub>.

Para que los purificadores resulten útiles deberán incluir etapas de filtración efectivas contra las partículas o gases nocivos existentes en el aire interior.

Los filtros absolutos se presentan como la mejor solución en la retención de partículas de menor tamaño (PM1, virus y bacterias) debido a su elevada eficiencia en la retención de estas partículas:

Filtros absolutos s/EN-1822	Eficacia de filtración mínima
E12	99,8%
H13	99,95%
H14	99,995%

Tabla 4. Eficacia de filtración mínima de los filtros absolutos frente a partículas de 0,3 micras.

A modo de referencia, la eficiencia de una mascarilla FFP-3 es del 98%.

## CONCLUSIONES

En los próximos años, tenemos el reto de conseguir auténticos edificios de consumo casi nulo. Esta realidad conllevará el riesgo de que en la búsqueda de la eficiencia energética se obtengan edificios estancos en los que no se garanticen unos niveles de calidad de aire interior apropiados.

La eficiencia energética no debe ser el fin sino el medio para obtener edificios saludables y confortables.

El estado del arte permite que sea posible llevar a cabo el propósito de construir edificios salubres y sostenibles, sin embargo será imprescindible que los aspectos que inciden sobre la CAI sean considerados desde las primeras fases de proyecto del edificio

## REFERENCIAS

- Organización Mundial de la Salud. 2020. Noticias de brotes de enfermedades
- Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid. 2010 Calidad del aire interior en edificios de uso público.
- Heymann D. El control de las enfermedades transmisibles. 2008. American Public Health Association, Washington.

# LA DIGITALIZACIÓN COMO PALANCA PARA ACTIVAR AL USUARIO FINAL HACIA LA REHABILITACIÓN

Isabel Alonso de Armas, Directora de Alianzas Estratégicas, habitissimo

**Resumen:** Desde 2013 se ha buscado impulsar la rehabilitación del parque inmobiliario español, sin el éxito esperado. Con un ciudadano cada vez más digitalizado se abren nuevas posibilidades para conocer sus hábitos y comportamiento al realizar intervenciones en su vivienda o edificio, así como para activarle hacia la eficiencia energética y descarbonización. La revolución digital que se está produciendo no es sólo la aplicación de tecnologías digitales, pues implica un importante cambio cultural, económico y social. Es una disrupción al que ningún ámbito quedará ajeno, siendo necesaria una gran resiliencia, así como supone una gran oportunidad para alcanzar los ODS.

**Palabras clave:** Rehabilitación, digitalización, reforma, usuario final, eficiencia energética, descarbonización.

## SITUACION DE LA REHABILITACIÓN Y REFORMA

Desde la llamada Ley 3R (Ley 8/2013, de 26 de junio, de Rehabilitación, Regeneración y Renovación Urbanas), se ha tratado de impulsar la rehabilitación de nuestro parque inmobiliario, sin el éxito esperado a pesar de que la normativa, sistemas y soluciones técnicas, así como la financiación han avanzado notablemente para propiciar la eficiencia de nuestros edificios. Si bien la Obra Nueva tomó impulso de recuperación tras la gran caída en la crisis de 2008, la rehabilitación sólo ha experimentado un tímido crecimiento del 6% si se consideran los visados de ampliación y reforma de vivienda en el periodo 2014-2019 del Instituto Nacional de Estadística (INE), siendo plano de 2016-2108, despuntando un 11% en 2019, lo que auguraba buenas perspectivas para el presente año:

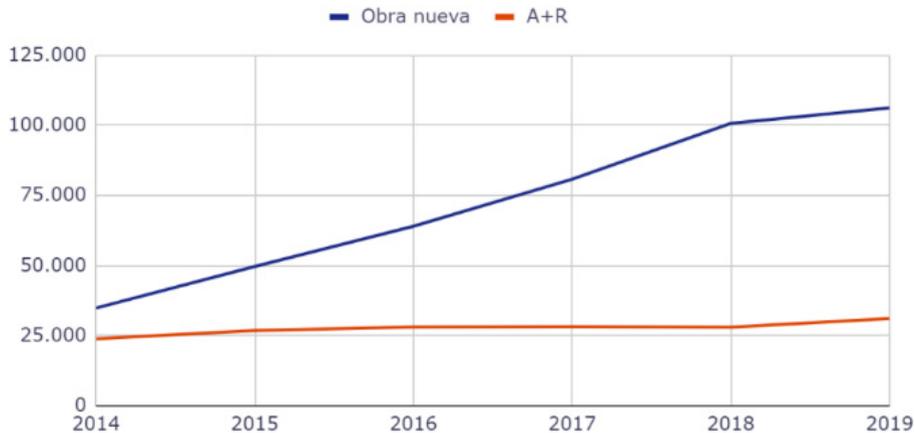


Figura 1. Visados de Obra nueva y de Ampliación y Reforma.

El mayor impacto en índices de reducción de demanda energética, emisiones y consumo de energía de origen no renovable, se lograría con la regeneración urbana o la rehabilitación de un edificio, pero la realidad es que la reforma, percibida como la hermana menor de la rehabilitación, mantiene una actividad continua en el tiempo nada desdeñable, estimada en veinticinco o treinta mil millones de euros al año por habitissimo (alineado con valores de asociaciones del sector). La reforma y otras intervenciones en el hogar pueden ser un primer paso para la ciudadanía para adquirir conciencia del potencial medioambiental de las actuaciones y de sus bondades en términos de salud y bienestar, facilitando la puesta en marcha de la rehabilitación eficiente, con un proceso de toma de decisión y ejecución más lento y complejo. Todas las intervenciones son importantes, todas suman, con independencia de su escala (barrio, agrupación, edificio o vivienda). Quizás por ello el Plan Estatal de Vivienda vigente incluye por primera vez actuaciones en viviendas de un edificio.

Teniendo presente los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la Unión Europea marca el camino, siendo el pasado mes de diciembre cuando presentó el Pacto Verde Europeo ('The European Green Deal') como la hoja de ruta para alcanzar una economía sostenible teniendo como pilares el clima y el medioambiente, vinculado a una transición justa. Se plantea la necesidad de poner en marcha una "ola de rehabilitación" ya que los edificios representan el 40 % de la

energía consumida, siendo imprescindible mejorar su eficiencia energética, su resiliencia climática, impulsar la digitalización y la economía circular. Teniendo la Ley Europea del Clima como objetivo la neutralidad climática para 2050.

Tras la disrupción de la Covid, el Gobierno ha presentado el pasado 4 de agosto 2020 el Plan de Rehabilitación Energética de Edificios (PREE) como un plan que se “alinea con las políticas de reactivación económica frente el COVID-19 de la Unión Europea, centradas en la transición energética y la digitalización, generando un efecto incentivador sobre la generación de empleo y actividad económica en el sector de la construcción” [4], destacando la vinculando de la digitalización con el desarrollo del Plan.

Para alcanzar los objetivos marcados, la rehabilitación necesita un motor con triple hélice, que le dé el impulso necesario, siendo cada hélice: políticas de impulso, un usuario final motivado y un sector preparado. La primera hélice, va tomando velocidad e inercia, pues si bien ya se estaba en el camino (Green Deal, PNIEC, ERESEE, etc) la disrupción del virus Covid ha provocado la intención de acelerar la actividad del sector de la construcción (con gran foco en la rehabilitación) para lograr la recuperación económica del país, como el anteriormente mencionado PREE. Sin embargo, no se detecta un cambio sustancial en relación a las otras dos hélices, no se ha encontrado la clave para activar al usuario final, así como el sector sigue adoleciendo de los problemas de estar tan atomizado, como puede ser el retraso en la transformación digital y la falta de relevo generacional (cerca del 50% de profesionales tiene más de 45 años).

## LA DIGITALIZACIÓN

La rehabilitación será un pilar europeo para la recuperación, pero ésta sólo será posible con una Sociedad Digital, alcanzando el ámbito de las Administraciones Públicas, las empresas y los ciudadanos. La revolución digital que se está produciendo no es sólo la aplicación de tecnologías digitales, pues implica un importante cambio cultural, económico y social. Es una disrupción al que ningún ámbito quedará ajeno, siendo necesaria una gran resiliencia, así como supone una gran oportunidad para alcanzar los ODS. Las nuevas tecnologías no son un fin en sí mismas, sino que ofrecen nuevos servicios (Internet de las Cosas, Cloud Computing o Big Data) que ayudarán a alcanzar la sostenibilidad. La cifra de viviendas que disponen de acceso a Internet en España se sitúa en torno al 91%.

En el Plan Digital 2025 de la CEOE [2], se identifican cuatro principios básicos para alcanzar una Sociedad Digital, Hiperconectada e Inteligente:

- Todo lo que se pueda digitalizar se digitalizará.
- Todo lo que se pueda automatizar se automatizará.
- Todo lo que se pueda conectar se conectará.
- Todo lo que se pueda analizar se analizará.

## PERFIL DEL USUARIO FINAL

El usuario final es un agente esencial en el proceso de rehabilitación de nuestros edificios, tanto de viviendas colectivas como unifamiliares, pues es quien toma la decisión de iniciar el proceso. En España a partir de 45 años de edad se supera el 80% de hogares con vivienda en propiedad, si bien a partir de los 30 años se supera el 60%. En relación a la pirámide de población de España (INE), la franja de edad más representativa se corresponde con 40-55 años, que sumado a lo anteriormente expuesto hace que los mayores tenedores de primera vivienda tengan la edad entre 45 y 64 años. Correspondiéndose con la Generación X y Baby Boom.

	Hogares (millones)	Generación
De 16 a 29 años	0,17	Z, Y(millennials)
De 30 a 44 años	3,07	Y (millennials), X
De 45 a 64 años	6,18	X, Baby Boom
65 y más años	4,89	Baby Boom

Tabla I. Hogares en propiedad (INE).

La intervención de rehabilitación y reforma de un inmueble lo afronta normalmente el propietario, y si bien pudiéramos pensar que por la franja de edad del cuadro anterior el peso de la Generación Y o Millenials sería muy significativa en relación a la solicitud en internet de una empresa o profesional, cuyo rango de edad de los usuarios finales que indican solicitar digitalmente (por algún canal) el servicio de un profesional o empresa está situado entre 40 y 59 años, con gran peso de la Generación X (1969-1980). [5]

Las búsquedas realizadas en internet ayudan a entender las preocupaciones de los ciudadanos y según un estudio realizado por Google [3], el 80% declara estar interesado por el medioambiente y la sostenibilidad, así como el 78% considera importante o muy importante tomar medidas contra el cambio climático. Si bien no se aprecia gran diferencia de respuesta en cuestión de género, en relación a las edades, se muestra más concienciación entre las edades 35 a 54 años. Siendo interesante el dato de que la audiencia preocupada en el medioambiente está muy interesada en su hogar (decoración, diseño y mantenimiento) usando revistas y webs relacionadas para informarse.

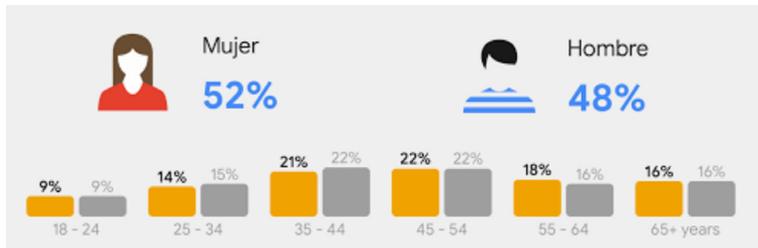


Figura 2. Características demográficas del usuario interesado en medioambiente en España [3].

Según habitissimo en 2019 [6] el perfil del usuario final que solicitó de forma digital el servicio de un profesional fue mujer entre 51-55 años:

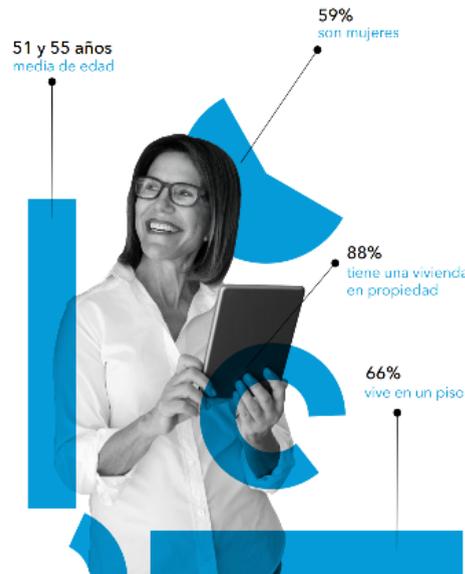


Figura 3. Perfil del usuario final.

Si en base a esta información disponible en internet, se extrae el rango de edad en tramificación de 5 años, sería 50 a 55 años el grupo de edad objetivo, por encontrarse situado entre los mayores tenedores de vivienda en propiedad, mostrar mayor preocupación por el medioambiente, así como indicar que usan medios digitales para la búsqueda del servicio de mejora de su vivienda.

## POSIBILIDADES DE LA DIGITALIZACIÓN PARA ACTIVAR AL USUARIO FINAL

Para impulsar la rehabilitación y reforma eficiente, se debe lograr que el ciudadano, en función de la fase en la que se encuentre adquiera consciencia de:

- los objetivos sostenibles como sociedad
- su situación actual
- la potencialidad de las intervenciones que como individuo o comunidad realice, en base a ahorro, confort, salud
- planteamiento y ejecución de las intervenciones, ya sean medidas pasivas o activas
- valor del impacto obtenido
- autodifusión de los beneficios logrados pues el impacto logrado sobre otros usuarios será muy relevante

Las búsquedas realizadas en internet ayudan a entender las preocupaciones de los ciudadanos, habiendo aumentado un 135% el interés por el medioambiente y la lucha contra el cambio climático [3], sin embargo a la hora de realizar intervenciones del hogar si se analizan las búsquedas realizadas en Google en el último año, se puede ver una clara diferencia entre las intervenciones habituales realizadas (pintura, cocina) y las que están más vinculadas con las energías renovables (autoconsumo, placas solares) o con la eficiencia energética (ventana).

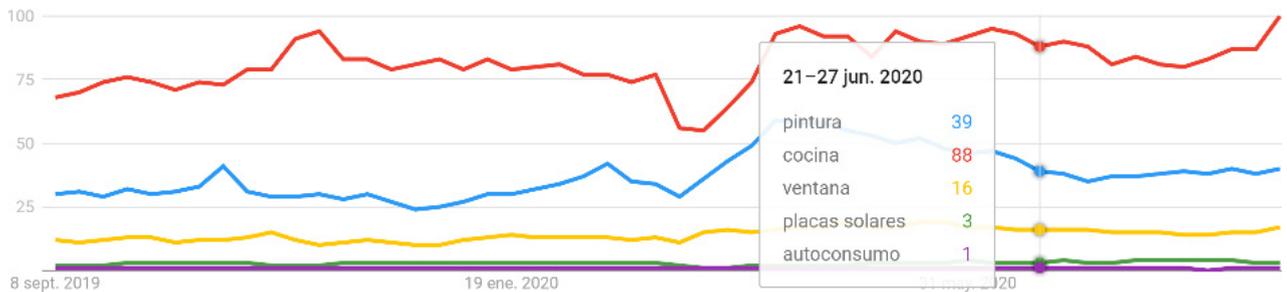


Figura 4. Búsquedas en Google septiembre 2019-2020.

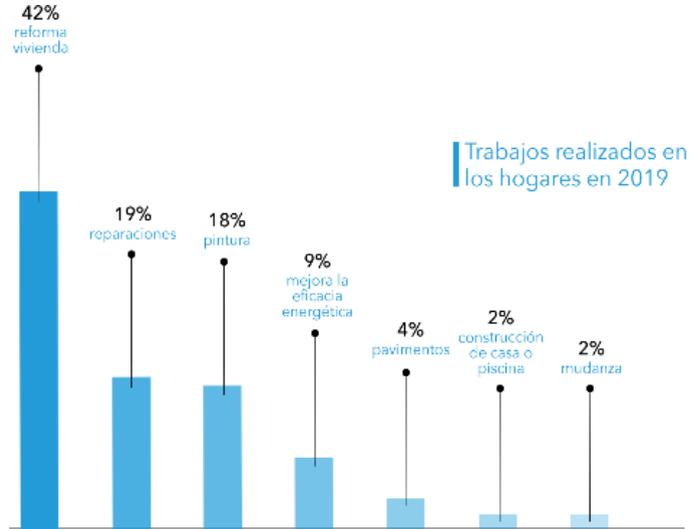


Figura 5. Trabajos realizados 2019 [6].

Siendo por los usuarios finales la estancia más elegida para reformar el baño (51%), seguida de la cocina (40%). [6]

Internet y las redes sociales (Facebook, Twitter, Instagram, etc.) son hoy en día un espacio en donde los usuarios se informan y donde poder impactar en el público objetivo, tal y como realizan las grandes marcas de productos en sus campañas, para lograr que de la concienciación se llegue a la acción para alcanzar la mitigación del cambio climático.

## Control del consumo

El acceso de forma casi instantánea al consumo energético o agua facilita la percepción del usuario final del retorno en ahorro de acciones implementadas de una forma clara y rápida. Como ejemplo de herramientas digitales útiles, se presenta la aplicación de móvil de Iberdrola, a través de la cual su cliente puede conocer en detalle del consumo energético del mes en curso, de los últimos años, meses, días, incluso por horas. También puede realizar la modificación de la potencia contratada o controlar dispositivos inteligentes que disponga en su vivienda. [7]

Entre las intervenciones subvencionables incluidas en el Plan de Rehabilitación Energética de Edificios (PREE) para la mejora de la eficiencia energética se incluyen sistemas de domótica, sistemas de monitorización y otros sistemas digitales que permitan una mejor gestión y la reducción del consumo energético del edificio.

## Reducción de incertidumbre al emprender intervenciones

Para una persona que va a realizar una rehabilitación de su vivienda unifamiliar o edificio colectivo, así como una reforma integral, suele ser su segunda mayor inversión económica (la primera, la adquisición de la vivienda) y lo afrontará una o pocas veces en su vida. Esto hace que se encuentre ante una situación nueva, con múltiples interlocutores, lo que provoca un alto grado de incertidumbre. La digitalización puede también ayudar a mitigar dichos miedos, entre ellos, la falta de confianza.

Internet se ha convertido en el medio preferido por los consumidores (93%) para buscar información, por delante de la televisión (90%), las redes sociales (78%) y la radio (72%), seguida de la prensa (68%) [1]. No siendo diferente su comportamiento en relación a las intervenciones en la vivienda o edificio, obtención de información sobre ayudas disponibles o qué empresa le da más confianza. Visitando la web de la empresa que vaya a realizar la obra, así como publicaciones en medios de terceros, o plataformas de servicios (housfy, habitissimo, etc.) donde se produzca el reconocimiento de su profesionalidad, al estilo de Tripadvisor.

## Realidad aumentada (RA) y realidad virtual (RV)

La realidad aumentada (RA) y la realidad virtual (RV) se están desarrollando y se prevé una gran presencia generalizada con la implantación de la red 5G, y por ello empresas como Facebook trabajan en su nuevo mundo de realidad virtual (Facebook Horizon), considerando que la sociedad está preparada para ello. Representa una gran oportunidad para la rehabilitación al poder mostrar al usuario final el estado final de la actuación.

## Building Information Modeling (BIM)

Permite la integración de todos los agentes intervinientes durante el ciclo de vida del edificio, mejorando, entre otros aspectos la eficiencia de gestión del inmueble y el uso de recursos.

## Hogar Digital

Los hogares tienden rápidamente a digitalizarse, a incorporar dispositivos inteligentes como las smart TV, los altavoces inteligentes que se conectan con otros dispositivos de la vivienda, las luces inteligentes, radiadores con wifi, persianas inteligentes, etc., todo conectado, son ya de gran ayuda y una gran oportunidad para aumentar nuestra eficiencia energética acompañada del confort.

El uso del Internet de las cosas (IoT), Inteligencia Artificial (IA), utilización de Big Data, servicios en la nube, etc. seguirán marcando el camino de la transformación digital.

## El papel de la administración pública

A parte del impulso al proceso general de digitalización de la sociedad será importante seguir trabajando en el desarrollo de Open Data para favorecer la reutilización de la información del sector público.

La digitalización de gestiones con la administración tanto en acceso electrónico a ayudas públicas (información, solicitud, seguimiento, etc.) como con las solicitudes de licencias agilizaría y simplificaría los pasos a seguir del usuario final, comunidad de propietarios u otro agente.

La digitalización propicia, entre otras acciones, la creación por la administración de oficinas virtuales para el asesoramiento en rehabilitación energética que ayudan a difundir las bondades de la rehabilitación, así como a la efectividad de los planes de subvenciones puestos en marcha.

## **CONCLUSIÓN: EL SECTOR DEBERÁ APROVECHAR DICHAS HERRAMIENTAS PARA “ACTIVAR” AL USUARIO FINAL**

La transformación digital no afecta sólo al usuario final, es una transformación 360º de la sociedad española, a la que el sector no puede darle la espalda ni dilatarlo, o pensar que se reduce sólo a implantar la metodología de BIM.

Cada vez el usuario final está más digitalizado en otros ámbitos de su vida (trabajo, salud, ocio) y va a requerir para sus intervenciones de rehabilitación o reforma un interlocutor con quien pueda “entenderse” y que le ofrezca la confianza necesaria en línea a cómo la adquiere en otras tomas de decisión (compras con Amazon, restaurantes en Tripadvisor, etc.) como, por ejemplo, en base a acreditaciones profesionales, opiniones de clientes o imágenes de proyectos realizados. Para las empresas será esencial tener presencia digital y cuidar su reputación online.

Conocer sus hábitos, motivaciones y expectativas será importante para lograr activar al usuario final en su papel privado o como comunidad de propietarios hacia la rehabilitación con foco en la eficiencia energética.

El uso de herramientas digitales será y es ya esencial para animar y lograr que las intervenciones se dirijan a cumplir los objetivos de descarbonización y eficiencia energética del parque inmobiliario, convirtiéndose el interlocutor del usuario final, ya sea el técnico o el responsable de la ejecución de la obra, en un guía y promotor de soluciones orientadas a tal fin.

Distintas herramientas digitales permitirán al sector poder seguir identificando parámetros y su evolución en el tiempo, así como el impacto de acciones provocadas o acontecidas, como pueden ser los efectos sobrevenidos por los meses de confinamiento en nuestros hogares, planes de ayudas o campañas de difusión.

## **REFERENCIAS**

- [1] KPMG, 2018, Informe Me, my life, my wallet
- [2] Plan Digital 2025 CEOE, 2020, La digitalización de la sociedad española
- [3] Infografía Google Internal Data, 2020, Estudio Sostenibilidad energética: El usuario comprometido y la industria.
- [4] Nota de Prensa de MITECO, 4 de agosto 2020
- [5] Informe de evolución de la Reforma de habitissimo, julio 2020
- [6] Informe de la Reforma y Reparación 2019 de habitissimo, 2020
- [7] Aplicación Iberdrola 2020 (app para móvil)

# EL PAGO POR DISPONIBILIDAD COMO FÓRMULA PARA DESARROLLAR OBRAS DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA, RESTAURACIÓN Y EQUIPAMIENTOS

**David García Núñez**, Presidente, Asociación Madrid Capital Mundial Construcción, Ingeniería y Arquitectura  
**David Solla Navarro**, Coord. General, Asociación Madrid Capital Mundial Construcción, Ingeniería y Arquitectura  
**Armando Ortuño Padilla**, Dir. Técnico, Asociación Madrid Capital Mundial Construcción, Ingeniería y Arquitectura

**Resumen:** En esta comunicación se plantea una fórmula de retribución en el ámbito de la concesión de obra pública novedosa en el caso español que permite acometer obras de mejora de la eficiencia energética, restauración y equipamientos según el llamado “Pago por Disponibilidad”. Como grandes ventajas del modelo, una adecuada transmisión de riesgos al concesionario permite que el presupuesto de ejecución no consolide en las cuentas de la administración pública según la contabilidad de Eurostat, evitando que el ciudadano asuma el coste íntegro por el uso del objeto concesional. Así mismo, el hecho de que el canon a abonar por parte de la administración al concesionario dependa de indicadores del servicio garantiza una elevada calidad ofertada. Se describirán las características de esta fórmula y su encaje en la legislación española con objeto de que pueda ser empleada por las administraciones públicas.

**Palabras clave:** Financiación, Pago por disponibilidad, Presupuesto, Eurostat

## INTRODUCCIÓN

Los devastadores efectos de la pandemia de la Covid-19 no solo han afectado a la vida de muchas personas, sino que han conducido a una palmaria escasez de recursos públicos para afrontar otras necesidades del tejido socioeconómico: obras de mejora de eficiencia energética, restauración, equipamientos de todo tipo, infraestructuras, etc.

Por estas razones, la participación-público-privada (PPP) aparece como una fórmula para atender a esas demandas aprovechando la experiencia acumulada durante los últimos años en España y por las empresas españolas en el extranjero. Así, uno de los tipos de PPP que podría adaptarse en buena medida a los requerimientos actuales es el llamado “Pago Por Disponibilidad” (PPD), apenas utilizado en España frente a otros países europeos. Una correcta aplicación de este modelo permite que:

- El presupuesto de ejecución de la obra no consolide en las cuentas públicas.
- El ciudadano no tenga que asumir íntegramente el pago por el uso de la infraestructura objeto de la concesión.
- Se garantice un adecuado servicio por parte de la empresa adjudicataria.

## DESCRIPCIÓN DEL “PAGO POR DISPONIBILIDAD (PPD)”

Las principales características del PPD son las siguientes:

- La empresa concesionaria se encarga de sufragar íntegramente la obra y los costes de conservación, mantenimiento y explotación durante el periodo concesional.
- Los ciudadanos no asumen pagos por el uso de la infraestructura o, al menos, su aportación es mínima.
- La Administración abona un canon mensual/trimestral/anual a la concesionaria en concepto de pago por disponibilidad que le permita amortizar durante el periodo concesional los costes anteriores y retribuir el capital invertido.
- Estos pagos se regulan por contrato de acuerdo con diferentes indicadores de calidad de servicio en función del tipo de obra y se recogen en el Pliego de Condiciones. En caso de incumplimiento por parte de la concesionaria, se aplicarían descuentos de pago.
- Este modelo de retribución es acorde con lo estipulado en el artículo 267.4 de la Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos de Sector Público para los contratos de concesión de obra pública si bien, la vinculación de la calidad del servicio por parte del concesionario con su retribución se puede emplear en otras figuras de contratación con la Administración Pública en las que no es posible acudir al modelo de concesión de obra pública, como puede ser el arrendamiento operativo.

Como grandes ventajas de su aplicación:

- Permitiría movilizar los recursos económicos necesarios porque, con una adecuada transmisión de riesgos al concesionario, se evita cargar el gasto al presupuesto de la administración pública contratante -no consolida en el presupuesto de esa administración- dado que cumpliría con los criterios y normas del Sistema Europeo de Cuentas (SEC 2010) y de Eurostat.
- Garantizaría un adecuado mantenimiento de la obra ejecutada y del servicio ofertado pues, como se ha indicado, es condición que así sea para que el concesionario no vea disminuidos sus ingresos vía canon.
- Se evita que el ciudadano tenga que asumir, al menos íntegramente, el coste de la obra pagando por su uso.

## CRITERIOS PARA QUE LA OBRA NO CONSOLIDE EN EL PRESUPUESTO DE LA ADMINISTRACIÓN

Para que el presupuesto de la actuación no quede registrado en el presupuesto de la administración pública deben cumplirse una serie de requisitos de acuerdo a la normativa recogida en el Sistema Europeo de Cuentas (SEC 2010) y de Eurostat (Reglamento (UE) Nº 549/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2013 relativo al Sistema Europeo de Cuentas Nacionales y Regionales de la Unión Europea) que entró en vigor en España el 1 de septiembre de 2014 (INE, 2014). Además de este documento de referencia, se puede acudir a tres guías explicativas publicadas por Eurostat que ayudan a entender la casuística de cara a la preparación de los correspondientes pliegos:

- “A Guide to the Statistical Treatment of PPPs”, 2016.
- “A Guide to the Statistical Treatment of Energy Performance Contracts”, 2018.
- “Manual on Government Deficit and Debt: Implementation of ESA 2010”, 2019.

A continuación, se recogen algunos de los requisitos más importantes bajo el principio general de que el activo debe considerarse como privado:

- El coste de la obra, así como su mantenimiento y explotación debe soportarlo mayoritariamente la empresa adjudicataria/concesionaria.
- Así, la administración pública no deberá superar la aportación de los costes de construcción de la aportación privada. En línea con lo anterior, esa administración pública no podrá avalar a la empresa adjudicataria. Por el contrario, sí se admite financiación y/o subvenciones a fondo perdido por parte de instituciones europeas.
- El canon a aportar por parte de la administración queda supeditado al cumplimiento de una serie de indicadores de calidad del servicio ofertado, no pudiendo aplicarse umbrales mínimos de ingresos para la empresa, es decir: “cero disponibilidad, cero canon”.
- Esos indicadores deben quedar claramente definidos en el Pliego de Condiciones Administrativas Particulares y han de ser fácilmente medibles de modo que su mayor o menor nivel de cumplimiento no sea arbitrario ni discutible. Por ejemplo, los indicadores de calidad pueden estar referidos al correcto funcionamiento de las instalaciones de aire acondicionado y calefacción, iluminación, ascensores, etc. durante un número determinado de horas mensuales, con los consecuentes descuentos de pago por fallos en el suministro.
- Cuando acaba el contrato de concesión, el activo revierte íntegramente a la administración sin coste alguno.
- Adicionalmente, en el caso de obras de mejora de la eficiencia energética es condición para que no consolide en las cuentas de la administración pública que:
  - La inversión de capital supere el 50% del valor del activo tras haber finalizado las obras.
  - El ahorro de energía en términos económicos a lo largo de toda la vida útil del proyecto debe superar la suma del pago por disponibilidad en ese mismo periodo más las subvenciones aportadas por la administración pública, en su caso.
  - Para el caso de obras de restauración, es suficiente con que se cumpla el primero de los requisitos anteriores exigido a las obras de mejora de eficiencia energética.
  - Finalmente, para equipamientos y edificios de nueva planta, no son necesarios ninguno de los dos requerimientos específicos exigidos para el caso de las obras de mejora de la eficiencia energética.

## ENCAJE DEL PAGO POR DISPONIBILIDAD EN LA LEGISLACIÓN ESPAÑOLA

La fundamentación de la retribución de las concesiones de obras públicas a través de un pago por disponibilidad se encuentra en el artículo 267 de la Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014:

*“Artículo 267. Retribución por la utilización de las obras. 4. La retribución por la utilización de la obra podrá ser abonada por la Administración teniendo en cuenta el grado de disponibilidad ofrecido por el concesionario y/o su utilización por los usuarios, en la forma prevista en el pliego de cláusulas administrativas particulares. En caso de que la retribución se efectuase mediante pagos por disponibilidad deberá preverse en los pliegos de cláusulas administrativas particulares la inclusión de índices de corrección automáticos por nivel de disponibilidad independientes de las posibles penalidades en que pueda incurrir el concesionario en la prestación del servicio”.*

Este artículo se encuentra incardinado en la Ley en el marco de la regulación atribuible al contrato de concesión de obra pública. Por tanto, el primer punto que ha de quedar patente es que la fórmula de retribución que supone el pago por disponibilidad solo es predicable del contrato de concesión de obra pública no de cualquier otra figura o relación contractual entre la Administración y un tercero.

Para determinar la existencia o no de un contrato de concesión de obra pública, la Ley 9/2017, de Contratos del Sector Público, toma como elemento determinante que el concesionario asuma el denominado “riesgo operacional”. El riesgo operacional, además de que no asegura un beneficio al concesionario, incluye la posibilidad real de que éste incurra en pérdidas derivadas de la construcción y gestión de la obra o servicio público. Así lo considera expresamente la Directiva 2014/23, señalando que “se considerará que el concesionario asume un riesgo operacional cuando no esté garantizado que, en condiciones normales de funcionamiento, vaya a recuperar las inversiones realizadas ni a cubrir los costes que haya contraído para explotar las obras o servicios que sean objeto de la concesión”. Así mismo, exige que “la parte de los riesgos transferidos al concesionario implique una exposición real a las incertidumbres del mercado”. Por tanto, para que el riesgo se pueda considerar derivado de la explotación de la obra o servicio debe estar residenciado en “factores que escapan al control de las partes”.

Otro elemento diferenciador de este contrato de concesión de obra pública frente al resto de figuras jurídicas radica en la existencia del usuario. Así, junto con los dos actores principales del contrato, la Administración concedente y el privado concesionario encargado de realizar la obra y explotarla, se encuentra como tercer interviniente necesario para configurar la tipología contractual, el usuario. Precisamente sería la ausencia de usuarios, entendiéndose como tales los ciudadanos que voluntariamente demandan una obra o servicio público, la que permite negar la naturaleza concesional a aquellas infraestructuras construidas por el sector privado para el uso exclusivo de la Administración contratante (véase, edificios destinados a sede administrativa, prisión o instalación militar), y sobre las que la propia Directiva 2014/23 no hace referencia. En estos casos, los eventuales usuarios no pueden ser considerados como tales pues carecen de la libertad de demandar o no tales obras y servicios, por lo que no existe ni demanda ni oferta. Tal ausencia queda reafirmada por el hecho de que en estos casos la remuneración al constructor o propietario del inmueble procede íntegramente de la cuantía pactada previamente con la entidad contratante y no de la presencia en mayor o menor medida de usuarios que utilizan los servicios de la infraestructura objeto del contrato de concesión de obra pública. En definitiva, el riesgo concesional proviene de la “explotabilidad” de la obra o servicio, y sin usuarios particulares no existe esa “explotabilidad”.

En este punto, es especialmente importante destacar que la existencia de concesión sí está influida decisivamente por la existencia o no de usuarios pero, sin embargo, para que exista una concesión, en nuestro caso de obra pública, no es definitivo quién asuma el pago de la concesión, si la propia Administración concedente o los usuarios, sino más bien si existe el riesgo de que el concesionario pueda no recuperar las inversiones realizadas y/o no cubrir los costes contraídos para explotar las obras o servicios objeto de la concesión.

Para tratar la posible consolidación en las cuentas de las administraciones públicas de esta fórmula de retribución incluida en el contrato de concesión de obra pública se ha de acudir, nuevamente, al documento “A Guide to the Statistical Treatment of PPPs”, donde se señala que la nomenclatura que utiliza EUROSTAT para referirse a este tipo de contratos, PPP, solo lo es a efectos contables, de modo que cada país lo podrá denominar en su normativa como considere. Así, la posible diferente denominación no afectará al tratamiento contable. En el caso español, esta fórmula de retribución contractual se corresponde con una concesión de obra pública como recoge el artículo 267.4 de la LCSP citado.

Por su parte, el procedimiento administrativo para desarrollar cualquiera de estas actuaciones se recoge en la Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos de Sector Público. En ese procedimiento, destaca la posibilidad de que el sector privado, a través de la presentación de un estudio de viabilidad, inicie el proceso para el desarrollo del contrato de concesión de obra pública. Se expone, a continuación:

- Iniciativa:

- Privada: según el artículo 247.5 de la Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, permite que la iniciativa privada pueda dar el primer paso para el desarrollo de este tipo de proyectos con la presentación de un Estudio de Viabilidad sobre una propuesta concesional de este tipo. En este Estudio de Viabilidad, se deberán incluir, según el artículo 247.2 de esta misma Ley, informes sobre finalidad y justificación de las obras, justificación de por qué es más conveniente el contrato de concesión de obra pública que cualquier otra figura contractual, previsiones sobre la demanda de uso, valoración sobre el planeamiento sectorial, estudio de impacto ambiental, justificación de la solución elegida, riesgos operativos y tecnológicos, coste de la inversión a realizar así como el sistema de financiación, estudios de seguridad y salud, valor actual neto para valorar la tasa de descuento y, finalmente, la existencia de posibles de estado en caso de que se contemplen ayudas a la construcción o explotación.  
Si por la naturaleza o finalidad de las obras o por su cuantía se estimara conveniente por la Administración, todos estos estudios, se podrían sustituir por un estudio de viabilidad económico financiera. En los casos en los que sea la iniciativa privada quien active el proceso presentando este Estudio de Viabilidad, la administración receptora puede requerir a la empresa determinadas subsanaciones previas a su aceptación y tramitación.
  - Pública: por supuesto, la Administración que promueva la actuación podría iniciar los trámites concesionales sin necesidad de que ninguna empresa haya adelantado ese Estudio de Viabilidad.
- Trámite: Una vez aceptado ese estudio de viabilidad o iniciado el expediente por la Administración, puede dar comienzo al proceso de redacción de proyectos convencional y posterior licitación, debiendo figurar en el Pliego de Cláusulas Administrativas Particulares el reparto de riesgos público-privado para que el presupuesto de ejecución y mantenimiento no consolide en las cuentas de la Administración de acuerdo con la SEC-10. En ese momento se han de fijar de manera certera todos aquellos indicadores de calidad del servicio vinculados a la retribución del concesionario.
  - Ventajas para la iniciativa privada: Cuando el proceso se haya activado por la iniciativa privada, ésta dispondrá de una serie de ventajas en caso de que, finalmente, el proyecto salga a licitación. Salvo que el Estudio de Viabilidad, aun con las subsanaciones solicitadas por la Administración, hubiera resultado insuficiente, el autor del Estudio tendrá derecho en la correspondiente licitación a 5 puntos porcentuales adicionales a los obtenidos por la aplicación de los criterios de adjudicación previstos en el Pliego de Cláusulas Administrativas Particulares. Si finalmente no resultara adjudicatario, tendrá derecho al resarcimiento de los gastos efectuados para su elaboración incrementados en un 5 por cien como compensación.

## Otras figuras contractuales para la aplicación del modelo de pago por disponibilidad

Para afrontar esos otros proyectos que no pueden ser objeto de explotación, por ejemplo, porque se destinan a usos propios de la Administración y que, por tanto, no reúnen los requisitos para considerarse contrato de concesión de obra pública, única figura contractual que expresamente recoge el pago por disponibilidad como fórmula de retribución, existen otras figuras contractuales como el arrendamiento operativo que ha sido utilizado por la Administración para el desarrollo de proyectos como juzgados, comisarías y centros penitenciarios.

En esta tipología contractual para el desarrollo de proyectos, la Administración encomienda la construcción de la obra a la entidad arrendadora del inmueble. El destino del inmueble es su utilización por parte de la Administración para lo cual, una vez concluidas las obras, se procede a su arrendamiento a la Administración pública que ha encomendado su ejecución, quien irá abonando un pago, que a nivel contable se considera como gasto corriente y no de inversión. Durante toda la vida del contrato de arrendamiento, el arrendador será el titular del derecho de propiedad sobre el edificio construido ya que es un instrumento que sirve esencialmente para la retención de riesgos por el particular. En muchas ocasiones, este arrendamiento operativo se acompaña de un derecho de superficie en favor del arrendador de forma que, tras finalizar el arrendamiento operativo, revierte la obra en la Administración.

Como ocurría en la figura anterior, puesto que origina gastos corrientes (pago de arrendamientos), el arrendamiento operativo no consolida en las cuentas de la administración, a diferencia de los gastos de inversión que, según el Sistema Europeo Contable requieren financiación y, por tanto, sí consolidan en los presupuestos.

En cualquier caso, estas tipologías contractuales en las que no es posible aplicar el PPD porque no consisten en concesiones de obra pública, se pueden aplicar sus criterios para configurar los pagos periódicos a abonar al arrendador. Es decir, si bien no se puede aplicar directamente el contenido del artículo 267.4 de la Ley de Contratos del Sector Público y toda la legislación propia del contrato de concesión de obra pública, se pueden establecer indicadores de calidad de servicio a semejanza del PPD que determinen la retribución final del actor privado.

## CONCLUSIONES

A lo largo de esta ponencia se ha descrito el contrato concesional del pago por disponibilidad como fórmula para acometer obras de mejora de eficiencia energética requeridas por el actual parque edificatorio, especialmente, equipamientos. A diferencia de otras formas de retribución de los contratos concesionales de obra pública, el pago por disponibilidad tiene tres grandes ventajas:

1. La garantía de un buen servicio ofrecido por el concesionario ya que sus ingresos dependen del cumplimiento de indicadores recogidos en el Pliego de Condiciones.
2. La no asunción del coste directo, al menos en su integridad, por parte de la ciudadanía.
3. Con una adecuada transferencia de riesgos al concesionario, los costes de ejecución, que mayoritariamente deberán ser soportados por la concesionaria, no consolidan en las cuentas de la administración pública según el Sistema Europeo de Cuentas (SEC-10) y Eurostat.

En este sentido, la no consolidación en las cuentas públicas es compatible con las ayudas a fondo perdido y financiación procedente de la Unión Europea. La recepción de esas subvenciones automáticamente repercute en un menor canon a abonar de la administración contratante a la concesionaria.

Los instrumentos normativos para la aplicación de este sistema vienen recogidos en la Ley de Contratos del Sector Público para el contrato de concesión de obra pública y, cuando el proyecto a desarrollar no permite la explotación de la obra, existen figuras como el arrendamiento operativo, muchas veces combinadas con el derecho de superficie, a las que también es posible aplicar los conceptos propios del pago por disponibilidad que ligan el desempeño del arrendador a su retribución y sin que consolide en el presupuesto público.

En definitiva, ante una coyuntura de atonía de recursos públicos, este modelo puede facilitar la movilización de los recursos económicos precisos para el impulso de actuaciones de mejora de eficiencia energética que mitiguen las consecuencias del cambio climático al tiempo que generen empleo y renta en un escenario de alta precariedad económica y social.

## AGRADECIMIENTOS

Rubén Ortuño Padilla, Licenciado en Derecho y Licenciado en Ciencias Políticas y de la Administración. Especialista en concesiones de obra pública.

## REFERENCIAS

- DOUE: Reglamento (UE) Nº 549/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2013 relativo al Sistema Europeo de Cuentas Nacionales y Regionales de la Unión Europea.
- Directiva 2014/23/UE del Parlamento y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, relativa a la adjudicación de contratos de concesión.
- Directiva 2014/24/UE del Parlamento y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, sobre contratación pública.
- Eurostat, 2016: "A Guide to the Statistical Treatment of PPPs".
- Eurostat, 2018: "A Guide to the Statistical Treatment of Energy Performance Contracts".
- Eurostat, 2019: "Manual on Government Deficit and Debt: Implementation of ESA 2010", 2019 edition.
- INE, 2014, Nota de prensa: "Implementación del Sistema Europeo de Cuentas 2010 (SEC 2010) en la Contabilidad Nacional de España".
- Los contratos de concesión a la luz de la Directiva 2014/23/UE del Parlamento y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, relativa a la adjudicación de contratos de concesión: retos y novedades. Tesis Doctoral María Eugenia López Mora. Universitat de Barcelona.
- El riesgo en las concesiones de obras y servicios públicos: orígenes, evolución y situación actual en el ordenamiento jurídico comunitario. Alejandro, Román Márquez. Departamento de Derecho Administrativo.

Universidad de Sevilla. Publicación: Revista española de Derecho Administrativo num.182/2017. Editorial Civitas, SA.

- González García, J. "Financiación en infraestructuras públicas". Tirant Lo Blanch. Valencia 2007.
- González García, J. "Arrendamiento operativo", Iustel 2007.
- González García, J. "Estabilidad presupuestaria", Iustel 2007.
- Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos de Sector Público.

# LA TRANSFORMACIÓN COLECTIVA PARA EL DESARROLLO DE SOLUCIONES MÁS SOSTENIBLES EN CONSTRUCCIÓN, CLUSTER ECCO

Ana Isabel Menéndez Suárez, Consultor, clúster ECCO (Economía Circular & Construcción 0 emisiones)

**Resumen:** Los cambios vinculados al cumplimiento del H2O han potenciado de reducción de demanda y consumo energético de nuestro parque inmobiliario, sin embargo, durante este camino se ha visto la necesidad de incluir en este desarrollo aspectos cada vez más relevantes como; la generación de energía limpia, el uso responsable del agua, la digitalización, la necesidad de materias primas más sostenibles y la gestión eficiente de nuestros recursos, aprovechando lo existente, reutilizando y revalorizando aquello ya creado. El reto actual para el cumplimiento del objetivo 2050 sin perder de vista los objetivos ya alcanzados, ha puesto en valor la necesidad de crear un espacio interdisciplinar para acometer esta transformación. Así, en Septiembre de 2020 se espera que vea la luz ECCO, un cluster creado para aglutinar toda la cadena de valor de la construcción en pos de generar innovación en nuevos productos y procesos, aprovechar la digitalización y formar a los profesionales en materias más actuales. Empresas, centros de formación, centros tecnológicos y organismos institucionales han puesto a colaborar para afrontar juntos retos como la creación de nuevos productos a través del uso de materiales desechados, edificios que generan más energía de la que consumen o maquetas virtuales, sin el coste innecesario de los pisos piloto.

**Palabras clave:** energía, digitalización, formación, colaboración, revalorización, reutilización, sostenibilidad, cooperación, innovación, transformación

## ESPÍRITU ECCO

Asturias es una región pequeña que permite una cercanía no solo geográfica entre sus residentes, sino transversal a todos los aspectos clave a nivel empresarial, institucional y académico, lo que ha permitido durante estos años, el desarrollo de una cierta colaboración en la transmisión de conocimiento y la puesta en común de distintos agentes para proyectos demostradores en cuanto a la eficiencia energética tanto en rehabilitación como en obra nueva. Obteniendo números casos de éxito en edificios autosuficientes, pasivhaus y/o EECN.



Figura 1. Edificio pasivhaus plurifamiliar promovido por la Consejería de vivienda y ss sociales.



Figura 2. Vivienda unifamiliar EECN autosuficiente en La Manjoya, Asturias.

Sin embargo, los continuos cambios normativos, la implementación de regulaciones cada vez más estrictas en distintas para alcanzar los objetivos 2050 y un cliente cada vez más comprometido con el medioambiente, hacen en muchos casos un verdadero quebradero de cabeza el buscar las soluciones más eficientes con herramientas de la construcción tradicional, poniendo de manifiesto la necesidad de colaborar en soluciones transversales que permitan abarcar un mayor número de actividades relacionadas con los edificios.

## LA NECESIDAD DE COLABORAR

El reto que se plantea ahora consiste en, no solo reducir la demanda de energía, sino en también las emisiones de toda la cadena de valor vinculada a la construcción.

El borrador de la nueva ley de residuos en su artículo 26.b expone que el 70% de los residuos de obra no peligrosos han de ser revalorizados ya en 2020 ¿lo estamos cumpliendo? Es un reto a sumar a los objetivos de los EECN, ¿con qué elementos contamos realmente en el mercado hoy en día para alcanzar estos objetivos? Conseguir recuperar los

residuos de construcción y poder emplearlos en los nuevos proyectos exige un cambio de toda la sociedad y de la visión que hasta ahora hemos tenido de los conceptos “*basura y escombrera*”.



Figura 3. Imagen corporativa ECCO.

Los recientes cambios en el CTE hacen replantearnos el modo de entender la energía en nuestro parque inmobiliario, ya no solo se habla de ahorro de energía y de edificios que apenas consumen energía, sino de edificios que generan más energía de la que consumen. Las soluciones eficientes hasta ahora quedarán relegadas por las nuevas adaptaciones, en el caso de Asturias el porcentaje de renovables para el ACS ha pasado del 30% al 60% tras la última reforma, lo que ha implicado focalizar el interés en la producción fotovoltaica y de ahí al balance neto positivo.

Tras años de debate abierto sobre la necesidad de colaborar para sacar iniciativas más innovadoras de un modo colectivo, la asociación de constructores CAC-Asprocon a decidido promover un clúster con la colaboración del IDEPA (Instituto de Desarrollo del Principado de Asturias) que aborde todos estos aspectos, con el objetivo final de reducir a cero de las emisiones producidas en el sector y por tanto, hará de palanca al resto de sectores como puede ser el industrial.

## LA CREACIÓN DE UN ESPACIO MULTIDISCIPLINAR PARA EL DESARROLLO DE NUEVAS SOLUCIONES

Al igual que este Congreso nos ofrece la posibilidad de ver como los EECN se mueven en distintos escenarios, tratando de encajar todas las piezas de un puzzle cada más complejo, es necesario fomentar espacios de cooperación empresarial con un triple objetivo:

- Limitar el riesgo que supone innovar de un modo constante con un coste operativo más asumible para la PYME.
- Agrupar cadenas de valor que permiten crear nuevos lazos cliente/proveedor dentro del sector vinculados con la tecnología y la formación.
- Ganar volumen a la hora de poder lanzar las soluciones a mercados más globales, hasta ahora impensables para la PYME.

Hemos visto que en muchas ocasiones el desarrollo de nuevos productos se anticipa a la demanda, por ejemplo, cuando el caso de **hormigones reciclados** para la construcción; las constructoras no demandan el producto porque no hay cercanía de producción y las productoras no estudian este nicho de mercado porque apenas hay demanda y su coste es muy superior al convencional. ¿Cómo romper esta dinámica? creando estructuras transversales y con fuerza que permitan conocer toda la cadena de valor. Supongamos ahora, que podamos anticipar una demanda a los fabricantes de hormigón que sepan el interés de la administración frente a la revalorización del 70% de los residuos del hormigón, esto ayudaría a iniciar esta actividad.

Arquitectos en contacto con ingenierías especializadas en instalaciones podrían colaborar para garantizar el autoconsumo en zonas de poco sol.

Acuerdos y colaboración de centros tecnológicos conocedores de las últimas tecnologías, en continuo contacto con las demandas de las empresas conocedoras del mercado.



Figura 4. Zahorra artificial revalorizada.



Figura 5. Proyecto neHogar.

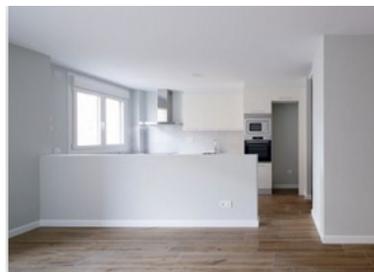


Figura 6. Interior de vivienda pasiva.

Este clúster se crea introduciendo todo el ecosistema construcción como cadena dinamizadora de la reducción de emisiones. Así sus participantes son no solo constructoras, sino todo el ámbito de actuación de la construcción; centros gestores de residuos, centros tecnológicos, canteras, fabricación de hormigón, alquiler de maquinaria, asfalto, promotoras, arquitectura, ingenierías de obra civil, instalaciones, electricidad, etc. que son capaces de traccionar no solo el interés en el sector sino toda la economía regional.

## TRABAJO EN DISTINTAS ÁREAS

ECCO ha focalizado su actividad en aquellas líneas de trabajo que permiten anticiparse a los retos de mercado de los próximos años en materia de economía circular vinculada a la reducción de emisiones de aquí al 2050, apoyadas en la transversalidad del sector:

1. **Gestión de residuos y revalorización:** uno de los grupos de trabajo más dinámicos promueve la gestión y revalorización de los residuos de la industria básica, hormigones, asfaltos, vidrio,... que permitan incluirlo como materias primas en los siguientes ciclos de producción, permitiendo no solo un ahorro de costes en la gestión, sino una reducción de las emisiones. La recuperación de elementos, reparación y alargamiento de su vida útil afecta tanto a las materias primas, como a los elementos auxiliares, redundarán en una menor saturación de los verdaderos y por tanto, favorecerán el objetivo 2030.
2. **Smart city (planificación, urbanismo, digitalización);** esta línea permite probar nuevas soluciones para la gestión de iluminación, transporte, conexión de personas y servicios, compartir recursos permitirá la reducción de emisiones a nivel de ciudad y de territorio. No se puede pensar en EECN a nivel usuario sin incluir aspectos más amplios que permitan la integración de los recursos.
3. **Eficiencia energética y energías renovables:** es el ámbito más visible en los últimos tiempos de la construcción, la rehabilitación energética, el estándar pasivhaus y otros conceptos de EECN dan paso a edificios con ahorros energéticos superiores al 80% y sientan las bases para introducir el concepto del *autoconsumo de energía limpia* e incluso la gestión del excedente. Los nuevos retos están en el modo de compartir la energía ¿será a través de la red pública o se realizarán compensaciones interbarrio para aquellos edificios de muy bajos consumos.
4. **Gestión del agua.** Tratar el agua como un recurso inagotable es un error que se pagará en los próximos años, los EECN no pueden contemplar ahorros energéticos cercanos al 100% y no buscar el mismo objetivo en el agua, un elemento esencial para no solo la calidad de vida, sino como recurso básico. Desarrollar sistemas de reutilización y ahorro no solo en los hogares, sino en ciudades y nuevas conexiones.
5. **Nuevos productos/servicios; ecodiseño.** El objetivo de toda empresa es siempre obtener mejores productos con un coste inferior, por eso, la idea de fabricar productos más duraderos, que sean capaces de reutilizarse o transformarse en otros al final de su vida útil, con menos emisiones, son algunos de los retos que se resolverán en los próximos años.
6. **Movilidad sostenible.** Los socios del clúster no conciben la nueva construcción, sin incorporar la movilidad sostenible, pero mientras en casi todos los foros se habla del vehículo eléctrico, nosotros hablamos de la maquinaria y vehículos industriales que el sector necesita para su día a día. Cada vez son más comunicados los enchufes para vehículos, pero el gran salto para esta normalidad vendrá cuando podamos conectar nuestro vehículo mientras descansamos en el hogar o trabajamos en la oficina, aspectos ligados directamente con las infraestructuras.

- 7. Rehabilitación energética y regeneración urbana.** Nuestra región cuenta con una amplia experiencia en este aspecto, siendo una de las regiones que más fondos de esta tipología son capaces de aplancar para la inversión en la comunidad autónoma, que ha permitido llevar a cabo la mejora de la calidad de vida y el alargamiento de la vida útil de muchos barrios, aun así, sabemos que queda mucho camino por recorrer. En un territorio donde casi dos terceras partes son zonas de especial protección, la consolidación de la regeneración urbana toma un concepto esencial, apostar por renovar la ciudad frente a la expansión de barrios nuevos es una oportunidad.
- 8. Infraestructuras.** Si hablamos de los edificios EECN no podemos obviar, como acceder a ellos, como suministrar el agua y energía, como vinculamos el descanso y el ocio, con el trabajo, el acceso a redes digitales. Hay que ver la construcción desde la individualidad a la colectividad como uno de los pilares que en los próximos años vincularán la eficiencia energética y la sostenibilidad con todo el entorno de la región.



Figura 7. Presentación del proyecto Habitat Ar.

- 9. Tecnología y digitalización.** Se han realizado estudios sectoriales sobre la digitalización y su percepción, detectando carencias que afectan al modo en el que se gestiona la obra, la obtención de datos y la percepción que otros usuarios tienen de nosotros. Es un factor decisivo para la mejora de todos los procesos y una apuesta que realizarán todas las empresas que quieran consolidar su actividad los próximos años. Retos como la inmersión virtual, el diseño BIM, la digitalización de las viviendas para conocer consumos y detectar anomalías de funcionamiento, la fotogrametría son ya un día a día incorporado en la construcción.
- 10. Nuevos modelos de habitabilidad;** todas las tendencias indican que la edificación al igual que otros sectores tendrá un cambio conceptual. Cómo acometer soluciones adecuadas a los usuarios en las distintas etapas o incluso como ha pasado recientemente con el COVID, será uno de los debates que abrirán más oportunidades de negocio. Llegará el momento en que el alquiler de vivienda sea vinculante con el consumo de energía, aún no se percibe porque el número de inmuebles EECN apenas es representativo, pero en diez años, las viviendas ineficientes perderán su valor y su capacidad de generar riqueza, ¿cómo podremos anticiparlo y sacar líneas de negocio?

## RESULTADOS VISIBLES

Cada proyecto llevado a cabo de manera individual pone de manifiesto un gran potencial para cooperar colectivamente con un conocimiento en distintas áreas de trabajo que permite transmitir información de manera ágil y poner en contacto a los agentes intervinientes.



Figura 8. Reunión empresas CAC-Asprocon.



Figura 9. Jornadas Técnicas Eficiencia Energética sector turístico.

De este modo, se plantean iniciativas viables para proyectos que aporten valor a los EECN y al sector construcción, haciendo de catalizador de otros sectores y generando conocimiento y empleo por parte de los socios:

- Se establecen los pilares para colaboraciones entre empresas generadoras de residuos y la posible reutilización con implicación de los gestores de residuos y la administración.
- Se propone un catálogo de productos de manera que permita a todos los agentes del territorio conocer su procedencia, sus posibles usos y la medida en que están ayudando a reducir emisiones.
- Se realizarán jornadas técnicas de cara a explicar los cambios en las normativas y como darán un empuje hacia una transición de EECN a Balance Neto Positivo.
- Apoyo de marcado CE e introducción en el mercado de productos valorizados.
- Prospección de la digitalización de procesos de cara a la mejora del sector en colaboración con Centros Tecnológicos.
- Se promocionará la implantación del ecodiseño en la industria de productos básicos.

Esta transición de EECN a EECNS (Edificios de Energía Casi Nula Sostenibles) implica toda la cadena de valor, por lo que esta iniciativa arranca con el objetivo de reducir las emisiones a través de múltiples soluciones que irán encajando cual engranaje de un reloj transformando la construcción.

## AGRADECIMIENTOS

Esta comunicación ha sido posible gracias al interés de CAC-Asprocon que ha sido promotor de la idea a través de la presidenta del grupo industria Beatriz Costales y su director Luis Santos y financiada por el IDEPA (Instituto de Desarrollo del Principado de Asturias).

Debemos así mismo hacer referencia expresa a los centros tecnológicos y de formación CETEMAS y FLC que apuestan por colaborar estrechamente con los socios del cluster Dock Aislamientos, Excavaciones Excade, Boprisa, Constructora Los Alamos, Grúas Sertiber, Pavitek 2010, Canteras Hermanos Coto, CGS, CBS Parque del Oeste, García Rama, Hormigones de Valdés, El Sol Inmocorp, Integra Ingeniería e Ingenieros Asesores.

## REFERENCIAS

Las principales referencias que se han tenido en cuenta para la presente comunicación se refieren a la normativa y tendencias en cuanto a las políticas de sostenibilidad europeas y españolas, así como las estrategias de desarrollo sostenible:

- Aplicación del nuevo DB-HE recogido en el Real Decreto 732/2019 de 20 de diciembre.
- Borrador del Anteproyecto de Ley de Residuos y Suelos Contaminados 2020.
- Communication from the Commission. (Pacto Verde). The European Green Deal (2019/12/11).
- Directiva 2008/98/CE del parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008.
- Estrategia española de desarrollo sostenible. [https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/estrategia-espanola-desarrollo-sostenible/EEDSnov07\\_editdic\\_tcm30-88638.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/estrategia-espanola-desarrollo-sostenible/EEDSnov07_editdic_tcm30-88638.pdf)

# PAS-E · PASAPORTE DEL EDIFICIO. INSTRUMENTO PARA LA REHABILITACIÓN PROFUNDA POR PASOS.

Joaquim Arcas-Abella, Presidente, Cíclica [space · community · ecology]  
Miguel Rodríguez, Técnico de proyectos, GBCe

**Resumen:** El Pasaporte del edificio es una nueva herramienta europea promovida para acelerar la regeneración urbana y hacer frente a los retos del sector residencial, especialmente al concerniente a la descarbonización de la edificación en el horizonte de 2050. Su desarrollo es una oportunidad para España y, por ello, se propone una definición adaptada al contexto nacional: El PAS-E · Pasaporte del edificio es un instrumento que acompaña a la comunidad a lo largo del proceso de rehabilitación profunda por pasos que permite aumentar la calidad del edificio en todas sus vertientes, con el objetivo de mejorar las condiciones de vida y reducir el impacto ambiental en todo su ciclo. El PAS-E está formado por 3 componentes: 1. Libro digital del edificio: plataforma pública que centraliza toda la información. 2. Plan de acompañamiento a la comunidad: soporte dirigido a implicar a las personas como agentes rehabilitadores, poniendo al usuario en el centro del proceso. 3. Plan de rehabilitación del edificio: hoja de ruta consensuada que marca la secuencia de intervenciones a realizar en el tiempo, antes del año 2050. Es un elemento clave para superar las barreras que frenan el ritmo de rehabilitación presentes en los 4 ámbitos sobre los que es necesario levantar los pilares de un nuevo sector de la edificación –legislativo, operativo, financiero y social-, pero requiere el desarrollo de un proceso de implementación que conviene abordar de forma estructurada con el conjunto de políticas y legislaciones en materia de vivienda, y consensuada con todos los agentes.

**Palabras clave:** Edificación, Vivienda, Rehabilitación, Eficiencia energética, Sostenibilidad, Herramientas, Pasaporte del edificio.

## CONTEXTO

### Retos del sector de la vivienda

El parque de viviendas se enfrenta a tres retos que requieren de un proceso de transformación capaz de abordarlos de forma conjunta para satisfacer las demandas de la sociedad (Arcas-Abella et. al, 2020):

- Habitabilidad. El parque residencial debe proporcionar la habitabilidad que requiere una sociedad en constante evolución.
- Eficiencia. El parque residencial debe reducir su elevada dependencia energética hasta niveles nZEB para poder satisfacer los compromisos internacionales de descarbonización.
- Equidad. El parque residencial debe ser invulnerable a la pobreza energética y garantizar el acceso a la energía, en cumplimiento del derecho a una vivienda digna y adecuada.

### Regeneración urbana profunda

En el marco europeo definido por las directivas europeas y la Agenda Urbana de la UE, la regeneración urbana ha sido señalada como el mecanismo principal para dar solución a estos retos.

No obstante, en el ámbito español, y a pesar de disponer de diagnósticos claros al respecto desde hace más de 10 años y de las múltiples iniciativas impulsadas en este sentido como los informes GTR de 2011 y 2014, la denominada Ley de las 3Rs de 2013, los sucesivos Planes estatales de vivienda, la propia Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España (ERESEE) de 2014, 2017 y la reciente 2020, o la Agenda Urbana Española de 2019, la rehabilitación de viviendas con carácter energético no presenta apenas actividad en nuestro país.

Alcanzar los objetivos ambientales europeos, a través de cotas de intervención sostenidas en el tiempo del 3% del parque de viviendas, solamente será posible si se produce un proceso de redefinición del sector de la edificación basado en el abandono de su actividad tradicional, la nueva construcción, para focalizar su actividad en la provisión de la habitabilidad socialmente necesaria mediante el mantenimiento, la adecuación y la mejora del parque residencial existente.

La rehabilitación de edificios y, en general, la regeneración urbana, puede y debe convertirse en la actividad motriz del sector de la edificación. Pero el marco legislativo, operativo, financiero y social existente hoy en día, resultado de un proceso histórico de consolidación de un modelo de negocio basado en la obra nueva, presenta una serie de barreras que no permiten que el sector se desarrolle en la magnitud que exigen los retos.

## Nueva herramienta europea

Conscientes del lento arranque del sector de la rehabilitación a nivel europeo, la Comisión Europea viene haciendo un esfuerzo remarcable por fijar objetivos concretos, como niveles de descarbonización del 80-95% en el horizonte de 2050 y una tasa de rehabilitación profunda del parque residencial de un 3% anual, y desplegar toda una serie de nuevas medidas para lograr este ritmo de intervención.

Entre las más destacables, figura el desarrollo de un nuevo documento de planificación a nivel de edificación que ya cuenta con estudios específicos a escala europea e importantes experiencias en diversos países de referencia: el Pasaporte del edificio.

Sin embargo, esta nueva herramienta no es una mera mención accesoria al cuerpo principal, sino que, de igual forma que ha sucedido con otras iniciativas de la UE, todo indica que después de su aparición en el articulado de 2018, el pasaporte del edificio está en vías de consolidación como un instrumento de obligado desarrollo para todos los Estados miembros, aunque todavía sin certezas sobre el nivel de voluntariedad de la aplicación de este por parte de la propiedad.

En este sentido apunta su propia posición en el articulado de la directiva –artículo 2 punto C-, y la aparición reciente de otras iniciativas en forma de estudios -EPBD Article 19a feasibility study-, recomendaciones -Recomendación (UE) 2019/786- y vías de financiación -Horizon 2020. Work Programme 2018-2020-, así como, el amplio abanico de experiencias ya desarrolladas en países europeos de referencia. Entre las más destacables se encuentran los casos de Alemania -Individueller Sanierungsfahrplan-, Francia -Passeport efficacité énergétique y Passeport Énergie Habitat- y Flandes -Woningpas-.

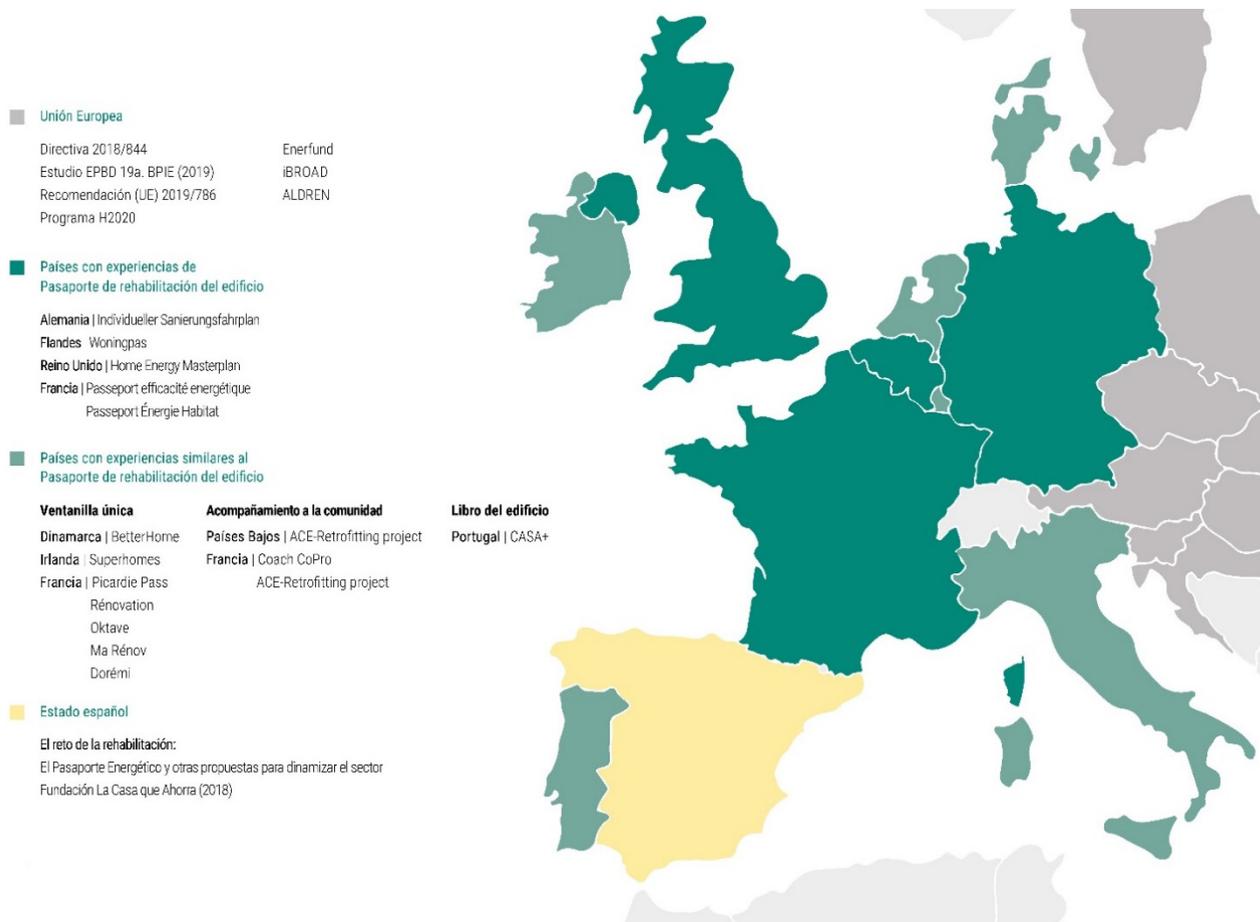


Figura 1. Iniciativas a nivel europeo.

## EL PASAPORTE DEL EDIFICIO

### Encaje nacional

A la luz de la determinación de la Unión Europea y de los Estados miembros de referencia en desarrollar e implementar a corto plazo un sistema de Pasaporte del edificio homologable a nivel europeo, se revela la necesidad de adoptar una actitud proactiva por parte del Estado español. Una actitud que permita participar del debate actualmente abierto entorno a la definición del pasaporte del edificio, anticipándose al más que probable requerimiento por parte de las instancias europeas como medida integrada en el marco de la Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España (ERESEE).

Como señalan los principales antecedentes de esta publicación editados por la Fundación La Casa que Ahorra (Garrigues & G-Advisory, 2018) y el Grupo de Trabajo sobre Rehabilitación (Cuchí & de la Puerta, 2016), para dinamizar la rehabilitación es necesario desarrollar nuevos instrumentos técnicos de acompañamiento de alta calidad, útiles y fiables que sirvan de mecanismo de defensa de los derechos de las personas, de fuente de conocimiento profundo y actualizado del parque y su potencial de intervención, y de vehículo de fijación de objetivos y aplicación de medidas previstas en los planes de acción.

El pasaporte del edificio es la respuesta europea, en forma de instrumento normativo de nueva generación, frente a la necesidad de integrar y trascender las prestaciones de las diferentes herramientas y certificados existentes en el sector de la edificación.

### Una propuesta de definición

En aras de contribuir en la preceptiva profundización conceptual previa a la implantación de un sistema público de Pasaporte del edificio en España, se propone esta primera definición para que, asistida seguidamente por un desarrollo más extenso, sirva de base para la discusión entre todos los agentes implicados.

- El PAS-E · Pasaporte del edificio es un instrumento que acompaña a la comunidad a lo largo del proceso de rehabilitación profunda por pasos que permite aumentar la calidad del edificio en todas sus vertientes, con el objetivo de mejorar las condiciones de vida y reducir el impacto ambiental en todo su ciclo.

Es, en consecuencia, un plan individualizado para cada edificio residencial del parque edificado; que tiene la finalidad de diagnosticar el estado actual, fijar objetivos en el tiempo, planificar acciones de transformación coordinadas y evaluar resultados obtenidos para cada edificio; de forma alineada con los objetivos públicos para el ámbito residencial a largo plazo, especialmente con el reto europeo de descarbonización del sector de la edificación a 2050.

El Pasaporte del edificio considera de forma holística los tres ámbitos de calidad relacionados con la generación de habitabilidad: el ámbito de la calidad técnica de los sistemas constructivos y las instalaciones; el ámbito de la calidad funcional de las viviendas; y el ámbito de la eficiencia en el uso de los recursos, especialmente los energéticos y los hídricos.



Figura 2. Ámbitos de calidad de la edificación.

## La persona en el centro

En la actualidad, el sector residencial español es de marcado carácter urbano, con predominio de régimen de tenencia en propiedad y con una amplia presencia de tipologías plurifamiliares. Hasta el 71% del total del parque está compuesto por viviendas integradas en edificios plurifamiliares; factor que lo singulariza claramente respecto a la gran mayoría de países europeos, que presentan una media global situada por debajo del 47% (Eurostat, 2016).

En el caso español, el hecho de que la mayor parte de los casos la propiedad del edificio sea en régimen de propiedad horizontal y por lo tanto compartida, genera un factor de complejidad adicional del proceso de rehabilitación que debe ser abordado de forma específica.

Por ello, en España resulta especialmente imperativo poner a las personas en el centro. Son las personas las que deciden iniciar un proceso de rehabilitación del edificio y para que esto se produzca es necesario un cambio fundamental de perspectiva: de “tener que rehabilitar” a “diseñar la casa y el espacio vital”. Por ello es necesario aproximarse al proceso de transición a través del Pasaporte del edificio desde una perspectiva que considere, más allá de cambios en la naturaleza y materialidad de los edificios, el papel de nuestra cultura.

Desde esta perspectiva, el modelo teórico utilizado para el desarrollo de la definición, el contenido y las herramientas del PAS-E, ha empleado el marco conceptual de “Culturas Energéticas” diseñado por un equipo multidisciplinar de personas investigadoras de distintos ámbitos como física, economía, derecho, psicología y sociología (Stephenson et. al, 2010).

En este marco, el agente -propiedad, residentes, administración, comunidades vecinales, etc.- reside en el centro del análisis o propuesta a diseñar. En él se recogen todos los aspectos relacionados directa o indirectamente con la energía y se clasifican para su estudio en 4 apartados: creencias; prácticas; aspectos materiales; y factores externos.

Esta aproximación es de especial relevancia para las operaciones de rehabilitación de edificios previstas por el PAS-E, tanto por su capacidad de sintetizar los distintos elementos que cabe tener en cuenta y sus interrelaciones, como por estar centrado en el ámbito de la energía, a saber, un factor crítico en la superación de los retos europeos.

## Ciclo de vida

El PAS-E acompaña a las comunidades en todo el recorrido encaminado a la rehabilitación profunda de su edificio, integrando los diferentes servicios que formarán parte del proceso. Este enfoque centrado en la persona y de aproximación por pasos al objetivo final, invierte la aproximación tradicional al proyecto -al basar el proceso en las necesidades de la persona según un enfoque bottom-up- y conlleva cambios importantes respecto a la gestión tradicional de un proyecto de rehabilitación profunda.

Por un lado, resulta clave la fase de compromiso de la comunidad. El PAS-E es un mecanismo que traslada a la ciudadanía los objetivos públicos de calidad del parque residencial. Por ello, y sobre todo si se dedican ayudas públicas, es imprescindible asegurar que existe un compromiso real con la totalidad del proyecto, y que se van a ejecutar todos los pasos previstos, y no solamente aquellos que presentan mayores retornos. Por el otro, es necesario dotar al proceso de flexibilidad. La dinámica continua en el tiempo implica un entorno de proyecto profundamente cambiante que exige capacidad de adaptación y actualización.

El ciclo de vida del PAS-E, en lugar de ser una secuenciación lineal de las fases, combina una estructura progresiva de cinco fases junto con una relación transversal entre ellas que permite la interacción y el intercambio de información; dando lugar a un proceso iterativo de mejora continua donde paso a paso se avanza hacia los objetivos de calidad previstos: Diagnóstico; Planificación; Compromiso; Ejecución; Evaluación.

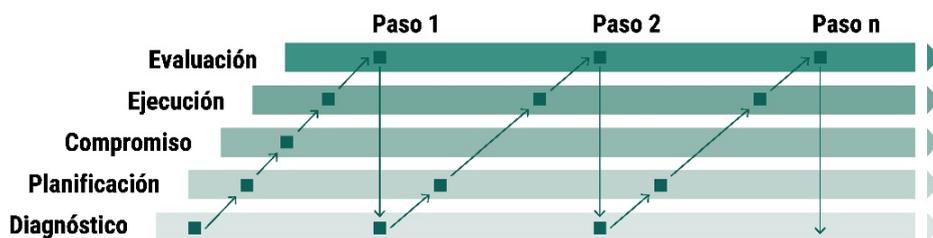


Figura 3. Estructura de fases.

## Componentes

A fin de facilitar el recorrido de rehabilitación profunda por pasos de los edificios, el PAS-E está integrado por tres componentes, cada uno con un rol específico dentro del proceso: el Libro digital del edificio, el Plan de acompañamiento de la comunidad y el Plan de rehabilitación del edificio.

### ***Libro digital del edificio***

El Libro digital del edificio es un recurso basado en la figura del Libro del edificio previsto en la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación (LOE), pero con contenido y funciones ampliadas, y formato actualizado a las nuevas tecnologías y orientado a la necesaria digitalización del sector.

Se trata de una base de datos pública que centraliza información referente al edificio, a la vivienda y a la comunidad. Su papel es el de integrador de información estática procedente de los distintos documentos, informes y certificados elaborados en determinados momentos de la vida de un inmueble, y de información dinámica derivada del uso a lo largo del tiempo, como los consumos energéticos o los patrones de uso de los electrodomésticos y equipos del hogar. Sin embargo, su contenido es flexible, siempre abierto a la incorporación de nuevas fuentes y metodologías –como el BIM-, y dependiente de la disponibilidad y operabilidad de los datos ya existentes, así como de la implicación de la comunidad en su cumplimentación. El contenido mínimo inicial sería el propio del Informe de Evaluación del Edificio (IEE) -o el Informe de la Inspección Técnica del Edificio (IITE)-. En un segundo momento, el Libro digital es el repositorio donde se guarda el contenido de los otros dos componentes que conforman el propio PAS-E.

Al mismo tiempo, facilita la comunicación entre los diferentes agentes, favoreciendo su implicación y coordinando sus acciones, y sirve como herramienta pedagógica para las personas usuarias y como vía de seguimiento de la evolución del parque para la administración.

### ***Plan de acompañamiento a la comunidad***

El Plan de acompañamiento a la comunidad de un edificio plurifamiliar o al grupo cohabitante de una vivienda unifamiliar es un soporte técnico en formato presencial y digital orientado a posibilitar la consecución de los objetivos de calidad de vida en el espacio residencial mediante la rehabilitación del parque residencial. Pone en el centro a las personas e iguala el valor de la perspectiva técnica con el de la perspectiva de las personas usuarias, de forma que la intervención responda a sus necesidades y mejore efectivamente sus condiciones de vida y la convivencia en el edificio, a la vez que sea una oportunidad para mejorar su cultura energética y, en general, la cultura del hábitat residencial.

El acompañamiento presencial básico consiste en el soporte de una persona dinamizadora, mediadora y orientadora que, en colaboración con el equipo de arquitectura responsable del Plan de rehabilitación, trabaja con el objetivo de facilitar acuerdos en el seno de la comunidad y aprovechar y reconducir posibles situaciones conflictivas, con técnicas de mediación e intervención social. Y, si es necesario, se acompaña a la comunidad para promover su estructuración y autonomía de funcionamiento.

En el proceso de elaboración del Plan de rehabilitación del edificio -diagnóstico y planificación-, se tiene en cuenta las experiencias, aspiraciones y condiciones de mejora de la comunidad en términos de habitabilidad, y ahorros en recursos y económicos, detectadas mediante el Plan de acompañamiento. No considerar estos factores equivale a renunciar a buena parte de los posibles detonadores del proceso de rehabilitación.

### ***Plan de rehabilitación del edificio***

El Plan de rehabilitación es una hoja de ruta a medio-largo plazo que define un recorrido de intervención por pasos. El objetivo final, común a todos los planes de rehabilitación, es alcanzar una situación normativamente aceptable y socialmente deseable para cada uno de los ámbitos sobre los que trabaja el PAS-E, es decir, los tres ámbitos de calidad relacionados con la generación de habitabilidad: la calidad técnica de los sistemas constructivos y las instalaciones; la calidad funcional de las viviendas; y la eficiencia en el uso de los recursos, especialmente los energéticos y los hídricos.

La definición del Plan de rehabilitación surge, en consecuencia, de la diagnosis del estado actual y de la conjugación a cierto futuro de dos vectores distintos: por una parte, de la detección de las necesidades y aspiraciones de la comunidad, desarrollada mediante el proceso participativo del Plan de acompañamiento. Por la otra, de los objetivos públicos para el parque residencial existente traspuestos en forma de exigencias normativas; como, por ejemplo, la condición nZEB para los edificios residenciales antes de 2050 que exige el reto europeo de descarbonización.

## RECOMENDACIONES

El Pasaporte del edificio es una oportunidad para situar a España a la vanguardia europea, y un elemento clave para superar las barreras que frenan el ritmo de rehabilitación presentes en los 4 ámbitos sobre los que es necesario levantar los pilares de un nuevo sector de la edificación.

Pero requiere el desarrollo de un proceso de implementación que conviene abordar de forma estructurada con el conjunto de políticas y legislaciones en materia de vivienda, y consensuada con todos los agentes.

En primer lugar, es necesaria la definición de una estrategia para el sector de la edificación desde la escala nacional coordinada con planes de acción territorializados, a través de la cual se pueda concretar y temporalizar objetivos públicos, medidas, recursos y sistemas de evaluación y reconocimiento. Sin una acción pública decidida que trace las líneas maestras de este marco de referencia, no tiene sentido articular nuevas medidas de impulso de la rehabilitación, como el nuevo instrumento que se propone.

En segundo lugar, es necesaria la puesta en marcha de un proceso de definición del pasaporte que cuente con la participación de todos los agentes implicados, que permita determinar su papel en el marco de las políticas de vivienda y hábitat urbano. Al despliegue normativo, organizacional y tecnológico del instrumento –ensayado previamente en casos piloto–, lo debería seguir la activación de medidas de implementación en ámbitos de actuación prioritaria que conjuguen acertadamente iniciativas de promoción con mecanismos de obligación. El pasaporte debería ser motivo de un programa específico de subvención y elemento clave para acceder a todas las siguientes ayudas públicas en materia de vivienda.

## AGRADECIMIENTOS

La propuesta de PAS-E · Pasaporte es fruto de la colaboración entre el equipo de Cíclica - Mariona Alcaraz, Anaïs Bas, Ander Bilbao, Paula Catalan, Laia Cunill, Marta Melo y Marta Castán- y GBCe. Y de las aportaciones de personas expertas de distintas entidades e instituciones –ETSAV-UPC, MITMA, Gobierno Vasco, NASUVINSA, AMB, UCI, Climate Strategy, Habitat3, O-HB, ICTA-UAB, ACA, AHC, CNC, Ferrovial Agroman, Conama, Fundación la Casa que Ahorra, ICAEN, IETcc y ICCL-. Y se ha realizado en el marco de Projectes Singulares 2018, promovido por el Departament de Treball, Afers Socials i Famílies de la Generalitat de Catalunya y financiado por el MITRAMISS del Gobierno de España.

## REFERENCIAS

- Arcas-Abella, J., et. al, 2020, PAS-E · Pasaporte del edificio. Instrumento para la rehabilitación profunda por pasos, Cíclica y GBCe, Sant Cugat del Vallès y Madrid.
- Garrigues & G-Advisory, 2018, El reto de la rehabilitación: El Pasaporte Energético y otras propuestas para dinamizar el sector, Fundación la Casa que Ahorra, Madrid.
- Cuchí, A. & de la Puerta, I., 2016, Informe GTR 2016. Diagnóstico de la rehabilitación en las comunidades autónomas, GTR, Madrid.
- Eurostat, 2016, EU Buildings Observatory.
- Stephenson, J., et. al, 2010, Energy Cultures: A framework for understanding energy behaviours, Energy Policy, Elsevier, Amsterdam.
- [www.pas-e.es](http://www.pas-e.es) (septiembre 2020)

# AGENDA DE LA UNIÓN EUROPEA PARA ALCANZAR UNA NEUTRALIDAD CLIMÁTICA Y RECUPERACIÓN ECONÓMICA

**Nicolás Bermejo Presa**, Responsable Desarrollo Marketing Técnico y Sostenibilidad, Saint-Gobain Placo, Isover  
**Raquel Diez**, Equipo Técnico Proyectos, Green Building Council España, GBCe  
**Esther Soriano Hoyuelos**, Directora de Marketing, Saint-Gobain Placo, Isover

**Resumen:** La Comisión Europea, ha reconocido que la hoja de ruta definida para toda la unión con el objetivo de alcanzar la neutralidad climática en el año 2050 es el driver más potente que existe en la actualidad para impulsar la recuperación económica tras el COVID-19. La comisión lleva trabajando muchos años en el desarrollo de estrategias para alcanzar una neutralidad climática y respetar el medio ambiente en toda la unión a través de diversos mecanismos y herramientas. A lo largo de este documento se irá realizando un análisis de cada una de ellas comenzando por una exposición de cuáles son las razones y motivaciones que han llevado a la Comisión Europea a definir esta senda, pasando por cada uno de los mecanismos definidos en la actualidad y su conexión con los mecanismos en España (desde la convención marco de naciones unidas sobre cambio climático origen del protocolo de Kioto, pasando por la directiva 2010/31/UE de eficiencia energética en los edificios, la Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación o el plan Nacional Integrado de Energía y Clima entre otros). Esta comunicación, está basada en el documento desarrollado por Green Building Council España “Agenda de la Unión Europea para la edificación sostenible”

**Palabras clave:** edificación sostenible, PNIEC, Plan nacional de energía y clima, ERESEE, Estrategia de Rehabilitación a largo plazo, sostenibilidad, EPBD, Directiva de Eficiencia Energética, economía circular, descarbonización, transición energética.

## ANTECEDENTES: UNA NECESIDAD FUERA DE TODA DUDA

Cada año el planeta produce una serie de recursos que la humanidad va consumiendo. El 1 de agosto del año pasado, la humanidad consumió todos los recursos que el planeta produce para un año lo que significa que se consume el equivalente a 1,7 planetas de media. Esto se conoce como **DEUDA ECOLÓGICA**.

Esto quiere decir que los más de 7.600 millones de habitantes de la Tierra han consumido ya las reservas de todo el año, según datos de la organización internacional Global Footprint Network, encargada de medir el gasto de los recursos naturales en el mundo. Por ello, el balance total demuestra que la humanidad está en números rojos y tiene en su cuenta lo que se conoce como “deuda ecológica”, que se nota cada vez más con la pérdida de biodiversidad y la presencia de fenómenos meteorológicos cada vez más potentes y más frecuentes.

En menos de 40 años (2013-2050) la población mundial crecerá de 7200 millones a 9600 millones de habitantes, un incremento equivalente a añadir nuevamente la población de China e India. Este crecimiento de la población mundial, se producirá exclusivamente en núcleos urbanos. En el año 2050 la población urbana superará a la que había en todo el planeta a principios de este siglo y para cubrir toda la demanda de esta nueva población, necesitaríamos el equivalente a **3 planetas**:

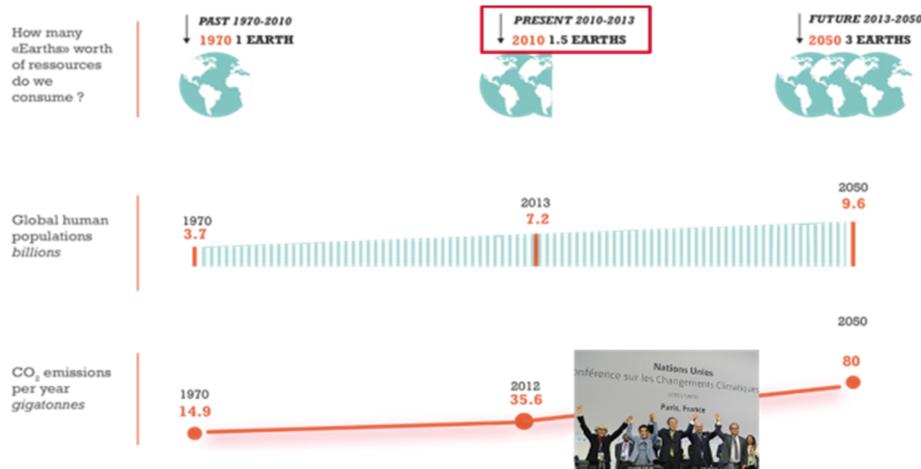


Figura 1. Fuente WWF, Living Planet report, Infographic 2013.

Como es evidente que solamente tenemos un planeta con una capacidad limitada de absorción de los gases de efecto invernadero que emitimos y el resto de gases contaminantes y para satisfacer todas nuestras necesidades, debemos de cambiar nuestro concepto de desarrollo y de economía lineal y pasar a una economía circular focalizada en la sostenibilidad a lo largo de todo el ciclo de vida. Solamente mediante la desvinculación del crecimiento del consumo ilimitado de recursos garantizaremos la continuidad de la especie tal y como la conocemos hoy. De la misma manera, deberemos de cambiar nuestras fuentes actuales de consumo de energía y pasar a utilizar energías menos contaminantes. Por estas y otras razones, la comisión europea lleva trabajando muchos años en el desarrollo de herramientas para la lucha contra el cambio climático (**descarbonización y transición energética**) y la **economía circular**.

## El sector de la Edificación: actor clave para la resolución de los grandes retos de la humanidad

Siendo el sector de la edificación uno de los responsables de gran parte de los impactos ambientales provocados, es igualmente cierto que este sector tiene el mayor potencial de ayudar a resolver los grandes retos de sostenibilidad.



Figura 2. Impactos ambientales generados por los edificios y datos ficha informativa de la comisión europea “La directiva relativa a la eficiencia energética de los edificios.

El sector de la edificación se convierte en un actor clave como parte de la solución del problema para alcanzar la neutralidad climática marcada por la comisión europea para el año 2050 ya que la mayoría de los edificios en 2050 ya existen en la actualidad. De hecho, en Europa más del 94% de los edificios actuales seguirán en pie en 2050, debido a que la tasa de demolición de los mismos es muy baja. La mayoría de estos edificios son antiguos e ineficientes energéticamente, con más de la mitad de ellos en las tres clases de energía más bajas (E, F y G). Además, los edificios construidos en el pasado fueron diseñados para unas condiciones de vida totalmente diferentes a las de hoy (digitalización, envejecimiento de la población, etc.).

Además, es clave para el bienestar de las personas, y no solo de forma directa. Si en 2012 los edificios hubiesen sido de clase energética A -la clase energética más alta- la reducción en el pago de la factura energética en los años más duros de la crisis hubiese permitido evitar los recortes en sanidad y educación, cuando nuestra balanza de pagos estaba desequilibrada por nuestra fuerte dependencia energética del exterior. Necesitamos un parque eficiente e independiente de los combustibles fósiles para protegernos no solo a nosotros sino también a nuestro estado del bienestar.

Satisfacer las necesidades habitacionales de la nueva población nos obligará a una transformación profunda del sector de la edificación acompañada de un cambio global en todo nuestro sistema productivo aplicando principalmente tres estrategias:

- **Eficiencia energética**, que debe convertirse en la fuente energética principal en el camino hacia el nuevo modelo
- Un **cambio en nuestras fuentes de energía**, descarbonizando nuestro suministro actual, reduciendo el consumo de combustibles fósiles y favoreciendo el uso de renovables que en 2050 deberían representar la mayor parte de nuestro suministro
- La transición hacia una **economía circular** donde los edificios y materiales puedan ser utilizados de forma infinita

La Unión ha acordado nuevas normas en relación la Directiva relativa a la eficiencia energética de los edificios con vistas a contribuir a abordar estas cuestiones, crear oportunidades económicas en el sector de la construcción y mitigar la pobreza energética. Los Estados miembros de la Unión deberán ahora preparar medidas nacionales de actuación para alcanzar nuevos objetivos, tales como:

- Un plan de acción encaminado a lograr un parque inmobiliario de emisiones nulas en la Unión de aquí a 2050, mediante la aplicación de hojas de ruta nacionales para descarbonizar los edificios.
- Edificios más inteligentes, mediante el fomento de un mayor número de sistemas de automatización y control para que funcionen de manera más eficiente
- La electromovilidad en edificios, mediante el despliegue en ellos de las infraestructuras de electromovilidad, como los puntos de recarga
- Más financiación y apoyo a la renovación, mediante la movilización de financiación pública y privada e inversión para las actividades de renovación, y mediante el impulso a estrategias de renovación de edificios a largo plazo;
- La lucha contra la pobreza energética y la reducción de las facturas de energía de los hogares, mediante la renovación y la mejora del rendimiento energético de los edificios más antiguos

## LAS DIRECTIVAS EUROPEAS: HERRAMIENTAS Y REFLEJO EN LA REGLAMENTACIÓN ESPAÑOLA

La Unión Europea ha definido entre sus prioridades ser neutral en carbono en el año 2050, para lo cual ha definido una clara senda de objetivos con hitos para disminuir progresivamente las emisiones de CO2 en una transformación hacia una economía baja en carbono prevista en la estrategia a largo plazo para 2050, lo que obliga a los estados miembros a ir adaptando su marco legislativo para ir adaptándose a dicha senda. En la siguiente figura se muestra dicho recorrido:

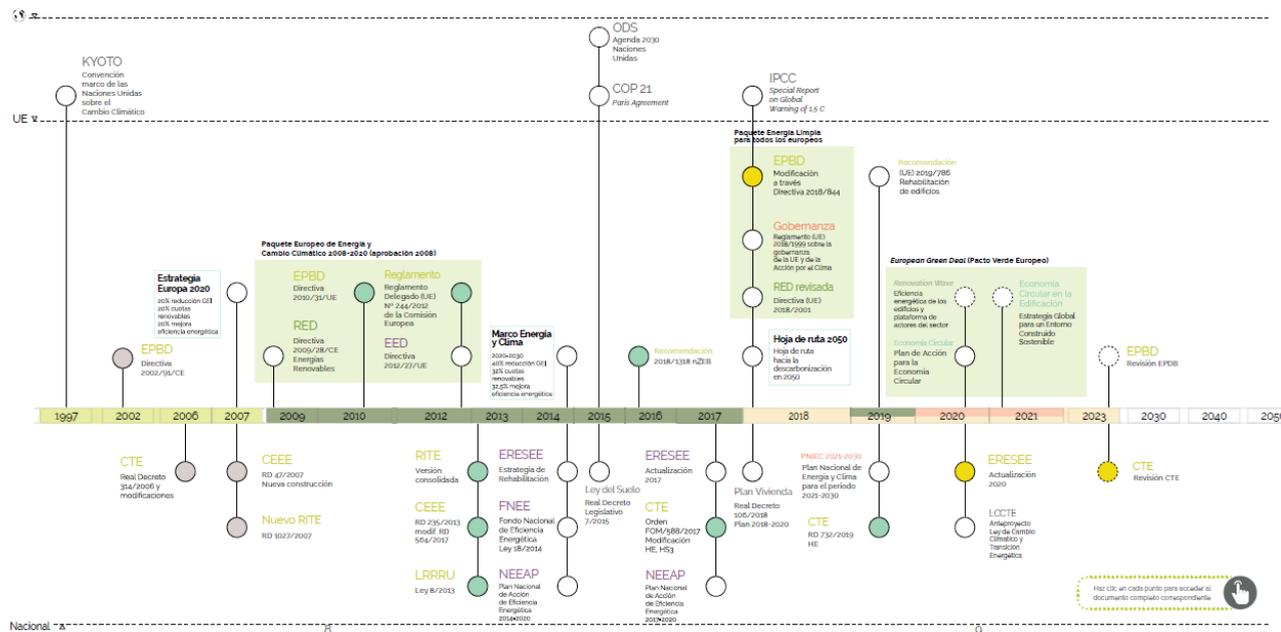


Figura 3. Mapa del contexto regulatorio de la edificación sostenible. Fuente: GBCe “Agenda de la Unión Europea para la edificación sostenible.”

- **Directiva de Eficiencia energética de los edificios (EPBD):** es el principal instrumento legislativo de la Unión Europea destinado a promover la mejora del rendimiento energético de los edificios, siendo su primera versión del año 2002 inspirándose en el protocolo de Kioto que comprometía a la Unión europea y a todas sus partes a la definición de objetivos vinculantes de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Bajo esta directiva, se incluyeron por primera vez obligaciones para todos los estados miembros como la necesidad de definir un sistema de certificación energética de edificios (CEE), inspecciones periódicas de los sistemas de calefacción y refrigeración o requisitos mínimos de eficiencia energética en edificios que en España se traspusieron a través del CTE (2006), RITE (2007) Y CEE nuevos (2007).
- **Paquete Europeo de Energía. Cambio climático 2013-2020:** con la aprobación en el 2008 de este paquete que incluye normativa vinculante definiendo los objetivos a 2020 sobre eficiencia energética, energías renovables y emisiones de GEI (20-20-20), dando lugar a que en el 2010 se refundiera la EPBD (2010/31/UE) donde se definía que todos los edificios deberían de ser de consumo de energía casi nulo (EECN) para diciembre de 2020, la obligatoriedad de informar sobre el certificado de eficiencia energética para todas las viviendas nuevas, vendidas o alquiladas, la mejora de las inspecciones de los sistemas de calefacción y refrigeración, etc, lo que se traspone en el CTE (2017), CEE nuevos y existentes (2013).
- **Directiva de eficiencia energética (EED):** la directiva 2012/27/EU es un instrumento clave en el cual se establece la exigencia de la definición de las Estrategias de rehabilitación a largo plazo de edificios (ERESEE) mediante las cuales, los estados miembros deben de definir una estrategia de rehabilitación a largo plazo de los edificios existentes.
- De la directiva de eficiencia energética emanan dos mecanismos que no podemos pasar por alto, uno de ellos es el **Fondo nacional de eficiencia energética** constituido en nuestro país por la ley 18/2014 en virtud del cual las empresas comercializadoras de gas y electricidad, a los operadores de productos petrolíferos al por mayor y a los operadores de gases licuados del petróleo al por mayor a realizar una contribución financiera anual a este fondo gestionado por el IDAE para la definición de medidas encaminadas a la eficiencia energética (formación, información, apoyo económico, etc) de todos los sectores incluido el de la edificación. El segundo mecanismo es el **plan nacional de acción de eficiencia energética 2014-2020**, que fueron sustituidos después por los **planes nacionales integrados de energía y clima (PNIEC)** el cual es un documento programático que define los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, de penetración de energías renovables y de eficiencia energética. Determina las líneas de actuación y la senda que, según los modelos utilizados, es la más adecuada y eficiente, maximizando las oportunidades y beneficios para la economía, el empleo, la salud y el medio ambiente; minimizando los costes y respetando las necesidades de adecuación a los sectores más intensivos en CO2.
- **Paquete de invierno. energía limpia para todos los europeos:** tanto la EPBD como la EED fueron modificadas por la directiva 2018/844/UE donde se establece el requisito de un parque descarbonizado en 2050. Los objetivos e hitos de la estrategia deben de reflejarse en los planes nacionales integrados de energía y clima (PNIEC). Las medidas contempladas en el plan, deben de permitir alcanzar los siguientes objetivos en el año 2030:

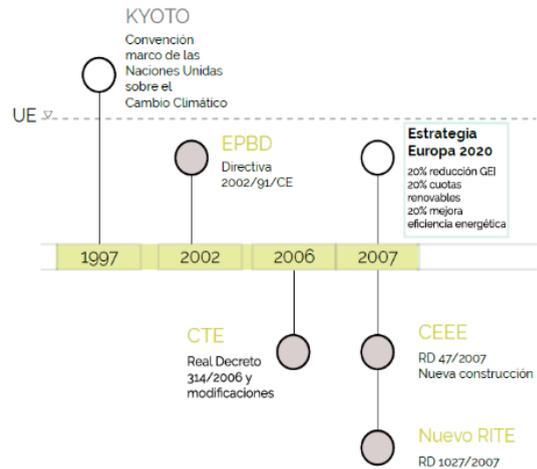


Figura 4. Mapa 1 – Kyoto y la primera EPBD. Fuente: GBCe “Agenda de la Unión Europea para la edificación sostenible”.

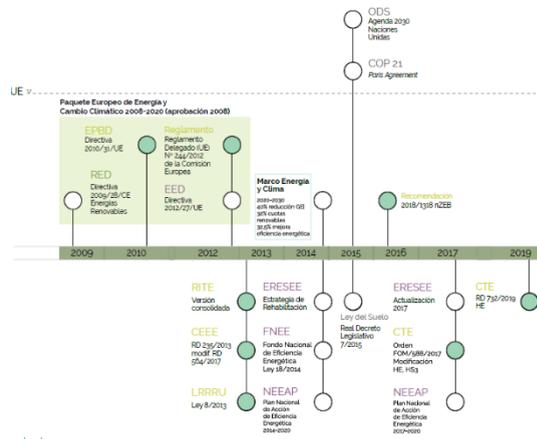


Figura 5. Mapa 2 – El Paquete europeo de energía y cambio climático 2013-2020. Fuente: GBCe “Agenda de la Unión Europea para la edificación sostenible”.

- 23% de reducción de emisiones de GEI respecto a 1990
- 42% de renovables en el uso final de la energía
- 39.5% de mejora de eficiencia energética en la próxima década
- 74% de presencia de energías renovables en el sector eléctrico

La energía limpia para todos los europeos, conocida también como paquete de invierno es un amplio conjunto de legislación en vigor a partir del año 2020 para facilitar la transición energética en Europa y cumplir con los acuerdos de París para reducir las emisiones de GEI.

## NEUTRALIDAD CLIMÁTICA: UNA AMBICIÓN GLOBAL

El 28 de noviembre de 2018, la Comisión presentó su visión estratégica a largo plazo para una economía próspera, moderna, competitiva y neutra desde el punto de vista del clima de aquí a 2050. Para alcanzar esta neutralidad climática en el año 2050, el sector de la edificación juega un papel determinante dado que los edificios son los responsables del 40% del consumo energético y del 36% de las emisiones de CO2 en Europa. Sin la contribución del sector de la edificación, Europa no será capaz de alcanzar la neutralidad climática y en especial la contribución de los edificios existentes.

Si realizamos un análisis del sector de la rehabilitación, es fácilmente observable que en la actualidad a nivel europeo únicamente se está produciendo una rehabilitación de edificios a una velocidad del 1% anual, con ahorros energéticos del 9% de media, con unas políticas de ayudas que deberían de tener continuidad en el tiempo estando acopladas unas con otras, con una mano de obra muy escasa y poco cualificada y con una capacidad de financiación muy poco coordinada.

Si queremos alcanzar la neutralidad climática en 2050, necesitamos una tasa de rehabilitación del parque edificado equivalente al 3% anual con una mejora de la eficiencia energética media del 75% en 2030 (ClimACT, 2018).

La comisión Europea, ha reconocido que la hoja de ruta definida para toda la unión para alcanzar la **neutralidad climática en el año 2050** es el driver más potente que existe en la actualidad para impulsar la recuperación económica tras el COVID-19. La UE ha creado lo que se ha venido a denominar **Instrumento de Recuperación** como un paquete de herramientas destinadas a dar una respuesta para abordar las consecuencias económicas de la crisis COVID-19 alineada con los criterios de sostenibilidad social y ambiental dentro del marco del **pacto verde europeo**.

La primera prioridad de la política de recuperación económica de la Unión Europea es lo que la Comisión ha llamado una **“oleada de renovación inmobiliaria”**, con un presupuesto de inversión anual muy elevado, que será cubierto en una quinta parte con financiación pública a través de fondos estructurales y del Banco Europeo de Inversiones.

Como vector económico, la rehabilitación energética en edificios genera de forma inmediata un volumen importante de puestos de trabajo (es España se crean entre 24 y 27 puestos de trabajo por cada millón de € invertidos en rehabilitación, con empleos muy locales no deslocalizables al tiempo que reduce las emisiones y mejora la calidad de vida de los ciudadanos. El plan de rehabilitación anunciado por el Gobierno español antes de la pandemia contemplaba una previsión de actuación sobre 1,2 millones de viviendas y la creación de entre 42.000 y 80.000 empleos cada año hasta 2030 según lo recogido en el **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC)**.

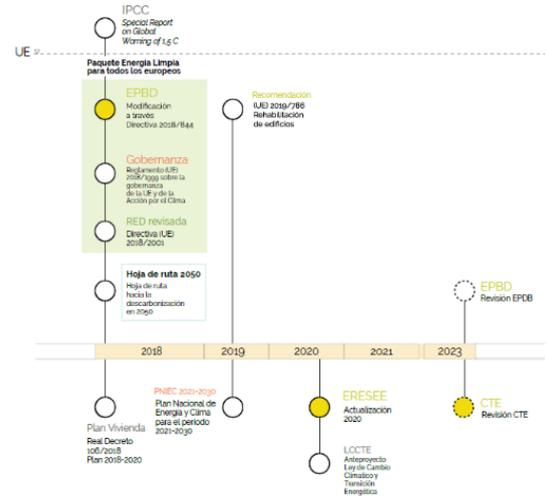


Figura 6. Mapa 3 – El paquete de invierno, energía limpia para todos los europeos. Fuente: GBCe “Agenda de la Unión Europea para la edificación sostenible”.



Figura 7. PNIEC: Previsión anual rehabilitación viviendas 2021-2030

Sin nos fijamos en nuestros países vecinos similares al nuestro como Italia o Portugal, el porcentaje de rehabilitación casi que dobla el nuestro. El potencial de la rehabilitación urbana como motor económico es enorme ya que si fuéramos capaces de alcanzar ese porcentaje, además de las mejoras en la calidad de vida de los ciudadanos, el avance hacia la consecución de los objetivos de sostenibilidad marcados, se crearían más de 400000 empleos y se incrementarían los ingresos de la administración a través de la seguridad social y otros tipos impositivos con lo que se podrían articular mecanismos para luchar contra la economía sumergida. Un ejemplo de medidas es el ecobono lanzado en Italia. Se trata de un marco de incentivación económica muy importante para la rehabilitación energética de edificios puesto en marcha en Italia que permite recuperar el 70% del valor de la obra en forma de deducción fiscal durante los 10 años posteriores a la ejecución de la obra. El gobierno italiano está tratando de fomentar aún más este mecanismo a raíz del COVID-19.

## REFERENCIAS

- Green Building Council España “Agenda de la Unión Europea para la edificación sostenible”
- WWF, Living Planet report, Infographic 2013
- Ficha informativa de la comisión europea “La directiva relativa a la eficiencia energética de los edificios
- Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030.
- [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies_en)
- [https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans_en)
- [https://ec.europa.eu/energy/publications/energy-union-package\\_en](https://ec.europa.eu/energy/publications/energy-union-package_en)
- [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)
- [https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm)
- <https://www.idae.es/informacion-y-publicaciones/marco-legislativo-2030-el-paquete-de-invierno>
- <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-delucha-contra-el-cambio-climatico/la-union-europea/>

## CASA EN LA RIBERA DEL DUERO - VIVIENDA DE BAJA DEMANDA ENERGÉTICA DISEÑADA Y CONSTRUIDA SEGÚN ESTÁNDAR PASSIVHAUS

**Resúmen:** Vivienda unifamiliar aislada, construida a la orilla del río Duero en la localidad de San Esteban de Gormaz. Proyecto que conjuga implantación en el lugar de la arquitectura, el programa requerido por los propietarios, una pareja con dos niños, y la máxima eficiencia energética. La estructura es de entramado ligero de madera y se ha fabricado en taller y posteriormente montada en obra. El resto de los trabajos se realizan en obra con empresas locales. El edificio se ha diseñado y construido siguiendo los 5 preceptos del sistema Passivhaus: 1-alto nivel de aislamiento, 2-carpinterías y vidrios de altas prestaciones, 3-ausencia de puentes térmicos, 4-sistema de ventilación mecánica con recuperador de calor de alto rendimiento, 5-alto nivel de hermeticidad de la envolvente. Se ha tenido especialmente en cuenta la viculación entre calidad espacial y lumínica de la vivienda, la atención al detalle y la relación interior/externo de los espacios.



DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	Camino Duero 1, San Esteban de Gormaz, Soria 41°34'N 3°12'W Altitud 859 msnm
Uso Característico Edificio:	Vivienda unifamiliar aislada
Zona Climática:	E1
Obra Nueva / Rehabilitación:	Obra nueva
Superficie Total Construida:	216m <sup>2</sup>
Fase del Proyecto:	Fin obra: 23.10.2019

### MEMORIA DESCRIPTIVA

La parcela se sitúa en el límite urbano del pueblo, junto al río Duero, rodeada de viviendas unifamiliares y tierras de cultivo, en un camino que discurre paralelo al río entre una línea de chopos y álamos.

La vivienda sigue un esquema en “L” desarrollado en una sola planta. La propia casa es el cierre del jardín a la servidumbre de paso (Este) y al camino de acceso (Norte), produciendo varios retranqueos que se adaptan a la curva

del camino. Ambas fachadas son muy opacas, por contraposición a la fachada sur, con grandes ventanales para captar la luz solar y potenciar la comunicación con el jardín.

De esta forma se consigue el máximo soleamiento, intimidad y resguardo de la sonoridad constante del río, favoreciendo la vida familiar entorno al jardín, orientado a mediodía.

Los accesos, rodado y peatonal, se producen en la intersección de los brazos que conforman la "L". El ala norte-sur alberga las estancias de día y la este-oeste, los dormitorios.

## Agentes del Proyecto

- Promotor: Jaime Romera y Sara Pulido
- Projectistas: Ignacio Romera Gonzalo Arquitecto (Passivhaus Designer)
- Dirección Obra: Ignacio Romera Gonzalo Arquitecto
- Dirección de Ejecución de Obra: Juan Soria Armada
- Cálculo de Estructura de Madera: Jesús Menéndez
- Cálculo de cimentación: Oscar Cebollada.
- Test Blowerdoor: Zelab.

## Antecedentes

La propiedad, un matrimonio con dos niños, adquirió la parcela para construir una vivienda para uso habitual. El punto de partida para el desarrollo del proyecto fue conjugar la máxima privacidad con las vistas de que ofrece el río Duero. Desde el primer momento se planteó la construcción de un edificio de consumo casi nulo.

## Descripción del Proyecto

La vivienda sigue un esquema en "L" desarrollado en una sola planta. La propia casa es el cierre del jardín a la servidumbre de paso (Este) y al camino de acceso (Norte), produciendo varios retranqueos que se adaptan a la curva del camino de acceso. Ambas fachadas son muy opacas, por contraposición a la fachada sur, con grandes ventanales para captar la luz solar y potenciar la comunicación con el jardín. Se plantea toda la envolvente para conseguir la menor transmitancia posible en todos sus elementos (cubiertas, fachadas y suelo). El diseño tiene en cuenta el óptimo soleamiento con el que se calienta la vivienda en invierno. Los huecos orientados a poniente cuentan con protección solar para evitar el sobrecalentamiento en verano y los huecos orientados a sur cuentan con voladizos que evitan el soleamiento de los vidrios en verano, pero lo permiten en invierno para obtener ganancias térmicas solares. Al tener una alta hermeticidad (no tiene apenas infiltraciones de aire exterior) y carecer por completo de puentes térmicos, se reducen al máximo las pérdidas de temperatura. El edificio consta de sistema de ventilación mecánica de altas prestaciones que garantiza que el aire interior se renueva constantemente sin pérdida de temperatura. Esta es constante en todo el interior de la vivienda continuamente (día y noche) con una variación máxima de 2°C entre los puntos más desiguales.

## Prestaciones del Edificio

El edificio cumple con el CTE, superando ampliamente los requisitos mínimos fijados por este. Calificación energética: **A**. Se ha comprobado durante el periodo de un año que no requiere de sistema de calefacción mientras que en el interior la temperatura oscila con un mínimo y un máximo en pleno invierno entre 20 y 24°C. En verano, mediante sistema de persianas exteriores y voladizos, se evita el sobrecalentamiento de la vivienda. Se puede optar por la ventilación natural nocturna para refrescar la vivienda.

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

### Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

La estructura y aislamiento se fabricó en taller y se ensambló en obra.

Paredes de entramado ligero formado por montantes de madera de abeto kvh de 6x20 c/60cm relleno de lana mineral. Tablero OSB en cara exterior sobre la que se coloca un SATE de 6cm, más cámara de aire ventilada con terminación exterior de chapa metálica y tablas de madera de abeto, según casos.

Los forjados, de diferentes cantos, son de vigas de madera laminada GL 24h rellenas de lana mineral.

Cimentación formada por una losa de hormigón armado.

## Sistemas de Envoltentes y Acabados

Los cerramientos del edificio se resuelven mediante fachadas de entramado ligero de madera con aislante entre montantes. Este se trasdosa al interior con placa de cartón yeso dejando una cámara de 8 cm., 5 de aislante térmico y 3 de cámara de aire para paso de instalaciones. Al exterior se aplica 6cm de SATE y se reviste con chapa ondulada o madera según paños, dejando una cámara ventilada. En la cara interior del entramado y de forjados se coloca una lámina barrera de vapor que funciona como capa de hermeticidad. De esta forma se construye una fachada con un óptimo coeficiente transmisión térmica, sin puentes térmicos y con cámara exterior ventilada, lo que evita sobrecalentamiento en verano y mejor comportamiento térmico en invierno. Las carpinterías son de PVC con certificación Passivhaus y vidrio triple.

## Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones

### *Calefacción*

Cuenta con un sistema de suelo radiante en determinadas áreas de la vivienda. Este se alimenta de una instalación exterior de aerotermia, que se ubica en cubierta, en lugar diseñado para su ocultación y mitigación de ruido aéreo.

### *Refrigeración*

El mismo sistema que para calefacción puesto que el suelo radiante puede distribuir agua caliente o fría según demanda.

Cabe destacar que apenas ha sido necesario el uso de la instalación de calefacción y refrigeración, puesto que en invierno con las ganancias solares se cumple prácticamente toda la demanda necesaria y en verano, evitando sobrecalentamiento y con ventilación natural nocturna se puede mantener una temperatura interior adecuada con un máximo de 26°C.

### *Ventilación*

Está dotada de un sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor que mantiene el aire interior permanentemente renovado con distribución en estrella de aire renovado y retorno por cuartos húmedos. El recuperador de calor tiene un valor efectivo de recuperación del 84%. El sistema se puede regular en función de la demanda, debido a situaciones como aglomeración de personas, aumentando el caudal de aire ventilado.

### *Iluminación*

Toda la iluminación es LED de bajo consumo.

### *Automatización y Control*

Persianas para control solar y visual motorizadas.

### *Hermeticidad*

Valor de Hermeticidad (n/50): **0,58** renovaciones de aire por hora, determinado mediante test blowerdoor. La hermeticidad del edificio se consigue mediante lámina de barrera de vapor colocada en la cara interior del entramado de madera, tanto de fachadas como de forjados, con continuidad en toda la envolvente y sellada en puntos singulares con las carpinterías, cimentación, esquinas, pasos de instalaciones, etc. de tal manera que se minimizan las infiltraciones de aire no deseadas.

## Energías Renovables in situ o en el entorno

La instalación de climatización (suelo radiante) y la producción de ACS se realizan con sistema de aerotermia, que debido a su alta eficiencia se considera energía renovable, si bien se alimenta mediante la red eléctrica. Se ha previsto una instalación de captación solar fotovoltaica en cubierta, de tal manera que se podrá cubrir gran parte de la demanda energética (totalmente eléctrica), mediante fuente solar.

## Proceso constructivo industrializado con madera

Se planteó la construcción de la vivienda con estructura de madera, con el sistema de entramado ligero. Se eligió este sistema debido a su ligereza y buen comportamiento térmico y resistente de la madera. El proyecto se estudió por la

constructora y se fabricó en taller por paños de fachadas y de forjados, que fueron transportados en camión a la obra donde se ensamblaron sobre la cimentación en un plazo de 5 cinco días. Posteriormente se ejecuta todo el resto de trabajos con empresas locales, siendo instruidos por la Dirección de Obra para obtener una correcta hermeticidad y soluciones según requerimientos de un edificio pasivo de consumo casi nulo.

## PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA

PEM: 265.000 €. Debido a que el consumo de energía del edificio es muy escaso, este factor deberá usarse en términos de amortización.

## CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

El edificio tiene calificación energética A, por lo cumple con lo exigido en el CTE.

INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	38,04 kWh/m <sup>2</sup> año
Demanda Calefacción:	20,7 kWh/m <sup>2</sup> año
Demanda Refrigeración:	0,00 kWh/m <sup>2</sup> año
Aporte Renovables:	En estudio producción de energía eléctrica con p fotovoltaicos en cubierta
Emisiones CO2 Edificio:	6,44 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año

## CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES

Calificación Energética del Edificio: A

En proceso de certificación Passivhaus como edificio de baja demanda energética.

## IMÁGENES PROYECTO



Figura 1. Emplazamiento.

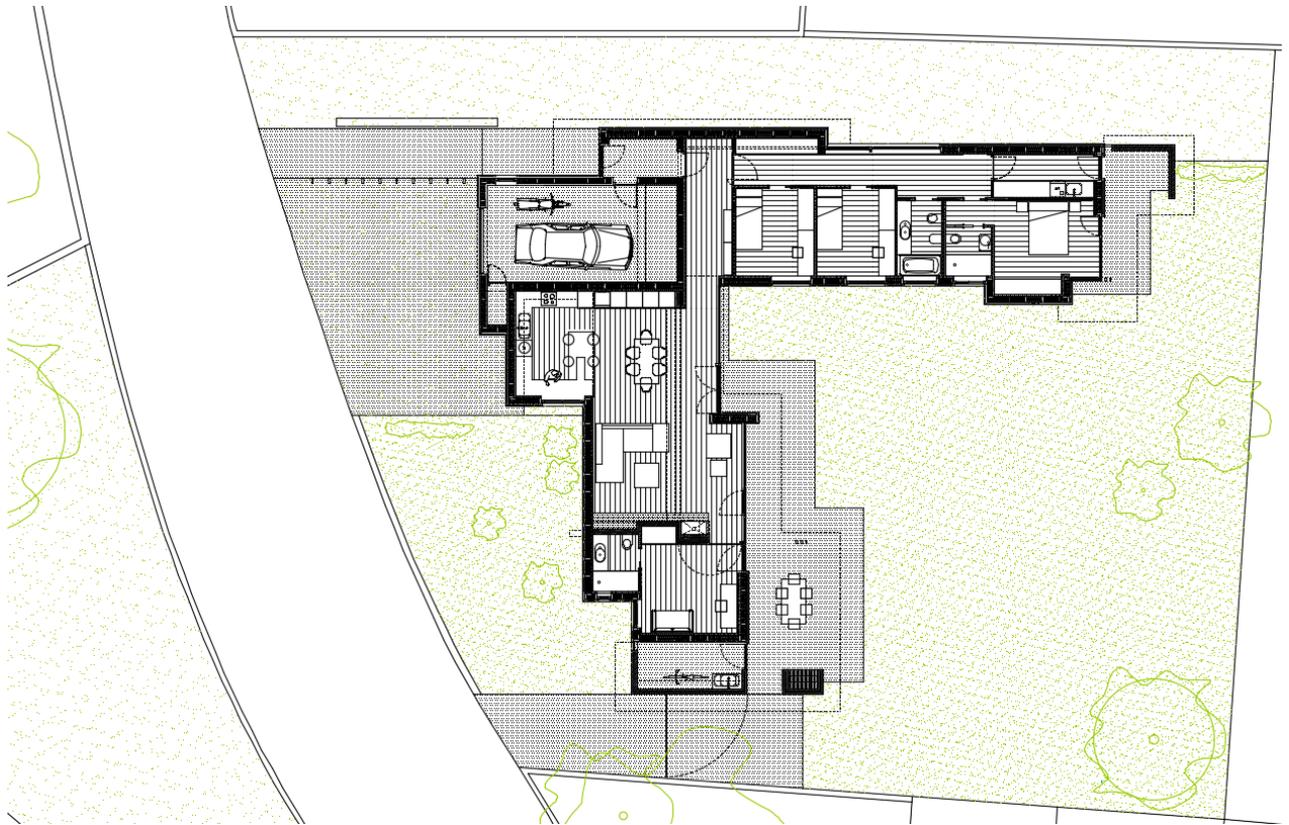
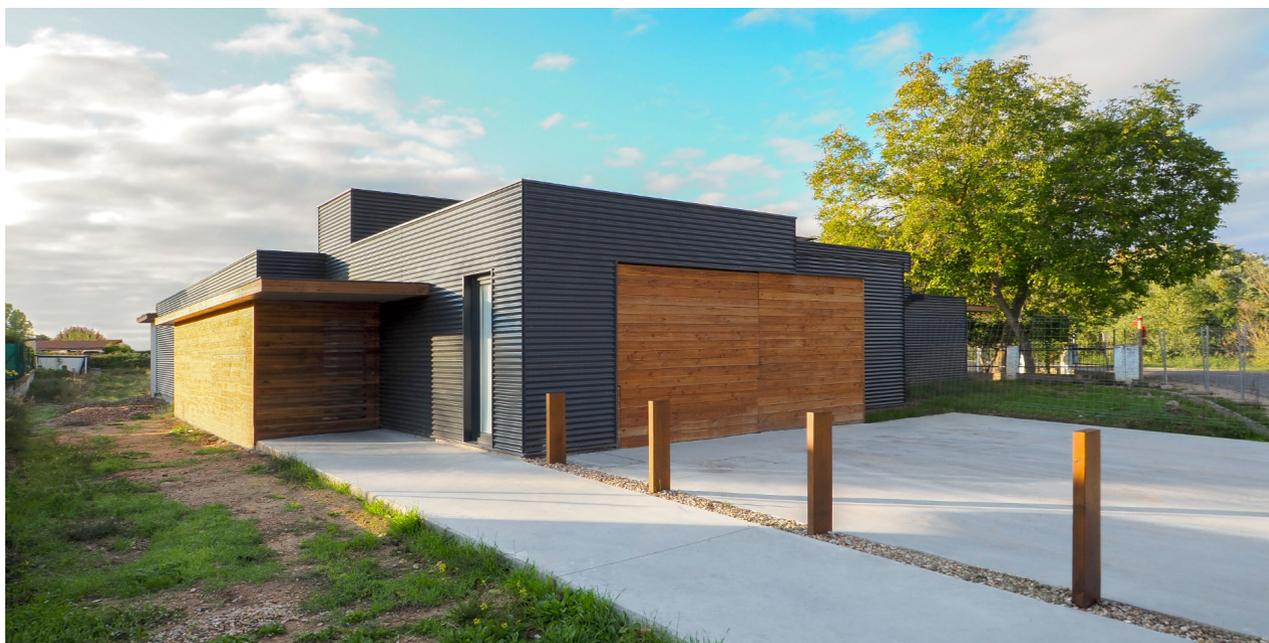


Figura 2. Planta.



Figura 3. Vista de la vivienda desde el jardín, fachadas sur y oeste.



*Figura 4. Vista exterior Noreste.*



*Figura 5. Vista exterior Noroeste.*



Figure 6. Vista interior del salón-comedor-cocina.



Figure 7. Vista interior del salón-comedor-cocina.



Figura 8. Vista nocturna de la vivienda desde el jardín (fachada sur).

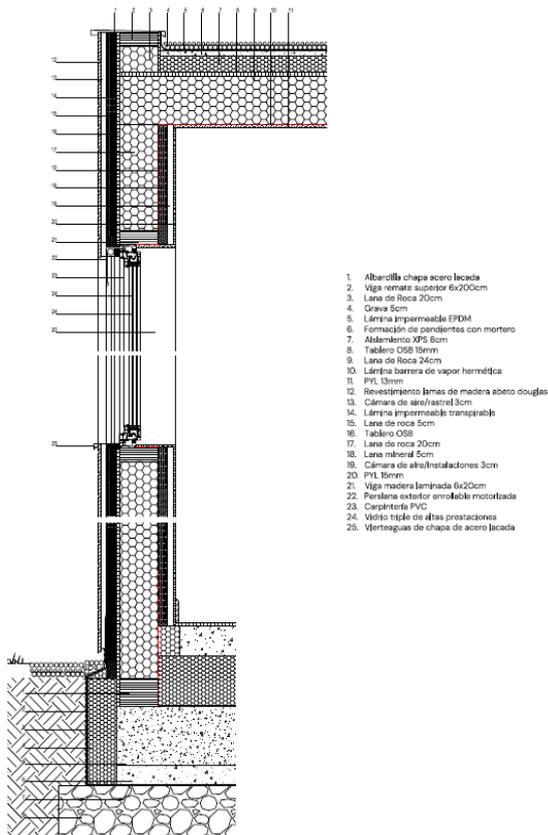


Figura 9. Detalle constructivo.



Figura 10. Proceso de montaje en obra.

## REHABILITACIÓN DE ADOSADO EN EL ENSANCHE DE PAMPLONA

**Resumen Proyecto:** En el ensanche Pamplones unos pequeños adosados construidos en los años 30 y característicos por sus fachadas modernistas fueron levantados. Ahora, en el centro de la ciudad, y tras la compra de uno de esos adosados por mi abuela en los años 50 he podido rehabilitarlo por completo bajo los criterios Passivhaus. Por fuera parece la misma casa, ya que la fachada se encuentra protegida por la normativa urbanística, pero por dentro la construcción ha sido muy distinta y la calidad de vida en el interior corresponde a las últimas tecnologías en consumo casi nulo. Para las nuevas fachadas se ha utilizado bloques de hormigón celular aislantes con trasdosado de pladur y lana de roca, la cubierta tiene estructura de madera con aislamiento celular y acabados interiores en lamas de madera de roble, y carpinterías son de pvc certificadas Passivhaus con triple vidrio con cámaras con argón y persianas eléctricas domotizadas para conseguir el mejor soleamiento durante el invierno y protección en el verano. Un proyecto ilusionante, que cuenta con un patio inglés que da luz y ventilación natural al sótano. La calidad de vida en el interior ha sido un parámetro básico a partir del cual se ha vertebrado todo el proyecto, se ha dado gran importancia a la estanqueidad como fuente de salubridad de la calidad del aire interior ya que la propietaria tiene alergia al polvo.



Figura 1. Fachada principal protegida por normativa urbanística.

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	2º Ensanche. Calle Iturralde y Suit 4, Pamplona
Uso Característico Edificio:	Vivienda adosada
Zona Climática:	D
Obra Nueva / Rehabilitación:	Rehabilitación
Superficie Total Construida:	240 m <sup>2</sup>
Fase del Proyecto:	Junio 2020
Criterios de Diseño del proyecto:	Energía Casi Nula - Passivhaus

## MEMORIA DESCRIPTIVA

El solar sobre el cual se va a construir la vivienda tiene una superficie total de 123,70 m<sup>2</sup> con una longitud de fachada aproximada de 6,50 m acotada por las dos viviendas adosadas.

La nueva edificación tendrá la fachada principal con la misma dimensión y forma que la existente, pero el fondo se ampliará con respecto a la actual hasta alcanzar los 10m permitidos por el Plan Especial de Reforma Interior de I y II ensanche.

La promoción va a constar de una edificación compacta de sótano, planta baja, planta primera y bajocubierta.

En la planta bajocubierta se situará un dormitorio, en la planta primera dos dormitorios y dos baños, en la planta baja estarán el hall, la cocina y el salón, un aseo y el acceso general a la escalera. Se ha procurado que el exterior del edificio en la fachada interior tenga una carga expresiva como consecuencia del trabajo de diseño cuidado en sus detalles. Se han cuidado las dimensiones y proporciones de los huecos y su relación entre sí. Se propone un trabajo detallista de los huecos que proporcione un interés y una expresión de calidad formal.

## Agentes del Proyecto

Este proyecto es la vivienda de una arquitecta para su familia.

Agentes:

- Promotor: María Teresa Monente Mozaz
- Proyectistas: María Teresa Monente Mozaz. Arquitecta. Monente Arquitectura
- Dirección Obra: María Teresa Monente Mozaz y Francisco José Monente Mozaz
- Francisco José Monente Mozaz: Arquitecto Técnico y Passivhaus Tradesperson
- Arnedo Construcción y Rehabilitación: Construcción general. Cimentaciones. Forjados. Fachadas.
- Talleres Aysovel: Estructura metálica. Barandilla interior. Barandilla exterior. Cerramiento exteriores.
- Etxeberria arquitectura de madera: Estructura madera de tejado. Revestimiento techo madera ático.
- Fontanería Fernando Sáiz: Fontanería. Suelo radiante. Instalaciones aerotermia. Instalaciones ventilación.
- Electricidad Naer: Instalaciones eléctricas.
- Ventanas Leyre: Carpintería pvc. Ventanas y puertas.

## Antecedentes

Se trataba de una vivienda adosada construida en los años 50 con fachada modernista y estructura demadera, en un estado muy deteriorado por la acción de las termitas. La urbanización exterior está totalmente terminada en el momento de comenzarse la edificación y solamente será preciso reparar aquellos detalles que deteriore la propia obra ya que la parcela dispone de todos los servicios urbanísticos que necesita. Este proyecto se basa en las Ordenanzas generales y normas subsidiarias de planeamiento de Pamplona, y más concretamente en el Plan Especial de Reforma Interior del I y II Ensanche.

## Descripción del Proyecto

El proyecto consiste en demoler y levantar una vivienda unifamiliar adosada manteniendo la estética y características protegidas de su fachada principal. La vivienda consta de planta sótano destinada a txoco (zona de reunión y ocio con cocina y aseo típica de los hogares del norte de España) que cuenta con un patio inglés, el cual le proporciona luz y ventilación natural. Planta baja diáfana con hall, aseo, cocina-salón-despacho y escaleras integradas mediante paramentos de vidrio, la creación de una planta abierta con grandes cristalerías al patio trasero. La planta primera cuenta con dos dormitorios y dos baños. Se ha previsto en las instalaciones y distribución la posibilidad de crear tres habitaciones donde ahora hay dos. Y la bajocubierta es un amplio dormitorio de techos vistos en madera con vestidor, convertible en baño si fuera requerido, ya que se han previsto las instalaciones que quedan ocultas en el trasdosado.

Es una vivienda adaptable para ser vivida y disfrutada por una familia joven y con posibilidad de realizar modificaciones para crear nuevos espacios que vayan siendo requeridos por la familia.

Se ha dado especial importancia a la higiene desde la concepción del proyecto ya que la promotora y arquitecta tiene grandes problemas de alergias, por lo que desde la entrada de la vivienda con un hall higienizante y un aseo, se entra en la planta baja libre de agentes externos. Y en el interior gracias al sistema de ventilación controlada de doble flujo

no es necesario la apertura de las ventanas para tener aire de calidad en todas las estancias. Para que todo esto funcionase era preciso controlar la estanqueidad de la vivienda, y tener especial cuidado en los puntos clave como entradas de servicios del exterior a la vivienda, marcos de ventanas, unión cubierta con paramentos verticales, etc.

## Prestaciones del Edificio

El edificio proyectado cuenta con estupendas prestaciones, muy bajo consumo energético al contar con sistemas constructivos que hacen que la demanda de energía sea casi nula, y el aprovechamiento de la luz natural hacen que el ahorro energético eléctrico sea también considerable, aprovechando así las condiciones naturales del entorno.

La consecuencia de la toma de estas medidas es también una de sus prestaciones, ya que se logra una vivienda con confort.

Gracias a la ventilación mecánica se logra una gran calidad del aire interior de la vivienda, lo que supone una importante prestación en salud, confort y limpieza.

La construcción basada en la continuidad de los aislamientos logra evitar puentes térmicos, de esta manera se minimizan las posibilidades de futuras patologías relacionadas con la condensación y otros similares.

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

A continuación, se detallan los aspectos más relevantes del proyecto.

### Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

Se realiza la estructura de la vivienda mediante perfiles metálicos sobre cimentación de hormigón. Los forjados de chapa colaborante.

Esta estructura ha permitido realizar la vivienda optimizando el espesor de los forjados y así disponer de altura libre en las plantas, y además disponer del espacio necesario para la conducción de las instalaciones en los falsos techos.

### Sistemas de Envoltentes y Acabados

Cerramientos exteriores – fachada: Se han realizado las fachadas del edificio mediante sistema de fachada de bloque ytong 62x25x30 más dos capas de mortero cal acabado fino en el exterior, con trasdosado interior de placa de yeso en el interior con lana mineral en el trasdosado, logrando un valor U: 0,181 w(m3k)

Huecos – carpinterías: Se han instalado unas carpinterías de PVC con vidrio triple y dos cámaras: 4+4 guardian sun/16 argón/4/16 argón/4climaguard con permeabilidad al aire clase 4, estanqueidad al agua clase E900 y resistencia a la carga de viento clase C5

Cubierta: La cubierta está formada por estructura de madera, tarima sobre cabios, tablero hidrófugo, barrera de vapor, aislamiento de celulosa de 28 cm. Y todo ello rematado por teja propia de las edificaciones colindantes siguiendo la estética de los adosados del Ensanche de Pamplona. Esta cubierta ha permitido mantener la estética fiel original del edificio, y el sistema constructivo elegido ha permitido realizar una envolvente evitando puentes térmicos y garantizando la estanqueidad.

### Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones

#### *Calefacción*

Sistema de aerotermia de altas prestaciones con distribución por suelo radiante. Además, el sistema de ventilación cuenta con una resistencia que permite subir la temperatura del aire 2 grados más que lo que haría un recuperador de calor convencional.

#### *Refrigeración*

El sistema de calefacción cuenta con la posibilidad de refrigerar a través del suelo radiante todas las estancias de la vivienda.

**Iluminación**

La creación del patio inglés en la vivienda supone una fuente de iluminación natural a la planta sótano muy importante, que favorece el uso del txoko como lugar de reunión. La iluminación de toda la casa se ha realizado mediante la instalación de iluminación Led, con zonas en las que la iluminación perimetral de la estancia puede regularse para lograr confort según la cantidad de lúmenes deseados.

**Automatización y Control**

La vivienda posee un sistema de domótica desde el cual se pueden controlar las persianas, la calefacción-refrigeración, la iluminación, la apertura de la puerta del patio para coches y la cámara de videovigilancia.

**Energías Renovables in situ o en el entorno**

La energía renovable con la que cuenta la vivienda es la aerotermia, que posee una alta eficiencia.

**PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA**

El presupuesto del proyecto asciende a 1.200 Euros / m<sup>2</sup> construido.

**CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA**

INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	96.3 kWh/(m2a)
Demanda Calefacción:	14.1 kWh/(m2a)
Demanda Refrigeración:	No existe
Aporte Renovables:	62.6 kWh/(m2a)
Emisiones CO2 Edificio:	13.6 kgCO2/M2A

**CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES**

La certificación Passivhaus está en fase de tramitación.

## IMÁGENES PROYECTO



*Figura 2. Fachada posterior Calle Iturralde y Suit 4, Pamplona (fuente propia).*



*Figura 3. Planta baja, salón vivienda sita en Calle Iturralde y Suit 4, Pamplona (fuente propia).*



Figura 4. Planta baja, cocina vivienda sita en Calle Iturralde y Suit 4, Pamplona (fuente propia).



Figura 5. Planta sótano, Calle Iturralde y Suit 4, Pamplona (fuente propia).

## EL VALOR AÑADIDO DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR PASSIVHAUS PLUS: CALIDAD, CONFORT Y SOSTENIBILIDAD / VIVIENDA “VICTORIA”

**Resumen Proyecto:** La manera de construir se ha ido adaptando lentamente a las necesidades de cada época, respondiendo a la realidad social y económica de cada momento. En nuestros días, a la calidad y el confort, se está añadiendo el requisito de sostenibilidad como algo fundamental. La vivienda unifamiliar aislada “Victoria”, emplazada en la Calle Ter nº 11 de la Urbanización “El Bosque” en Villaviciosa de Odón (Madrid), y construida bajo el estándar *Passivhaus Plus*, llega a convertirse en un ejemplo de estos atributos. De líneas modernas, su programa está resuelto en una sola planta sobre rasante, con una edificación principal compuesta de vestíbulo de acceso, sala de estar, salón-comedor, cocina, cuarto de lavado, 4 dormitorios, 3 baños, despacho y patio interior. Anexo a la edificación principal, se encuentra una edificación auxiliar destinada a cuarto de instalaciones, trastero y aseo; además, dispone de piscina exterior y zona de aparcamiento cubierto. El exhaustivo control realizado durante la ejecución de la obra en cuanto a infiltraciones, estanqueidad y eliminación de puentes térmicos, responden a los estándares de calidad esperados por el cliente. Las instalaciones, térmica y fotovoltaica, junto con la incorporación de un sistema de ventilación con recuperador de calor, garantiza el confort del usuario, algo elemental, como se ha observado en los últimos tiempos. Finalmente, la selección de los materiales y la reducción de las demandas térmicas debido a la hermeticidad conseguida en la edificación, contribuyen a la sostenibilidad del planeta.



Figura 1. Infografía de la Fachada Sur de la vivienda unifamiliar aislada “Victoria”.

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	Calle Ter nº 11. Urbanización El Bosque. Villaviciosa de Odón (Madrid)
Uso Característico Edificio:	Residencial
Zona Climática:	D3
Obra Nueva / Rehabilitación:	Obra nueva
Superficie Total Construida:	233,46 m <sup>2</sup>
Fase del Proyecto:	Fase de acabados
Otros:	Proyecto realizado valorando todos los datos mediante el programa específico PHPP (utilizado en la <i>Plataforma de Edificación PassivHaus</i> )

## MEMORIA DESCRIPTIVA

El solar se encuentra situado en la urbanización “El Bosque” de Villaviciosa de Odón (Madrid), con un entorno definido por viviendas unifamiliares aisladas o pareadas. Presenta una configuración prácticamente rectangular con una superficie en planta, según plano topográfico, de 1627,40 m<sup>2</sup>. La edificación que se plantea cumple los requisitos establecidos en el estándar *Passivhaus Plus* establecido según el *Passive House Institute*.

### Agentes del Proyecto

La arquitecta del proyecto, Victoria Santiago Rasilla, es además promotora de la vivienda y trabaja en proyectos de consumo energético casi nulo (*Passivhaus* o con calificación energética A). Los agentes intervinientes en la obra son:

- Promotores: Alfonso Santos Letón y Victoria Santiago Rasilla
- Proyectista: Victoria Santiago Rasilla
- Dirección Obra: Victoria Santiago Rasilla  
Roberto Vidales Barriguete
- Otros Técnicos: Ignacio de las Parras Domingo  
Alejandra Vidales Barriguete

### Antecedentes

Los promotores apostaron por una edificación *Passivhaus Plus* debido a las buenas experiencias de otros proyectos de la arquitecta en cuanto a calidad conseguida en la vivienda, confort interior y bajos consumos de energía. La información necesaria para la redacción del proyecto (geometría, dimensiones, superficie del solar, de su propiedad e información urbanística), fue aportada por la propia arquitecta, promotora a su vez, para ser incorporada al proyecto.

### Descripción del Proyecto

El edificio proyectado y construido, corresponde a la tipología de vivienda unifamiliar aislada, con una sola planta sobre rasante. El programa de necesidades está formado por la vivienda, que constituye la edificación principal y se compone de vestíbulo de acceso, sala de estar, salón-comedor, cocina, cuarto de lavado, 4 dormitorios, uno de ellos con vestidor, 3 baños, uno de ellos en suite, despacho y patio interior. Existe además una edificación auxiliar destinada a cuarto de instalaciones, trastero y aseo; y como espacios exteriores adscritos un aparcamiento cubierto y una piscina.

### Prestaciones del Edificio

Se trata de una vivienda de una gran hermeticidad, conseguida en parte por los aislamientos de su envolvente y la eliminación de puentes térmicos e infiltraciones. Para garantizar el confort y calidad del aire del usuario, dispone de un sistema de ventilación de doble flujo con recuperador de calor y una instalación térmica (frío-calor) mediante aerotermia. Además se ha optado por la eficiencia energética de la instalación eléctrica mediante la utilización de leds y un sistema de placas fotovoltaicas.

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

En la construcción realizada bajo los requisitos establecidos en el Estándar *Passivhaus Plus*, se trata de alcanzar el objetivo de consumo energético casi nulo, cumpliendo, además, con la normativa de aplicación. Todo el aislamiento queda unido a modo de envoltura continua de la vivienda eliminando puentes térmicos.

### Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

Para la cimentación se optó por una losa sobre 20 cm de XPS de alta resistencia y durabilidad certificada para más de 100 años. La estructura de pilares de acero laminado y muros de carga en fachadas realizados con termoarcilla, elegida por su buen comportamiento térmico respecto a otros materiales.

### Sistemas de Envolventes y Acabados

Mortero acrílico sobre SATE de 15 cm de EPS Neopor (con grafito porque tiene menor coeficiente de conductividad térmica), termoarcilla, 1 cm de yeso con malla para darle mayor hermeticidad, cámara de 6 cm rellena de planchas de lana mineral, trasdosado con placas de yeso de alta dureza colocado de suelo a techo (sin agujerear la envolvente si no es tomando unas precauciones determinadas). Cubierta plana no transitable acabada en grava, mediante forjado

térmico de viguetas pretensadas y planchas de EPS (25+5), con 20 cm de aislamiento XPS por el exterior, y 5 cm de lana mineral en falso techo.

La carpintería exterior de PVC con 6 cámaras presenta una transmitancia de marco 0,9 W/m<sup>2</sup>K (para poder comparar, un perfil hueco de PVC de 3 cámaras tiene 1,8 W/m<sup>2</sup>K). Triple acristalamiento con gas Argón en las cámaras (3+3BE/15/4/15/3+3). Cajón de persiana por el exterior totalmente aislado para evitar puentes térmicos, por tanto, solo pueden ser persianas motorizadas. Dicha carpintería no está colocada a haces interiores del trasdosado, sino que está colocada a haces intermedios en la cara interior del bloque de termoarcilla. Entre el cerco de la ventana y la capa de yeso se han introducido unas cintas herméticas de sellado que aseguran la estanqueidad. La puerta de entrada es térmica, de aluminio, estanca, con burletes inferiores y certificada *Passivhaus*.

La pintura seleccionada para toda la vivienda es ecológica por salubridad y confort del usuario. Se trata de una pintura elaborada a base de cal artesana con nanofibras de grafeno. Es un material más flexible y duradero, sin componentes tóxicos y con capacidad para purificar el ambiente y absorber CO<sub>2</sub>.

## Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones

Con el objetivo de cumplir las exigencias del estándar *Passivhaus*, consumos energéticos casi nulos, se optó por la sostenibilidad mediante la selección de maquinarias de bajos consumos y alta eficiencia energética, y la instalación de iluminación led y placas fotovoltaicas.

### **Calefacción y Refrigeración**

Mediante suelo radiante y un equipo aerotérmico para calefacción, refrigeración y ACS, con depósito de 200 litros para almacenar sobrante de energía y capacidad para aprovechar la energía fotovoltaica excedente en momentos de picos, sin recurrir a la energía de la red eléctrica.

### **Ventilación**

Ventilación mecánica de doble flujo con recuperador de calor (maquinaria certificada por el Instituto Alemán PassivHaus). Un conducto para admisión hacia las zonas nobles, un conducto de extracción desde las zonas húmedas. Sin conducto extractor para la campana de la cocina para que no haya nada en contacto directo con el exterior, esta campana es de circulación con filtros de carbono (las que se utilizan en muchas ciudades europeas y que ya están llegando a España).

### **Iluminación**

Mediante dispositivos led, además, se incorpora en cubierta, la instalación de 26 paneles fotovoltaicos de 335Wp y una potencia total de 8,71 kWp.

### **Automatización y Control**

Se dispone de instalación domótica tanto para la alarma con diferentes controles, como para el accionamiento de persianas, de manera que se consigue el control solar en el interior de la vivienda optimizando las ganancias solares en invierno y eliminación de este factor solar en verano.

## Energías Renovables in situ o en el entorno

Se eligió la aerotermia en la instalación térmica, porque se considera una energía limpia, renovable (según CTE) y sostenible (clasificada así según la Unión Europea), que no emite humos y no produce combustión. Además, como en España se dispone de entre 2.500 a 3.000 horas luz/año, se decidió incluir la energía solar dentro del proyecto y así llegar a optar al estándar *Passivhaus Plus*.

### **Tipos Energías Renovables**

Aerotermia: mediante bomba de calor aire/agua. Este equipo que proporciona la calefacción, refrigeración y ACS de la vivienda. Utiliza como refrigerante el R290, completamente natural (el R32 ronda las 600 unidades sobre el GWP o índice que indica lo perjudicial que es un refrigerante, mientras que el R290 tiene un valor de 2). Llega a impulsar temperaturas de 75°C y tiene un COP cercano al 5. El sobrante se disipa a la piscina.

Fotovoltaica: mediante la colocación de 14 paneles con orientación Sur y 15° de inclinación, 6 paneles con orientación Este y 15° de inclinación, 6 paneles con orientación Oeste y 15° de inclinación y dos inversores preparados para la acumulación de energía con baterías de litio. Todo ello, según el estudio realizado por la empresa especialista en

fotovoltaica, en el que la producción implantada es de 13.074 kWh/a y la energía consumida es de 12.075 kWh/a, por lo que se obtiene un sobrante de 999 kWh/a. Este excedente fotovoltaico se transforma en energía térmica mediante un gestor energético colocado en la sala de instalaciones, y es utilizado por la bomba de calor aerotérmica. De manera que, el balance entre la red eléctrica y la vivienda se acerca a cero.

## Otros apartados que se consideren necesarios en MEMORIA CONSTRUCTIVA

La obra está siendo ejecutada con un exhaustivo control de las infiltraciones, de la estanqueidad, de la colocación de los aislamientos propuestos, de la eliminación de puentes térmicos y de las instalaciones de aerotermia, ventilación y fotovoltaica. Los materiales empleados poseen la homologación de materiales *Passivhaus*.

Los resultados se comprobarán a través de los datos introducidos en el programa PHPP durante el proyecto y los datos introducidos en el programa a la finalización de la obra. Se realizarán los ensayos correspondientes a la obtención de los datos de estanqueidad y demanda energética (Blowerdoor).

Los resultados obtenidos, en cuanto a los ítems del Estándar *Passivhaus Plus*, no deben ser superiores a:

- Demanda de calefacción: máximo 15 kWh/m<sup>2</sup>·año.
- Demanda de refrigeración: máximo 15 kWh/m<sup>2</sup>·año.
- Demanda en energía primaria: máximo 120 kWh/m<sup>2</sup>·año.
- Hermeticidad con un diferencial de presión de 50Pa: máximo 0,60 renov.aire/hora.

Otro de los requisitos del *Passivhaus Plus*, es dotar de placas fotovoltaicas la mitad de la superficie de cubierta. Esto se consigue con la instalación de las 26 placas mencionadas en apartados anteriores.

## PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA

Llegar a obtener el consumo nulo es prácticamente imposible y, si no lo es, no es viable económicamente hablando. Realizar una edificación bajo el estándar *Passivhaus* supone un incremento sobre el presupuesto real de aproximadamente un 10%. El consumo de este tipo de viviendas es entre un 70-75% menor al de viviendas posteriores a la entrada en vigor del CTE y entre un 85-90% menor de las viviendas anteriores a CTE. Merece la pena, por tanto, la inversión inicial, no solo por la rápida amortización de la misma, sino por la contribución a la sostenibilidad del planeta.

## CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

La vivienda dispone de una envolvente de características tales que limita adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, el uso del edificio y del régimen de verano-invierno. Sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reducen el riesgo de aparición de humedades de condensación, superficiales e intersticiales, que puedan afectar la salud de los ocupantes, a la vez que evita problemas higrotérmicos en las estancias. Los equipos para la instalación térmica y fotovoltaica son de alta eficiencia energética y permiten obtener el confort necesario para los usuarios, llegándose a alcanzar con ellos casi el consumo nulo de energías no renovables.

INDICADORES DE PROYECTO	
Consumo Energía Primaria no renovable:	14,00 kWh/m <sup>2</sup> ·año – calificación A
Demanda Calefacción:	31,77 kWh/m <sup>2</sup> ·año – calificación B
Demanda Refrigeración:	7,0 kWh/m <sup>2</sup> ·año – calificación A
Aporte Renovables:	A través de la energía fotovoltaica y la aerotermia se obtienen prestaciones inferiores a las que se obtendrían mediante una instalación solar térmica
Emisiones CO <sub>2</sub> Edificio:	2,38 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año – calificación A
Otros:	Los indicadores de proyecto son más negativos que los que se obtendrán una vez acabada la obra puesto que, durante la misma, se han incluido mejoras que no estaban contempladas en el CEE inicial.

## CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES

La calificación obtenida en el Certificado de Eficiencia Energética incluido en proyecto es una A (ya que en España, es la máxima calificación energética contemplada hasta ahora). No obstante, durante la obra se han incorporado cambios en las instalaciones que suponen mejoras en la calificación energética de la vivienda.

A su vez, se dispone de los datos obtenidos con el programa PHPP que, aunque no está homologado en España, se utiliza para la obtención de la certificación *Passivhaus Plus* a través del *Passive House Institute*.

INDICADORES DE PROGRAMA PHPP (PASSIVE HOUSE INSTITUTE – PEP)			Criterios a cumplir
Calefacción	Demanda de calefacción	14,00 kWh/m <sup>2</sup> ·año	≤ 15 kWh/m <sup>2</sup> ·año
	Carga de calefacción	12,00 W/m <sup>2</sup>	≤ ---
Refrigeración	Demanda de refrigeración	9,0 kWh/m <sup>2</sup> ·año	≤ 15 kWh/m <sup>2</sup> ·año
	Carga de refrigeración	9,00 W/m <sup>2</sup>	≤ ---
	Frecuencia de sobrecalentamiento (>25°C)	---%	≤ ---
	Frecuencia excesivamente alta humedad (>12 g/kg)	0%	≤ 10%
Hermeticidad	Resultado ensayo presión n <sub>50</sub>	0,6 l/h	≤ 0,6 l/h
Energía Primaria no renovable (EP)	Demanda EP	106 kWh/m <sup>2</sup> ·año	≤ 120 kWh/m <sup>2</sup> ·año

La arquitecta y el arquitecto técnico, con titulación de PassivHaus Designer y Tradesperson PassivHaus respectivamente, certificarán la finalización de la obra con toda la puesta en obra comentada. Actualmente, la vivienda se encuentra en fase de acabados. Una vez terminada la obra, se solicitará la obtención de la placa *PassivHaus Plus* a alguna de las empresas certificadoras incluidas en la lista de la plataforma *PEP*.

## IMÁGENES PROYECTO



Figura 2. Cimentación. Colocación del XPS.



Figura 3. Cimentación. Ejecución de losa.



Figura 4. Estructura. Ejecución de forjado.



Figura 5. Estructura. Pilares metálicos y muros de carga.



Figura 6. Fachadas. Arranque de fachada desde losa.



Figura 7. Fachadas. Aislamiento en arranque de fachada.



Figura 8. Cubierta. Impermeabilización.



Figura 9. Cubierta. Aislamiento interior.



Figura 10. Aislamiento de cubierta.



Figura 11. Aislamiento de fachada.



Figura 12. Carpintería exterior PVC de 6 cámaras.



Figura 13. Puerta de entrada de aluminio certificada Passivhaus.



Figura 14. Suelo radiante conectado a aerotermia.



Figura 15. Detalle de refuerzos para evitar puentes térmicos.



Figura 16. Acabados interiores I.



Figura 17. Acabados interiores II.



Figura 18. Infografía interior de la vivienda. Salón-comedor.



Figura 19. Infografía fachada oeste con edificación auxiliar.



Figura 20. Infografía fachada oeste con edificación auxiliar.



Figura 21. Infografía fachada norte desde viario público.



Figura 22. Infografía fachada sur.

# ENTREPATIOS - LAS CAROLINAS, UN COHOUSING ECOLÓGICO EECN, CO2NULO Y DE MADERA

Iñaki Alonso, Arquitecto y Director, sAtt  
Pablo Rodríguez, Arquitecto Técnico y Director Técnico, eco

**Resumen.** La promoción Entrepatios - Las Carolinas, la primera de este modelo de cohousing en derecho de uso que desarrolla la cooperativa Entrepatios, responde a los criterios ecológicos más exigentes en un contexto de necesaria sostenibilidad económica. Estos criterios han sido demandados por los autopromotores, los vecinos y vecinas recientemente instalados en el edificio situado en el barrio de Usera (Madrid); y se basan en una visión holística, amplia y compleja de la ecología, una visión triple balance: medioambiental, social y económica.

**Palabras clave:** EECN, ecología, Passivhaus, CO2nulo, madera, CLT, fotovoltaica, eficiencia, ACV

## INTRODUCCIÓN

Hasta hace muy poco tiempo relacionábamos la sostenibilidad únicamente con la eficiencia energética, desde entonces empezamos a pensar en los Edificios de Energía Casi Nula (EECN). Han pasado 6 ediciones de este congreso, los EECN son hoy una realidad y cada vez hay más ejemplos de proyectos muy eficientes energéticamente. No obstante, también nos hemos dado cuenta de que no es suficiente, la sostenibilidad hay que entenderla en todos sus aspectos, en toda su integridad, en la salud de la Tierra pero también en la salud de las personas, en sus tres ejes: social, ambiental y económico. Desde esta triple perspectiva, múltiple y compleja, hemos afrontado el proyecto Entrepatios - Las Carolinas, el primer cohousing en derecho de uso en Madrid.

La promoción Entrepatios - Las Carolinas afronta esta visión de la ecología desde muchos y diferentes lugares: régimen en derecho de uso, que evita la especulación de la vivienda; metodología participativa, para que los vecinos y vecinas puedan soñar y diseñar cómo quieren vivir; diseño bioclimático, para ser lo más eficiente energéticamente; Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y cálculo de Huella de carbono del proceso de construcción, estructura de madera CLT con certificación FSC, alta eficiencia energética (diseño con criterios Passivhaus, sin certificar), bioconstrucción, economía circular, reciclaje, calidad del aire, control de toxicidad, uso de 100% energías renovables, que incluye una instalación solar fotovoltaica; electrificación completa del edificio, reciclaje de aguas, salud geoambiental, espacios de uso común, apertura al barrio, financiación con banca ética, monitorización de calidad del aire y consumos de energía y agua, etc.

Todos estos criterios, además, están enmarcados dentro de la sostenibilidad económica. Es primordial que la ecología se incorpore y que se diseñe de forma que el proyecto sea tanto viable como replicable. En este caso, Entrepatios - Las Carolinas es un 30% más barato que las promociones nuevas de la zona.

## Sostenibilidad ambiental

Esta presentación se centra en algunos de los aspectos ambientales, no todos los que se han trabajado, pero sí probablemente los más relevantes, además de una mención a la parte económica.

- El **diseño** bioclimático con criterios Passivhaus
- La Huella de **carbono** y la certificación CO2nulo
- La **madera** estructural CLT y la economía circular
- Las **cifras económicas** de la promoción



Figura 1. Vista general Entrepatrios Las Carolinas.

### **Diseño bioclimático con criterios Passivhaus**

Desde el principio, se apostó por un Edificio de Energía Casi Nula y se decidió diseñar con los principios más exigentes de la arquitectura bioclimática y siguiendo el estándar de Passivhaus. El objetivo de la certificación Passivhaus se desestimó, fue inviable económicamente ya que teníamos un objetivo económico muy riguroso y muy poco replanteable. En definitiva, el resultado es un edificio diseñado con criterios bioclimáticos y Passivhaus -con su parte de cálculo PHPP- y con los Blower-door Tests realizados y aprobados, pero sin la certificación y el sello Passivhaus.

Además, otro aspecto que nos hizo decantarnos por un diseño con máximo aislamiento y ventilación mecánica de doble flujo fueron dos condicionantes importantes del lugar: el ruido y la mala calidad del aire.

El edificio tiene cinco plantas: un sótano bajo rasante con aparcamiento e instalaciones y cuatro sobre rasante, con 17 viviendas y 2 locales comunes. La base del edificio, la losa de cimentación, los muros de contención y el forjado de losa maciza de la planta baja son de hormigón armado. Sobre la losa de la planta baja se levanta el casco de CLT, de forma que la envolvente térmica queda definida por la losa de hormigón de planta baja y las fachadas, medianeras y cubiertas de CLT. Las circulaciones (escaleras, corralas y ascensor) quedan fuera de la envolvente térmica.

El suelo contra el sótano (hormigón) se aísla por el exterior con  $U=0.263\text{W/m}^2\text{K}$ . Las fachadas, cubiertas y suelos contra el aire (CLT) se aíslan por el exterior con valores  $U= 0.214, 0.209$  y  $0.196\text{ W/m}^2\text{K}$  respectivamente. Las medianeras (CLT) se aíslan por el interior con  $U=0.294\text{ W/m}^2\text{K}$ . Los patinillos al ambiente exterior son de entramado de madera aislado y  $U=0.186\text{ W/m}^2\text{K}$ . Las carpinterías son mixtas madera-aluminio de  $U_f=1.3\text{ W/m}^2\text{K}$ , puentes de contorno  $\psi_f(\text{sup-lat, inf})= 0.012$  y  $0.058\text{ W/mK}$ , vidrios triples de  $U_g=0.6\text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g=0.5$  e intercalarios de  $\psi_g= 0.033\text{ W/mK}$ . Además, se dispone de protección solar fija (aleros y corralas) y móvil (persianas alicantinas).

La hermeticidad es individual por vivienda. Se resuelve con la losa de hormigón (en planta baja), los paneles de CLT, láminas en patinillos y sellados con cintas y/o membrana líquida.

Además, se utilizan sistemas de ventilación mecánica con recuperación de calor individual por vivienda. La calefacción y refrigeración se realiza con bombas de calor aire-aire de expansión directa y distribución por conductos de 4 kW, SCOP=4 y SEER=5.5. El ACS se resuelve con bomba de calor central aire-agua (aerotermia) de 20 kW y eficiencia estacional 115%. Se instalan 90 paneles fotovoltaicos con 33.3 kWp. Todo el edificio está electrificado y no hay ningún sistema con combustibles líquidos, gaseosos o sólidos.

Con estas estrategias se han calculado mediante simulación dinámica demandas muy bajas y una estimación de consumos por vivienda muy económicos. Además, se ha realizado la contratación a través de un solo suministro para todo el edificio en vez de 18 contratos, lo que esto supone un coste algo menor, concretamente de una tarifa 3.0A de 0.139 €/kWh.

<b>Demanda anual</b>	<b>KWh</b>	<b>€</b>
<i>Calefacción</i>	4.812	668
<i>Refrigeración</i>	3.662	508
<i>ACS</i>	5.853	818
<i>Otros consumos viviendas</i>	23.800	3.302
<i>Otros consumos zonas comunes</i>	10.000	1.388
<i>Parte fija tarifa eléctrica</i>		2.516
<i>Total edificio</i>	48.127	9.194
<i>Autoconsumo FV 30 kW</i>	16.000	1.831
<i>Total edificio con FV</i>	32.127	6.974
<i>Excedente FV</i>	32.700	1.831
<i>Total edificio con FV acogida a compensación</i>		5.143

*Tabla I. Demandas y consumos estimados.*

Por lo tanto, el consumo estimado para calefacción, refrigeración y ACS es de 18,40 euros/mes por vivienda. Y si incluimos los consumos de los espacios comunes, la cifra estimada sería de 25 euros/mes por vivienda. En breve podremos comprobar si los cálculos se corresponden con la realidad.

Por último, cabe mencionar que en uno de los primeros talleres de participación de la comunidad promotora en el diseño del edificio, se abordó uno de los aspectos fundamentales para su funcionamiento energético: la disposición de las corralas. Tras decidir instalar estas circulaciones exteriores que dan acceso a cada vivienda, debía dirimirse si colocarlas al exterior (con orientación sur) o hacia el patio interior (al norte). Aunque desde el punto de vista social, podía resultar más interesante hacerlo al interior, hacia el patio, había dos aspectos importantes para colocar las corralas al exterior: la orientación sur puro y el impacto del ruido de tráfico. Al instalar las corralas al sur, la fachada dispone de una protección natural que protege los ventanales del sol vertical del verano, al tiempo que -gracias al acristalamiento de fachada- el suelo interior de hormigón absorbe el calor del sol bajo del invierno.

### **Huella de carbono y el CO<sub>2</sub>nulo**

Un EECN reduce las demandas al mínimo, que es el primer objetivo para limitar consumos y emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, se pueden tomar más medidas enfocadas a la descarbonización. Si electrificamos el edificio al 100% y usamos energía de origen 100% renovable - bien por contratación a comercializadoras de energía renovable o por producción in situ-, tendremos un edificio sin emisiones de CO<sub>2</sub> en su uso. En este caso, el mayor impacto está en el proceso de construcción.

En Entrepatrios - Las Carolinas hemos realizado el Análisis de Ciclo de Vida y medido la Huella de carbono de la construcción para poder minimizarla y estamos en proceso de compensarla con programas de reforestación

específicos para ello. Si medimos, minimizamos, compensamos, electrificamos e instalamos energías 100% renovables obtenemos un edificio CO2nulo: un gran paso para la descarbonización de la economía y la mitigación del cambio climático. En el caso de Entrepatrios - Las Carolinas, solo queda la fase de compensación y esperamos que para el momento de celebración del congreso se haya podido cerrar todo el proceso.

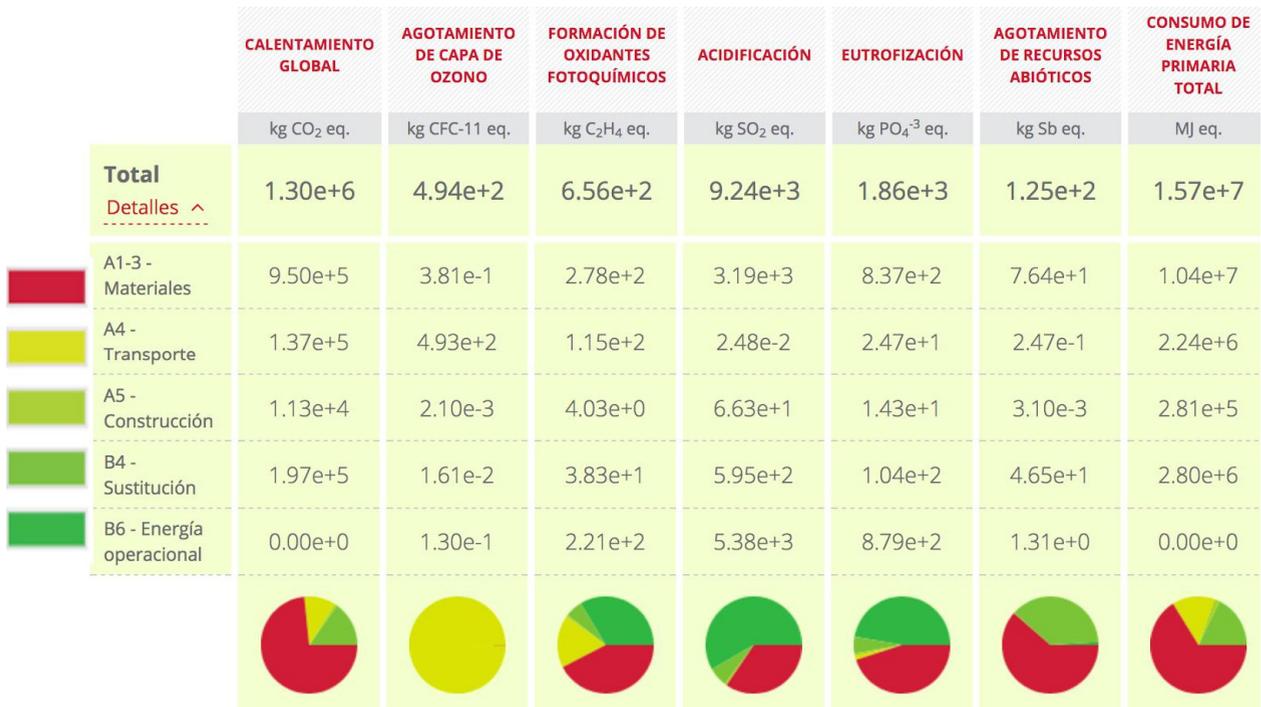


Figura 2. Análisis de Ciclo de Vida.

El coste total en términos de carbono ha sido de 1.300 Tn CO<sub>2</sub> eq. Pero no es el único impacto, la norma UNE-EN 15804:2012 sobre la sostenibilidad en la construcción establece las categorías de impacto de las declaraciones ambientales de producto (DAPs), pero existen muchos otros impactos que están en proceso de incorporación en la metodología de Análisis de Ciclo de Vida.

En el caso del AGOTAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO, el valor del impacto es de 494 Kg de CFC-11 eq., y está relacionado fundamentalmente con el transporte. En la FORMACIÓN DE OXIDANTES FOTOQUÍMICOS, arroja un impacto de 656 Kg de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq., que se reparte bastante equitativamente entre las diferentes etapas. El impacto sobre la ACIDIFICACIÓN equivale a 9.240 kg SO<sub>2</sub> eq. concentrada en los materiales y en la etapa B6 - Energía operacional. En la EUTROFIZACIÓN es de 1.860 kg de PO<sub>4</sub> eq. y afecta a los materiales (A1-A3) y a la energía operacional (B6) de manera proporcional. Por último, dos categorías de impacto que afectan principalmente a los materiales, AGOTAMIENTO DE RECURSOS ABIÓTICOS (125 kg Sb eq.) y CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA, con un total con 15.700.000 Megajulios eq.

Para acabar, la categoría de impacto que está en el lenguaje común es la del Cambio climático, su indicador es el carbono y en este congreso sobre descarbonización, la cifra que tenemos que manejar es el de 1.300 Tn totales de carbono eq. y, sobre todo, los 392 Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> eq. en el ciclo de vida de 50 años, teniendo en cuenta las etapas A1/A2/A3/A4/A5/B4/B6. Compensando esas 1.300 Tn de CO<sub>2</sub> podríamos tener un edificio CO<sub>2</sub>nulo.

**La madera estructural CLT certificada FSC y la economía circular**

El edificio se ha construido con madera estructural de abeto según el sistema de CLT (Cross Laminated Timber), que en castellano conocemos por paneles de madera contralaminados. En las ventanas también se ha utilizado madera laminada de pino y, en ambos casos, son maderas sostenibles y con certificado FSC (Forest Stewardship Council). Además de estructura y ventanas, también se ha utilizado madera reciclada en los falsos techos de ciertas partes comunes, utilizando tablero de encofrar reciclado.



Figura 3. Vista general Entrepatrios- Las Carolinas estructura de madera CLT.

La utilización de la madera en la construcción supone un cambio de paradigma radical, ya que significa pasar de utilizar materiales no renovables y finitos en la Tierra a utilizar materiales renovables, de los que podemos disponer de tanta cantidad como seamos capaces gestionar de forma sostenible. Aunque nos pueda parecer increíble, la arena para la construcción se está terminando y empieza a haber grandes conflictos en zonas de escasez de arena y de gran actividad constructiva como en la India y en China. Por otro lado, solo el cemento supone un 6% de todas las emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo. Es un material que desprende mucho CO<sub>2</sub> en su fabricación mientras que la madera es un material de construcción que hace exactamente lo contrario: captar CO<sub>2</sub> en el crecimiento del árbol.

En Entrepatrios - Las Carolinas se ha utilizado madera de los bosques del este de Europa con certificación FSC que ha sido industrializada en Suiza y trasladada a España. Son 400 m<sup>3</sup> de madera que se han colocado en la obra en 6 semanas con cuatro operarios. Además de los aspectos sostenibles de la madera, tenemos que resaltar otros aspectos que son muy importantes: el tiempo de construcción, la seguridad en la obra, la circularidad del material y la limpieza. Como punto negativo, nos encontramos con el impacto del transporte, sin embargo, si lo miramos como un incentivo a la aparición de mayor demanda, pronto podremos desarrollar mucha más industria local, con una buena gestión de nuestros bosques y la activación de una economía sostenible muy importante para el sector inmobiliario.

#### **Los números económicos de Entrepatrios - Las Carolinas**

Este tipo de proyectos muy ambiciosos en la parte medioambiental y social también es importante que entren en números económicos sostenibles. En 2017, publicamos un artículo titulado “Los edificios ecológicos son más baratos” [1], donde insistimos en una visión largoplacista de la economía y la necesidad de tener un Análisis de Ciclo de Vida económico en la vida útil del edificio.

El coste total de la obra es de 708 euros/m<sup>2</sup> construido (sin IVA), teniendo en cuenta los todos los metros cuadrados construidos bajo rasante y sobre rasante. El precio final por metro cuadrado de vivienda es de 2.295 euros/m<sup>2</sup>, considerando los metros cuadrados de vivienda, de espacios comunitarios y de espacios comunes, con una ratio entre espacio útil y construido total (incluyendo comunitario y comunes) de 1.4. El precio medio de venta de obra nueva en un contexto cercano a la zona del río Manzanares, donde se ubica esta promoción, es de 4.583 euros/m<sup>2</sup> en edificios sin tanta carga medioambiental, pero sí con piscina y otros espacios comunes y en localizaciones algo mejores.

Podemos afirmar que Entrepacios - Las Carolinas ha arrojado la mitad de coste que la media en su zona, teniendo en cuenta los condicionantes nombrados y con una estimación de costes de mantenimiento y uso del edificio muy bajos. También es cierto que todos los agentes involucrados en el proyecto han trabajado muy ajustados para hacerlo realidad.

El proyecto no ha tenido ningún tipo de ayuda económica institucional, a pesar de haber insistido con las administraciones locales en la necesidad de apoyar este tipo de iniciativas. Hemos solicitado reducciones de ICIO a la administración local para favorecer edificios que no tienen ninguna emisión de CO2 y no ha habido respuesta. La incorporación de paneles solares fotovoltaicos sí que ha tenido una subvención, con una reducción del IBI del 50% en los primeros 3 años. Esperamos que estrategias nacionales de descarbonización, de economía circular y de eficiencia energética puedan apoyar el desarrollo de este tipo de edificios.

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer a todos los actores del proceso por ser capaces de llevar una gran actitud colaboradora y poner toda la energía y esfuerzos posibles en desarrollar este proyecto, en primer lugar a toda la cooperativa de ENTREPATIOS - LAS CAROLINAS, futuros vecinos y vecinas del edificio; constructora GEOH, gestora LÓGICA ECO, ingeniería DANIEL PASCUAL, salud geoambiental FUNDACIÓN VIVO SANO, TÉCNICA ECO, Fernando Campos de sAtt, MADERGIA, SIBER, ON HAUS, BLAS RECIO, AMARA, EXPERT-SOLAR y todas las personas que han participado en el proyecto y construcción.

## **REFERENCIAS**

- [1] I. Alonso y M. Sanchez-Herrero, 2017, "Los edificios ecológicos son más baratos" El País  
[https://elpais.com/elpais/2018/01/30/alterconsumismo/1517300197\\_899658.html](https://elpais.com/elpais/2018/01/30/alterconsumismo/1517300197_899658.html)

## CENTRO DE EDUCACIÓN INFANTIL Y PRIMARIA CEIP LUIS ELEJALDE Y ROGELIA ALVARO HLHI DE VITORIA-GASTEIZ

**Resumen Proyecto:** Es un edificio diseñado y construido como un EECN o NZEB en inglés; cumpliendo los estándares de la certificación “passivhaus” y con las prerrogativas de la ISO 14006 de Eco-diseño. Todo esto son acrónimos, certificaciones y mediciones de datos, pero lo importante es que es un edificio que es respetuoso con nuestro planeta. Aspira a ser sano y confortable y tiene la voluntad de dar un servicio y ser ejemplo. Alberga 6 aulas en una sola planta, construido todo en madera con una envolvente muy estanca (0,29 ren/h a n50) con una adecuada protección solar; la demanda es tan baja que permite que mediante la geotermia y la VRC el consumo de energía sea muy bajo, casi nulo.



Figura 1. Aspecto Acabado del Edificio.

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	c/ NICARAGUA 6, VITORIA-GASTEIZ (ALAVA)
Uso Característico Edificio:	EDIFICIO DE 6 UNIDADES DE EDUCACIÓN INFANTIL
Zona Climática:	D1
Obra Nueva / Rehabilitación:	OBRA NUEVA
Superficie Total Construida:	854
Fase del Proyecto:	Finalizada 07/2020
Promotor:	Gobierno Vasco. Departamento de Educación, Política Lingüística y Cultura.

### MEMORIA DESCRIPTIVA

El nuevo edificio presenta forma de ‘L’ en planta: el ‘brazo’ largo se adhiere a la medianera Norte (fachada de morfología ‘aserrada’) del ensanchamiento del espacio abierto, con direccionalidad Este-Oeste, y disponiendo los espacios de servicio (instalaciones, almacén y cuartos de limpieza y aseos) hacia la medianera Norte, mientras que las aulas se abrirían al patio propio del nuevo edificio con orientación Sur. El ‘brazo’ corto termina de delimitar el patio propio de la Escuela Infantil, configurando a su vez el acceso principal de la misma en su fachada oeste. En la parte cóncava de la ‘L’ se configura la zona de patio de juegos y porches cubiertos de la escuela infantil, a la misma cota que

el resto del patio (pistas deportivas) del centro escolar y conectándose físicamente con el mismo. La relación directa aulas –patio es muy recomendable para el funcionamiento de una escuela infantil.

En lo que respecta al volumen edificatorio, éste se configura de modo compacto en una sola planta, remarcando la zona de acceso hacia el exterior por medio del espacio cubierto. La forma en ‘L’ de la edificación posibilita la creación de una zona de juegos con orientación Sur y Este dotando de privacidad a la misma respecto el resto del patio.

La zona de **patio de juegos se plantea abrazada por la edificación**, generándose un **espacio delimitado y privado** para la zona infantil, aunque conectado físicamente con el resto del patio (pistas deportivas). Esta zona de juegos se cubre parcialmente mediante elementos traslúcidos (placas de policarbonato) con una geometría orgánica y perforada con el objetivo de integrar los árboles existentes en la zona de patio y de favorecer la entrada de luz con el objetivo de que sea un espacio agradable y luminoso. Las zonas cubiertas se enlazan con los puntos de salida al patio desde el distribuidor interior del edificio.

## Agentes del Proyecto

- Promotor: Gobierno Vasco. Departamento de Educación, Política Lingüística y Cultura.
- Projectistas: Ramón Ruiz-Cuevas Peña (Gerente de Luz y Espacio) y como arquitecto colab. Iñigo Azcarate Mutiloa
- Director de Ejecución Material: Luis Alberto Martínez de Sarría.
- Mark Beston: Director Tecn. Luz y Espacio, representante al Cliente Proyecto/Obra
- Constructor: E.B.A. S.L.

## Antecedentes

El programa de necesidades tiene como objetivo la realización de 6 unidades de educación infantil siguiendo las recomendaciones para la redacción de los proyectos de construcción de centros de educación infantil del Dpto. de Educación.

Debido a las **características del solar y sus condicionantes urbanísticos**, además de las necesidades docentes a cubrir (escuela infantil), la presente propuesta desarrolla el programa de necesidades en una única planta.

El desarrollo constructivo planteado para el nuevo edificio de Educación Infantil queda totalmente condicionado por la morfología del espacio no edificado interior de la manzana de viviendas colindantes y el resto del colegio público.

De esta manera, el nuevo edificio se ubica en el ensanchamiento del espacio interior no edificado situado en el extremo Noreste del mismo, pretendiendo cerrarse en sí mismo logrando una independencia funcional, aunque al mismo tiempo manteniendo una conexión física con el resto del espacio abierto del centro escolar existente.



Figura 2. Infografía inicial con uso de software BIM (autodesk revit) y aspecto de solar donde se ubica el nuevo edificio.

## Descripción del Proyecto

El nuevo edificio presenta forma de ‘L’ en planta: el ‘brazo’ largo se adhiere a la medianera Norte (fachada de morfología ‘aserrada’) del ensanchamiento del espacio abierto, con direccionalidad Este-Oeste, y disponiendo hacia la medianera los espacios de servicio (instalaciones, almacén y cuarto de limpieza y aseos para el alumnado), además de respetarse una de las servidumbres de paso existentes, mientras que las aulas se abrirían al patio propio del nuevo edificio con orientación Sur.

El 'brazo' corto termina de delimitar el patio propio de la Escuela Infantil, configurando a su vez el acceso principal de la misma en su fachada oeste. En la parte cóncava de la 'L' se configura la zona de patio de juegos y porches cubiertos de la escuela infantil, a la misma cota que el resto del patio (pistas deportivas) del centro escolar y conectándose físicamente con el mismo.

En lo que respecta a la zonificación de usos, las zonas docentes se ubican con fachada hacia el patio propio de la escuela infantil, agrupando las aulas en forma de 'L', con orientaciones Este y Sur, y dotándolas de privacidad respecto al resto del patio general.

Las aulas para niños de 2-3 años se ubicarían contiguas a la zona destinada al profesorado y con fácil acceso desde el hall para facilitar un mayor control de estos alumnos.

La zona destinada al profesorado (sala de profesores y despachos) se ubica hacia la fachada de acceso de la escuela infantil (fachada Oeste) y con acceso directo desde el hall de acceso. Las estancias de servicio (instalaciones y almacenes) se posicionan 'pegadas' a la medianera del edificio-pabellón existente (fachada 'aserrada') con acceso desde el distribuidor de las aulas.

## Prestaciones del Edificio

### *Medidas pasivas*

Un **diseño diferenciado según fachada**: La Norte es cerrada. La sur es muy abierta para captar de forma pasiva en invierno y no permitir el paso del sol en verano mediante elementos de sombra como el porche de policarbonato.

**Materiales sostenibles**: las fachadas ligeras están compuestas por madera (douglas fir) y aislamiento térmico de gran espesor de manta de lana mineral y placas de virutas de maderas.

**Gran aislamiento térmico en todas las fachadas, Cubiertas y suelos** calculados y simulados con resultados altamente superiores a los mínimos exigidos por el CTE para disminuir en la medida de lo posible la demanda energética a llegar a un EDIFICIO de CONSUMO de ENERGÍA CASI NULA (E.E.C.N. /N.Z.E.B.)

**Estanqueidad del edificio**: En el proyecto se detallará un correcto sellado de todos los encuentros y uniones donde podrían existir entradas de aire exterior. En obra se realizaron blower door test, para comprobar la ejecución de las medidas propuestas.

### *Medidas activas*

**Bomba de Calor de Alta Eficiencia**: Se dispondrá una bomba de calor de alta eficiencia para dotar al edificio de las correspondientes instalaciones de calefacción y A.C.S.

**Ventilación mecánica**: Se proyectará un sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor, el cual mediante un intercambiador funcionando a contracorriente, recuperará el calor del aire interior para cederlo al aire exterior de entrada. El rendimiento de este equipo será mayor del 90%, por lo que la demanda energética relativa a la ventilación con este sistema se verá reducida al menos en un 90%.

## BIM (Building Information Modeling)

El uso del BIM en este encargo dio grandes ventajas, respecto de otros métodos a la hora del proceso de redacción del proyecto, la obra y durante la vida útil del edificio. A continuación, enumeramos algunas de ellas:

- El modelo BIM permite múltiples formas de representación haciendo que el proyecto sea fácilmente comprensible para cualquier persona desde fases muy iniciales. PLANTA/ SECCIONES/ALZADOS/ 3D a la vez.
- Modelización de diferentes fases (estado actual / estado reformado) o alternativas (opción 1, opción 2, etc.) en un mismo modelo.

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

En términos generales, al tratarse de una construcción de una única planta, se propone una **tipología edificatoria ligera** mediante una estructura de madera sobre rasante, siendo el apoyo en el terreno mediante el empleo de

hormigón armado. La estructural principal de la cubrición del porche estará formada por pilares y vigas de madera laminada de pino radiata o similar y tratamiento por inmersión.

## Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

En lo que respecta a la cimentación, y a tenor de las inspecciones geotécnicas adicionales realizadas al inicio de la obra, se concluyó que se adecuaba más una solución mediante losa de cimentación.

Encima el arranque de los paneles verticales dispondrá del correspondiente entronque con puesto por durmientes de madera tratada y protección de la base de panel con lámina impermeabilizante.

La estructura vertical sobre rasante de la edificación se realizará mediante paredes compuestas de elementos de varios espesores de **entramado ligero de madera rellenos de lana mineral** entre ellos con aplicación de distintos tableros a cada cara.



Figura 3. Estructura de Entramado Ligero y Cubierta del Edificio.

Por lo demás, la tipología de cubierta es inclinada a un agua con formación de pendiente hacia el patio interior. Su composición pasa a ser la siguiente: - Aislamiento de lana mineral de espesor 320 mm entre tableros de OSB de espesor 18/15 mm, lámina impermeabilizante transpirable WS o equivalente y placa galvanizada de perfil simple de gredado.

## Sistemas de Envoltentes y Acabados



Figura 4. Envoltente con Aislamiento Continuo.

Las 4 caras del edificio están recubiertas de aislamiento con un espesor de 260/380mm en muros y cubiertas (lana mineral/virutas de madera) junto con 200mm (XPS) debajo de la losa de hormigón.

Dichos aislamientos están protegidos por dentro con tableros y por fuera con una lamina transpirable por detrás de listones de madera.

Las ventanas exteriores se resuelven con carpinterías con rotura de puente térmico de PVC ( $U_m < 0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) y triple vidrio 4+4 / BE4 / BE4 con 10% de gas argón en cámaras. La carpintería se encontrará en la capa del aislamiento constituyendo una envolvente estanca en la sección transversal del edificio.

La alta nivel de estanquidad (0,29 ren/h a n50) de la envolvente se consigue con un nuevo tipo de tablero innovador con una composición mas cerrada permitiendo la sustitución de la lamina continua con el encintado entre paneles así consiguiendo también un ahorro económico y menos riesgo de cortes de materiales débiles.

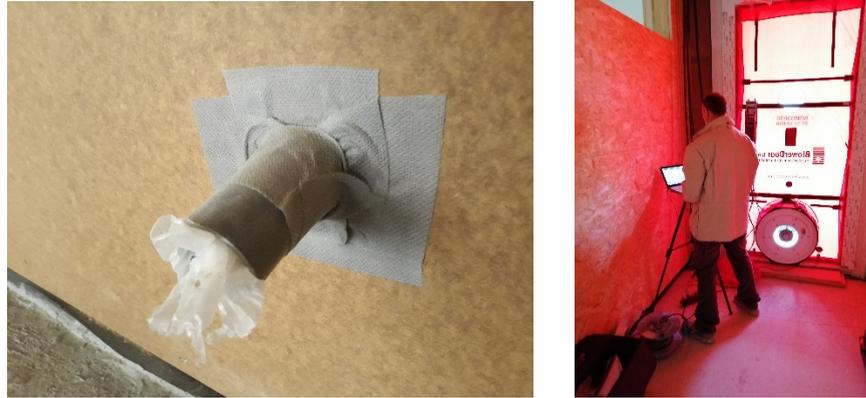


Figura 5. Prueba BDT y tratamiento de pasos de tubos por muros exteriores.

## Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones

### Calefacción

El colegio dispone de una bomba de **calor geotérmica**, situada en la sala de instalaciones acompañada de un depósito de acumulación para ACS de 500 l. El sistema de emisión de calor será suelo radiante por suelo radiante. Se decide optar por un sistema de Geotermia por las siguientes causas: La geotermia es el sistema con el cual se consigue un COP estacional más alto, consumiendo así la menor energía eléctrica de red posible.

### Ventilación

El sistema consta de **3 equipos independientes de ventilación con recuperación de calor (VRC)**, con un rendimiento superior al 80% para disminuir en la mayor medida posible la demanda energética de calefacción y refrigeración en el apartado de ventilación. Estos equipos dispondrán de Bypass para enfriamiento gratuito cuando sea necesario.

Los conductos circulares estarán contruidos con tubos de acero galvanizado de primera calidad, rígidos, de construcción agrafada helicoidal, siendo lisos en su interior.

## Energías Renovables in situ.

El rendimiento de la **geotermia** en este caso tendrá un COP de 4,9 aproximadamente. Esto supone un ahorro significativo en el sistema de climatización.

La capacidad del sistema de geotermia de refrigeración mediante "frío pasivo". Al ser el sistema emisor de calor un suelo radiante. La posibilidad de realizar la refrigeración del mismo mediante éste mismo sistema mediante frío pasivo y la purga nocturna mediante el bypass del sistema de ventilación con recuperación de calor que dispone el edificio. Se considera suficiente capacidad frigorífica para el edificio.

Además, el sistema de frío pasivo impulsa el fluido por el suelo radiante a una temperatura adecuada para que no haya riesgo de condensaciones sobre el suelo, por lo que evita la inclusión de un sistema de deshumectación de aire.

## CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	25,44 kWh/m <sup>2</sup> año
Demanda Calefacción:	10,93 kWh/m <sup>2</sup> año
Demanda Refrigeración:	9,96 kWh/m <sup>2</sup> año
Aporte Renovables:	GEOTERMIA.
Emisiones CO <sub>2</sub> Edificio:	3,76 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año
NORMATIVA VIGENTE:	CTE HE 2013



Figura 6. Aspecto interior de Aulas con techos acústicos.

## CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES

El objetivo marcado por el Departamento de Educación era obtener la Certificación Energética más alta, es decir la clase "A".

En el desarrollo del proyecto se siguieron los criterios de Ecodiseño de la ISO 14.006:2011 teniendo en cuenta todos los aspectos del ciclo de vida del edificio desde la fabricación de los materiales, hasta su derribo, pasando por la construcción y su vida útil.

En el Proyecto de Ejecución establecimos objetivos internos de ECODISEÑO para comprobar su cumplimiento a largo del proyecto, obra y fase de uso.

La Marca ICCL ECO-proyecto del INSTITUTO DE LA CONSTRUCCION DE CASTILLA Y LEON es un distintivo colocado sobre la documentación de los proyectos que constituye una declaración del proyectista en la que reconoce que el proyecto marcado ha superado para los diferentes aspectos ambientales los valores mínimos establecidos en la metodología de cálculo de la marca.

Los proyectos marcados son controlados por el ICCL a través de los mecanismos establecidos para ello en el reglamento de la marca.

## IMÁGENES PROYECTO



*Figura 7. Zona de Juegos del Edificio.*



*Figura 8. Vista desde edificio existente del Colegio.*



Figura 9. Detalle de Fachada Exterior.



Figura 10. Pasillo Principal del Edificio (acabado de Tablero OSB/ lamas de Pino).

# EDIFICIO DE OFICINAS GREENSPACE PCTG - DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO UBICADO EN PARQUE CIENTÍFICO TECNOLÓGICO DE GIJÓN

**Resumen Proyecto:** El diseño del edificio se inició en el año 2006, dentro de un programa LIFE de la Unión Europea concebido para ser una solución replicable de edificio autónomo. En el desarrollo del proyecto evolucionó hacia un concepto Net Zero de edificio conectado, prescindiendo del requisito de autónomo. Incorpora medidas pasivas y activas de muy alta eficiencia. Electrificando la demanda consumida por el edificio, evitando otros combustibles y generando energía renovable para autoconsumo y exportando los excedentes a la red eléctrica. Generando más energía que la que consume. El edificio tiene una superficie construida de 1.500 m<sup>2</sup> distribuidos en una planta bajo rasante, planta baja, dos plantas superiores y cubierta. El proyecto es la respuesta a una búsqueda del máximo confort y habitabilidad, dentro de una sostenibilidad bien entendida. Existe un equilibrio entre los sistemas pasivos y activos del edificio, fruto del debate mantenido entre todos los equipos en el desarrollo del proyecto.



Figura 1. Renderizado acceso al edificio.

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	Parcela nº 28 del Parque Científico y Tecnológico de Gijón, Asturias.
Uso Característico Edificio:	Terciario Oficinas
Zona Climática:	Zona C1 altitud 30 m
Obra Nueva / Rehabilitación:	Obra Nueva
Superficie Total Construida:	1.488 m <sup>2</sup>
Fase del Proyecto:	30 de junio 2020
Potencia Fotovoltaica Instalada:	Fachadas este y oeste: 24.604 kWp Pérgola Sur: 41.080 kWp

## MEMORIA DESCRIPTIVA

El proyecto ha sido desarrollado edificio inicialmente fue concebido para tener la capacidad de ser autónomo energéticamente, por lo que desde los primeros diseños busca minimizar la demanda energética con sistemas pasivos.

La ubicación en el terreno y orientación, consiguen disminuir los impactos ambientales y mejorar las necesidades de programa de uso interior sin aumentar el consumo energético. En línea con la tendencia actual de edificios con balance neutro de energía, se prescindió en el proyecto de posibles pilas de almacenamiento de energía. Resultando finalmente un edificio que por sus características técnicas ofrece un balance positivo generando más energía que la que es capaz de consumir.

## Agentes del Proyecto

- Promotor: GesyGes Innovación en la Edificación
- Projectistas: Emase arquitectura: Eugenia del Río Villar / Eladio Rodríguez Alvarez
- Dirección Obra: Emase arquitectura: Eugenia del Río Villar / Eladio Rodríguez Alvarez
- Project Manager y Commissioning Leed: SvR Ingenieros: Ramón van Riet
- Asesor y certificador Leed: Arup
- Instalación Fotovoltaica: Solarev
- Instalación eléctrica: Merino Ingenieros.
- Fotografías: Tania Crespo.

## Antecedentes

El edificio inicialmente fue concebido para tener la capacidad de ser autónomo energéticamente, por lo que desde los primeros diseños busca minimizar la demanda energética con sistemas pasivos. La ubicación en el terreno y orientación, consiguen disminuir los impactos ambientales y mejorar las necesidades de programa de uso interior sin aumentar el consumo energético. En línea con la tendencia actual, de edificios con balance neutro de energía, se prescindió de esta manera en el proyecto de posibles pilas de almacenamiento de energía. Resultando finalmente un edificio que por sus características técnicas ofrece un balance positivo generando más energía que la que es capaz de consumir.

## Descripción del Proyecto

### *Descripción del acceso.*

La idea inicial del proyecto consistía en ser capaz de mostrar desde el mismo acceso las capacidades del edificio. Queda conseguido con la pasarela que atraviesa la pérgola fotovoltaica, y muestra el comportamiento principal del edificio. Formalmente el proyecto, en el nacimiento de la idea se concebía como una grieta que surgía del suelo y se desarrollaba por la fachada sur y norte. Mientras la oeste y este eran pliegues de la topografía en vertical. Esa grieta de vidrio servía para incorporar los sistemas técnicos en las fachadas. Los muros este y oeste en su grosor potente albergan el paso de las instalaciones voluminosas, a la vez de ser una cámara ventilada de la piel del edificio.



Figura 2. Fotografía alzado sur, acceso al edificio.



Figura 3. Plano Planta Bajo rasante.

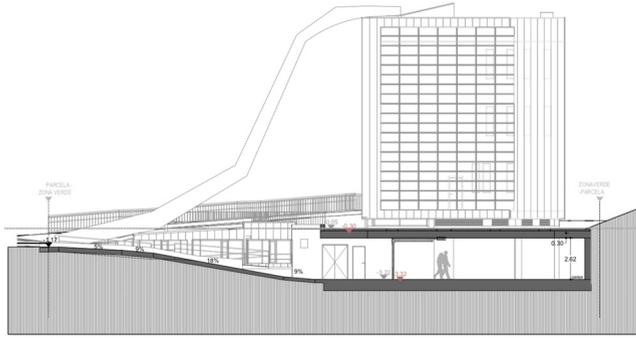


Figura 4. Sección longitudinal.



Figura 5. Fotografía pasarela de acceso al edificio.

En vertical las tres plantas se unen a la bajo rasante por un núcleo vertical abierto generado en espiral que causa un efecto dinámico en este espacio. Dentro de él un ascensor en una caja de hormigón y vidrio, mostrando la maquinaria, exhibiendo la tecnología que incorpora con el recuperador de energía con baterías. Que cargan con energía solar proporcionada por los paneles y la energía generada en los ciclos de bajada, pudiendo realizar 100 ciclos de subida desconectado de la red eléctrica.

El núcleo vertical comunica las plantas superiores con en el bajo rasante, las zonas de uso de descanso o recreo dentro del edificio, alrededor de un gran patio al que vierten como punto de encuentro.



Figura 6 y 7. Fotografías Escalera y caja del ascensor. Fotografía Patio bajo Rasante. Figura 8. Sección transversal.

Se ha realizado un proyecto en una ubicación sostenible y conectada con la comunidad, con uso eficiente del agua, calidad de aire interior (control por planta con sonda de calidad de aire) y elevado confort térmico, uso de materiales regionales, instalaciones eficientes y un exhaustivo plan de puesta en marcha y seguimiento de todas las instalaciones.

El conjunto de las instalaciones se encuentra monitorizado y controlado mediante software de gestión, que permite disponer en tiempo real de valiosos datos de seguimiento del comportamiento del edificio.

## Prestaciones del Edificio

El proyecto es la respuesta a una búsqueda del máximo confort y habitabilidad, dentro de una sostenibilidad bien entendida. Existe un equilibrio entre los sistemas pasivos y activos del edificio, fruto del debate mantenido entre todos los equipos en el desarrollo del proyecto. Las medidas pasivas determinan los siguientes parámetros, del diseño del edificio: orientación, aislamientos, iluminación natural, cubierta vegetal, fachada transventilada, elementos de sombreado, inercia de la estructura y ventilación natural

Los principales sistemas activos implantados en el edificio son la instalación fotovoltaica, el sistema de climatización por losas termoactivadas y suelo radiante, ventilación con recuperador térmico, monitorización y control de toma de decisiones en acondicionamiento, iluminación y energía.

El equilibrio de sistemas existente permite que los espacios del edificio tengan un confort y habitabilidad óptimos para el desarrollo de las actividades. Incentivando el desarrollo creativo de las personas al sentirse en un entorno agradable. Se aprecia en los comentarios de los usuarios del edificio en los medios y redes sociales y se confirma en las encuestas de satisfacción para la certificación Leed.

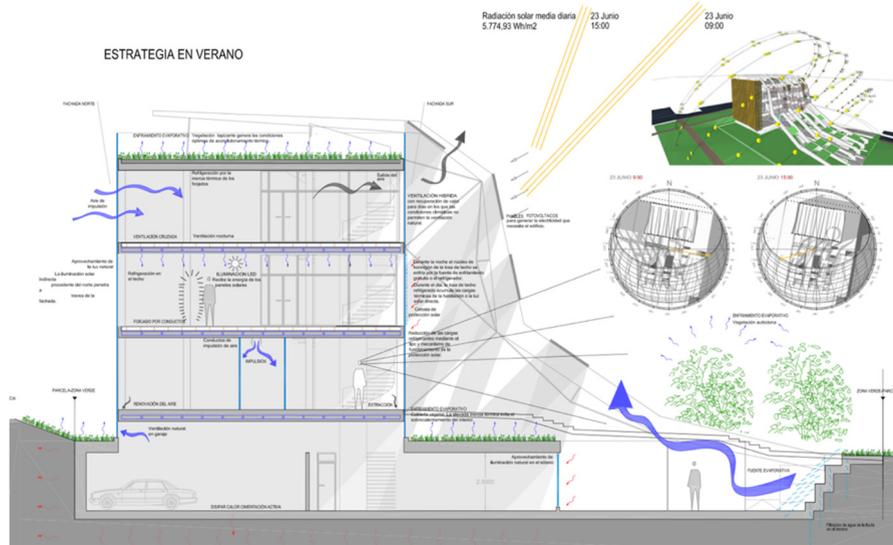


Figura 9. Sección explicativa de la estrategia energética en el solsticio de verano

El edificio tiene una implantación en el terreno que permite el mejor aprovechamiento de los recursos ambientales. La normativa, el diseño y los criterios de certificación Leed obligan a minimizar el impacto ambiental sobre el entorno. La orientación del edificio ha logrado conseguir una iluminación de los espacios de trabajo en el edificio con una luz homogénea, con su apertura transparente en la fachada norte, y con una luz tamizada por los paneles fotovoltaicos en la fachada sur. Las fachadas Oeste y Este opacas protegen de deslumbramientos a los usuarios del edificio. A la vez con esta orientación se consigue un mejor rendimiento en la instalación fotovoltaica con vidrios verticales en fachadas este y oeste, y vidrios con inclinación en la fachada sur. La disposición de la pérgola fotovoltaica protege al edificio de la carga térmica por radiación. La instalación fotovoltaica forma parte de la estrategia de control de consumo energético del edificio en su acondicionamiento térmico. El sombreado de la pérgola en la fachada sur, siguiendo criterios de arquitectura bioclimática, junto con la definición de las envolventes, fachada ventilada, construida con entramados de madera y aislamiento interior y exterior, vidrios de triple acristalamiento y control solar, y cubierta con ajardinamiento para reducir el efecto isla de calor, permiten una disminución del consumo de energía en la regulación térmica del edificio.

La elección de materiales se ha realizado bajo criterios de mínimo aporte de emisiones y arquitectura saludable. Que han cumplir los requisitos y optar a la certificación Leed en su nivel Oro. Los espacios interiores son interesantes y atractivos a la vez que saludables y confortables.

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

### Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

La construcción se adapta a la topografía existente para evitar grandes movimientos de tierras. La estructura vertical de pilares de hormigón armado apoya en la una losa de cimentación que con el muro perimetral protege de cambios en el nivel freático. La estructura horizontal se resuelve con losas macizas que se apoyan en pilares de hormigón armado. En las fachadas y elementos auxiliares se han utilizado madera laminada y acero galvanizado.

## Sistemas de Envolventes y Acabados

El cerramiento vertical está diseñado como una doble piel con cámara de aire ventilada para el acondicionamiento del edificio. Fachada ventilada de bandejas de zinc liso colocado sobre un tablero sustentado por una subestructura de acero. En las zonas de ventanas, de fachada este y sur, se utiliza zinc perforado para permitir una mejor visibilidad y ventilación de los aseos.

En las fachadas oeste y este, el sistema utilizado es fachada transventilada y huecos con carpintería de aluminio, todo ello formando la doble piel de ventilación y control de la radiación solar. La carpintería exterior de aluminio, con rotura de puente térmico, incluye un vidrio de baja emisividad con aislamiento térmico reforzado que reduce notablemente el intercambio de energía, asegurando un buen confort acústico en el interior. En ambas fachadas, las bandejas de zinc se interrumpen, sustituyéndose por paneles fotovoltaicos, anclados a la subestructura de acero.

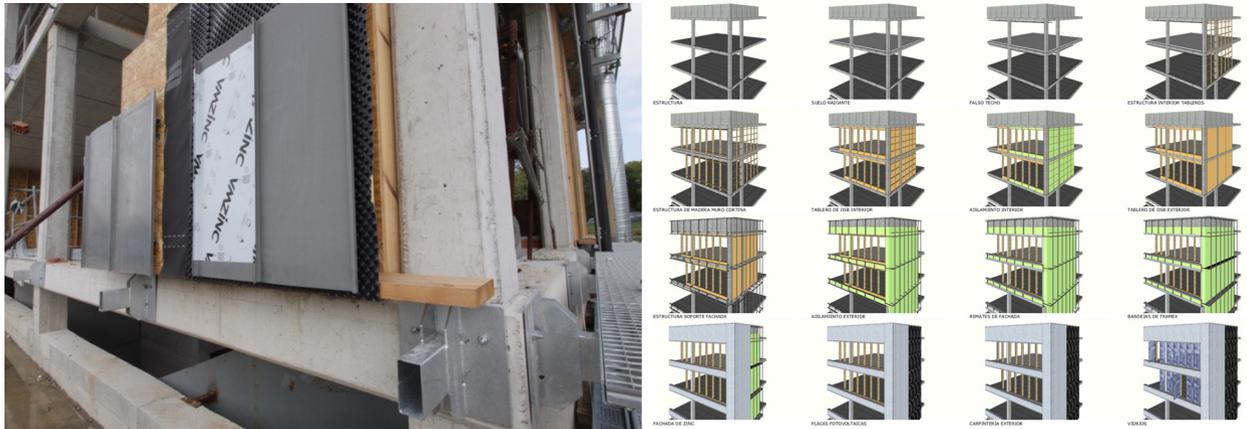


Figura 10. Fotografía ejecución de cerramiento de fachada. Figura 11. Esquema de construcción de cerramiento de fachada.

La sustentación del cerramiento de protección solar con vidrios fotovoltaicos orientado al sur se realiza mediante una estructura singular de madera laminada encolada.

Las fachadas Norte y Sur están resueltas con un muro cortina con perfil perimetral de aluminio exterior y de estructura portante de montante y travesaño en madera. Los huecos acristalados, con vidrio triple y control solar disponen de aperturas abatibles para mejorar el confort y la sensación de control del usuario.

La base del cerramiento de las fachadas está formada por un entramado de madera relleno de aislamiento de fibra de madera Sylvactis de 100 mm de espesor, forrado en la cara interior con un tablero OSB IV de 12 mm. de espesor y una barrera de vapor H Control Reflex de ACTIS, y en la cara exterior por otro tablero OSB IV de 15 mm. de espesor. Todo el tabique queda revestido al exterior por aislamiento de fibra de madera Sylvactis de 160 mm. de espesor y lamina impermeable y transpirable. Sumando 260 mm de aislamiento en la parte opaca de fachada y construida en seco. La terminación de la fachada ventilada está realizada con bandejas de zinc liso, o perforado sobre lamina separadora y tablero OSB III de pino de espesor 22 mm atornillado a subestructura de acero galvanizado.

En la fachada norte el vidrio es triple de dos cámaras, con la siguiente composición de exterior a interior: vidrio templado selectivo de 8 mm 70 transmisión solar / 39 factor solar, cámara de argón de 16 mm, vidrio intermedio float de 6mm, cámara de argón de 16 mm y vidrio interior con capa baja emisividad float de 6 mm o laminar 3+3 en función de la posición según CTE. En la fachada sur el vidrio es triple de dos cámaras, con la siguiente composición de exterior a interior: vidrio templado selectivo de 8mm 30 transmisión solar / 17 factor solar, cámara de argón de 16 mm, vidrio intermedio float de 6mm, cámara de argón de 16 mm y vidrio interior con capa baja emisividad float de 6 mm o laminar 3+3 en función de la posición según CTE.

Todo el conjunto de vidrio tiene un coeficiente de transmisión térmica de 0,7, un Factor solar de 0,3 y una Transmitancia de  $1 \text{ w} / \text{m}^2$ . La base horizontal de las cubiertas planas se resuelve también con la misma losa estructural. Sobre ella apoya una gran cubierta vegetal, una alfombra verde, que asila el edificio, lo protege del calor, de la radiación solar, del frío y minimizando el efecto isla de calor, Incluye 20 cm de aislamiento XPS tipo IV en placas por el exterior del impermeabilizante.

## Acondicionamiento interior

La planta con una crujía de un ancho óptimo que permite al usuario de tener una sensación de control sobre ciertos sistemas de habitabilidad como la ventilación natural. Y con una profundidad adecuada para una luz de trabajo difusa de orientación norte, perfecta para la visión en los puestos de trabajo.

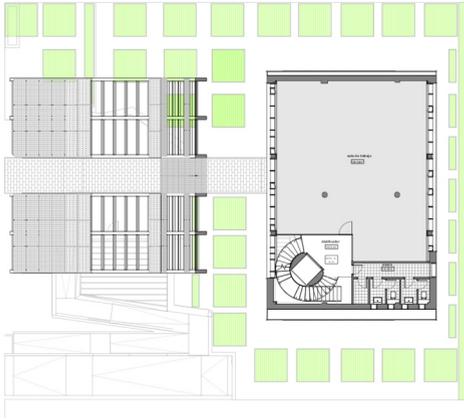


Figura 12. Plano de planta tipo de oficinas. Figura 13. Acondicionamiento interior, aislamiento acústico e iluminación natural y led.

El espacio de oficinas se ha acondicionado con aislamiento acústico realizado con lamas o baffles suspendidos del techo, que permite mayor eficiencia del sistema de climatización por radiación de las losas termoactivadas y la visión de la estructura e instalaciones.

Con unas condiciones óptimas para el trabajo, además se permite al usuario un control sobre elementos, como carpinterías practicables para ventilación a una distancia mínima de cada puesto de trabajo, para lograr mayor sensación de confort en el entorno. Medidas incentivadas por la certificación Leed del edificio, que garantizan la satisfacción del usuario del edificio. Los materiales han sido elegidos siguiendo criterios medioambientales, cumpliendo las directrices de la certificación Leed. saludables. La combinación de materiales cálidos como las estructuras de madera con la estructura de hormigón visto crean un ambiente acogedor y saludable.

## Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones

La distribución de los sistemas de las instalaciones se realiza por las fachadas técnicas este y oeste, siendo accesible la este, por donde se alojan la mayor parte de las distribuciones.



Figura 14. Cámara técnica fachada este. Figura 15. Iluminación led Figura 16. Panel de Control y monitorización del consumo.

### Climatización

La instalación de Climatización utiliza un sistema de producción por bomba de calor para la generación de energía térmica (frío o calor) con sistema de recuperación automática entre zonas del edificio con exceso o demanda.

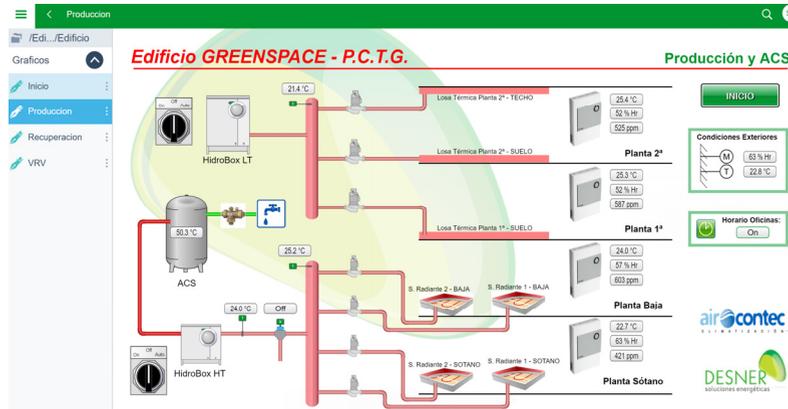


Figura 17. Panel de Control y monitorización de Producción. Figura 18. Fotografía ejecución lasas de estructura termoactivadas.

Transmitido por suelo radiante en las plantas inferiores y lasas termoactivas en el resto de las plantas, que permiten aprovechar la inercia térmica de la estructura y con refuerzo del aire tratado. Siendo toda la producción generada por energía eléctrica y con la posibilidad de almacenamiento por la capacidad inercial de la estructura de hormigón, que permiten la climatización en los periodos con menos gasto energético.

### Ventilación

El sistema de climatización consta de un sistema de recuperación de calor de alta eficiencia que añadido a las instalaciones anteriores genera un ambiente óptimo en todo momento controlado mediante un software específico que gestiona automáticamente los parámetros de temperatura, humedad y calidad de aire interior.

### Iluminación

La iluminación es de lámparas leds de muy bajo consumo, con sensores lumínicos y de presencia que regulan la cantidad y la intensidad de luz en cada momento de manera automática.

### Automatización y Control

El conjunto de las instalaciones se encuentra monitorizado y controlado mediante software de gestión, que permitirá disponer en tiempo real de valiosos datos de seguimiento del comportamiento del edificio. La monitorización permite la toma de decisiones y ejecutar medidas correctoras. Los consumos eléctricos monitorizados en tiempo real y las comparativas de consumo contra producción a lo largo de distintos días, sirven para vigilar el correcto funcionamiento de la instalación y garantizar un buen rendimiento.

### Captación de Agua

El edificio dispone de un sistema de captación de agua de lluvia con un depósito de 60.000 litros con un doble objetivo: servir de tanque de tormentas y a su vez de almacenamiento de agua para riego de las zonas verdes de la parcela y uso sanitario en las cisternas, después de un proceso de tratamiento. La instalación de fontanería cuenta también con aparatos de reducción de caudal. Con estas medidas se evita el consumo innecesario de agua y se logra un máximo aprovechamiento.

## ENERGÍAS RENOVABLES IN SITU O EN EL ENTORNO

En el estudio inicial del proyecto se desecharon otros sistemas de generación de energía como la eólica, por el bajo rendimiento que alcanzaba. Centrando el proyecto en alcanzar el máximo rendimiento a través de producción fotovoltaica integrada en la arquitectura.

### Energía Fotovoltaica

El sistema fotovoltaico permite que la energía producida no consumida por el edificio se vierte a la red. Funcionando como generación distribuida Smartgrid.

El sistema está integrado en tres fachadas, este, oeste y la sur. Las fachadas este y oeste compensan la producción a lo largo del día con los amaneceres y atardeceres. Con paneles de tecnología C.I.G.S. en posición vertical idónea para su orientación.



Figura 19. Fotografía norte y oeste. Figura 20. Fotografía paneles fotovoltaicos. Figura 21. Gráfica de balance energético día.

La pérgola fotovoltaica en la fachada principal sur marca la entrada al edificio, con doble función de filtro solar y captación energética. Recoge la luz solar durante la mayor parte del día. Genera más de 60 kWp realizada mediante paneles fotovoltaicos distribuidos eficazmente para hacer la doble función de generar energía y de sombrear a cada una de las plantas del edificio minorando las cargas térmicas por radiación y manteniendo las vistas al entorno del Parque Científico-Tecnológico de Gijón en esa fachada. La continúa monitorización que se realiza permite comprobar estas condiciones de producción homogénea. Siendo las barras en verde la producción generada y la gris la consumida. Como se puede ver en las gráficas de balances la producción es un bloque constante y con saldo positivo sobre la consumida en un alto porcentaje.

## PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA

El proyecto sufrió durante su ejecución un cambio de promotor, la estimación del coste de construcción final (PEC) es 1.380.000 euros. La rentabilidad energética en este proyecto inmobiliario es un vector importante de ingresos al promotor.

## CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

El edificio cumple todos los requisitos del CTE del apartado de Ahorro de energía, con suficiente margen. Dada la capacidad de este de generar más energía de la que consume.

INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	Calefacción 6,12 kWh/m <sup>2</sup> año ACS 3,14 kWh/m <sup>2</sup> año Refrigeración 5,50 kWh/m <sup>2</sup> año Iluminación 20,73 kWh/m <sup>2</sup> año
Demanda Calefacción:	18,3 kWh/m <sup>2</sup> año
Demanda Refrigeración:	19,9 kWh/m <sup>2</sup> año
Aporte Renovables:	100%
Emisiones CO2 Edificio:	0 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año
Otros (indicar):	Contribución Fotovoltaica: 42.963,74 kWh/año

## CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES

El edificio cuenta con certificación energética A. La certificación LEED ORO que se está tramitando implica que se han incorporado desde el inicio del proyecto de forma voluntaria en el diseño aspectos relacionados con alta eficiencia energética, calidad de ambiente interior, uso de energías renovables, eficiencia en el consumo del agua, mínimo impacto medioambiental de la construcción utilizando una cuidadosa selección de materiales regionales y no contaminantes.

PATROCINIO PLATINO:



PATROCINIO ORO:



PATROCINIO PLATA:



PATROCINIO BRONCE:

