

B. La descarbonización del sector residencial: qué es y cuáles son sus retos en España*

Belinda López Mesa

*Catedrática de Construcciones Arquitectónicas
Directora de la Cátedra Zaragoza Vivienda
Universidad de Zaragoza
belinda@unizar.es*

Carlos Beltrán Velamazán

*Investigador FPI
Universidad de Zaragoza
cbeltran@unizar.es*

Resumen: *La descarbonización, entendida como la reducción o eliminación de emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, se ha convertido en una estrategia clave para combatir el cambio climático, uno de los problemas ambientales más críticos de nuestro tiem-*

* Trabajo realizado en el marco de la Cátedra Zaragoza Vivienda de la Universidad de Zaragoza y del grupo de investigación T37_23R Built4Life Lab, grupo de referencia reconocido por el Gobierno de Aragón en el área de conocimiento de tecnología (BOA núm. 30, de 30 de enero de 2024).

po. Los sectores de la edificación y la construcción son responsables de un alto porcentaje del consumo energético y de las emisiones, por lo que su descarbonización es esencial. En este trabajo se estudian los principales retos de la descarbonización del sector residencial por etapas de ciclo de vida. El análisis de fuentes clave de información ha permitido concluir que la rehabilitación energética de los hogares para reducir el carbono operacional es crucial para alcanzar las metas climáticas. Este proceso se enfrenta a importantes retos como la electrificación de la vivienda, escalar la rehabilitación y mitigar la pobreza energética. Además, la implementación de un enfoque circular en la construcción es vital para minimizar el carbono incorporado, aunque plantea retos como la falta de normativas claras. La necesidad de integrar la circularidad en las regulaciones sobre rehabilitación es apremiante, dado el impacto ambiental significativo de la rehabilitación energética en los parques residenciales de Europa.

Palabras clave: *Descarbonización, Carbono operacional, Carbono embebido, Sector residencial.*

Abstract: *Decarbonization, understood as the reduction or elimination of carbon dioxide and other greenhouse gas emissions, has become a key strategy to combat climate change, one of the most critical environmental challenges of our time. The building and construction sectors are responsible for a high percentage of energy consumption and emissions, making their decarbonization essential. This work examines the main challenges of decarbonizing the residential sector by life cycle stages. The analysis of key information sources indicates that the energy renovation of homes to reduce operational carbon is critical for meeting climate targets. This process faces significant challenges such as electrification of housing, scaling up renovation efforts, and mitigating energy poverty. Furthermore, implementing a circular approach in construction is vital to minimize embodied carbon, although it encounters obstacles such as the lack of clear regulations. The need to integrate circularity into renovation regulations is urgent, given the significant environmental impact of energy rehabilitation in Europe's residential stock.*

Keywords: *Decarbonization, Operational carbon, Embodied carbon, Residential sector.*

Sumario: 1. Descarbonizar el sector edificación. 2. Retos de la descarbonización de la vivienda en España. 2.1 El reto de electrificar la vivienda, escalar la rehabilitación y de mitigar la pobreza energética para reducir el carbono operacional. 2.2 El reto de potenciar la innovación y circularidad para reducir el carbono incorporado. 3. Conclusiones. 4. Referencias.



1. DESCARBONIZAR EL SECTOR EDIFICACIÓN

El término descarbonizar se refiere al proceso de reducir o eliminar las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y otros gases de efecto invernadero (GEI)⁽¹⁾ provenientes de las actividades humanas. La descarbonización se ha convertido en la principal estrategia para mitigar el cambio climático, que es una de las preocupaciones ambientales más importantes de nuestro siglo debido a que puede desencadenar alteraciones a largo plazo no solo en los patrones climáticos globales y regionales, como el aumento de la temperatura global, el derretimiento de los glaciares, el aumento del nivel del mar y eventos climáticos extremos como huracanes, inviernos más fríos en ciertas regiones, sequías y olas de calor, sino también en los ecosistemas, los sistemas políticos, la biodiversidad y la estabilidad social (Naciones Unidas 2023).

Los objetivos de reducción de GEI en la Unión Europea (UE) han evolucionado significativamente en respuesta a las evaluaciones científicas y a una creciente conciencia sobre la urgencia de abordar la crisis climática. Durante el primer período de compromiso del ‘Protocolo de Kioto’ (2005-2012), la UE surgió como un defensor temprano de los objetivos vinculantes de reducción de emisiones de GEI, comprometiéndose a reducirlas en un 8 % por debajo de los niveles de 1990 (Naciones Unidas 1998). En el contexto del ‘Paquete de medidas sobre clima y energía hasta 2020’, la UE estableció objetivos climáticos ambiciosos. Esto incluyó el objetivo principal de reducir las emisiones de GEI al menos un 20 % por debajo de los niveles de 1990 para 2020, junto con aumentar la participación de las energías renovables al 20 % y elevar la eficiencia energética en un 20 % (EUR-Lex 2015). Posteriormente en 2014, la UE estableció el ‘Marco sobre Clima y Energía para 2030’,

(1) Los GEI abarcan una amplia gama de compuestos que contribuyen al calentamiento global al atrapar el calor en la atmósfera. Entre ellos se encuentra el CO_2 , que proviene de la quema de combustibles fósiles, de la deforestación y de ciertos procesos industriales. Es el más importante de los GEI debido a su alta concentración en la atmósfera y su larga permanencia, a menudo durante siglos. El metano (CH_4) es mucho más potente que el CO_2 en su capacidad de atrapar calor a corto plazo, se emite durante la producción y transporte de gas natural, petróleo, actividades agrícolas como la ganadería y la descomposición de residuos orgánicos en vertederos. Los óxidos de nitrógeno (NO_x), incluyendo el óxido nítrico (N_2O), provienen del uso de fertilizantes agrícolas, ciertos procesos industriales y la quema de combustibles fósiles. Además, los gases fluorados, como los hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF_6) y trifluoruro de nitrógeno (NF_3), son emitidos en procesos industriales y, aunque se liberan en menores cantidades, tienen un potencial de calentamiento global (PCG) extremadamente alto.

Debido a la diversidad de los GEI y a sus diferentes capacidades para atrapar calor, se utiliza el concepto de CO_2 equivalente (CO_2e) para medir y comparar su impacto climático. El CO_2e convierte las emisiones de otros GEI a una cantidad equivalente de CO_2 , tomando en cuenta su PCG a lo largo de un período de tiempo, generalmente 100 años.

introduciendo un objetivo vinculante para reducir las emisiones de GEI al menos un 40 % por debajo de los niveles de 1990 para 2030 (Comisión Europea 2014). En 2019, se presentó el Pacto Verde Europeo (Comisión Europea 2019), estableciendo objetivos aún más ambiciosos. Esta iniciativa comprometió a la UE a lograr la neutralidad de carbono para 2050 y elevó sustancialmente el objetivo de reducción de emisiones para 2030 de al menos un 40 % a al menos un 55 %. La evolución de los objetivos de reducción de emisiones de GEI en la UE refleja su compromiso creciente con la lucha contra el cambio climático y la transición hacia una economía sostenible y baja en carbono.

Este compromiso europeo afecta a todos los sectores productivos. Los sectores de la edificación y la construcción⁽²⁾ son importantes contribuyentes al impacto ambiental en Europa. La Comisión Europea (CE) reconoce que la edificación es el mayor consumidor de energía y tiene un significativo impacto ambiental, no solo en términos de emisiones de GEI, sino también en relación con el consumo de materias prima y la generación de residuos (Comisión Europea 2020a). Concretamente, la CE subraya que los edificios son responsables del 40 % del consumo de energía en Europa y del 36 % de las emisiones de GEI vinculadas a la energía (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea 2024) y que, además, el sector de la construcción requiere grandes cantidades de recursos, representando alrededor del 50 % de todo el material extraído, y es responsable de más del 35 % de la generación total de residuos en la UE (Comisión Europea 2020a).

Para lograr una reducción del 55 % en las emisiones de GEI con respecto a 1990, será necesario disminuir las emisiones del sector de la edificación en un 60 % para 2030 en comparación con los niveles de 2015, tal como establece la iniciativa europea ‘Oleada de renovación’ (Comisión Europea 2020b). La descarbonización del sector de la edificación implica implementar medidas y estrategias que reduzcan las emisiones de GEI a lo largo de todo el ciclo de vida de los edificios, ya que estos consumen energía en cada una de sus fases: construcción, uso, mantenimiento, rehabilitación y demolición.

En edificación, las emisiones de GEI se clasifican por etapas de ciclo de vida, distinguiéndose dos grandes tipos: carbono incorporado (o embebido) y carbono operacional (u operativo) (Ibn-Mohammed *et al.* 2013)

(2) La diferencia entre el sector de la edificación y el sector de la construcción radica en su alcance: el sector de la edificación se circunscribe a los edificios destinados a usos residenciales y no residenciales, mientras que el sector de la construcción abarca un ámbito más amplio que incluye tanto la edificación como las infraestructuras y las obras públicas, como carreteras, puentes y presas.

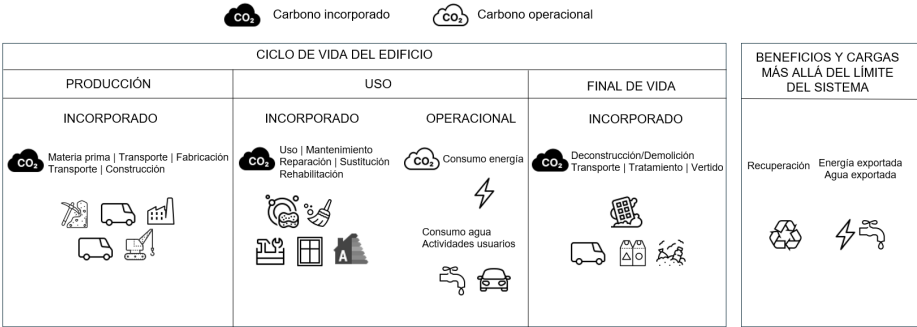
(figura 1). De manera análoga, podemos hablar de energía incorporada y operacional.

El concepto de energía y carbono operacionales se refiere a la energía consumida y a la cantidad de carbono emitido durante la fase de operación o uso de un edificio cuando lo hacemos funcionar para alcanzar las condiciones de confort establecidas, lo que implicará consumos y emisiones de sus sistemas de calefacción, refrigeración, ventilación, agua caliente sanitaria (ACS), cocina, iluminación y electrodomésticos. Las emisiones operativas se clasifican en directas e indirectas. Las directas son aquellas que se generan en el lugar donde se utiliza la energía por las instalaciones del propio edificio. Se emiten cuando el edificio quema combustibles fósiles para producir calor (por ejemplo, por una caldera de gas natural), electricidad (por ejemplo, por un grupo electrógeno a diésel para un hospital) u otros servicios energéticos (por ejemplo, por una cocina industrial a gas). Las emisiones indirectas son las que se producen fuera del edificio, en las plantas de energía que suministran electricidad o energía al edificio. Por tanto, mientras que las emisiones directas dependen del tipo de combustible que se utiliza dentro del edificio, las emisiones indirectas dependen de la mezcla energética de la red eléctrica. La fase operacional incluye también el consumo de agua en servicio y las actividades de los usuarios asociadas al uso del activo construido, aunque estos conceptos no suelen contabilizarse cuando hablamos de energía o carbono operacionales.

En contraste, el término energía y carbono incorporados abarca la energía consumida y la cantidad de carbono emitido en los procesos asociados a la materialidad del edificio, es decir, durante: a) su producción (incluyendo los relativos al producto, como la extracción de materia prima, transporte y fabricación, como los relativos a la construcción, como transporte y puesta en obra); b) el uso, cuidado y actualización de los recursos físicos construidos (uso de los productos instalados, mantenimiento, sustitución, reparación, rehabilitación); y c) su final de vida⁽³⁾ (demolición o deconstrucción, transporte, tratamiento de residuos, vertido). El carbono embebido (y la energía) también se han subclasificado en embebido inicial, embebido recurrente y embebido final de demolición, en función de si se producen dichos consumos y emisiones antes, durante o después del uso del edificio (Ramesh *et al.* 2010).

(3) Algunos autores hace años, como TRELOAR *et al.* 2001, excluyeron los procesos de fin de vida del concepto de carbono o energía embebida. No obstante, la inclusión de estos procesos es predominante en la literatura científica de los últimos años y ha sido adoptada por la Comisión Europea en la Directiva sobre la eficiencia energética de los edificios (EPBD) de 2024.

Figura 1. Carbono embebido y carbono operacional en edificación



Fuente: Elaboración propia a partir de las definiciones en la norma UNE-EN 15643 de 2021 y usando iconos de <https://iconos8.es/>.

Además de estas etapas, existen otros beneficios y cargas más allá del ciclo de vida del edificio, como pueden ser los servicios exportados de energía (térmica o eléctrica) y de agua potable, o los flujos netos de los posibles procesos de recuperación, como la reutilización, el reciclado, la valorización energética y otras operaciones de valorización (AENOR 2021). Aunque en la actualidad el concepto predominante de fases operativa y embebida se limita a las etapas del ciclo de vida del edificio ‘de la cuna a la tumba’, es previsible que la creciente relevancia de la reutilización, el reciclaje y las exportaciones de energía amplíen pronto esta visión, orientándola hacia un enfoque ‘de la cuna a la cuna’, que contemple los beneficios potenciales más allá de los límites del sistema actual.

La relación entre carbono y energía incorporado y entre carbono y energía operacional no se mantiene constante de un edificio a otro (Ibn-Mohammed et al. 2013). Esto se debe a que el carbono asociado al uso de energía varía según el tipo de fuente. Por ejemplo, la energía proveniente de combustibles fósiles in situ genera mayores emisiones de carbono que la energía eléctrica de la red española. Además, en el caso de las etapas embebidas, no existe una relación directa entre la energía consumida en dichas etapas y las emisiones de GEI embebidas totales, ya que además del consumo energético hay que considerar los GEI que se emiten o sequestran en los procesos de producción de materiales. Por ejemplo, en la fabricación del cemento se emiten GEI por procesos químicos inherentes, mientras que la madera los sequestra durante su crecimiento. Por tanto, es crucial diferenciar entre carbono y energía al evaluar tanto los impactos embebidos como los operacionales. La tabla 1 clarifica qué incorpora cada uno de los términos anteriores.

Tabla 1. Distinción entre energía y carbono operacionales y embebidos en el ciclo de vida del edificio

	Operacional	Incorporada/o
Energía	A) Consumos de energía operacionales (sistemas de calefacción, refrigeración, ventilación, ACS, cocina, iluminación y electrodomésticos).	B) Consumos de energía asociados a la etapa de producción (extracción de materia prima, transporte, fabricación, transporte, construcción), de uso, cuidado y actualización de los recursos físicos construidos (uso de productos instalados, mantenimiento, reparación, sustitución, rehabilitación) y de final de vida (deconstrucción/demolición, transporte, tratamiento de residuos, eliminación).
Carbono	C) Emisiones de carbono asociadas a A, es decir, a los consumos de energía operacionales.	D) Emisiones de carbono asociadas a B, es decir, a los consumos de energía de la etapa de producción, de uso, cuidado y actualización de los recursos físicos construidos, y de final de vida. E) Reacciones químicas. F) Carbono secuestrado.

Fuente: Tabla propia adaptada a partir de los datos en (Ibn-Mohammed *et al.* 2013).

El conocimiento y diferenciación por etapas del consumo de energía y las emisiones de GEI es fundamental para desarrollar estrategias efectivas que reduzcan el impacto ambiental de la edificación.

El carbono operacional depende del diseño formal y constructivo del edificio y las soluciones técnicas implementadas, de las fuentes de energía y del comportamiento de los ocupantes, mientras que el carbono incorporado está determinado en gran medida por la cantidad, tipo, procedencia y durabilidad de los materiales y productos utilizados, así como por su facilidad para ser mantenidos, reemplazados, reparados, reciclados y reintegrados a la naturaleza.

Las emisiones operativas se acumulan a lo largo del tiempo y pueden ajustarse durante toda la vida útil del edificio. Sin embargo, las emisiones incorporadas se concentran en una parte significativa en la fase inicial de construcción, generándose el resto durante el mantenimiento, la rehabilitación y al final del ciclo de vida.

La reducción de la energía operativa puede lograrse mediante el diseño de estrategias constructivas pasivas y activas eficientes, la selección de equipos y electrodomésticos de alta eficiencia, la incorporación de energías renovables y la promoción de un uso responsable de la energía, ámbitos en los que se ha avanzado considerablemente en las últimas décadas. En contraste, la reducción de la energía incorporada requiere la adopción de estrategias de circularidad que implican transformaciones profundas en los procesos de



diseño, fabricación, construcción, mantenimiento y final de vida de los edificios, que representan aún un desafío significativo para el sector.

Hemos tomado conciencia de la importancia de los impactos de cada etapa del ciclo de vida progresivamente tanto en Europa como otros continentes. A finales del siglo xx, se asumió que las emisiones operativas de los edificios eran mayores que las embebidas (Ibn-Mohammed et al. 2013), dando lugar a un gran esfuerzo inicial en la reducción del consumo de energía operacional. En uno de los primeros estudios publicados, por ejemplo, Cole y Kernan (1996) identificaron que en edificios de oficinas en Canadá con una vida útil de 50 años la energía operacional representaba el 80-90 % y la embebida el 10-20 %. Por su parte, Adalberth (1997) estimó que la energía operacional en viviendas unifamiliares con una vida útil de 50 años en Suecia suponía en torno al 85 % frente al 15 % de la embebida. Los resultados de estas primeras estimaciones explican por qué las primeras directivas europeas sobre eficiencia energética de los edificios se centraron en la fase operacional. En 2002, se aprobó la primera directiva sobre Eficiencia Energética de los Edificios (EPBD por sus siglas en inglés), la directiva 2002/91/CE, que estableció un marco para mejorar la eficiencia energética de la fase operacional de los edificios en toda la Unión Europea. Se centró en los edificios de nueva construcción e introdujo algunas medidas que también afectaban a los existentes, como el certificado energético del edificio⁽⁴⁾.

En aras de una mayor claridad sobre los objetivos europeos de eficiencia energética de los edificios, la EPBD fue refundida en 2010 en la Directiva 2010/31/UE. Sin embargo, no fue hasta una década después de la primera EPBD, con la aprobación de la Directiva 2012/27/UE relativa a la Eficiencia Energética, cuando se comenzó a centrar verdaderamente la atención en la rehabilitación energética de los edificios ya construidos para reducir sus consumos operacionales, debido a que algunos estudios relevantes, como el impulsado por el *Buildings Performance Institute Europe* (BPIE) en 2011 (Economidou 2011), habían identificado al parque inmobiliario existente como el sector con mayor potencial de ahorro de energía, debido a varias razones clave. Estas eran:

- La mayoría de los edificios en Europa habían sido construidos antes de que existieran estándares modernos de eficiencia.

(4) El certificado de eficiencia energética es un documento oficial que evalúa la eficiencia energética de un edificio o de una unidad independiente del mismo, proporcionando información sobre su consumo de energía y emisiones operacionales relativas a calefacción, refrigeración, ventilación, ACS e iluminación. Este certificado clasifica la eficiencia del edificio o unidad en una escala de letras desde A (máxima eficiencia) hasta G (mínima eficiencia), promoviendo la transparencia y la adopción de medidas que reduzcan el impacto ambiental de la fase operacional. Afecta a edificios nuevos y edificios existentes que deben contar con un certificado al ser vendidos o alquilados.

- Se había evidenciado que los edificios representaban el 40 % del consumo total de energía en la UE, lo que acentuaba la urgencia de reducir su consumo durante la fase operativa.
- Las tecnologías de mejora ya eran accesibles y ofrecían rápidos retornos de inversión, lo que facilitaba la rehabilitación masiva tanto de edificios residenciales como comerciales.
- Estas tecnologías se podían implementar fácilmente en nuevos edificios; sin embargo, el verdadero reto se consideró que radicaba en el parque de edificios existente, que representaba y seguiría representando la gran mayoría de edificios en 2050, dada su larga vida útil.

Desde 2010, la EPBD ha sido revisada en dos ocasiones (Directiva 2018/844/UE y Directiva (UE) 2024/1275), lo que ha impulsado innovaciones y avances en tecnologías de energía renovable y eficiencia energética y en normativas nacionales de aplicación a edificios nuevos y existentes, así como en incentivos orientados a mejorar la eficiencia energética de los existentes. Estos esfuerzos están logrando prometedoras reducciones en las emisiones operativas de los edificios. Sin embargo, estas medidas no solo disminuyen los consumos en la fase operacional, sino que también incrementan el uso de materiales y sistemas durante las etapas de producción y de rehabilitación, lo que resalta la creciente importancia de considerar el carbono embebido. Diversos estudios, como los de Dixit et al. (2010), Ibn-Mohammed et al. (2013) y Röck et al. (2020), han destacado la relevancia creciente de las emisiones embebidas en los edificios, mostrando que cuanto más eficiente es un edificio en su fase operativa, mayores son los impactos embebidos por el uso intensivo de materiales y sistemas para reducir la demanda energética y aumentar la eficiencia energética y la participación de renovables. *Green Building Council España* (GBCe) estima que mientras en un edificio español de clase energética G el carbono embebido representa el 13 %, este porcentaje aumenta significativamente hasta alcanzar un 80 % en la clase energética A (GBCe 2022)⁽⁵⁾.

Aunque la CE estima que actualmente las emisiones de GEI resultantes de la extracción de materiales, la fabricación de productos de construcción, y la construcción y rehabilitación de edificios oscilan entre el 5 % y el 12 % de las emisiones nacionales totales de GEI (Comisión Europea 2020), no hemos de subestimar el gran impacto que van a suponer los objetivos que nos hemos marcado en Europa para reducir el carbono operacional en las próximas décadas (Comisión Europea 2024). Dichos objetivos incluyen que

(5) Según las estimaciones de GBCe, los siguientes porcentajes de energía embebida corresponden a las distintas clases energéticas del edificio: A (80 %), B (60 %), C (47 %), D (35 %), E (22 %), F (15 %), G (13 %).

los edificios nuevos sean de consumo de energía casi nulo o de cero emisiones⁽⁶⁾ y rehabilitar energéticamente a gran escala los parques nacionales. Esto último implicará la retirada y tratamiento de materiales antiguos, así como la utilización masiva de materiales (como aislantes) y la instalación de sistemas técnicos avanzados en un periodo relativamente corto (de aquí a 2050), lo que resultará en un significativo aumento de emisiones de carbono incorporado concentradas en un intervalo de tiempo inferior a 30 años, que no nos permitirá reducir en un 60 % las emisiones respecto a 2015 como se considera necesario (GBCe 2022). Por esta razón, la aplicación de estrategias de circularidad será crucial tanto en la actividad de nueva construcción como en la rehabilitación en las próximas décadas.

La consideración del carbono embebido es algo reciente en la directiva EPBD de 2024 (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea 2024), en la que se ha incorporado la obligatoriedad de calcular el potencial de calentamiento global (PCG) a lo largo de todo el ciclo de vida de los edificios nuevos a partir de 2028. Hasta el momento solo era obligatorio calcular la energía operacional. El PCG indica la contribución general del edificio a las emisiones causantes del cambio climático, y comprende las emisiones de GEI incorporadas en los productos de construcción y las emisiones directas e indirectas de la etapa de uso. Esto representa, como la propia directiva señala, un primer paso hacia la atribución de una mayor importancia a la eficiencia energética a lo largo del ciclo de vida completo de los edificios y hacia una economía circular. No obstante, aún son necesarios más avances, tanto para los edificios nuevos como para los existentes. La nueva EPBD no establece dicha obligatoriedad para los existentes, limitándose a sugerir que se considere en las rehabilitaciones, mediante la inclusión de políticas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de su ciclo de vida completo en los planes nacionales de rehabilitación de edificios de los Estados miembros.

La Tabla 2 resume desde cuándo las directivas europeas comienzan a dar relevancia a la reducción del carbono operacional y embebido en edificios nuevos y existentes. En resumen, descarbonizar el parque edificatorio exige disminuir las emisiones de carbono en todas las etapas del ciclo de vida de los edificios. Mientras que en la fase operacional se cuenta con una sólida experiencia tecnológica, normativa y en el impulso político, en

(6) La UE ha propuesto pasar del concepto de edificio de consumo de energía casi nulo (nZEB, por sus siglas en inglés) al concepto de edificio cero emisiones (ZEB, por sus siglas en inglés). El nZEB es un edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto y casi nula o muy baja energía demandada, que procederá mayoritariamente de fuentes renovables, producida in situ o bien en el entorno, que en España debe cumplir con las exigencias de consumo energético establecidas en el DB HE 2019 para edificios de nueva construcción. El ZEB es un edificio que tiene cero emisiones de carbono procedentes de combustibles fósiles in situ y un nivel de eficiencia energética muy alto. El standard nZEB fue obligatorio desde 2020 para todos los edificios nuevos en Europa. El standard ZEB lo será a partir de 2030, e implicará que no se puedan diseñar edificios que usen sistemas basados en fuentes fósiles.

la fase de carbono embebido este enfoque es más reciente, y por ahora las exigencias se limitan a los edificios nuevos. Esto resulta preocupante, dado el considerable impacto embebido que conllevará la rehabilitación energética necesaria en los parques nacionales de Europa.

Tabla 2. Año desde el que se hacen relevantes en las directivas europeas la reducción de carbono operacional o embebido en los edificios nuevos o existentes

	Edificios nuevos	Edificios existentes
Carbono operacional	Desde 2002	Desde 2012
Carbono embebido	Desde 2024	Aún no

Fuente: Elaboración propia.

2. RETOS DE LA DESCARBONIZACIÓN DE LA VIVIENDA EN ESPAÑA

El sector residencial representa el 61 % de los GEI del total del sector edificación en España, mientras que el 39 % restante corresponde a las edificaciones institucionales y comerciales (MITECO 2024). Por tanto, la descarbonización de las viviendas es clave para la descarbonización del sector edificación. A continuación, presentamos los principales retos de la descarbonización del sector residencial, diferenciando entre los relativos a la reducción del carbono operacional y los relativos al carbono incorporado.

2.1 El reto de electrificar la vivienda, escalar la rehabilitación y de mitigar la pobreza energética para reducir el carbono operacional

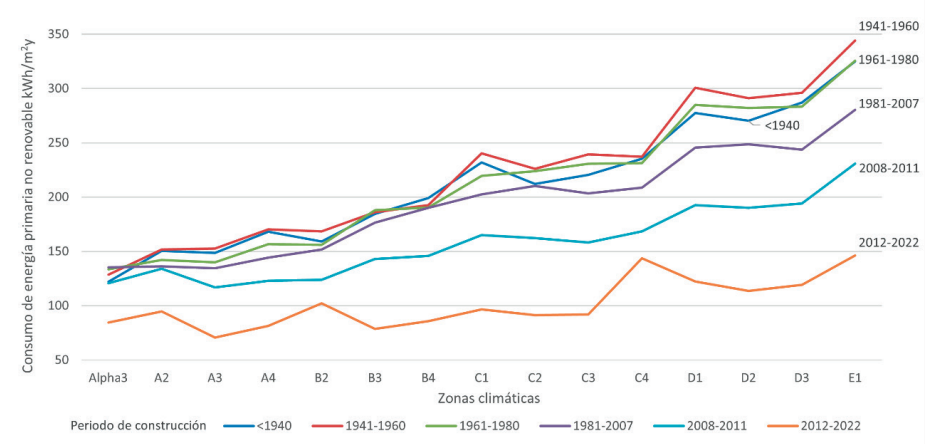
Debido a la larga vida útil de los edificios y al boom inmobiliario español que comenzó a finales de los años 90, el parque de viviendas en España está sobredimensionado y se estima que para 2050 los edificios de nueva construcción apenas representarán el 10 % del total (de Arriba Segurado 2020). A esto hay que añadir que el parque residencial español se distingue por su baja eficiencia energética, con más del 80 % de los certificados de eficiencia concentrados en las tres categorías menos eficientes (E, F y G) (MITECO 2022a). Por ello, la rehabilitación del parque residencial para reducir emisiones operacionales resulta especialmente crítica en España. En la actualidad, el 50 % de las viviendas en España son anteriores a 1981, fecha en que se comenzó a aplicar la primera norma básica de

edificación sobre condiciones térmicas en los edificios (NBE-CT-79), y un 91 % de las viviendas son anteriores a 2008, fecha en la que se comenzó a aplicar el Código Técnico de la Edificación (CTE)⁽⁷⁾.

Estas viviendas presentan en su mayoría insuficiente o nulo aislamiento térmico, carpinterías de ventanas poco eficientes e instalaciones anticuadas, que dependen en un 40 % de combustibles fósiles (OREVE 2024), lo que conlleva un alto consumo energético de calefacción, refrigeración, producción de ACS, cocina, iluminación y electrodomésticos, así como unas altas emisiones asociadas.

En la figura 2 se muestra el consumo medio de energía primaria no renovable por m² y año, por periodo de construcción y zona climática en España, obtenido a través del modelo desarrollado por Beltrán-Velamazán et al. (2024), basado en los datos de los Certificados de Eficiencia Energética (CEE) disponibles en abierto. En la figura se observa que las viviendas construidas tras la implementación del CTE presentan un consumo energético significativamente inferior. En particular, aquellas construidas a partir de 2012 muestran una reducción de hasta un 50 % en los consumos medios en comparación con el conjunto de edificios anteriores a la entrada en vigor del CTE. Esto pone de manifiesto los buenos resultados obtenidos en materia de reducción en consumos y emisiones operacionales de edificios nuevos, gracias al esfuerzo europeo desde 2002.

Figura 2. Consumo medio de energía primaria no renovable por m² y año, por periodo de construcción y zona climática en España



Fuente: Elaboración propia a partir de las definiciones en la norma UNE-EN 15643 de 2021 y usando iconos de <https://iconos8.es/>.

(7) Los porcentajes de viviendas se han extraído del modelo generado en BELTRÁN-VELAMAZÁN et al. (2024).

Para descarbonizar la fase operacional de las viviendas, se han planteado en Europa y España dos vías fundamentales:

- Maximizar la eficiencia energética, mediante la mejora de la envolvente y la incorporación de tecnologías que optimicen el consumo energético, no solo mediante el uso de sistemas activos más eficientes sino también de tecnologías inteligentes basadas en el internet de las cosas (IoT). Estas tecnologías implicarán avances en domótica y en gestión de datos de consumo en tiempo real (Sauer y Huerta 2021).
- Electrificar todos los usos residenciales posibles, al tiempo que se garantiza la alimentación exclusiva de fuentes renovables y se fomenta un sistema de generación distribuido, lo que implica una transformación del modelo energético hacia la ciudad inteligente (López-Mesa 2022).

Ambas vías son necesarias tanto para los edificios nuevos como para los existentes y representan importantes retos tanto a escala de edificio como a nivel urbano. En lo que se refiere a los edificios residenciales, algunos aspectos, como la electrificación de las viviendas, han sido menos integrados en las ayudas y políticas de rehabilitación residencial. Según el informe del Observatorio de la Rehabilitación Eléctrica de la Vivienda en España (OREVE 2024), es fundamental que las políticas de apoyo incluyan explícitamente la modernización de las instalaciones eléctricas, garantizando que las viviendas estén preparadas para la electrificación de los distintos usos energéticos.

En este contexto, es importante destacar el reto de la rehabilitación residencial, que se ha consolidado como la gran apuesta del sector de la edificación (Sauer y Huerta 2021) tras el colapso de la burbuja inmobiliaria en 2008 y la creciente conciencia sobre los retos ambientales del sector. A pesar de ser reconocida como una prioridad, la tasa de rehabilitación y la intensidad energética de las intervenciones para mejorar el estado de las viviendas han sido limitadas (Rubio del Val 2020). La crisis provocada por la COVID-19 presentó una oportunidad única para impulsar la rehabilitación masiva de viviendas, apoyada por los fondos *Next Generation* entre 2021 y 2026, que incluyen una inversión sin precedentes en este ámbito. Este período, en el que nos encontramos, será clave para generar resultados sostenibles, desarrollar herramientas de gestión y financiación, capacitar a profesionales y trabajadores, y comunicar a la sociedad los beneficios de la rehabilitación. De esta manera, se podrá asegurar que esta actividad continúe creciendo una vez finalizados los fondos (Sauer y Huerta 2021).

La responsabilidad de la descarbonización recae sobre todos. Aunque el objetivo de descarbonizar el parque residencial es de carácter

público, los hogares deberán asumir inversiones de capital privado para alcanzarlo. Aquí es donde los gobiernos tienen un papel clave: deben transformar la necesidad pública en una oportunidad para todos. La rehabilitación de viviendas se percibe no solo como una vía para descarbonizar el parque existente y mejorar su eficiencia energética, sino también como generadora de múltiples beneficios, incluidos la creación de empleo, mejoras en la salud y una mayor asequibilidad energética (OCDE 2022). Sin embargo, hay sectores de la sociedad con serias dificultades para afrontar inversiones privadas. Según datos de 2021, el 16,4 % de la población española, alrededor de 7,8 millones de personas, se enfrenta a un gasto energético desproporcionado en relación con sus ingresos, y un 14,3 %, aproximadamente 6,8 millones de personas, no puede mantener su hogar a una temperatura adecuada durante el invierno (MITECO 2022b).

La estrategia europea se centra en abordar la rehabilitación energética de los hogares de manera inclusiva, sin dejar a nadie atrás. En la revisión de la EPBD de 2024, se establece que los incentivos financieros y otras medidas políticas deben priorizar a los hogares vulnerables, a las personas afectadas por la pobreza energética y a quienes residen en viviendas sociales. Además, se exige a los Estados miembros que implementen políticas para prevenir desalojos relacionados con las rehabilitaciones, como límites en el aumento de los alquileres. Esto apunta hacia que, tras los fondos *Next Generation*, las ayudas públicas se enfocarán en los hogares vulnerables. Por lo tanto, es muy importante que el sector aproveche los recursos disponibles durante el periodo 2021-2026 no solo para rehabilitar sino también para desarrollar mecanismos que aseguren la continuidad de la actividad a un ritmo adecuado para los hogares no vulnerables una vez finalicen esos fondos.

2.2 El reto de potenciar la innovación y circularidad para reducir el carbono incorporado

La minimización del carbono incorporado requiere una utilización eficiente y circular de los recursos. La circularidad es un concepto que se basa en el principio de que los residuos de unos procesos son recursos para otros, imitando el funcionamiento de la naturaleza. Los edificios diseñados de manera dinámica y flexible pueden incorporarse a una economía circular, en la cual los materiales en los edificios mantienen su valor, lo que llevará a la reducción de residuos y al uso de menos recursos vírgenes, reduciendo por tanto la energía incorporada inicial, la energía incorporada recurrente y la energía incorporada de final de vida.



Son diversos y profundos los cambios que se consideran necesarios para favorecer una economía circular en la edificación:

– Por un lado, es necesario evaluar la circularidad de los edificios, lo que nos ayudará a tomar conciencia y conocer los problemas específicos de los procesos incorporados, y poder valorar las decisiones que se toman a lo largo de los mismos. En este sentido, destaca la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) aplicada a la construcción (AENOR 2021), y el marco común Level(s)⁽⁸⁾ impulsado por la CE para la evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Aunque estos marcos son actualmente opcionales, se prevé que su aplicación sea obligatoria para el cálculo del PCG del ciclo completo del edificio que la EPBD de 2024 exige para los edificios nuevos a partir de 2028.

– Asimismo una economía circular en edificación invita a reflexionar sobre los procesos de diseño hacia el diseño reversible de edificios y sus materiales. Diseñar y construir un edificio pensando en su mantenimiento, sus reformas y su deconstrucción tiene un alto potencial de mitigar el impacto ambiental de los procesos incorporados. Los edificios nuevos se pueden diseñar para el desmontaje y la adaptabilidad, para lo que han empezado a redactarse algunos estándares (AENOR 2023), así como seleccionar materiales reciclables para garantizar que los residuos de los edificios desmantelados se minimicen. No obstante, el diseño reversible no está exento de limitaciones. Al igual que con otras iniciativas circulares nuevas, la aún reciente estandarización y escasa o nula regulación y experiencia generará dificultades en su implementación.

– Las mejoras en sostenibilidad y productividad en el sector residencial en todo el ciclo de vida del edificio podrán potenciarse de manera significativa si se adoptan herramientas y procesos digitales en todas las etapas del ciclo de vida y en toda la cadena de valor. Por ejemplo, en la fase de producción, es ventajoso adoptar la fabricación digital y la industrialización, dado que la fabricación en entornos controlados permite la introducción de líneas de producción, automatización impulsada por inteligencia artificial y un control de calidad más riguroso. En la fase de uso, la digitalización de edificios inteligentes podría aportar una base de datos, actualizada constantemente, para el mantenimiento del edificio, que podría conectarse con el libro digital del edificio⁽⁹⁾ y el pasaporte del edifi-

(8) Se puede encontrar abundante literatura sobre Level(s) en la plataforma oficial de este marco en: https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/levels_en.

(9) En los últimos años, la CE ha estado trabajando en la implementación de un Libro Digital del Edificio de escala europea. En este proceso de trabajo, el libro digital del edificio ha quedado definido como un repositorio común para todos los datos relevantes de un edificio, como una herramienta dinámica que permite registrar, acceder, enriquecer y organizar una variedad de datos, información y

cio⁽¹⁰⁾ para poder planificar su rehabilitación circular (Sauer y Huerta 2021). Asimismo, en la fase de fin de vida, serán provechosas plataformas para mercados de materiales secundarios como la de *enviromate*⁽¹¹⁾ de Reino Unido, que puedan crear nuevo valor con la deconstrucción de edificios y activos. La digitalización de aspectos transversales a todas las fases del ciclo de vida también puede generar beneficios significativos. Por ejemplo, la tecnología *blockchain* permitirá trazar de una manera fiable la información de materiales y productos, las operaciones de mantenimiento, etc., garantizando la transparencia, privacidad y seguridad de los datos, pudiendo ser útil en múltiples aplicaciones como el ACV (Sauer y Huerta 2021).

En conclusión, el reto de la circularidad en la edificación es reciente y aún nos encontramos en las primeras etapas de su implementación. El sector de la construcción ha comenzado a afrontar una creciente presión para reducir su impacto ambiental a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio, lo que ha llevado a que la adopción de principios circulares emergja como una solución clave. Sin embargo, su implementación presenta retos significativos.

Primero, gran parte de los materiales y productos de construcción actuales no están diseñados para ser reutilizados o reciclados fácilmente, lo que implica una reconfiguración total del proceso de diseño y construcción. Los edificios han sido tradicionalmente concebidos para tener una vida útil lineal. La circularidad, por el contrario, requiere una planificación que asegure que los componentes puedan ser recuperados, reutilizados o reciclados al final de la vida útil del edificio, lo que nos lleva a concebir al edificio como un Banco de Materiales.

Además, la infraestructura y las cadenas de suministro necesarias para soportar un modelo circular aún están en desarrollo. La reutilización de materiales, la reducción de residuos y la creación de mercados secundarios para componentes de construcción son áreas que requieren una fuerte inversión, innovación y la colaboración entre diferentes actores del sector.

documentos bajo categorías específicas. Representa un registro de eventos importantes y cambios a lo largo del ciclo de vida de un edificio, como cambios de propiedad, tenencia o uso, mantenimiento, rehabilitación y otras intervenciones. Como tal, puede incluir documentos administrativos, planos, descripciones del terreno, el edificio y su entorno, sistemas técnicos, trazabilidad y características de los materiales de construcción, datos de eficiencia como el consumo energético operativo, la calidad del medio ambiente interior, el potencial de inteligencia del edificio y las emisiones a lo largo del ciclo de vida, así como enlaces a la calificación y certificados des edificio.

(10) Es un documento que detalla una hoja de ruta de rehabilitación a largo plazo (de hasta 15 a 20 años), por etapas, para lograr una rehabilitación profunda de un edificio específico. Este pasaporte apoya a los propietarios con asesoramiento personalizado sobre sus opciones de rehabilitación y aclara las etapas de rehabilitación para todas las partes involucradas.

(11) <https://www.enviromate.co.uk/>.



Otro aspecto crítico es la falta de normativas y estándares claros que orienten a la industria hacia la circularidad. Aunque están surgiendo algunos marcos de evaluación, como el marco Level(s) de la Comisión Europea, e iniciativas relacionadas con la digitalización, como el libro digital del edificio, muchos de ellos aún son opcionales o están en desarrollo y transcurrirá cierto tiempo antes de que sean adoptados de manera generalizada. Esta falta de estandarización dificulta la implementación de prácticas circulares y ralentiza la creación de modelos de negocio sostenibles y viables para la reutilización de materiales y la deconstrucción sistemática de edificios.

Finalmente, la transformación hacia un modelo de edificación circular exige un cambio significativo en la mentalidad y la capacitación de los profesionales del sector. Arquitectos, arquitectos técnicos, ingenieros, constructores, administradores de fincas y gestores de proyectos deben aprender nuevas técnicas y enfoques, adaptarse a tecnologías emergentes y comprender mejor los beneficios a largo plazo de un enfoque circular.

La transición hacia una edificación más circular requerirá un compromiso a largo plazo y un esfuerzo coordinado en múltiples niveles. Es un proceso que implica no solo cambios en las prácticas de construcción, sino también en la cultura del sector. Aunque llevará tiempo y esfuerzo, esta transformación es esencial para lograr un futuro sostenible en la construcción y para minimizar el impacto ambiental de nuestros edificios.

3. CONCLUSIONES

La descarbonización del sector residencial en España es relevante, dado que representa el 61 % de las emisiones de GEI del sector de la edificación. Para abordar este problema, es fundamental considerar todas las etapas del ciclo de vida de los edificios.

Con respecto a las etapas operacionales, es importante centrarse en la rehabilitación de un parque de viviendas que, en su mayoría seguirá en uso en 2050 y tiene una reducida eficiencia energética. Más del 80 % de los certificados de eficiencia se agrupan en las categorías menos eficientes, lo que subraya la necesidad urgente de mejorar la calidad energética de las viviendas, especialmente considerando que el 50 % fueron construidas antes de 1981 y el 91 % antes de 2008.

Un aspecto clave en la descarbonización de la fase operacional es la electrificación de los hogares, que debe ser acompañada por la maximización de la eficiencia energética. Esto implica no solo la incorporación de tecnologías modernas y sostenibles, sino también un enfoque en la transformación del modelo energético urbano hacia fuentes renovables. La electrificación de

todos los usos residenciales es esencial para reducir las emisiones operacionales, pero también requiere un cambio en las políticas de rehabilitación que incluya explícitamente la modernización de las instalaciones eléctricas.

Es fundamental reconocer que la responsabilidad de la descarbonización de la fase operacional no recae únicamente en el sector público; también es un reto que exige inversiones de capital privado por parte de los hogares. En este contexto, los gobiernos desempeñan un papel esencial en la transformación de esta necesidad pública en una oportunidad colectiva. Durante el actual período 2021-2026, marcado por la disponibilidad de los fondos *Next Generation*, es crucial desarrollar mecanismos que permitan escalar la rehabilitación energética y asegurar que este impulso se mantenga incluso después de que los fondos se agoten. Dado que algunos hogares no podrán asumir inversiones privadas, las políticas públicas futuras priorizarán el apoyo a los hogares vulnerables y a aquellos afectados por la pobreza energética, tal como se anuncia en la EPBD de 2024. En este sentido, se hace aún más importante establecer mecanismos sostenibles que se mantengan en el tiempo que permitan que toda la sociedad se beneficie de un proceso continuo de descarbonización hasta 2050.

Además, la minimización del carbono incorporado en la edificación exige un enfoque circular en el diseño y construcción de edificios residenciales. Para ello, es necesario implementar un modelo de diseño reversible de edificios que permita la reutilización de materiales y la reducción de residuos a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio. Sin embargo, esta transición hacia la circularidad debe afrontar importantes obstáculos, como la falta de normativas claras y estándares específicos que guíen a la industria. Aunque se están desarrollando marcos de evaluación e iniciativas de digitalización, su adopción generalizada podría tardar tiempo, lo que dificultará la creación temprana de modelos de negocio circulares viables.

Es fundamental, por último, que las próximas regulaciones incorporen de manera específica aspectos relacionados con la circularidad en los procesos de rehabilitación, especialmente considerando el significativo impacto ambiental que implicará la necesaria rehabilitación energética de los parques residenciales en Europa de aquí a 2050.

4. REFERENCIAS

- AENOR, *UNE-EN 15643:2021 Sostenibilidad en la construcción. Marco para la evaluación de los edificios y las obras de ingeniería civil*, 2021.
- *UNE-ISO 20887: 2023 Sostenibilidad en edificios y obras de ingeniería civil. Diseño para el desmontaje y la adaptabilidad. Principios, requisitos y directrices*, 2023.



- ADALBERTH, K., «Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: Examples», *Building and Environment* 32(4), 1997, pp. 321-329, ISSN 0360-1323, [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(96\)00069-8](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(96)00069-8).
- BELTRÁN-VELAMAZÁN, C.; MONZÓN-CHAVARRÍAS, M., y LÓPEZ-MESA, B., «A new approach for national-scale Building Energy Models based on Energy Performance Certificates in European countries: The case of Spain», *Heliyon*, 10(3), 2024, e25473, <https://doi.org/10.1016/J. HELIYON.2024. E25473>.
- COLE, R., y KERNAN, P. C., «Life cycle energy use in office buildings», *Building and Environment* 31(4), 1996, pp. 307-317, ISSN 0360-1323, [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(96\)00017-0](https://doi.org/10.1016/0360-1323(96)00017-0).
- COMISIÓN EUROPEA, *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Un Marco Estratégico en Materia de Clima y Energía para el Periodo 2020-2030. COM/2014/015 final.*, 2014, último acceso el 30 de septiembre de 2024 en <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:52014DC0015>.
- *El Pacto Verde Europeo*, 2019, último acceso el 30 de septiembre de 2024 en https://commission.europa.eu/document/daef3e5c-a456-4fbb-a067-8f1cbe-8d9c78_es.
- *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Nuevo Plan de Acción para la Economía Circular. Por una Europa más limpia y más competitiva. COM(2020) 98 final*, 2020a, último acceso el 30/09/2024 en <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0098>.
- *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Oleada de renovación para Europa: ecologizar nuestros edificios, crear empleo y mejorar vidas, COM(2020) 662 final*, 2020b, último acceso el 30 de septiembre de 2024 en <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0662>.
- *National energy and climate plans*, 2024, último acceso el 30 de septiembre de 2024 https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/implementation-eu-countries/energy-and-climate-governance-and-reporting/national-energy-and-climate-plans_en.
- DIXIT, M. K.; FERNÁNDEZ-SOLÍS, J. L.; LAVY, S., y CULP, C. H., «Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review», *Energy and Buildings* 42(8), 2010, pp. 1238-1247, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.02.016>.
- ECONOMIDOU, M. (project lead), *Europe's buildings under the microscope. Country-by-country review of the energy performance of Europe's buildings*. Buildings Performance Institute Europe (BPIE), 2011, último acceso el 30 de septiembre de 2024 en <https://www.bpie.eu/publication/europes-buildings-under-the-microscope/#>.
- EUR-LEX, *Paquete de medidas sobre clima y energía hasta 2020*, 2015, último acceso el 30 de septiembre de 2024 en <https://eur-lex.europa.eu/ES/legal-content/summary/2020-climate-and-energy-package.html>.

- GBCe, Hoja de ruta para la descarbonización de la edificación en todo su ciclo de vida, 2022, último acceso el 30 de septiembre de 2024 en <https://gbce.es/proyectos/building-life/>.
- IBN-MOHAMMED, T.; GREENOUGH, R.; TAYLOR, S.; OZAWA-MEIDA, L., y ACQUAYE, A., «Operational vs. embodied emissions in buildings—A review of current trends», *Energy and Buildings* 66, 2013, pp. 232-245, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.026>.
- LÓPEZ-MESA B., «De la sociedad fósil a la sociedad hipocarbónica: la ciudad inteligente como estrategia facilitadora», *Arbor* 198 (803-804), 2022, a636, <https://doi.org/10.3989/arbor.2022.803-804003>.
- MITECO, *Estado de la certificación energética de los edificios (11.º informe)*, Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, 2022a, último acceso el 30/09/2024 en https://portal-miteco-stage.adobecqms.net/content/dam/miteco/es/energia/files-1/Eficiencia/CertificacionEnergetica/documentosinformativos/2023_Informedeseguimiento_11_CERTIFICACION_ENERGETICA_V5.pdf.
- *Actualización de los Indicadores de la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética – 2022*, Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, 2022b, último acceso el 30/09/2024 en https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/ministerio/planes-estrategias/estrategia-pobreza-energetica/actualizaciondelosindicadoresdelaestrategianacionalcontralapobrezaenergetica-2022_tcm30-549718.pdf.
- *Mitigación: Sectores difusos. Situación actual y objetivos*, Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, 2024, último acceso el 30/09/2024 en <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/definicion-difusos.html>.
- NACIONES UNIDAS, *Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change*, 1998, último acceso el 30 de septiembre de 2024 en <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>.
- *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Edición Especial, 2023, último acceso el 30 de septiembre de 2024 en https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf.
- OECD, *Decarbonising Buildings in Cities and Regions*. OECD Urban Studies, OECD Publishing, Paris, 2022, <https://doi.org/10.1787/a48ce566-en>.
- OREVE, *La descarbonización del sector residencial en España: el papel de la instalación eléctrica en la vivienda*, Observatorio de la rehabilitación eléctrica de la vivienda en España, 2024, último acceso el 30/09/2024 en <https://www.oreve.es/informe/>.
- PARLAMENTO EUROPEO y CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA, «Directiva (UE) 2024/1275 del Parlamento Europeo y del Consejo de 24 de abril de 2024 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición)», *Diario Oficial de la Unión Europea* 08/05/2024. Último acceso el 30 de septiembre de 2024 en https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202401275.
- RAMESH, T.; PRAKASH, R., y SHUKLA, K. K., «Life cycle energy analysis of buildings: An overview», *Energy and Buildings* 42(10), 2010, pp. 1592-1600, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.007>.

- RUBIO DEL VAL (coord.), *Informe de Evaluación sobre Políticas Públicas de Rehabilitación Residencial en España (2013-2017). Reflexiones sobre el desafío 2020/2030*. Zaragoza, Observatorio ciudad 3R – ECODES – Ministerio para la Transición Ecológica, 2020 (2.^a edición).
- SAUER, B., y HUERTA, D. (coords.), *Informe País GBCE 2021. Sobre el estado de la edificación sostenible en España*, 2021, último acceso el 30 de septiembre de 2024 en https://gbce.es/documentos/Informe_Pais_GBCE_2021.pdf.
- TRELOAR, G.; FAY, R.; ILOZOR, B., y LOVE, P., «Building materials selection: greenhouse strategies for built facilities», *Facilities* 19(3-4), 2001, pp. 139-149. 0263-2772. <https://doi.org/10.1108/02632770110381694>.