

# **EL CONFORT TÉRMICO Y LA HUELLA DE CARBONO EN NUESTRAS VIVIENDAS**

**ESCENARIOS DE APLICACIÓN DE  
MEDIDAS DE REHABILITACIÓN EN  
EDIFICIOS DE VIVIENDA Y SU IMPACTO  
EN LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA**

## Título

El confort térmico y la huella de carbono en nuestras viviendas: escenarios de aplicación de medidas de rehabilitación en edificios de vivienda y su impacto en la calificación energética

## Autoras

Carmen Sánchez-Guevara.

Gloria Gómez Muñoz.

Ana Sanz Fernández.

Raquel Burgos Bayo

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.

## Coordinación

Cecilia Foronda Díez.

Javier Tobías González.

ECODES

## Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a la European Climate Foundation, sin cuyo apoyo, la redacción de este informe no hubiera sido posible.

## Créditos

© Las autoras

1ª. edición. Zaragoza, 2023

## Índice

Resumen ejecutivo .....	4
1 Introducción y objetivos .....	8
1.1 Introducción.....	8
1.2 Objetivo .....	16
1.3 Metodología empleada .....	16
2 Revisión de normativas y directivas existentes sobre eficiencia energética en los edificios y su impacto en el confort de las personas .....	17
3 Mejora del parque de viviendas a través de los certificados energéticos.....	26
3.1 Sobre los certificados energéticos de las viviendas .....	26
3.2 Caso de estudio.....	28
3.2.1 Selección de climas para el estudio de los casos .....	28
3.2.2 Selección del tipo edificatorio .....	29
3.2.3 Escenarios de rehabilitación .....	32
3.3 Cálculo de la calificación energética con la Herramienta Unificada Lider Calener .....	35
3.3.1 Edificio en Almería.....	35
3.3.2 Edificio en Madrid .....	36
3.3.3 Edificio en Ávila .....	37
3.4 Cálculo de las condiciones de bienestar térmico pasivo .....	37
3.4.1 Estándar de cálculo del bienestar .....	38
3.4.2 Modelización del comportamiento térmico de las viviendas .....	42
3.4.3 Propuesta de calificación energética del bienestar pasivo .....	50
4 La rehabilitación integral de edificios de vivienda en un escenario de escasez de energía y necesidad de reducción de impactos ambientales .....	53
4.1 Panorama sobre la producción y uso algunos materiales habituales en la rehabilitación energética de viviendas .....	53
4.1.1 Materiales aislantes.....	53
4.1.2 Materiales para carpinterías .....	59
4.2 Impactos ambientales asociados a la producción y utilización de los materiales estudiados.....	62
4.2.1 Descripción de las etapas del Análisis de Ciclo de Vida del proyecto .....	64
4.2.2 Impactos ambientales asociados a los materiales estudiados .....	65
4.3 Impactos ambientales asociados a la rehabilitación energética integral de un edificio de viviendas en tres climas españoles.....	67
4.3.1 Descripción de las opciones de intervención en la envolvente del edificio.....	68
4.3.2 Cuantificación de indicadores ambientales de las opciones de intervención en la envolvente del edificio .....	70
4.4 Impactos ambientales asociados a la sustitución del sistema de climatización de las viviendas	74
4.5 Análisis multifactorial de la rehabilitación energética integral de un edificio de viviendas en tres climas españoles .....	74
4.5.1 Edificio de viviendas situado en Almería.....	75
4.5.2 Edificio de viviendas situado en Madrid .....	80
4.5.3 Edificio de viviendas situado en Ávila .....	85
4.6 Comparativa de resultados de edificios en las tres zonas climáticas.....	90
5 Conclusiones .....	94
5.1 Sobre el análisis de directivas y políticas relativas a la eficiencia energética.....	94
5.2 Sobre el impacto en el bienestar de la mejora de los certificados energéticos .....	95
5.3 Sobre la relación entre el impacto ambiental y la mejora de bienestar. Análisis multifactorial.....	96
6 Referencias bibliográficas .....	97

## Resumen ejecutivo

1. Las directivas europeas recogen las definiciones más relevantes que caracterizan las cuestiones a las que se refieren y que establecen los objetivos comunes a alcanzar en cada estado miembro. En ese sentido es relevante conocer cuántas veces aparecen determinados conceptos porque de esta manera se define la orientación de las políticas y acciones que pretenden poner en marcha. La energía es el tema que mayor importancia tiene en la documentación normativa europea analizada, pero, especialmente aquellos conceptos relacionados con "eficiencia", "consumo", "emisiones" y "ahorro" (por este orden). En una última posición queda el concepto de **"demanda", cuya disminución debería ser considerada como prioritaria desde la perspectiva del confort y de la reducción de la dependencia energética de los edificios**. Esto permitiría no sólo una edificación descarbonizada, sino que tenga un buen funcionamiento pasivo
2. La presencia de conceptos vinculados con lo **social**, como pobreza energética o vulnerabilidad, han ido haciéndose paso, hasta incorporarse de manera más o menos habitual en esta misma documentación, incluso considerando las necesidades específicas de estos hogares, por lo que ha habido una tendencia favorable. Sin embargo, aún hay **margen de incidir más en la mejora de las condiciones de muchas personas, relacionando más las situaciones de vulnerabilidad con las necesidades específicas de estos hogares**.
3. Los **conceptos vinculados con la utilización de los inmuebles y la capacidad de los mismos para proporcionar condiciones adecuadas, tales como "confort", "habitabilidad", "grados-día" u "horas en confort" no se mencionan prácticamente en ninguno de los documentos analizados**. También es destacable que la búsqueda de "temperatura", aunque arroja resultados, la mayoría de las menciones a este concepto están relacionadas con el incremento de esta por el cambio climático y no a la temperatura interior de los inmuebles. **Sería importante que conceptualmente se transforme el concepto de "edificios de energía casi nula" hacia el de "edificios de confort casi total"**, de tal manera que los profesionales de la edificación centraran realmente sus esfuerzos en conseguir edificios con buenos comportamientos pasivos y no únicamente energéticamente eficientes.
4. A partir de este estudio se propone la mejora del contenido del actual certificado de eficiencia energética de los edificios o la creación de un nuevo certificado que califique el confort térmico interior. El objetivo del mismo es dirigir la transformación del parque de viviendas no sólo en el contexto de una economía descarbonizada, sino también hacia un escenario de **"edificios de confort casi total (ECCT)"** sin necesidad de consumo energético.

5. Se comprueba mediante la herramienta de calificación energética que **la reducción de la demanda de energía no implica necesariamente una mejora en la calificación energética de una vivienda**. Tanto es así que, en algunos de los casos analizados se obtiene la misma calificación tanto para la rehabilitación de la envolvente como para la renovación de las instalaciones. Sin embargo, la renovación por algunos sistemas de calefacción, como ocurre con la sustitución de la caldera de gas por una de biomasa, tiene un impacto muy relevante sobre el certificado energético de las viviendas ya que se obtiene una calificación de máxima eficiencia, pese a que esto no implica la reducción de la demanda y, en el caso de la refrigeración, ni siquiera la capacidad de mejorar las condiciones interiores. Esta cuestión resulta especialmente relevante en el actual escenario de modificación climática hacia periodos estivales más extremos.
6. **Se propone la incorporación de un indicador de confort térmico**. Este indicador puede resultar mucho más legible para los usuarios, para ayudarles en la toma de decisión en la compra o alquiler de un inmueble.
7. **Ocupantes activos en edificios pasivos**: Otra de las conclusiones del trabajo es la relevancia que adquieren los ocupantes de las viviendas como usuarios activos que buscan el confort mediante la adaptación. Esto permite ampliar los rangos de bienestar considerados normativamente hasta ahora, y que los estudios muestran que tienen una gran concordancia con el comportamiento real estos usuarios. Este enfoque adaptativo tiene una gran relevancia si se quiere reflexionar sobre los modos de habitar que debemos imaginar en un proceso de transición ecológica del parque edificado.
8. Debe mencionarse que este estudio se centra en un único tipo edificatorio ubicado en tres climas. Sería necesario un análisis más amplio del parque de viviendas en España. La escala actual de la calificación de eficiencia energética establecida en base a las condiciones generales del parque de viviendas de cada región climática. En este estudio, la propuesta de indicador de confort térmico se hace de manera absoluta en relación con el tipo estudiado, dado que el estudio no abarca el parque de viviendas en su conjunto y por tanto no es posible establecer las condiciones globales de bienestar térmico del mismo.
9. En el estudio que aquí se presenta, se han evaluado las medidas más comúnmente empleadas en la rehabilitación energética de edificios, alineadas con las exigencias que plantea el Código Técnico de la Edificación. Sin embargo, se podrían desplegar más estrategias. En el caso de climas fríos sería posible además de mejorar la resistencia de la envolvente térmica tal y como se plantea en este estudio, la incorporación de dispositivos de captación solar para el calentamiento del aire o de la inercia térmica. En el caso de climas cálidos, además de las estrategias de sombreado, se podrían incorporar estrategias de ventilación y disipación del calor durante las horas de la noche.

10. **En un escenario de crisis ambiental es necesario ampliar el análisis sobre los impactos ambientales de la rehabilitación de las viviendas para tratar de reducirlos a lo largo de cada una de las fases de la edificación.** En ese sentido, y teniendo en cuenta los diversos impactos ambientales que se producen a diversas escalas, la certificación no sólo debería cuantificar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el uso del edificio, sino incluir el coste ambiental en energía y materiales de las soluciones constructivas que se quieren utilizar en la rehabilitación del parque de viviendas en España.
11. Desde un punto de vista extractivo, **en España hay disponibilidad de materiales aislantes de bajo impacto para la rehabilitación energética de la envolvente tales como la lana de roca y el corcho. Sin embargo, el volumen necesario para abordar la rehabilitación del conjunto del parque de viviendas requiere un estudio pormenorizado sobre la transformación y puesta en marcha de una industria capaz de abastecer de estas soluciones.** Por otro lado, nuestro país no dispone de recursos minerales para la producción de otro tipo de materiales que se utilizan habitualmente en la construcción como, por ejemplo, el aluminio. Sin embargo, la puesta en marcha de industrias para el reciclaje de este, o del PVC, el EPS, ... puede ser una oportunidad para la transformación e innovación en el sector.
12. El análisis multifactorial de la intervención en el edificio en los tres climas seleccionados permite cuantificar no sólo los indicadores de consumo de energía total de energía primaria no renovable y de emisiones de gases de efecto invernadero asociados al uso del edificio, sino también los impactos asociados a la rehabilitación con diferentes soluciones y estrategias. **En ese sentido, se comprueba que, en los tres climas, el periodo de retorno de la inversión en términos de estos dos indicadores es similar y se produce en los dos primeros años. Esto significa que la reducción de energía primaria no renovable y de emisiones de gases contaminantes que se consigue es muy superior a las cantidades que se requieren en estos dos indicadores para la fabricación de materiales y equipos que permiten la rehabilitación.**
13. Los materiales que mejoran la capacidad aislante de la envolvente tienen diferentes impactos ambientales y costes monetarios. **En general los materiales con menores costes ambientales tienen periodos de amortización más largos que el conjunto de soluciones habituales ya que suelen ser más caros, siempre que las prestaciones sean equivalentes.** Las soluciones de los edificios situados en climas fríos tienen periodos de amortización monetaria, de energía y emisiones más cortos que los edificios en climas más templados.

14. **En los tres climas estudiados, la demanda de calefacción sigue teniendo más peso en la cuantificación que la de refrigeración y, por tanto, las estrategias para reducir el consumo y las emisiones se centran sobre todo en ese periodo del año. Teniendo en cuenta las previsiones, sería interesante analizar el impacto que pueden tener los efectos del cambio climático en la demanda y consumo energéticos de los edificios en las próximas décadas ya que puede modificarse esta distribución y ser necesarias otras soluciones en los edificios para las que habría hacer una evaluación integral.**
  
15. **El análisis de ciclo de vida de los materiales y equipos utilizados en la rehabilitación ambiental permite la cuantificación de otros impactos relacionados con la capacidad de carga y los límites que permiten la vida en el planeta.** En próximas revisiones de los certificados energéticos de los edificios sería deseable incorporar estos indicadores, al menos aquellos relacionados con la energía necesaria para la construcción y deconstrucción del edificio que se relaciona con los materiales y las soluciones constructivas. Esta información es especialmente importante cuando se trata de abordar **la rehabilitación a gran escala**, ya que esto requiere de soluciones y materiales disponibles y asequibles, y que garantice el menor impacto ambiental posible dentro de un sistema productivo que cierre en la medida de lo posible los ciclos de los sistemas en los que se enmarca

# 1 Introducción y objetivos

## 1.1 Introducción

Según la última actualización de los indicadores de pobreza energética del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, correspondiente al año 2021, casi una de cada diez personas en España sufre pobreza energética escondida (9,3% de los hogares), es decir, su gasto energético no es suficiente para cubrir sus necesidades básicas. Pese a esta realidad a la que se enfrenta diariamente un número importante de hogares españoles, el certificado de eficiencia energética, la única herramienta de que disponemos a día de hoy para conocer la calidad de las viviendas en relación con la prestación de condiciones de confort interior, no tiene en cuenta esta situación, ya que asume que todo hogar puede consumir la energía que se indica en el certificado para alcanzar las condiciones de confort térmico interior según la calificación obtenida. Se puede dar la situación de que viviendo en una vivienda de clase A, la más eficiente, si no dispones del dinero para poner en marcha las instalaciones de climatización, los habitantes pasen mucho frío o calor dentro de tu propia casa.

Como se describe más adelante el certificado de eficiencia energética llegó a España en 2007 con el fin de favorecer la promoción de edificios de alta eficiencia energética y las inversiones en ahorro de energía, dirigiéndose ese año para los edificios residenciales de nueva construcción y en 2013 para los edificios existentes. En el contexto de ese momento, la calificación energética ponía énfasis en la mejora de las instalaciones de calefacción y refrigeración de las viviendas frente a la mejora de la transmitancia, estanqueidad y protección solar de la envolvente térmica. Actualmente, las condiciones sociales, ambientales y económicas son muy diferentes y, teniendo en cuenta las políticas impulsadas desde la Comisión Europea para la transición energética de nuestra economía en los próximos años, cabe una reflexión sobre la mejora de las herramientas que nos permiten evaluar el comportamiento del parque edificado, especialmente el destinado a las viviendas ya que su rehabilitación es fundamental para alcanzar la descarbonización en los próximos años.

Según las bases de datos de Eurostat relacionadas con la energía disponible, suministro de energía y consumo final de energía per cápita, el sector residencial es responsable del 18% del consumo de energía final en España. Por ello, la rehabilitación energética de las viviendas no sólo es necesaria para la mejora la calidad de vida, en particular la de los hogares en situaciones de pobreza energética o riesgo de exclusión social.

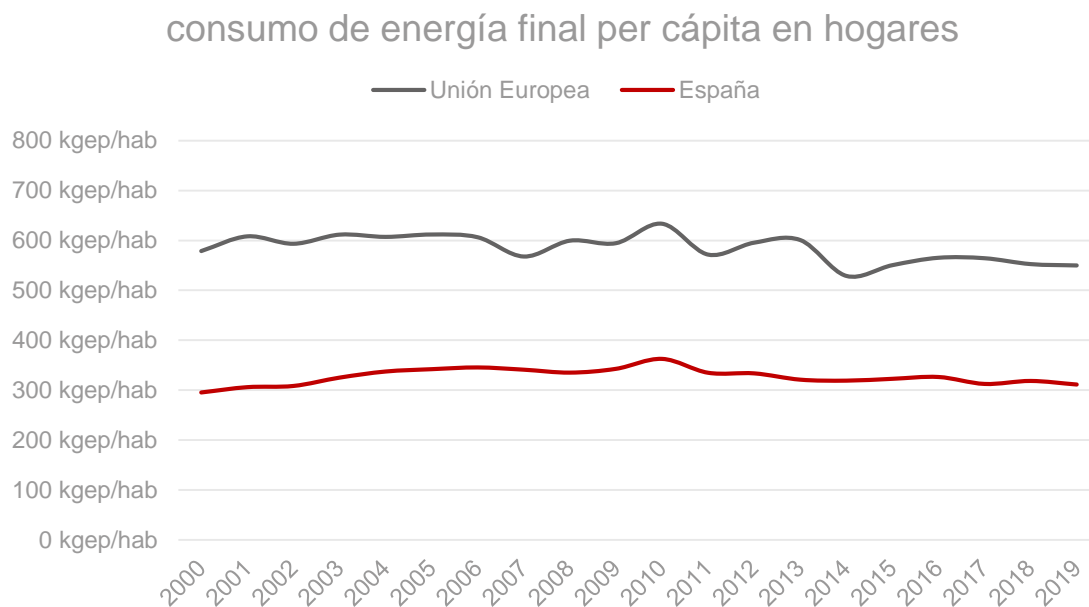
Considerando las fluctuaciones en el precio de la energía e incluso los cortes energéticos que se han dado en otros países de la Unión Europea<sup>1</sup>, la apuesta la reducción del consumo energético en el sector residencial debe ser clara. Pese a ello, la progresión de los consumos energéticos per cápita en los hogares europeos y españoles no se ha reducido apenas entre los años 2000 y 2019, de hecho, en España se ha dado un aumento de los mismos (Figura 1).

---

<sup>1</sup> Val, E. (04/12/2022). Francia se prepara para apagones de electricidad rotatorios en enero. La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/economia/20221204/8633254/francia-prepara-apagones-electricidad-rotatorios-enero.html>

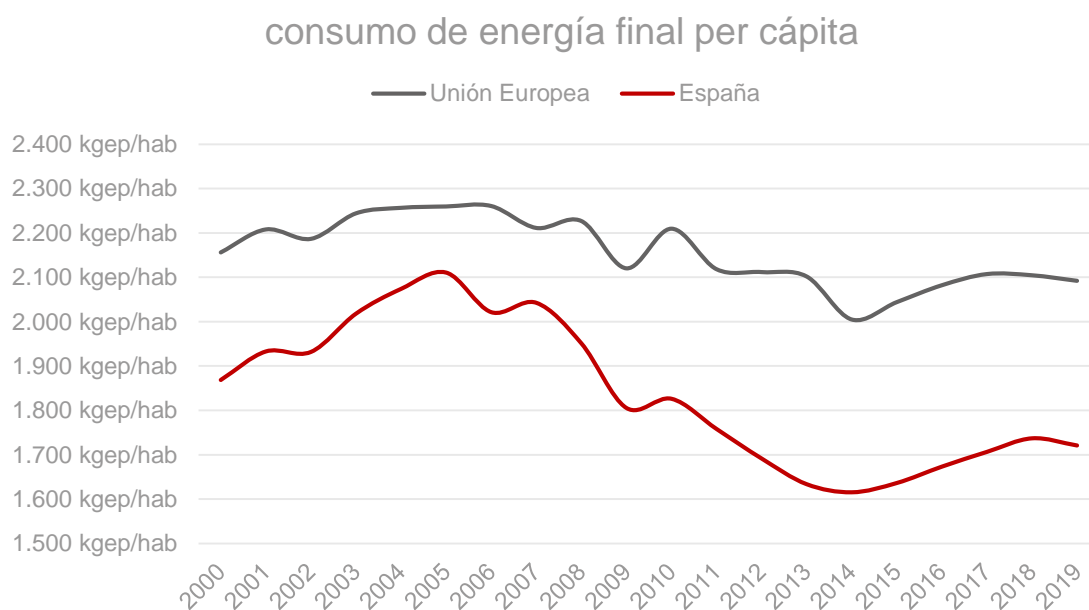


Figura 1 Consumo de energía final per cápita en hogares. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la Agencia Europea de Medio Ambiente.



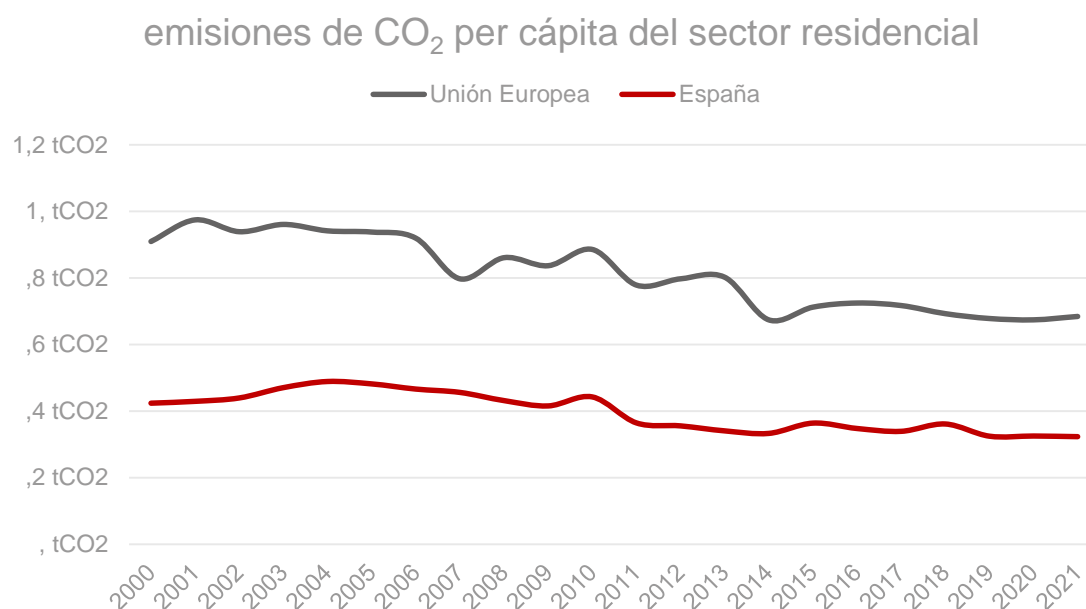
Esta excesiva tardanza a la hora de reducir los consumos energéticos en los hogares se hace más evidente aún al comparar la reducción del consumo de este sector con la del consumo de energía final per cápita total (Figura 2), en particular en el caso de España, donde se ha dado una reducción del consumo per cápita total del 7,9%, frente al **aumento** del 5,4% que se ha dado en el caso de los hogares.

Figura 2 Consumo de energía final per cápita total. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la Agencia Europea de Medio Ambiente.



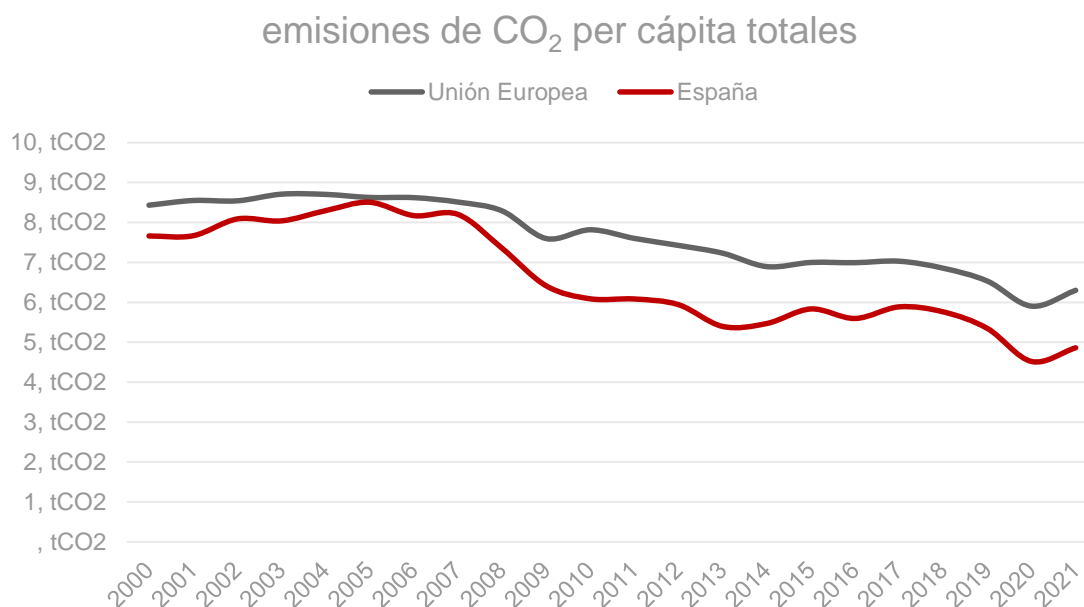
La relevancia de la rehabilitación de viviendas en cuanto a aspectos ambientales no se limita a los consumos energéticos, sino que también repercute enormemente en nuestras emisiones de CO<sub>2</sub>. Según los datos de la Agencia Europea del Medio Ambiente, en España el 6,6% de las emisiones de CO<sub>2</sub> se producen al calentar, enfriar o iluminar nuestras viviendas, siendo estas emisiones per cápita mayores a las que se dan en, por ejemplo, los edificios comerciales (Camarasa et al, 2022). Pese a ello, las reducciones de emisiones en nuestros edificios residenciales se están dando a un ritmo excesivamente lento si pretende alcanzarse la descarbonización del parque inmobiliario para 2050, como plantean la comunicación de la Comisión Europea “Oleada de renovación para Europa: ecologizar nuestros edificios, crear empleo y mejorar vidas” y la actual propuesta de directiva del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética de los edificios (Figura 3).

*Figura 3 Emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita del sector residencial. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la Agencia Europea de Medio Ambiente.*



Nos encontramos, de nuevo, con que el ritmo de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en el caso de la edificación residencial está siendo más lento que el que se está dando en el conjunto de los sectores en España. Mientras que entre los años 2000 y 2021 las emisiones per cápita de todos los sectores se redujeron en un 36,6% en España, las emisiones del sector residencial solo se han reducido en un 23,7%, quedando lejos de esa reducción del 100% esperada para 2050.

Figura 4 Emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita totales. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la Agencia Europea de Medio Ambiente.



En el caso de estas emisiones, debemos tener en cuenta que solo se contabilizan en este ámbito las emisiones operativas, aquellas asociadas al consumo de energía de las instalaciones técnicas de un edificio durante el uso y el funcionamiento de este, pero dejamos de lado las emisiones que se dan en el resto de etapas de la vida de un edificio.

En un escenario de crisis ambiental como el que describe la Figura 5, en el que es necesario ampliar el análisis sobre la edificación para tratar de reducir su impacto, no sólo hay que medir las emisiones de CO<sub>2</sub> en el uso del edificio tras la rehabilitación, sino tener también en cuenta el coste ambiental de la energía y los materiales de las soluciones constructivas que se quieren utilizar para alcanzar una menor demanda. El proceso edificatorio se inicia con la extracción de los materiales, su posterior transformación, traslado y puesta en obra y la demolición y/o recuperación. En cada fase son necesarios recursos materiales y energéticos que, desde la lógica ambiental, deben minimizarse. La forma más extendida de evaluar el impacto ambiental es la aplicación de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

Hasta hace algunos años, la evaluación del impacto ambiental se centraba en la parte energética, cuantificando sólo los ahorros que alcanzaba o podía alcanzar la intervención durante el uso de este (la llamada fase operacional). Sin embargo, cada vez se impone más este análisis global, en el que se evalúen los impactos asociados al uso de materiales y sistemas constructivos. Algunos estudios señalan que pueden suponer hasta el 40% de los impactos ambientales asociados a la edificación (Vilches et al., 2017), más aún cuando la demanda energética y el consumo se han reducido de manera significativa gracias a normativas cada vez más exigentes. Hay varios estudios que abordan la aplicación de la metodología del ACV a edificios existentes, que señalan la fiabilidad y comparabilidad de los resultados obtenidos como las principales limitaciones de los métodos de identificación del inventario de impactos ambientales (Thibodeau et al., 2019; Vilches et al., 2017). En ese sentido, las principales causas se asocian a la falta de bases de datos de materiales y

productos y estadísticas y a la definición de los límites del sistema que se quiere analizar. En el contexto español también existen algunas investigaciones que abordan esta cuestión (Assiego De Larriva et al., 2014; Gómez Muñoz, 2014; Pombo Rodilla, 2016), orientándose especialmente a la rehabilitación de viviendas y las posibilidades de reducción de impactos ambientales en función del tipo de actuación que se realice.

En general, este tipo de investigaciones, tratan de evaluar si la inversión en energía y materiales necesarios durante la rehabilitación compensa el ahorro energético y la reducción de impactos asociados en la fase de uso del edificio, pero siempre desde una perspectiva general, no centrada en la escala de las soluciones constructivas y de los materiales e impactos asociados a cada una de ellas.

Otra cuestión que no suele considerarse de forma directa es la relación del sector de la construcción con los procesos extractivos en el territorio. **Uno de los principios de la transformación social a un modelo menos insostenible es el uso de materiales y productos locales en tanto reducen las emisiones por el transporte y generan procesos sociales que transforman la economía próxima, abriendo la posibilidad de generar empleo denominado verde.** Así queda reflejado en el denominado Pacto Verde Europeo o Green Deal (Comisión Europea, 2019).

*En el proceso de transición ecológica y de cambio del paradigma económico mundial en el que nos encontramos es necesaria una revisión en profundidad de todas las actividades económicas y, en particular, las relacionadas con la extracción de los recursos minerales disponibles en el planeta, para garantizar su sostenibilidad social, medioambiental y económica, a la vez que se promueve un grado suficiente de autonomía estratégica que no haga depender de terceras partes la producción industrial europea y ponga en peligro los objetivos determinados en el Pacto Verde Europeo (Comisión Europea, 2019).*

En España, la Hoja de Ruta para la Gestión Sostenible de las Materias Primas Minerales (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022) señala que la situación de estas materias primas fundamentales está en un momento crucial, ya que convergen factores de suministro y demanda, así como el embrionario desarrollo de las tecnologías de economía circular. Esta hoja de ruta se integra dentro de la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050 (ELP 2050) aprobada en noviembre de 2020 por el Consejo de ministros como parte de los compromisos de España con el Acuerdo de París y como Estado miembro de la Unión Europea, marcando la senda para lograr la neutralidad climática en 2050.

La ELP 2050 señala que la Industria tendrá un papel central en esta transición, con una apuesta por el empleo de materias primas alternativas y fomentando la economía circular, con especial atención a alcanzar niveles elevados de reciclaje no solo de aquellos materiales utilizados en las tecnologías de descarbonización, sino también de materiales más comunes en la fabricación y en la construcción en España.

Asimismo, el mencionado Plan Nacional Integrado Energía y Clima 2021-2030 y los objetivos establecidos en la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición

energética configuran el nuevo marco estratégico y normativo para la transición ecológica, en la que necesariamente se tiene que integrar la industria de la construcción.

Esta industria es fuertemente dependiente de las materias primas minerales y tal y como se establece en la Hoja de Ruta, estas industrias extractivas e industriales deberán transformarse de acuerdo con una estrategia de país basada en la sostenibilidad ambiental, social y económica, en las técnicas más innovadoras y eficientes para reducir tanto gases de efecto invernadero como la dependencia de las importaciones.

Según datos de Eurostat recogidos en esta Hoja de Ruta, en 2020, cada ciudadano europeo consumió el equivalente a 13,5 toneladas per cápita de materias primas, de las cuales algo más de 0,7 toneladas correspondieron a metales y 7,1 a materias primas minerales no metálicas. La OCDE prevé que, pese a una mayor eficiencia en el uso de los recursos, incluyendo la economía circular, el uso de materias primas minerales se duplicará en 2060 (+110%). En el caso de los metales, las previsiones apuntan a un incremento del +150%, pasando de 8.000 a 20.000 millones de toneladas en 2060. La industria de los materiales<sup>2</sup> de la construcción es dependiente de la industria de las Materias Primas Minerales y, en el caso de España, aunque es autosuficiente para abastecer esta demanda sigue teniendo importantes impactos ambientales tanto en el proceso extractivo como en su transformación, fuertemente dependiente de combustibles fósiles (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022).

**Por tanto, ya no se trata únicamente de que las soluciones constructivas de la envolvente térmica en edificios nuevos y existentes garanticen condiciones de reducción de la demanda y el consumo energético, sino que, en todo el proceso de su conformación, deben estar integrados en estos principios, incluyendo su demolición final, reciclaje y valoración, en la lógica de la llamada economía circular<sup>3</sup>.** Todas estas cuestiones dependen de la capacidad del territorio de abastecer de materias primas y de la industria de transformarlas con unos impactos ambientales admisibles y de la economía para valorizar los residuos que se generan en el proceso convirtiéndolos en recursos en ese mismo sector o en otro<sup>4</sup>.

Las soluciones constructivas que se deriven de este modelo deben ser capaces de atender las demandas del sector de la construcción. Según los últimos datos de visado de proyectos de arquitectura facilitados desde el Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España (CSCAE) la superficie construida visada el pasado año 2022 fue de 33.330.736 m<sup>2</sup>, ligeramente inferior a la de 2021 (CSCAE, 2023). El número de viviendas visadas para su rehabilitación en 2022 fue de 34.525, un valor por encima de años anteriores, lo que confirma la tendencia creciente de este tipo de obras, con una superficie de intervención de 4.132.844 m<sup>2</sup> al año.

---

<sup>2</sup> Se incluyen dentro de materiales de construcción áridos, cales, cemento, cerámica, ladrillos y teja, rocas ornamentales, yesos, etc.

<sup>3</sup> En realidad, cuando hablamos de procesos basadas en las dinámicas naturales, no se trataría de buscar la circularidad que no es posible ya que cualquier actividad requiere degradación energética, sino procesos que imiten los ciclos de los ecosistemas en los que se optimiza el uso de los recursos y, por ejemplo, los residuos de unos procesos se convierten en recursos para otros, estableciéndose equilibrios dinámicos en los diferentes ecosistemas (Vázquez Espí, 2023)

<sup>4</sup> La Estrategia Española de Economía Circular, «España Circular 2030», plantea para el año 2030 la reducción en un 30% del consumo nacional de materiales en relación con el PIB, reducir la generación de residuos un 15% o incrementar la reutilización hasta llegar al 10% de los residuos municipales. En 2018, los residuos de construcción y demolición suponían la mayor fuente de residuos en Europa, constituyendo un 36%.

En el caso de obra nueva, se visaron 105.686 nuevas viviendas, con una superficie de 18.559.340 m<sup>2</sup>. La superficie construida de edificios no residenciales de obra nueva fue de aproximadamente 6.648.548 m<sup>2</sup>, lo que manifiesta la preminencia que sigue teniendo la construcción o rehabilitación de viviendas en el sector.

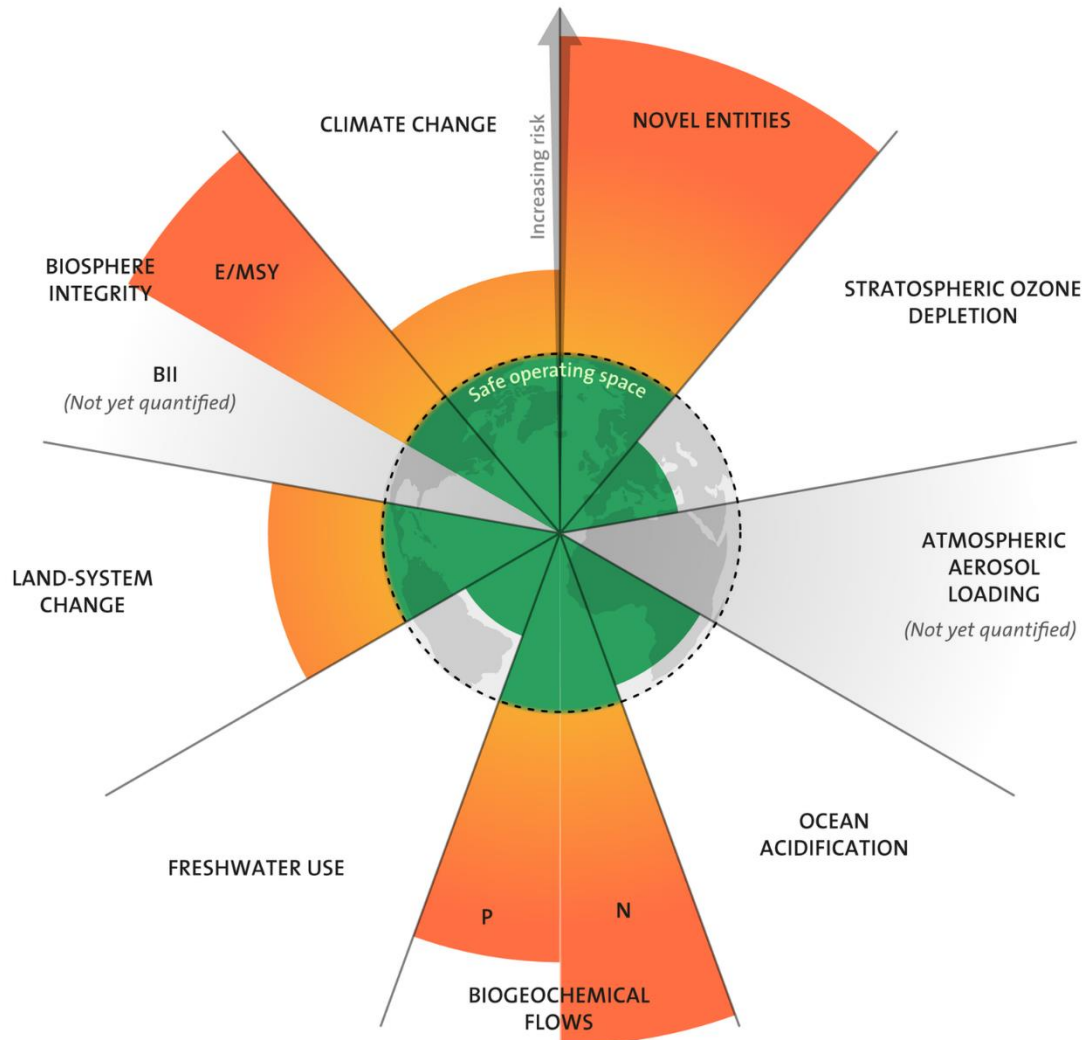
**Sin duda, el impacto ambiental a corto, medio y largo de toda esta superficie que se construirá o rehabilitará en los próximos meses puede ser mayor o menor en función de los sistemas constructivos que configuran la solución arquitectónica, su adaptación a las condiciones climáticas y ambientales locales y la elección de materiales, en la medida de lo posible, de extracción o transformación próximos al lugar de construcción.**

Una de las cuestiones que se plantean poner de manifiesto en este estudio es si se puede reducir el coste ambiental asociado a estas intervenciones en los edificios existentes, más allá de limitar el consumo de recursos energéticos necesarios para garantizar el bienestar interior cuando así lo requieran las condiciones climáticas. Esta cuestión se plantea en el marco de una reflexión sobre el contenido actual de los certificados energéticos en relación con la obtención de habitabilidad sin necesidad de consumo de energías contaminantes y con el menor impacto ambiental posible, con el objetivo de definir políticas públicas ambiciosas dirigidas a paliar la crisis ambiental en la que nos encontramos. **En ese sentido, en el marco de este trabajo, se propone evaluar con esta lógica ambiental tanto la mejora de la capacidad aislante de la envolvente como la sustitución del sistema de climatización por uno más eficiente.**

Para hacerlo es preciso comprender la lógica del sector de la producción de materiales de construcción a nivel internacional y nacional, especialmente los destinados a la rehabilitación. De esta manera se podrán localizar los impactos ambientales y cuantificarlos en relación con las prestaciones obtenidas al implementarlos en los edificios para mejorar sus condiciones de habitabilidad.

Para tener una imagen global sobre el impacto de estos aspectos en la rehabilitación energética de manera que sea posible orientar las políticas públicas hacia una gestión más sostenible de los materiales, se analizan cuestiones como el panorama de los materiales más habituales en la rehabilitación energética de edificios en España y los recursos geológicos implicados, así como los impactos ambientales en la fase de producción y transporte de estos materiales a la obra, aplicando los datos obtenidos al estudio de caso seleccionado en el informe.

Figura 5. Estado de los nueve límites ambientales planetarios que garantizan la vida humana. Fuente: Stockholm Resilience Centre, a partir del análisis en Persson et al 2022 y Steffen et al 2015.





## 1.2 Objetivo

El presente informe se redacta con motivo de la oportunidad que suponen las necesarias modificaciones estratégicas y normativas que deberán darse tras la aprobación de la revisión de la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios, como una de las últimas piezas del paquete «objetivo 55» para, como plantea la propia propuesta de revisión, se alcance en 2050 un parque edificado completamente descarbonizado en Europa.

En este informe se reflexiona sobre el enfoque de las políticas europeas actuales relativas a la eficiencia energética de edificios y su materialización en los certificados de eficiencia energética. Actualmente es relevante revisar estas políticas teniendo en cuenta el escenario de crisis ambiental y de limitación de acceso a determinadas energías y recursos materiales en el que nos encontramos y que, por otro lado, deben ser suficientes, accesibles y asequibles para proporcionar condiciones habitables al conjunto de los ciudadanos y ciudadanas.

Este informe pretende comparar diferentes medidas de intervención sobre el parque de viviendas para la mejora de la eficiencia y el ahorro energéticos, y la obtención de condiciones de confort desde una posición positiva y propositiva que amplíe el enfoque habitual sobre estas cuestiones a otros aspectos como la habitabilidad de bajo impacto ambiental o la extracción y producción de materiales constructivos. De esta manera se quiere ofrecer una visión más amplia, de acuerdo con la realidad compleja a la que nos enfrentamos cuando se aborda la rehabilitación de los edificios residenciales en España.

## 1.3 Metodología empleada

Este informe se compone de **tres apartados** en los que se analiza desde distintas perspectivas la intervención en el parque de viviendas:

- El primer apartado hace una **revisión de las directivas europeas en materia de eficiencia energética de edificios**. Se ha analizado el grado en el que estos documentos recogen unas áreas conceptuales (con respectivos listados de palabras clave) que se consideran fundamentales para comprender el enfoque y la finalidad de estos documentos.
- En un segundo apartado, a partir la selección de una tipología de bloque de viviendas como caso de estudio, se analiza **la mejora de la calificación energética de la rehabilitación energética mediante estrategias pasivas y activas**, a la vez que se cuantifica el impacto que estas mejoras tienen sobre el **bienestar térmico** de las viviendas.
- En un tercer apartado se analizan estas **mejoras pasivas y activas planteadas mediante la rehabilitación energética** desde una **perspectiva más global cuantificando algunos indicadores impactos ambientales y de uso de recursos** y se reflexiona sobre la disponibilidad estos recursos en relación con la utilización de los materiales y sistemas constructivos habitualmente empleados en la rehabilitación energética de viviendas en España.



## 2 Revisión de normativas y directivas existentes sobre eficiencia energética en los edificios y su impacto en el confort de las personas

Con el objetivo de identificar cuál es el marco normativo europeo con vinculaciones sobre la eficiencia energética y las necesidades de las personas que habitan las viviendas se ha realizado un análisis de documentos legislativos de la Unión Europea para identificar los conceptos vinculados con la energía, el confort, la habitabilidad, la vulnerabilidad y la eficiencia energéticas que se tienen en cuenta y las interacciones que se producen entre ellos. Los documentos analizados son los siguientes<sup>5</sup>:

- [A] Reglamento (UE) 2021/1056 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de junio de 2021, por el que se establece el Fondo de Transición Justa
- [B] Reglamento (UE) 2021/1119 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de junio de 2021, por el que se establece el marco para lograr la neutralidad climática.
- [C] Reglamento (UE) 2022/1854 del Consejo de 6 de octubre de 2022 relativo a una intervención de emergencia para hacer frente a los elevados precios de la energía
- [D] Reglamento (UE) 2022/1369 del Consejo de 5 de agosto de 2022 sobre medidas coordinadas para la reducción de la demanda de gas
- [E] Reglamento (UE) 2023/955 del Parlamento Europeo y del Consejo de 10 de mayo de 2023 por el que se establece un Fondo Social para el Clima
- [F] Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética (modificada)
- [G] Directiva (UE) 2018/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética (en vigor)
- [H] Directiva (UE) 2023/XX<sup>6</sup> Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética de los edificios (en proceso de aprobación)

La selección de los documentos ha seguido los siguientes dos criterios:

- Reglamentos y directivas de los últimos tres años con implicaciones en energía, reducción de emisiones, justicia social y cambio climático.
- Evolución histórica de las directivas vinculadas con la eficiencia energética escogiendo el documento en vigor, el inmediatamente anterior (actualmente no en vigor) y el documento actualmente en redacción (los documentos [F], [G], y [H] del listado anterior).

Para acometer el análisis se ha identificado si en cada uno de los documentos se tratan de manera directa las áreas de incidencia denominadas “energía y materiales”, “impacto social”, “condiciones interiores”, “arquitectura” y “cambio climático”. Para ello, se ha analizado la presencia de determinados conceptos clave vinculados con cada uno de estos aspectos o áreas de incidencia. Los conceptos que se han considerado de especial interés se agrupan, en las cinco grandes áreas de incidencia que se pueden ver en la Tabla 1.

<sup>5</sup> En las tablas de este apartado en las que se analiza la legislación se hará referencia a estos documentos legislativos por la letra con la que están numerados en este listado ([A], [B], [C], ...).

<sup>6</sup> Se ha optado por la nomenclatura “2023/XX”, no oficial, por carecer aún de la definitiva ya que dicha directiva está en fase de aprobación, pero emulando el formato de denominación que suelen seguir este tipo de documentos.

Tabla 1: Áreas de análisis cuya presencia se ha evaluado en la legislación analizada y conceptos (o palabras clave) que se han buscado. Fuente: Elaboración propia.

<b>ENERGÍA Y MATERIALES</b>	emisión(es)
	Consumo (energético)
	Demanda (de energía)
	Ahorro (energético)
	Eficiencia energética
	Energía (incorporada)
	Recursos (materiales)
<b>IMPACTO SOCIAL</b>	Pobreza energética
	Vulnerable(s)
	Vulnerabilidad
	Pobreza
	Exclusión
<b>CONDICIONES INTERIORES</b>	Confort (térmico)
	Temperatura (en el interior)
	Habitabilidad
	Grados-día
	Horas (en confort)
	Bienestar térmico
<b>ARQUITECTURA</b>	Edificios / edificación
	Residencial / vivienda / hogar
	Certificado / certificación energética
<b>CAMBIO CLIMÁTICO</b>	Vulnerabilidad (a cambio climático)
	Temperatura (vinculado con cambio climático)

En las siguientes tablas se puede conocer cuántas menciones a cada uno de estos conceptos clave aparecen en cada uno de los documentos. **En términos generales, se puede observar que los conceptos relacionados con energía y materiales** (emisiones, consumo, ahorro y eficiencia energética) **son, de manera destacada, los que tienen una mayor presencia**. Debido a la selección de la muestra, hay numerosas menciones a cuestiones arquitectónicas. En siguiente grupo más importante es aquel que se refiere al **impacto social** (vulnerabilidad y pobreza energética).

Tabla 2. Resumen de número de menciones a conceptos vinculados con el área de incidencia “Energía y materiales”. Fuente: Elaboración propia a partir de la consulta de las fuentes documentales

	Emisión(es)	Consumo (energético)	Demanda (de energía)	Ahorro (energético)	Eficiencia energética	Energía (incorporada)	Recursos (materiales)	ENERGÍA Y MATERIALES
	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº	
<b>[A]</b>	22	1	-	-	9	-	1	<b>33</b>
<b>[B]</b>	60	1	-	-	9	-	2	<b>72</b>
<b>[C]</b>	1	51	39	1	8	-	-	<b>100</b>
<b>[D]</b>	-	24	74	1	1	-	-	<b>100</b>
<b>[E]</b>	114	4	-	5	26	-	4	<b>153</b>
<b>[F]</b>	12	97	35	83	105	-	-	<b>332</b>
<b>[G]</b>	12	87	4	169	104	-	1	<b>377</b>
<b>[H]</b>	104	68	8	20	200	-	1	<b>401</b>
<b>TOTAL</b>	<b>325</b>	<b>333</b>	<b>160</b>	<b>279</b>	<b>462</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>1568</b>

En el primer grupo, consumo y eficiencia energéticas están presentes en todos los documentos analizados. Estos dos conceptos, junto con emisiones son los que tienen una presencia mayor en relación con la energía y los materiales. El concepto de demanda tiene menos presencia en los documentos. La energía incorporada y los recursos materiales son los que menos veces aparecen.

En la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética se definen la mayoría de estos conceptos, dándoles de esta manera no sólo mayor relevancia sino permitiendo una visión más precisa.

Tabla 3. Resumen de número de menciones a conceptos vinculados con el área de incidencia “Impacto social”. Fuente: Elaboración propia a partir de la consulta de las fuentes documentales

	Pobreza energética	Vulnerable(s)	Vulnerabilidad	Pobreza	Exclusión	IMPACTO SOCIAL
	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº	
<b>[A]</b>	3	-	-	-	-	<b>3</b>
<b>[B]</b>	3	1	-	1	-	<b>5</b>
<b>[C]</b>	2	7	-	-	-	<b>9</b>
<b>[D]</b>	-	-	-	-	-	<b>0</b>
<b>[E]</b>	34	79	1	3	1	<b>118</b>
<b>[F]</b>	3	1	-	-	-	<b>4</b>
<b>[G]</b>	14	2	1	-	-	<b>17</b>
<b>[H]</b>	13	13	-	-	-	<b>26</b>
<b>TOTAL</b>	<b>72</b>	<b>103</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>182</b>

En el grupo de “impacto social” se puede percibir claramente que la mayoría de las menciones que se hacen se refieren a los conceptos de pobreza y vulnerabilidad energéticas. Los aspectos más generales (pobreza y exclusión) no reciben prácticamente más que menciones anecdóticas. En tres de los documentos (2023/955, 2018/2002, 2023/XX) hay glosarios en los que constan definiciones de “pobreza energética”, “vulnerabilidad” y “hogares vulnerables”.

Tabla 4. Resumen de número de menciones a conceptos vinculados con el área de incidencia “Condiciones interiores”. Fuente: Elaboración propia a partir de la consulta de las fuentes documentales

	Confort (térmico)	Temperatura (vinculado con espacios construidos)	Habitabilidad	Grados-día	Horas (en confort)	Bienestar térmico	CONDICIONES INTERIORES
	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº	
[A]	-	-	-	-	-	-	0
[B]	-	-	-	-	-	-	0
[C]	-	2	-	-	-	-	2
[D]	-	-	-	-	-	-	0
[E]	-	1	-	-	-	-	1
[F]	-	-	-	-	-	-	0
[G]	-	-	-	-	-	-	0
[H]	2	10	-	-	-	1	13
<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>16</b>

En el apartado de condiciones interiores hay que reseñar que los conceptos vinculados con la utilización de los inmuebles y su capacidad para proporcionar condiciones interiores adecuadas, tales como "confort", "habitabilidad", "grados-día" u "horas en confort" no se mencionan prácticamente en ningún documento (a excepción de dos menciones a "confort" y una a "bienestar" en la Directiva (UE) 2023/XX Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética de los edificios. También es destacable que la mayoría de las menciones al concepto de "temperatura" se refieren al incremento de esta por el cambio climático y no a la temperatura interior de los inmuebles.

Tabla 5. Resumen de número de menciones a conceptos vinculados con el área de incidencia “Arquitectura”.  
Fuente: Elaboración propia a partir de la consulta de las fuentes documentales

	Edificios / edificación	Residencial / vivienda / hogar	Certificado / certificación energética	ARQUITECTURA
	Nº	Nº	Nº	
[A]	2	6		8
[B]	2	2	-	4
[C]	-	15	-	15
[D]	-	2	-	2
[E]	93	3	0	96
[F]	81	4	4	89
[G]	49	3	-	52
[H]	200	93	97	390
<b>TOTAL</b>	<b>427</b>	<b>128</b>	<b>101</b>	<b>656</b>

Tabla 6: Resumen de número de menciones a conceptos vinculados con el área de incidencia “Cambio climático”.  
Fuente: Elaboración propia a partir de la consulta de las fuentes documentales

	Vulnerabilidad (a cambio climático)	Temperatura (vinculado con cambio climático)	CAMBIO CLIMÁTICO
	Nº	Nº	
[A]	2	1	3
[B]	10	6	16
[C]	-	-	0
[D]	-	-	0
[E]	-	3	3
[F]	-	-	0
[G]	-	2	2
[H]	-	2	2
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>26</b>

El análisis cuantitativo se ha realizado contabilizando las menciones a cada uno de los conceptos de las áreas de incidencia en los textos analizados. De manera complementaria, se han identificado, a nivel de contenido, cómo han sido tratadas dichas áreas de incidencia en cada uno de estos documentos para identificar si el foco del discurso se alineaba con el peso de las menciones.

En lo referente al “**Reglamento (UE) 2021/1056 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de junio de 2021, por el que se establece el Fondo de Transición Justa**” ([A]), el mayor hincapié en este documento se realiza en la energía y los materiales, especialmente en emisiones y en eficiencia energética. A pesar de que en el título tiene un enfoque sobre justicia (social) las menciones a vulnerabilidad o pobreza no son muy numerosas. Por otra parte, y teniendo en cuenta la ausencia de menciones al concepto “recursos materiales” en

otros documentos, es relevante que en éste se considere el uso de residuos reciclados para ser usados como materias primas como indicador de una transición justa. En relación con el contenido de este estudio, es remarcable que en este documento se haga mención específica a edificios y viviendas, así como a la mejora del rendimiento de estas últimas.

El documento **“Reglamento (UE) 2021/1119 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de junio de 2021, por el que se establece el marco para lograr la neutralidad climática” ([B])**, hace mayor hincapié en cuestiones relacionadas con las emisiones ya que es el objetivo principal y vinculante de este documento. Sin embargo, éstas no están únicamente relacionadas con la edificación, sino con todos los sectores económicos. Hay que resaltar que tiene en cuenta la necesidad de eliminar las subvenciones a la energía sin que perjudique a la lucha contra la pobreza energética y considera la neutralidad climática como elemento que contribuye en la erradicación de este problema. Sin embargo, no se refiere en ningún momento cuestiones de habitabilidad o confort interior.

En el **“Reglamento (UE) 2022/1854 del Consejo de 6 de octubre de 2022 relativo a una intervención de emergencia para hacer frente a los elevados precios de la energía” ([C])** el foco no está puesto en emisiones ya que sólo hay una mención, sino fundamentalmente en consumo y en la reducción de la demanda, no únicamente de los edificios, sino en términos globales y especialmente en horas punta. Las únicas menciones que hace a la elevada demanda de la edificación se realizan en referencia a la refrigeración debida al incremento de temperaturas en el verano de 2022. Para reducir el consumo no sólo habla de eficiencia sino de campañas de concienciación o limitación de consumos no esenciales, y ambas estrategias están poco vinculadas con los hogares vulnerables. A los hogares vulnerables y en pobreza energética se los tiene en cuenta porque se consideran los más afectados por la subida de los precios de la energía y, en esos casos, se permiten "precios regulados por debajo de coste" como ayuda.

El **“Reglamento (UE) 2022/1369 del Consejo de 5 de agosto de 2022 sobre medidas coordinadas para la reducción de la demanda de gas” ([D])** está muy poco enfocado a los temas abordados en este informe ya que la práctica totalidad de las referencias son relativas a consumo de gas a nivel nacional, incluyendo industria y producción de electricidad y no sólo uso doméstico y/o residencial. Se explicita la poca vinculación o el interés con el tema del presente informe ya que no presenta ninguna mención a hogares, vulnerables o no.

El enfoque del documento **“Reglamento (UE) 2023/955 del Parlamento Europeo y del Consejo de 10 de mayo de 2023 por el que se establece un Fondo Social para el Clima” ([E])** hace que haya especial peso de los temas vinculados con las emisiones y con la vulnerabilidad, siendo uno de los documentos más equilibrados de los analizados respecto al número de menciones. Por ejemplo, define pobreza energética (*"es una situación en la que los hogares no pueden acceder a servicios energéticos esenciales como la refrigeración, cuando suben las temperaturas, y la calefacción"*) y hogares vulnerables (*"hogares en situación de pobreza energética o los hogares, incluidos los de renta media-baja, que se vean significativamente afectados por el impacto en los precios de la inclusión de los edificios en el ámbito de aplicación de la Directiva 2003/87/CE y que carecen de medios para renovar el edificio que ocupan"*), explicita la necesidad de la renovación energética ya que *"aunque los bonos sociales o la ayuda directa a la renta pueden*

*proporcionar un alivio inmediato a los hogares que se encuentran en situación de pobreza energética, únicamente unas medidas estructurales específicas, en particular las renovaciones energéticas, pueden aportar soluciones duraderas")* así como la necesidad de que las ayudas específicas sean temporales y que acompañen "a la descarbonización de los sectores de la vivienda y el transporte", pero no las considera permanentes "ya que no aborda(n) las causas profundas de la pobreza energética y de transporte". Por último, además de hablar de pobreza energética doméstica incluye los costes del transporte en el análisis y define a los usuarios de transporte vulnerables *los usuarios del transporte, incluidos los hogares de renta media-baja, que se vean significativamente afectados por el impacto en los precios de la inclusión del transporte por carretera en el ámbito de aplicación de la Directiva 2003/87/CE y que carecen de medios para adquirir vehículos de emisión cero y de baja emisión o para cambiar a modos de transporte sostenibles alternativos, como el transporte público, en particular en zonas rurales y remotas*). En resumen, es uno de los documentos que trata de manera más transversal los temas de energía e inclusión.

La "**Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética**" ([F]) fue un documento directamente enfocado a la mejora de la eficiencia energética (se refleja claramente en el número de menciones al término). Incluye un glosario en el que, por ejemplo, define el ahorro energético (*"la cantidad de energía ahorrada, determinada mediante la medición y/o estimación del consumo antes y después de la aplicación de alguna medida de mejora de la eficiencia energética, teniendo en cuenta al mismo tiempo la normalización de las condiciones externas que influyen en el consumo de energía"*), eficiencia energética (*"la relación entre la producción de un rendimiento, servicio, bien o energía, y el gasto de energía"*) o mejora de la eficiencia energética (*"el aumento de la eficiencia energética como resultado de cambios tecnológicos, de comportamiento y/o económicos"*).

En la "**Directiva (UE) 2018/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética**" ([G]) se menciona la eficiencia energética como herramienta para luchar contra la pobreza energética, la dificultad que supone la rehabilitación de edificios habitados por hogares en situación de pobreza energética, se cuantifica el fenómeno en el documento, se hace referencia a la necesidad de los Estados de monitorizar *"las medidas adoptadas para aliviar la pobreza energética [...] en sus informes de situación integrados en materia de energía y clima"* y se considera imprescindible financiar las medidas de lucha contra la pobreza energética. En este sentido, esta normativa supuso un avance por incorporar de manera transversal las cuestiones vinculadas con energía e inclusión, pese a que las menciones a temas de habitabilidad y condiciones interiores son inexistentes.

Finalmente, la "**Directiva (UE) 2023/XX Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética de los edificios**." ([H]) es un documento actualmente en fase de aprobación que contiene algunas novedades sustanciales con respecto al documento anterior y a otros documentos de este análisis. Otros documentos habían prestado poca o ninguna atención a los recursos materiales y en este documento se hace una mención explícita a la necesidad de un *"uso eficiente y circular de los recursos"*, incorporando así no sólo cuestiones de mejora de la eficiencia o reducción de las emisiones sino de uso responsable de los recursos materiales. Incluye, además, valores para realizar un indicador de pobreza energética, lo que supone un paso más que la mera definición del



fenómeno, e incluye la definición de hogares vulnerables ("*hogares en situación de pobreza energética u hogares, incluidos los de renta media-baja, que están particularmente expuestos a los costes elevados de la energía y carecen de los medios para renovar el edificio que ocupan*"). De esta definición hay que reseñar que incorpora la incapacidad de renovación de los edificios ocupados por parte de estos hogares, y esto supone poner el foco en la necesidad de incorporar instrumentos para paliar esa dificultad desde los entes públicos. Es también importante, en comparación con documentos anteriores, que se comiencen a realizar menciones a términos como "confort", "bienestar", a la temperatura interior de los inmuebles o al comportamiento térmico del edificio. Finalmente hay que reseñar que incorpora las directrices sobre el próximo certificado energético que se comentarán en un apartado posterior del presente informe.

### 3 Mejora del parque de viviendas a través de los certificados energéticos

Uno de los objetivos de este informe es la reflexión sobre el impacto que puede tener sobre los edificios y las personas que los habitan, las distintas normativas y directivas que promueven una mayor eficiencia energética de las viviendas a través de la mejora de la calificación energética de los edificios.

En este apartado se recoge un resumen del desarrollo a lo largo de los últimos años de los procedimientos de certificación energética de edificios y **se hace una estimación s de los posibles impactos que tiene sobre el bienestar térmico y el consumo energético la mejora de la calificación energética de viviendas en un caso de estudio en tres climas diferentes en España.**

#### 3.1 Sobre los certificados energéticos de las viviendas

La certificación energética de edificios se estableció por primera vez en la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2003. Esta directiva recogía la obligación de poner a disposición de los compradores o usuarios de los edificios un certificado de eficiencia energética. Este certificado debía incluir *información objetiva sobre las características energéticas de los edificios de forma que se pueda valorar y comparar su eficiencia energética, con el fin de favorecer la promoción de edificios de alta eficiencia energética y las inversiones en ahorro de energía.* Esta directiva se traspuso en España a través del Real Decreto 47/2007, de 19 de enero de 2007, mediante el que se aprobó un procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción. Con esta primera versión de los certificados de eficiencia energética, se establecía una etiqueta de eficiencia energética de los edificios.

Años más tarde, la publicación de la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios, como refundición de la Directiva 2002/91/CE, hace que sea necesaria la aprobación del Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios y que refunde el Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, con la incorporación del procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios existentes. A partir del 1 de junio de 2013 se hizo obligatoria la puesta a disposición de los compradores o arrendatarios del certificado de eficiencia energética de la totalidad o parte de un edificio, según corresponda, y se hizo exigible para los contratos de compraventa o arrendamiento celebrados a partir de dicha fecha.

Recientemente, el Real Decreto 390/2021 de 1 de junio (*Real Decreto 390/2021, de 1 de Junio, Por El Que Se Aprueba El Procedimiento Básico Para La Certificación de La Eficiencia Energética de Los Edificios*, 2021), aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios y que traspone la Directiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética.

Entre los cambios más importantes que incorpora se encuentran la modificación de las bases de datos para el registro de los certificados de eficiencia energética, que permitirán la recopilación de datos sobre consumo de energía medido o calculado de los edificios, así como la vinculación de incentivos financieros para la mejora de la eficiencia energética al ahorro de energía previsto o logrado. En el momento de redacción de este informe, casi todas las Comunidades Autónomas han remitido sus registros de certificados de eficiencia energética a la Subdirección General de Eficiencia Energética del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y se encuentran disponibles en <https://datos.gob.es/es/>.

El certificado de eficiencia energética de edificios contiene una serie de indicadores que componen la calificación energética de edificios. Estos indicadores se definen en base anual y referidos a la unidad de superficie útil del edificio y se obtienen a partir del cálculo de la energía consumida por el edificio para proveer de unas condiciones de habitabilidad térmica y de calidad de aire interior en un determinado clima, definidas bajo unas condiciones de funcionamiento y ocupación establecidas para el edificio de estudio. Los indicadores denominados como principales o globales son:

- El **consumo de energía primaria no renovable** expresada en kWh/m<sup>2</sup>·año y que se define como *la parte no renovable de la energía primaria que es necesario suministrar a los sistemas. Se determina teniendo en cuenta el valor del coeficiente de paso del componente no renovable de cada vector energético.*

*A su vez, la energía primaria es la energía suministrada al edificio procedente de fuentes renovables y no renovables, que no ha sufrido ningún proceso previo de conversión o transformación. Es la energía contenida en los combustibles y otras fuentes de energía e incluye la energía necesaria para generar la energía final consumida, incluyendo las pérdidas por su transporte hasta el edificio, almacenamiento, etc.*

La energía primaria (total) puede descomponerse en energía primaria procedente de fuentes renovables, o energía primaria renovable, y en energía primaria procedente de fuentes no renovables, o energía primaria no renovable, de acuerdo con la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. De forma simplificada, la relación entre energía final y primaria se puede expresar con un coeficiente de paso, que refleja, para una zona geográfica determinada, el efecto de las pérdidas en transformación y transporte en cada una de las partes de la energía primaria (renovable y no renovable) de cada vector energético.

- Las **emisiones anuales de CO<sub>2</sub>** expresadas como kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·año

Junto a los indicadores principales también se incluyen la **demanda de calefacción y de refrigeración** expresadas ambas en kWh/m<sup>2</sup>·año y que representan la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

El procedimiento de cálculo de estos certificados se realiza mediante herramientas aprobadas oficialmente por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

(MITECO), como son la Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC) o los procedimientos simplificados CE3, CE3X o CERMA<sup>7</sup>.

Por último, cabe destacar la Directiva relativa a la eficiencia energética actualmente en fase de revisión y que introduce el pasaporte de renovación, de carácter voluntario pero que puede tener un gran impacto en las decisiones o en el tipo de intervenciones que se acometen en los edificios. En estos pasaportes, de nuevo, los indicadores que guiarán la mejora de los edificios se centran en la reducción de consumos energéticos y facturas, así como en la reducción de emisiones, aunque cita *beneficios de mayor alcance relacionados con la salud y el confort* para los cuales no existen guías específicas para los técnicos que quieran llevarlos a cabo.

Esta directiva también **redefine los elementos que componen el certificado energético en los que se amplía el detalle de los indicadores ya existentes relativos a la energía empleada y las emisiones. También establece que el certificado podrá incluir otros indicadores entre los que cabría destacar un mayor detalle sobre los valores de resistencia térmica de la envolvente.**

## 3.2 Caso de estudio

Como se ha indicado previamente en el apartado sobre la metodología, se quiere estimar el impacto de la rehabilitación energética en la calificación energética y en el bienestar térmico de la implementación de medidas pasivas y activas en un edificio, considerado como caso de estudio. Para ello se ha escogido un tipo edificatorio habitual en numerosas periferias de las ciudades españolas y su comportamiento energético ha sido evaluado en tres climas. De esta manera se quieren comparar diferentes situaciones de la relación entre edificio, clima y confort.

### 3.2.1 SELECCIÓN DE CLIMAS PARA EL ESTUDIO DE LOS CASOS

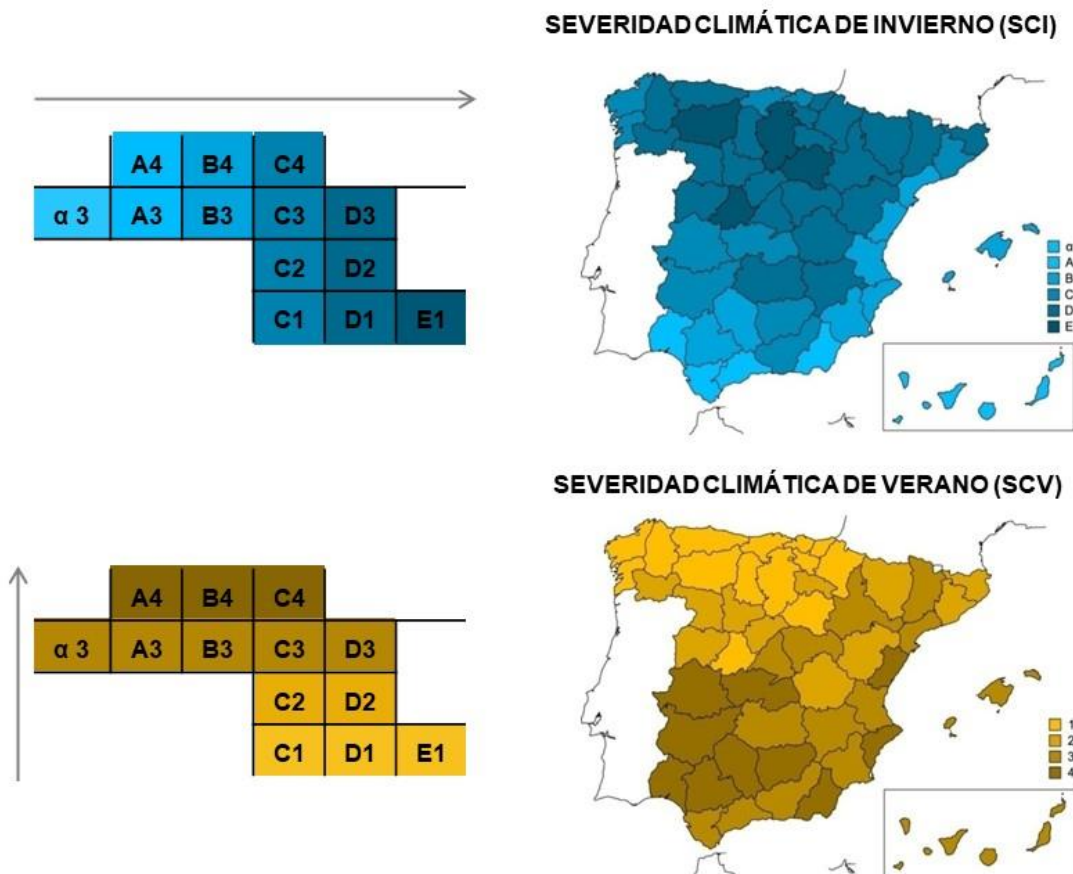
Conforme a la división climática que establece el Código Técnico de la Edificación, los climas españoles se clasifican en base a su severidad climática de invierno y de verano (Ministerio de Fomento de España, 2017). De esta manera, existen 6 tipos de climas en base a la severidad climática de invierno, desde el clima  $\alpha$ , con inviernos más suaves, hasta el clima E, con inviernos más severos. A su vez, existen cuatro niveles de severidad climática de verano, desde el 1 con veranos más suaves, hasta el 4 con los veranos más severos. La Figura 6 muestra los mapas de esta clasificación en base a las capitales de provincia.

---

7

<https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx>

Figura 6. Mapas por zonas climáticas según capital de provincia. Elaboración propia a partir de (Ministerio de Fomento, 2019)



Para realizar este estudio, se han seleccionado tres climas, intentando abarcar el abanico de situaciones climáticas existentes en España y para los cuales se evaluará el comportamiento energético del bloque de viviendas seleccionado. Se han elegido las siguientes localidades: **Ávila**, con un clima E1, la ciudad de **Madrid**, con un clima D3 y **Almería** con un clima A4.

### 3.2.2 SELECCIÓN DEL TIPO EDIFICATORIO

Para realizar el análisis del impacto de la habitabilidad interior en viviendas a través de la búsqueda de la mejora de la calificación energética se ha seleccionado un tipo edificatorio sobre el que se han planteado distintas estrategias de rehabilitación.

La selección del tipo edificatorio se ha realizado considerando los clústeres de vivienda establecidos en la “Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España” ya que los resultados de este análisis tienen relación con el objeto de este informe. En concreto, se toma como referencia el documento de “Segmentación del parque residencial de viviendas en España en clústeres tipológicos” (Arcas-Abella et al., 2019) que sirvió como trabajo de apoyo para el desarrollo de la ERESEE 2020 (Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana, 2020).

En este documento se subdivide el parque de viviendas español en 15 clústeres generados a partir de la subdivisión del parque por año de construcción, estableciendo 5 tramos: anterior a 1940, entre 1941 y 1960, entre 1961 y 1980, entre 1981 y 2007 coincidiendo entre la aprobación del primer reglamento térmico la CTE-79 y antes de la aprobación del CTE y 2008-2011 los últimos años disponibles del censo desde la aparición del CTE. En la Tabla 7 se muestra el número de viviendas existente por tipo y por año de construcción. Tal y como se puede observar, el mayor número de viviendas se construye en el período entre 1961 y 2007 destacando el número de viviendas colectivas.

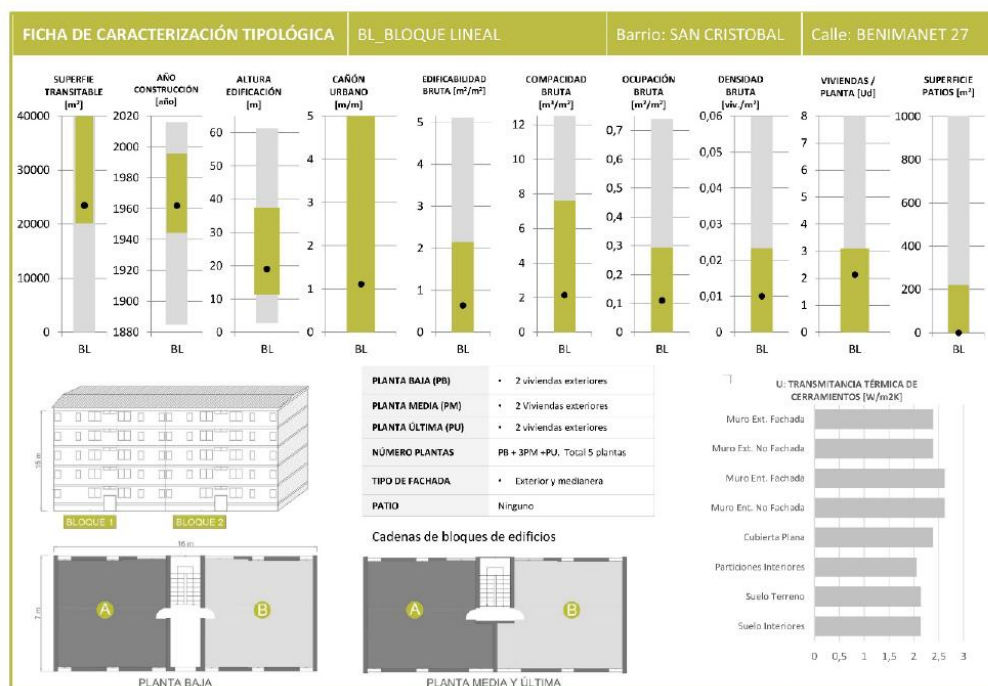
*Tabla 7. Número total de viviendas por clúster. Fuente: (Arcas-Abella et al., 2019) a partir de Censo de Población y Vivienda 2011 (Instituto Nacional de Estadística, 2011)*

	Viviendas unifamiliares	Viviendas colectivas 1 - 3 plantas	Viviendas colectivas en bloque	en blanco
≤ 1940	1.313.189	423.780	650.418	<b>2.387.387</b>
1941 - 1960	1.044.667	492.944	1.127.383	<b>2.664.994</b>
1961 - 1980	1.819.781	1.121.936	<b>5.642.801</b>	<b>8.584.518</b>
1981 - 2007	3.149.511	1.913.055	4.498.101	<b>9.560.667</b>
2007 - 2011	382.124	235.117	704.897	<b>1.322.138</b>
	<b>7.709.272</b>	4.186.832	<b>12.623.600</b>	<b>24.519.704</b>
en blanco		170.727		518.181 <b>688.908</b>
	<b>7.709.272</b>	<b>4.357.559</b>	<b>12.623.600</b>	<b>25.208.612</b>

Para el estudio realizado se seleccionó un bloque lineal, representativo de la tipología más habitual durante el período de mayor construcción de viviendas en España. La Figura 7 muestra la ficha realizada para este tipo edificatorio en el proyecto MODIFICA (López-Moreno et al., 2022) en el cual se llevó a cabo una clasificación del parque de viviendas desde un enfoque de abajo hacia arriba (bottom-up) en base a parámetros cuantitativos que se estudiaron según un rango de valores.



Figura 7. Ficha de caracterización tipológica de bloque lineal. Fuente: (López-Moreno et al., 2022)



El bloque lineal analizado se trata de un bloque representativo de la construcción realizada en España durante los años 60 y 80. Estos bloques de vivienda fueron construidos antes de la primera normativa sobre condiciones térmicas (NBE-CT-79) que regulaba unas condiciones mínimas de calidad de la envolvente, por tanto son de los edificios que, a priori, presentan una baja eficiencia energética y que se deben priorizar a la hora de rehabilitar y donde frecuentemente suelen vivir personas en situación de pobreza energética por ser relativamente más baratos tanto para comprar como para alquilar.

En el estudio se ha definido un bloque lineal aislado con orientación norte-sur, viviendas pasantes con un núcleo de escaleras para cada dos viviendas. En la Tabla 8 se muestran las características constructivas y térmicas de la envolvente del tipo edificatorio seleccionado.

Tabla 8. Definición constructiva de los cerramientos del bloque tipo analizado y propiedades térmicas

Envolvente	ESTADO INICIAL	
	Composición	U (W/m².K)
Fachada	1 pie de ladrillo	2,38
Cubiertas	Forjado unidireccional de hormigón con entrevigado cerámico + formación de pendientes + impermeabilizante	2,18
Forjados	Baldosa cerámica + mortero + forjado (sanitario) unidireccional de hormigón con entrevigado cerámico	2,82
Huecos	Vidrio sencillo con carpintería de aluminio sin RPT	5,3

Con respecto a los sistemas de climatización considerados en las viviendas, se han establecido conforme a los datos de la encuesta de Hogares y Medio Ambiente realizada en 2008 de la que se obtiene que los sistemas mayoritarios de calefacción en Castilla y León y en la Comunidad de Madrid son las calderas individuales de gas y en Andalucía son los radiadores y acumuladores eléctricos. (Instituto Nacional de Estadística, 2008)

La Tabla 9 muestra los sistemas de climatización considerados para las viviendas en cada una de las localidades analizadas

*Tabla 9. Definición de los sistemas de climatización considerados y sus rendimientos para cada uno de los climas en los que se ubican las viviendas analizadas*

Instalaciones térmicas	ESTADO INICIAL	
	Sistema	Rendimiento
Calefacción	Caldera de gas (Ávila y Madrid)	0,69
	Bomba de calor (Almería)	2,6
Refrigeración	Bomba de calor	2,6

### 3.2.3 ESCENARIOS DE REHABILITACIÓN

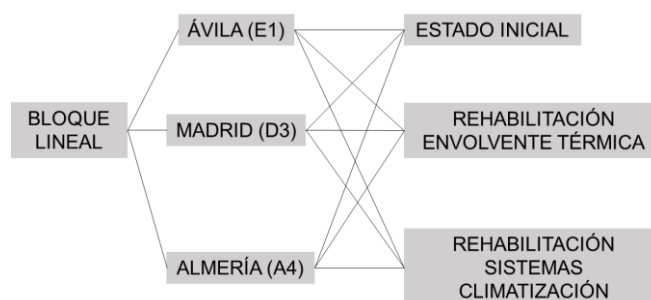
Se han establecido dos escenarios de rehabilitación con el objetivo de estudiar el impacto que estas alternativas pueden tener sobre la calificación energética de las viviendas, así como el bienestar térmico pasivo que serían capaces de asegurar una vez rehabilitado el edificio.

Los escenarios de rehabilitación considerados han sido los siguientes:

- Rehabilitación energética mediante estrategias pasivas enfocada a la reducción de la transmitancia térmica de las envolventes y la incorporación de las protecciones solares en los huecos expuestos al soleamiento.
- Rehabilitación mediante cambio de los sistemas de climatización (activos) por otros sistemas más eficientes.

De esta manera, en la Figura 8 se muestran las combinaciones de los casos estudiados: 1 tipo edificatorio, en 3 climas y bajo tres condiciones de rehabilitación, el estado inicial, el estado con una rehabilitación exclusivamente de la envolvente térmica y un estado en el que se renuevan exclusivamente los sistemas de climatización.

*Figura 8. Escenarios analizados para el bloque de viviendas seleccionado*





De la combinación de las localidades y los climas seleccionados y los escenarios de rehabilitación, se establecen los parámetros requeridos por el Código Técnico de la Edificación para cada uno de los climas.

De esta manera, la rehabilitación energética de la envolvente térmica se evalúa conforme a los parámetros que se muestran en las Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12.

*Tabla 10. Descripción de los sistemas constructivos de la envolvente rehabilitada para el caso de Almería y los valores de referencia fijados por el CTE*

REHABILITACION ENVOLVENTE ZONA A			
Envolvente	Composición	U (W/m <sup>2</sup> .K)	Referencia CTE
Fachada	1 pie de ladrillo + SATE (EPS 5cm)	0,47	0,5
Cubiertas	Forjado unidireccional de hormigón con entrevigado cerámico + formación de pendientes + (XPS 8cm) + impermeabilizante	0,36	0,44
Forjados	Baldosa cerámica + mortero + forjado (sanitario) unidireccional de hormigón con entrevigado cerámico + EPS 6cm)	0,41	0,5
Huecos	Doble vidrio con carpintería de aluminio RPT (3,2)	2,7	2,7
	Protección solar móvil (toldo)		

*Tabla 11 Descripción de los sistemas constructivos de la envolvente rehabilitada para el caso de Madrid y los valores de referencia fijados por el CTE*

REHABILITACION ENVOLVENTE ZONA D			
Envolvente	Composición	U (W/m <sup>2</sup> .K)	Referencia CTE
Fachada	1 pie de ladrillo + SATE (EPS 10cm)	0,26	0,27
Cubiertas	Forjado unidireccional de hormigón con entrevigado cerámico + formación de pendientes + (XPS 14cm) + impermeabilizante	0,22	0,22
Forjados	Baldosa cerámica + mortero + forjado (sanitario) unidireccional de hormigón con entrevigado cerámico + EPS 10cm)	0,26	0,27
Huecos	Vidrio triple bajo emisivo LoE (e5=.1) Clr 3mm/13mm Air (1,25) + Carpintería de PVC de 3 cámaras (1,8)	1,8	1,6
	Protección solar móvil (toldo)		

Tabla 12 Descripción de los sistemas constructivos de la envolvente rehabilitada para el caso de Ávila y los valores de referencia fijados por el CTE

REHABILITACION ENVOLVENTE ZONA E			
Envolvente	Composición	U (W/m <sup>2</sup> .K)	Referencia CTE
Fachada	1 pie de ladrillo + SATE (EPS 12 cm)	0,22	0,23
Cubiertas	Forjado unidireccional de hormigón con entrevigado cerámico + formación de pendientes + (XPS 12 cm) + impermeabilizante	0,19	0,19
Forjados	Baldosa cerámica + mortero + forjado (sanitario) unidireccional de hormigón con entrevigado cerámico + EPS 12cm)	0,22	0,23
Huecos	Vidrio triple bajo emisivo LoE (e5=.1) Clr 3mm/13mm Air (1,25) + Carpintería de PVC de 3 cámaras (1,5)	1,4	1,5

Tabla 13: Definición de los sistemas de climatización considerados tras la renovación y sus rendimientos para cada uno de los climas en los que se ubican las viviendas analizadas

ESTADO RENOVACIÓN DE INSTALACIONES		
Instalaciones térmicas	Sistema	Rendimiento
Calefacción	Caldera de gas de condensación (Ávila y Madrid)	0,92
	Bomba de calor (Almería)	3,8
Refrigeración	Bomba de calor	3,8

En el escenario de renovación de instalaciones que figura en la Tabla 13, se ha considerado el cambio por una caldera de gas de condensación para Ávila y Madrid puesto que actualmente se está instalando en casos de renovación de instalaciones, en algunos casos con subvenciones por diferentes programas autonómicos.

### 3.3 Cálculo de la calificación energética con la Herramienta Unificada Lider Calener

A partir de los escenarios establecidos en el apartado anterior, se ha obtenido la calificación energética para cada uno de los casos estudiados. Se presentan a continuación ordenados en función de cada una de las localidades y climas seleccionados.

Se incorporan, junto a la calificación referente al consumo de energía primaria, las calificaciones derivadas de las emisiones de dióxido de carbono y las de las demandas de calefacción y refrigeración.

#### 3.3.1 EDIFICIO EN ALMERÍA

A continuación, se muestran los resultados de la calificación energética para el edificio de viviendas situado en Almería.

*Tabla 14 Resultados de la calificación energética para el edificio en Almería según diferentes alternativas*

	CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO		DEMANDA DE CALEFACCIÓN		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN	
	kWh/m <sup>2</sup> año	Calif.	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año	Calif.	kWh/m <sup>2</sup> año	Calif.	kWh/m <sup>2</sup> año	Calif.
<b>Estado inicial</b>	146,51	F	24,84	E	42,27	E	29,68	D
<b>Rehabilitación de la envolvente térmica</b>	97,14	E	16,46	E	9,02	C	23,6	D
<b>Renovación de sistemas de climatización por un sistema más eficiente</b>	118,6	E	20,11	E	42,27	E	29,68	D
<b>Cambio de sistema de climatización por biomasa</b>	24,92	B	5,33	B	45,45	E	29,68	D

En el edificio situado en Almería, la intervención que mejores resultados obtiene en materia de mejora de la calificación energética global es el cambio de la caldera por una caldera de biomasa, lo que hace mejorar la letra de una F a un B. También esta intervención es la que mejores resultados obtiene en cuanto a la reducción de emisiones, al considerarse la biomasa una fuente de energía renovable. Tanto la mejora de la envolvente como el cambio de instalaciones obtienen la misma mejora de calificación en los dos indicadores primarios. Sin embargo, la rehabilitación de la envolvente es la que consigue la mejor calificación en la

demanda de calefacción, pasando de una E a una C. La demanda de refrigeración no supone una mejora de letra en ninguno de los casos estudiados.

### 3.3.2 EDIFICIO EN MADRID

A continuación, se muestran los resultados de la calificación energética del edificio situado en Madrid

*Tabla 15 Resultados de la calificación energética para el edificio en Madrid según diferentes alternativas*

	CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO		DEMANDA DE CALEFACCIÓN		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN	
	kWh/m <sup>2</sup> año	Calif.	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año	Calif.	kWh/m <sup>2</sup> año	Calif.	kWh/m <sup>2</sup> año	Calif.
<b>Estado inicial</b>	266,46	E	55,82	E	175,09	G	19,05	D
<b>Rehabilitación de la envolvente térmica</b>	113,26	D	23,41	D	38,72	C	17,69	D
<b>Renovación de caldera de gas mural por condensación</b>	218,56	E	45,27	E	175,09	G	19,05	D
<b>Cambio de sistema de climatización por biomasa</b>	33,22	A	8,7	B	175,09	G	19,05	D

En el edificio situado en Madrid, la intervención que mejores resultados obtiene en materia de mejora de la calificación energética global es el cambio de la caldera por una caldera de biomasa, lo que hace mejorar la letra de una E a un A en el indicador global de consumo de energía primaria no renovable y una B en emisiones de dióxido de carbono. La rehabilitación de la envolvente térmica consigue mejorar estos dos indicadores a su vez desde una E a una D y también se obtiene el mejor resultado en cuanto a demanda de calefacción que pasa de una G a una C. Se comprueba cómo además el cambio a una caldera de gas por condensación no mejora el consumo de energía final primaria no renovable, por lo que a pesar de ser una de las soluciones más comunes, no supone una opción recomendable en el actual escenario. La demanda de refrigeración únicamente se reduce cuando se actúa sobre la envolvente, pero no lo suficiente para mejorar la letra.

### 3.3.3 EDIFICIO EN ÁVILA

A continuación, se muestran los resultados de la calificación energética del edificio de viviendas situado en Ávila.

Tabla 16 Resultados de la calificación energética para el edificio en Ávila según diferentes alternativas

	CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO		DEMANDA DE CALEFACCIÓN		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN	
	kWh/m <sup>2</sup> año	Calif.	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año	Calif.	kWh/m <sup>2</sup> año	Calif.	kWh/m <sup>2</sup> año	Calif.
<b>Estado inicial</b>	313,86	E	66,36	E	225,63	G	0	
<b>Rehabilitación de la envolvente térmica</b>	187,22	E	39,48	E	47,29	E	0	
<b>Renovación de caldera de gas mural por condensación</b>	234,12	E	49,47	E	225,63	G	0	
<b>Cambio de sistema de climatización por biomasa</b>	31,06	A	9,19	A	225,63	G	0	

En el edificio situado en Ávila, la intervención que mejores resultados obtiene en materia de mejora de la calificación energética global es el cambio de la caldera por una caldera de biomasa, lo que hace mejorar la letra de una E a un A tanto en el indicador global de consumo de energía primaria no renovable como en el de emisiones de dióxido de carbono. La rehabilitación de la envolvente térmica consigue mejorar el indicador de demanda de calefacción pasando de una G a una C. En el caso de Ávila no se considera la demanda de refrigeración en la calificación energética.

### 3.4 Cálculo de las condiciones de bienestar térmico pasivo

En 2012 un 9,3% de hogares en la Unión Europea y un 17,1% en España (2022)<sup>8</sup> declaraban que eran incapaces de mantener su vivienda a una temperatura adecuada en invierno. No existen datos más actualizados porque desde entonces no se incorpora esta pregunta en la encuesta que realiza cada estado miembro. ) Estos, junto con un escenario para los próximos años de escasez de recursos energéticos y de subida de los precios de la energía, hace pertinente la consideración de la capacidad de los edificios, y en concreto las viviendas, de proveer de condiciones de bienestar térmico sin el uso de sistemas de climatización que

<sup>8</sup>

[https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ILC\\_MDES01\\_custom\\_6037156/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=8f6604d8-6581-4f7b-adde-7a9e53a28caf](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ILC_MDES01_custom_6037156/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=8f6604d8-6581-4f7b-adde-7a9e53a28caf)

requieran del consumo de energía. El objetivo es estudiar la posibilidad de incluir en el certificado energético un indicador que sea capaz de reflejar esta capacidad.

Para ello, se recoge aquí la evaluación del caso tipo de viviendas seleccionadas desde una perspectiva del confort térmico sin hacer uso de los sistemas de climatización, lo que podríamos denominar funcionamiento pasivo o “a vela”. A partir de los resultados obtenidos y los rangos de bienestar térmico establecidos, se propone una calificación de confort de edificios a partir de la cuantificación de las horas de confort / disconfort que se obtienen en cada caso analizado.

### 3.4.1 ESTÁNDAR DE CÁLCULO DEL BIENESTAR

Para la evaluación de las condiciones de bienestar térmico de las viviendas se han escogido las temperaturas fijadas conforme a la Norma Española relativa a los parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido - UNE-EN 16798-1:2020 (Asociación Española de Normalización, 2019). Conforme a esta norma, se han considerado varios umbrales de bienestar:

- Un primer umbral más restrictivo de máxima calidad de bienestar se ha fijado conforme al que fija la norma para viviendas climatizadas mediante medios mecánicos. Se ha trabajado con los valores de temperatura de bienestar que fija para viviendas climatizadas, con un nivel de actividad metabólica sedentaria de 1,2 met y Categoría II. Esto fija unos niveles de temperatura de entre 20 y 26°C.

*Tabla 17 Rangos de temperatura para el cálculo horario de la energía de calefacción y refrigeración en cuatro categorías de ambiente interior. Fuente: -UNE-EN 16798-1:2020 (Asociación Española de Normalización, 2019)*

Tipo de edificio / recinto	Categoría	Rango de temperaturas para las estaciones de calefacción, °C. Vestimenta 1 clo aprox.	Rango de temperaturas para las estaciones de refrigeración, °C. Vestimenta 0,5 clo aprox.
Edificios residenciales, estancias (habitaciones, salas de estar, etc.) Actividad sedentaria 1,2met	I	21 - 25	23,5 – 25,5
	II	20 - 25	23 - 26
	III	18 - 25	22 - 27
	IV	17 - 25	21 - 28

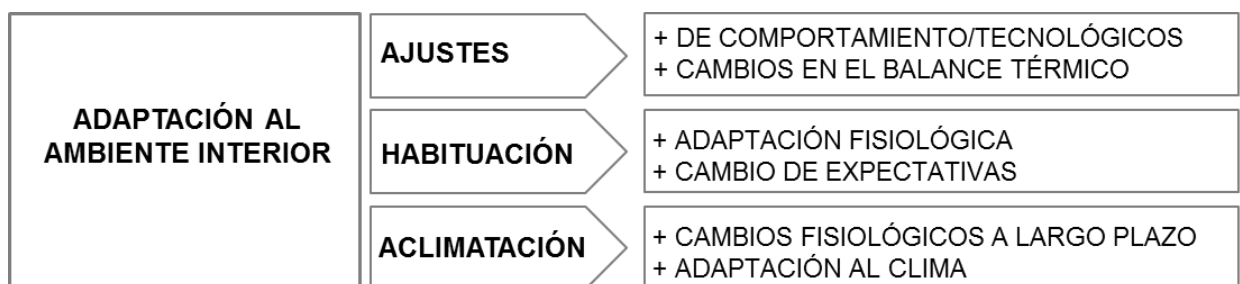
Estas temperaturas que podríamos considerar de bienestar “óptimo” y que derivan de modelos de confort estáticos han sido cuestionadas por enfoques de confort más flexibles que han comprobado que la capacidad de adaptación de los usuarios a los espacios que habitan consigue rangos de bienestar más amplios. Algunos de los modos de adaptación son los cambios en la resistencia térmica de la ropa, el metabolismo y nivel de actividad de

los ocupantes o las características psicológicas de los sujetos (como, por ejemplo, las expectativas). Todo lo anterior puede afectar a la sensación de bienestar de los ocupantes.

Según este enfoque, el bienestar térmico no puede entenderse sólo como la evaluación del intercambio de calor del cuerpo humano con su entorno, sino que se deben incorporar en la ecuación las acciones que puede llevar a cabo la persona para alcanzar este bienestar. Estas acciones pueden ser tanto procesos internos, fisiológicos y psicológicos, como externos con adecuaciones a su ambiente. Las personas reaccionan de manera instintiva para intentar restaurar sus condiciones de bienestar (Nicol & Humphreys, 2002). **De este modo, se pasa de diseñar ambientes para ocupantes pasivos y edificios activos a espacios de ocupantes activos y edificios pasivos.**

En el enfoque del bienestar adaptativo se distinguen tres grandes categorías de adaptación, tal y como se puede ver en la Figura 9.

Figura 9. Los tres componentes de la adaptación al clima interior. Fuente: elaboración propia a partir de De Dear et al. 2013.



Este enfoque de ocupantes activos que consiguen ampliar los rangos de su propio bienestar, además de ser más realista resulta de gran interés a la hora de abordar la necesaria transición ecológica y las nuevas formas de diseñar edificios que mayores amplitudes de bienestar y por tanto con unas demandas menores de energía.

- El siguiente umbral de temperatura se ha fijado conforme al **modelo de bienestar adaptativo**. Este modelo de bienestar es aplicable *ocupantes con actividades sedentarias sin políticas estrictas de vestimenta en los que las condiciones térmicas están reguladas principalmente por los ocupantes mediante la apertura y cierre de los elementos de la envolvente del edificio (por ejemplo: ventanas, lamas de ventilación, lucernarios, etc.)*.

El método establece que la temperatura de bienestar de los ocupantes se establece a partir de las temperaturas de los días previos. De este modo, la temperatura de bienestar de los ocupantes se establece de la siguiente manera:

$$T_c = 0.33T_{rm} + 18.8$$

Donde  $T_c$  es la temperatura operativa de bienestar y la  $T_{rm}$  es la denominada *temperatura exterior media exponencial promedio de funcionamiento* y se calcula mediante la media exponencialmente ponderada de la temperatura del aire exterior media diaria, a partir de la siguiente fórmula:

$$T_{rm} = (T_{od-1} + 0.8T_{od-2} + 0.6T_{od-3} + 0.5T_{od-4} + 0.4T_{od-5} + 0.3T_{od-6} + 0.2T_{od-7})/3.8$$

Una vez calculada la temperatura neutral de bienestar  $T_c$  se establecen una serie de categorías que se muestran en la Tabla 18 para los edificios, en función del nivel de bienestar térmico exigido para cada ambiente.

Tabla 18. Temperaturas límite de bienestar en función de la categoría del ambiente. Fuente: UNE-EN 16798-1:2020 (Asociación Española de Normalización 2019)

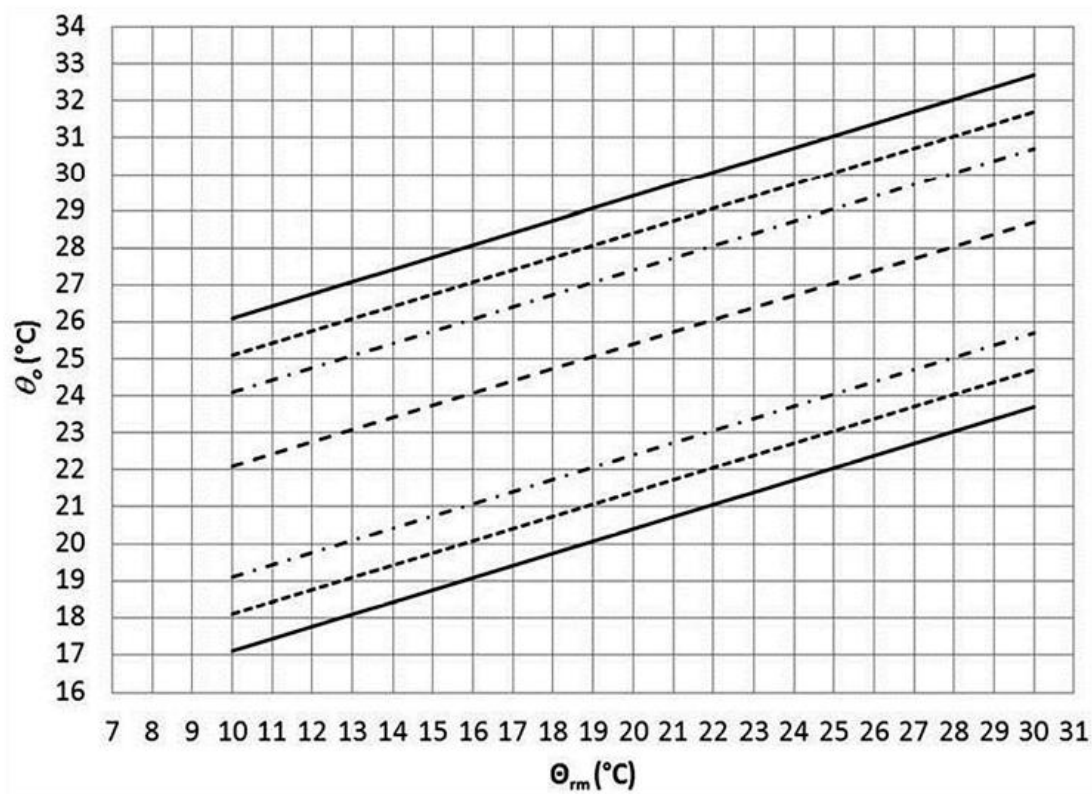
<b>CATEGORÍA I</b>	Límite superior	$T_{i\text{ máx}}=0,33 T_{rm}+ 18,8 + 2$
	Límite inferior	$T_{i\text{ máx}}=0,33 T_{rm}+ 18,8 - 3$
<b>CATEGORÍA II</b>	Límite superior	$T_{i\text{ máx}}=0,33 T_{rm}+ 18,8 + 3$
	Límite inferior	$T_{i\text{ máx}}=0,33 T_{rm}+ 18,8 - 4$
<b>CATEGORÍA III</b>	Límite superior	$T_{i\text{ máx}}=0,33 T_{rm}+ 18,8 + 4$
	Límite inferior	$T_{i\text{ máx}}=0,33 T_{rm}+ 18,8 - 5$

Estas categorías establecen los límites de las temperaturas de bienestar donde  $T_i$  es el valor límite de la temperatura operativa interior y  $T_{rm}$  es la temperatura exterior promedio de funcionamiento. Estos límites son de aplicación cuando se cumple que  $10 < T_{rm} < 30^\circ\text{C}$ . La Figura 10 muestra estos umbrales de bienestar representados en función de la temperatura promedio exterior.

Conforme a este modelo, se han utilizado las temperaturas extremas que fija el estándar de bienestar adaptativo, considerando un rango ampliado de bienestar adaptativo que va desde los  $18^\circ\text{C}$  hasta los  $32^\circ\text{C}$ .



Figura 10 Valores de diseño por defecto para temperaturas de funcionamiento interiores para edificios sin sistemas mecánicos de refrigeración en función de la media de funcionamiento ponderada exponencialmente de la temperatura exterior







Leyenda

$\theta_i$	Temperatura de funcionamiento interior, °C
$\theta_{fm}$	Temperatura exterior media de funcionamiento, °C
	Límite superior. Categoría III
	Límite superior. Categoría II
	Límite superior. Categoría I
	Temperatura de confort
	Límite inferior. Categoría I
	Límite inferior. Categoría II
	Límite inferior. Categoría III

Conforme a los estándares fijados anteriormente, se han establecido los siguientes rangos de temperatura para evaluar el bienestar en el interior de las viviendas, tal y como se muestra en la Tabla 19. A los umbrales de temperatura fijados por los estándares se han añadido 5 grados por encima y por debajo para fijar el frío y calor extremos, lo que consideramos temperaturas no saludables para los ocupantes de las viviendas

Tabla 19 Umbrales de temperatura considerados para evaluar el bienestar de las viviendas

>37	Calor extremo	
32-37	Calor excesivo	
26-32	Bienestar adaptativo	
20-26	Bienestar óptimo	
18-20	Bienestar adaptativo	
13-18	Frío excesivo	
<13	Frío extremo	

### 3.4.2 MODELIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LAS VIVIENDAS

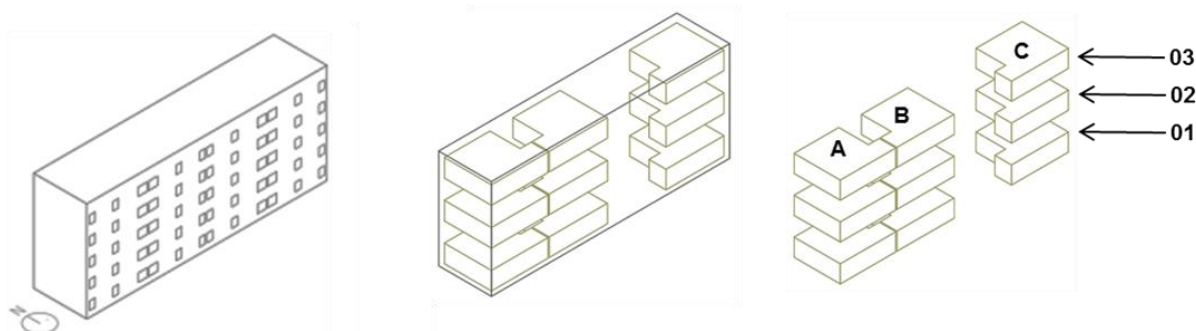
El programa utilizado para la simulación energética de las viviendas ha sido DesignBuilder con la versión de motor de cálculo de EnergyPlus 8.9. Los modelos de DesignBuilder se han calibrado con los resultados de demanda de energía de las modelizaciones realizadas en la Herramienta Unificada Lider-Calener.

Se han modelizado las viviendas en su estado inicial, con la rehabilitación de la envolvente térmica y con la renovación de instalaciones.

A la hora de evaluar el confort de las viviendas, se ha analizado cada una de las viviendas tipo presentes en el bloque analizado. De esta manera se han diferenciado nueve tipos de viviendas:

- En función de la planta en la que se encuentran, se han diferenciado las viviendas de última planta, las de plantas intermedias y plantas bajas (viviendas 01, 02 y 03).
- En función de su posición relativa en planta, se han considerado dos viviendas situadas en los extremos y una situada en el centro del bloque (viviendas A, B y C).

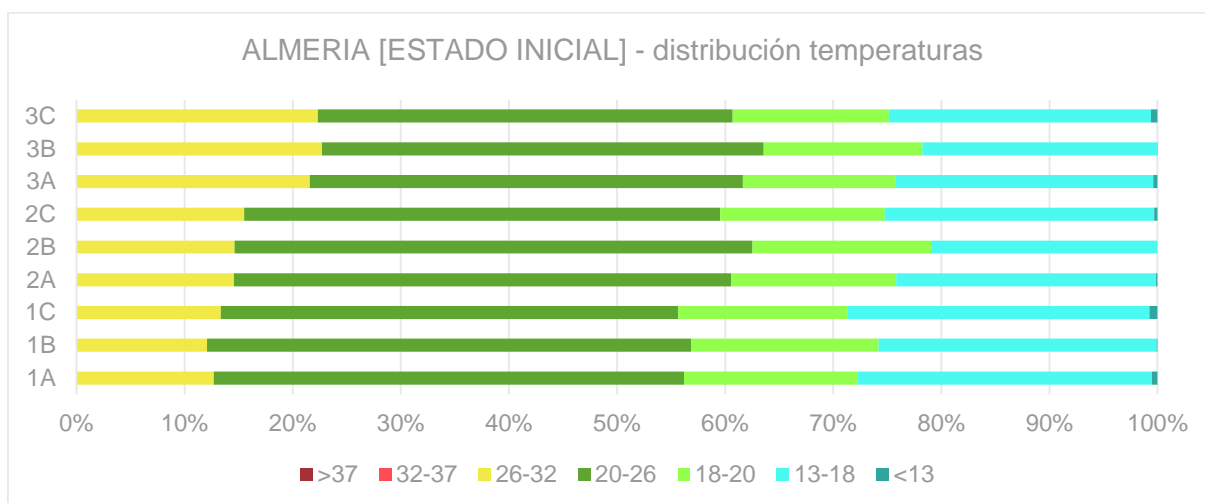
Figura 11 Volumetría del edificio y localización de viviendas estudiadas



### 3.4.2.1 Edificio en Almería

Las viviendas localizadas en Almería se han modelado conforme a los datos climáticos presentes en el archivo Spanish Weather for Energy Calculations. En las Figuras 12, 13 y 14, se presentan los resultados que se han analizado conforme a los umbrales de temperatura establecidos en apartados anteriores para los tres estados de la edificación analizados: caso inicial, caso con la envolvente rehabilitada y caso con las instalaciones renovadas.

*Figura 12 Distribución de temperaturas en las viviendas según los rangos de temperatura establecidos. Caso inicial del bloque de viviendas situado en Almería.*



*Figura 13. Distribución de temperaturas en las viviendas según los rangos de temperatura establecidos. Caso con la envolvente rehabilitada del bloque de viviendas situado en Almería.*

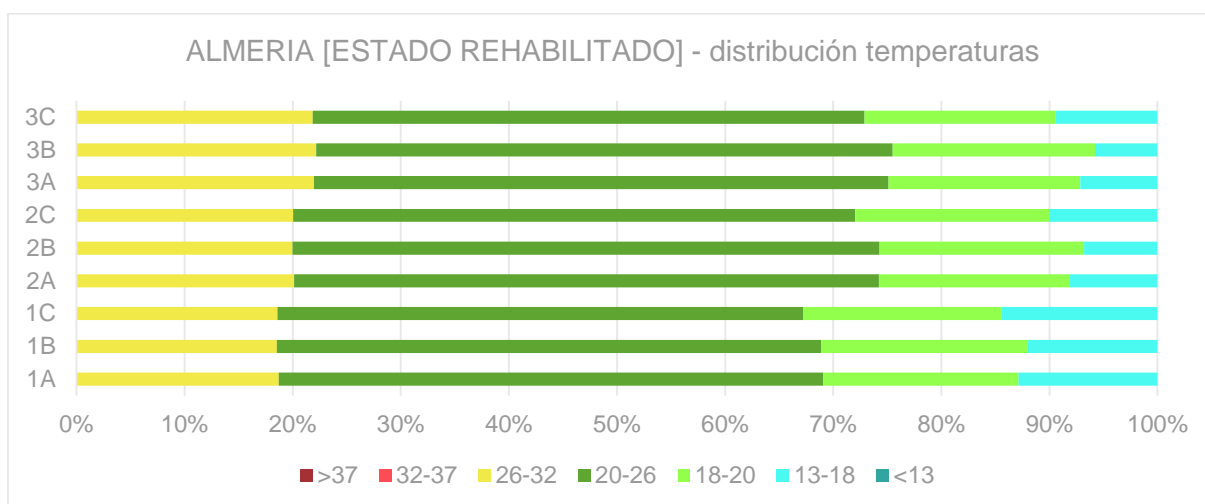
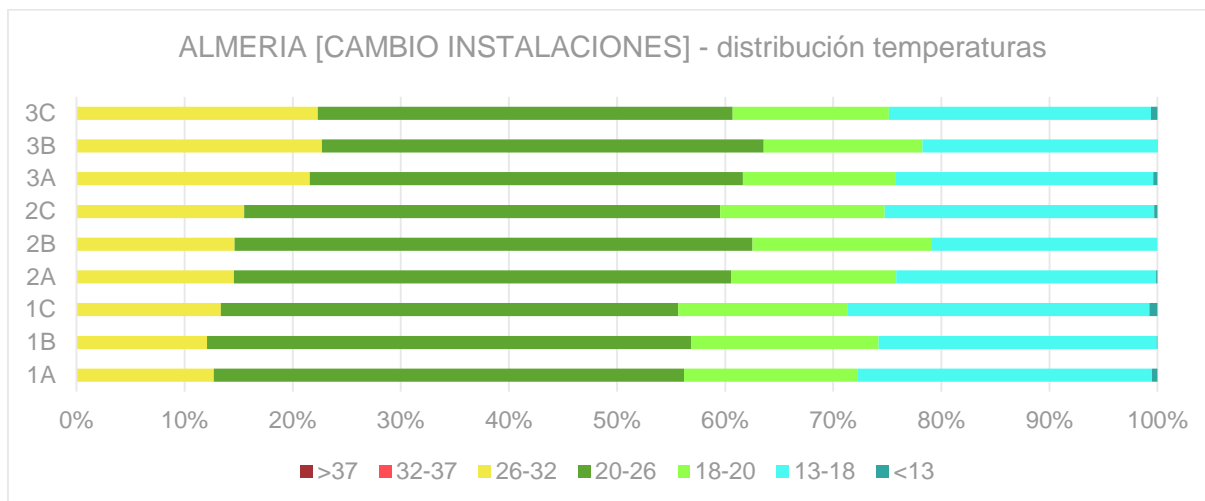


Figura 14. Distribución de temperaturas en las viviendas según los rangos de temperatura establecidos. Caso con cambio de instalaciones del bloque de viviendas situado en Almería.



En la Figura 15 se muestra un resumen por plantas del porcentaje de horas en cada uno de los rangos de temperatura para los tres casos estudiados. **Se puede comprobar que en el caso de rehabilitar la envolvente se alcanzan niveles de bienestar óptimo durante más del 50% de las horas y que se reducen de manera relevante el porcentaje de horas en las que las viviendas se encuentran a temperaturas que pueden suponer un riesgo para la salud de los ocupantes. También se comprueba cómo el mero cambio de instalaciones no mejora el confort de las viviendas en un escenario de escasez de recursos o de pobreza energética de los ocupantes.**

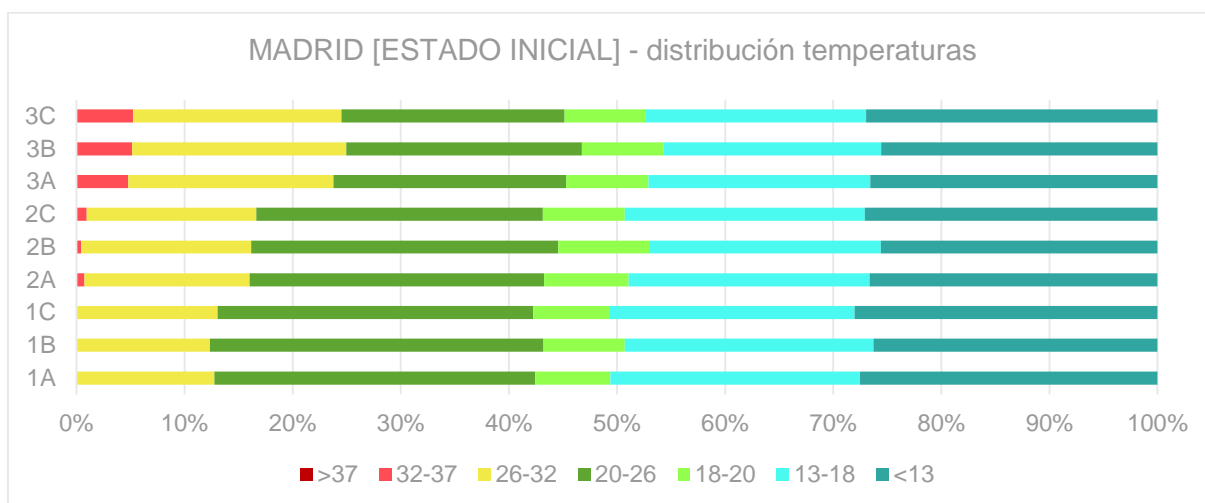
Figura 15 Resumen del porcentaje de horas en cada uno de los rangos del bienestar para los tres casos de las viviendas de Almería: estado inicial, estado con la envolvente rehabilitada y estado con las instalaciones renovadas.

		ALMERÍA ESTADO INICIAL			ALMERÍA REHABILITADO			ALMERÍA RENOVACIÓN INST.		
		bajos	intermedias	últimas	bajos	intermedias	últimas	bajos	intermedias	últimas
>37		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
32-37		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
26-32		13%	15%	20%	19%	20%	21%	13%	15%	20%
20-26		44%	46%	42%	50%	53%	53%	44%	46%	42%
18-20		16%	16%	15%	19%	18%	18%	16%	16%	15%
13-18		27%	23%	23%	13%	8%	8%	27%	23%	23%
<13		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

### 3.4.2.2 Edificio en Madrid

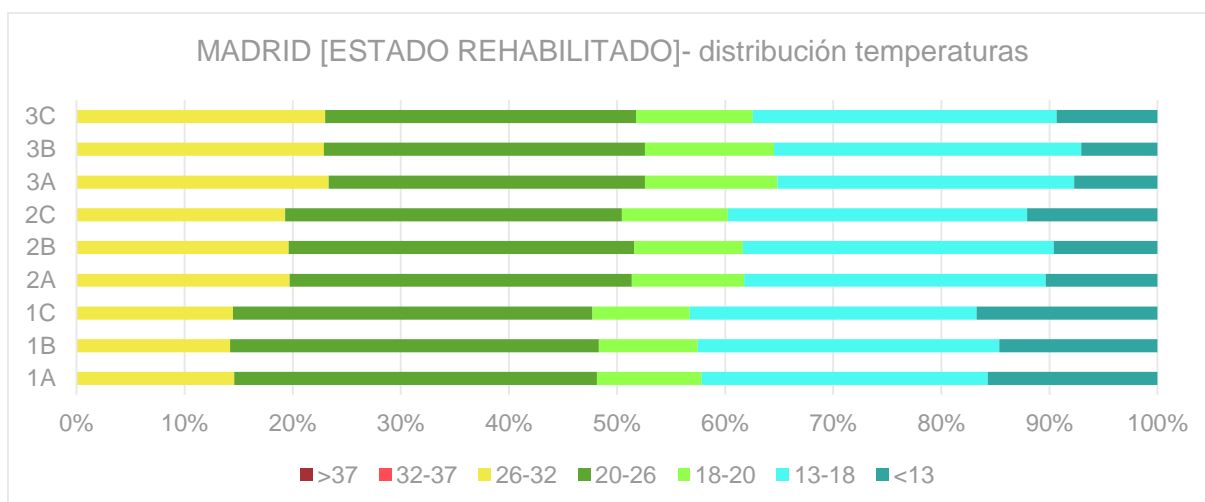
Las viviendas localizadas en Madrid se han simulado con los datos climáticos presentes en el archivo climático de Madrid generado por el International Weather Files for Energy Calculations. En las Figuras 16, 17 y 18, se presentan los resultados que se han analizado conforme a los umbrales de temperatura establecidos en apartados anteriores para los tres estados de la edificación analizados: el caso en su estado inicial, caso con la envolvente rehabilitada y caso con las instalaciones renovadas.

*Figura 16. Distribución de temperaturas en las viviendas según los rangos de temperatura establecidos. Caso inicial del bloque de viviendas situado en Madrid.*



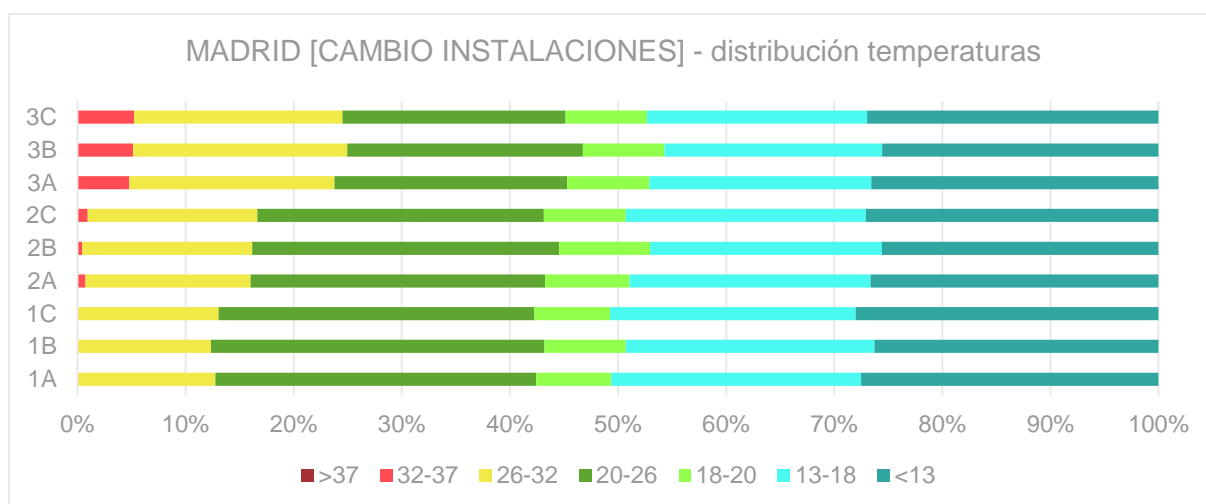
El caso de Madrid, en el que encontramos tanto una alta severidad climática tanto de verano como de invierno, podemos comprobar la existencia de horas bajo temperaturas extremas, que alcanzan casi el 30% de las horas por debajo de 13°C y también horas en las que las viviendas superan los 32°C especialmente en las plantas más altas al estar más expuestas a la radiación solar a través de la envolvente de la cubierta.

*Figura 17. Distribución de temperaturas en las viviendas según los rangos de temperatura establecidos. Caso con la envolvente rehabilitada del bloque de viviendas situado en Madrid.*



La rehabilitación de la envolvente en Madrid muestra una reducción en primer lugar de la exposición a temperaturas extremas. Desaparecen las horas en las que las viviendas superan los 32°C y se reducen a menos de la mitad las horas por debajo de 13°C. También se puede observar cómo se amplían las horas de bienestar.

*Figura 18. Distribución de temperaturas en las viviendas según los rangos de temperatura establecidos. Caso con cambio de instalaciones del bloque de viviendas situado en Madrid.*



Finalmente, se pone de manifiesta cómo el hecho de renovar las instalaciones no mejora el comportamiento pasivo de las viviendas, algo para tener en cuenta en situaciones de pobreza energética en las que los hogares restringen su uso de los sistemas de climatización, así como en un escenario de escasez de recursos energéticos en los que toda la población se puede ver afectada.

En la Figura 33 se muestra un resumen por plantas del porcentaje de horas en cada uno de los rangos de temperatura para los tres casos estudiados. **En el caso de la rehabilitación de la envolvente, en el clima de Madrid se mejoran los porcentajes de horas en bienestar óptimo en torno a un 5% a la vez que se reduce la exposición a extremos térmicos. También se comprueba cómo el mero cambio de instalaciones no mejora el confort de las viviendas en un escenario de escasez de recursos o de pobreza energética de los ocupantes.**

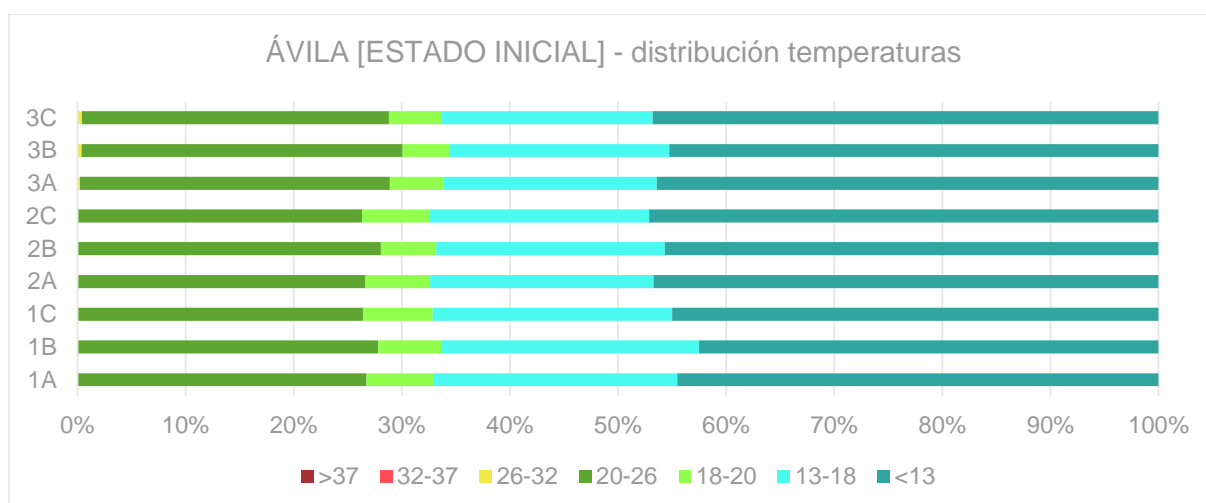
Figura 19. Resumen del porcentaje de horas en cada uno de los rangos del bienestar para los tres casos de las viviendas de Madrid: estado inicial, estado con la envolvente rehabilitada y estado con las instalaciones renovadas.

		MADRID ESTADO INICIAL			MADRID REHABILITADO			MADRID RENOVACIÓN INST.		
		bajos	intermedias	últimas	bajos	intermedias	últimas	bajos	intermedias	últimas
>37		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
32-37		0%	1%	4%	0%	0%	0%	0%	1%	4%
26-32		13%	16%	18%	14%	20%	22%	13%	16%	18%
20-26		30%	27%	23%	34%	32%	30%	30%	27%	23%
18-20		7%	8%	8%	9%	10%	11%	7%	8%	8%
13-18		23%	22%	21%	27%	28%	28%	23%	22%	21%
<13		27%	26%	26%	16%	11%	9%	27%	26%	26%

### 3.4.2.3 Edificio en Ávila

Las viviendas localizadas en Ávila se han evaluado bajo las condiciones climáticas recogidas en el archivo climático existente para Ávila de la base de datos de Spanish Weather for Energy Calculations. En las Figuras 20, 21 y 22, se presentan los resultados que se han analizado conforme a los umbrales de temperatura establecidos en apartados anteriores para los tres estados de la edificación analizados: el caso en su estado inicial, caso con la envolvente rehabilitada y caso con las instalaciones renovadas.

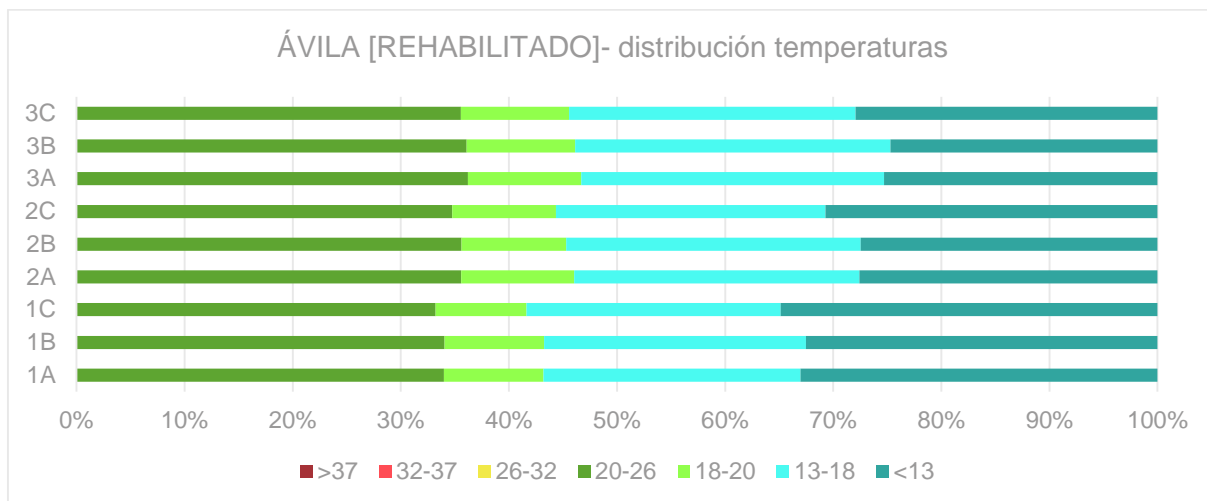
Figura 20. Distribución de temperaturas en las viviendas según los rangos de temperatura establecidos. Caso inicial del bloque de viviendas situado en Ávila



El clima de Ávila, el más frío de los casos analizados, genera temperaturas muy frías en las viviendas, con porcentajes de horas por debajo de los 13°C de más del 40% de las horas. También se puede comprobar que el sobrecalentamiento es prácticamente inexistente en las viviendas del bloque analizado.

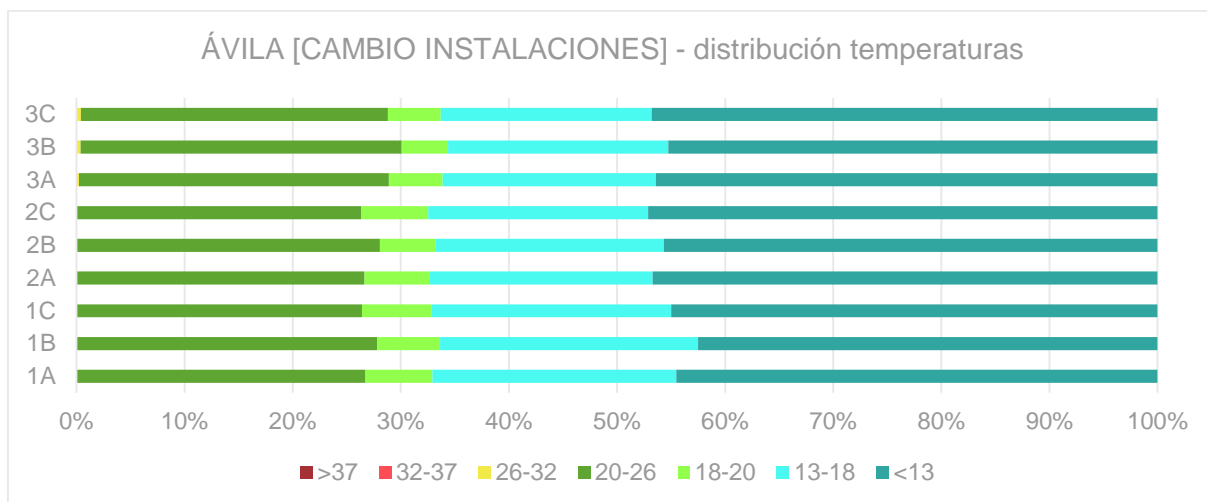


Figura 21. Distribución de temperaturas en las viviendas según los rangos de temperatura establecidos. Caso con la envolvente rehabilitada del bloque de viviendas situado en Ávila.



El primer dato que destaca de los resultados de la rehabilitación de la envolvente es la reducción del porcentaje de horas bajo temperaturas extremas, reduciéndose en más de un 15% de las horas. También se observa la ampliación de las horas en bienestar que pasan en torno a un 26% hasta el 35%.

Figura 22. Distribución de temperaturas en las viviendas según los rangos de temperatura establecidos. Caso con cambio de instalaciones del bloque de viviendas situado en Ávila.



Como se puede comprobar si comparamos el gráfico del estado actual y el de renovación de instalaciones, no se producen cambios en el comportamiento pasivo del edificio.

En la Figura 37 se muestra un resumen por plantas del porcentaje de horas en cada uno de los rangos de temperatura para los tres casos estudiados. **En el caso de la rehabilitación de la envolvente, en el clima de Ávila Madrid se mejoran los porcentajes de horas en bienestar óptimo en torno a un 7% a la vez que se reduce la exposición a extremos térmicos. A su vez, se duplican las horas en el rango de confort ampliado adaptativo. Las horas en las que se encuentran en las temperaturas más extremas se reducen en**

algunos casos hasta un 20%. También se comprueba cómo el mero cambio de instalaciones no mejora el confort de las viviendas en un escenario de escasez de recursos o de pobreza energética de los ocupantes.

Figura 23. Resumen del porcentaje de horas en cada uno de los rangos del bienestar para los tres casos de las viviendas de Ávila: estado inicial, estado con la envolvente rehabilitada y estado con las instalaciones renovadas.

		ÁVILA ESTADO INICIAL			ÁVILA REHABILITADO			ÁVILA RENOVACIÓN INST.		
		bajos	intermedias	últimas	bajos	intermedias	últimas	bajos	intermedias	últimas
>37		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
32-37		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
26-32		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
20-26		27%	27%	28%	34%	35%	36%	27%	27%	28%
18-20		6%	6%	5%	9%	10%	10%	6%	6%	5%
13-18		23%	21%	20%	24%	26%	27%	23%	21%	20%
<13		44%	46%	46%	33%	29%	27%	44%	46%	46%

### 3.4.3 PROPUESTA DE CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL BIENESTAR PASIVO

A partir de los resultados de los casos estudiados, se ha propuesto una escala de evaluación del bienestar térmico en las viviendas, con el objetivo de hacer más legible los resultados de evaluación del bienestar, así como proponer la incorporación de este valor en los certificados energéticos.

De esta manera, se asigna un valor de letra en función del porcentaje de horas que se encuentran dentro del umbral de bienestar más restrictivo (20-26°C), siendo la A el valor que recoge los mejores niveles de bienestar y la G el que menos.

Para complementar esta información, se incorpora un código numérico para las horas que se encuentran fuera del rango de temperaturas de bienestar adaptativo y que, por tanto, pueden suponer un riesgo para la salud de las personas, lo que se ha llamado calor y frío excesivo y extremo. Se establecen 7 niveles de manera que el 1 representa unos resultados con muy pocas horas en temperaturas no saludables y una calificación de 7 indica un elevado número de horas en temperaturas que pueden suponer un riesgo para la salud de las personas.

La Figura 24 muestra la propuesta de calificación representada por la combinación de ambos indicadores.

Figura 24. Calificación de bienestar térmico en función de horas en bienestar y en horas en condiciones no saludables.

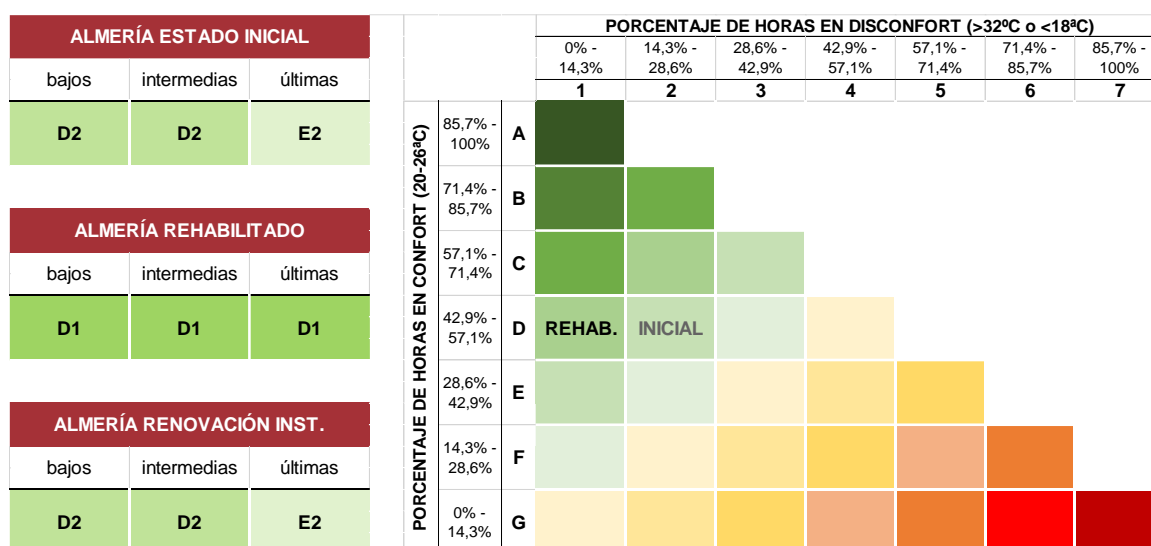
		PORCENTAJE DE HORAS EN DISCONFORT (>32°C o <18°C)							
		0% - 14,3%	14,3% - 28,6%	28,6% - 42,9%	42,9% - 57,1%	57,1% - 71,4%	71,4% - 85,7%	85,7% - 100%	
		1	2	3	4	5	6	7	
PORCENTAJE DE HORAS EN CONFORT (20-26°C)	85,7% - 100%	A	A1						
	71,4% - 85,7%	B	B1	B2					
	57,1% - 71,4%	C	C1	C2	C3				
	42,9% - 57,1%	D	D1	D2	D3	D4			
	28,6% - 42,9%	E	E1	E2	E3	E4	E5		
	14,3% - 28,6%	F	F1	F2	F3	F4	F5	F6	
	0% - 14,3%	G	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7

### 3.4.3.1 Edificio en Almería

Se han evaluado los resultados de las viviendas de Almería para los tres escenarios planteados: estado inicial, estado rehabilitado y estado con la renovación de las instalaciones.

En la Tabla 20 se muestran los resultados del certificado de bienestar por plantas bajas, intermedias y últimas para las viviendas en Almería para los tres escenarios planteados. En el gráfico de la derecha se ha recogido el caso más representativo para el estado inicial y para el estado rehabilitado. Como se puede comprobar, con el escenario de rehabilitación planteado, en el certificado se refleja la mejora del porcentaje de horas que se encuentran en un rango no saludable. Las horas en bienestar óptimo, pese a mejorar no generan un salto de letra en el certificado.

Tabla 20. Resultados de certificado de bienestar por plantas para las viviendas de Almería en los tres escenarios: estado inicial, estado rehabilitado y estado con la renovación de las instalaciones



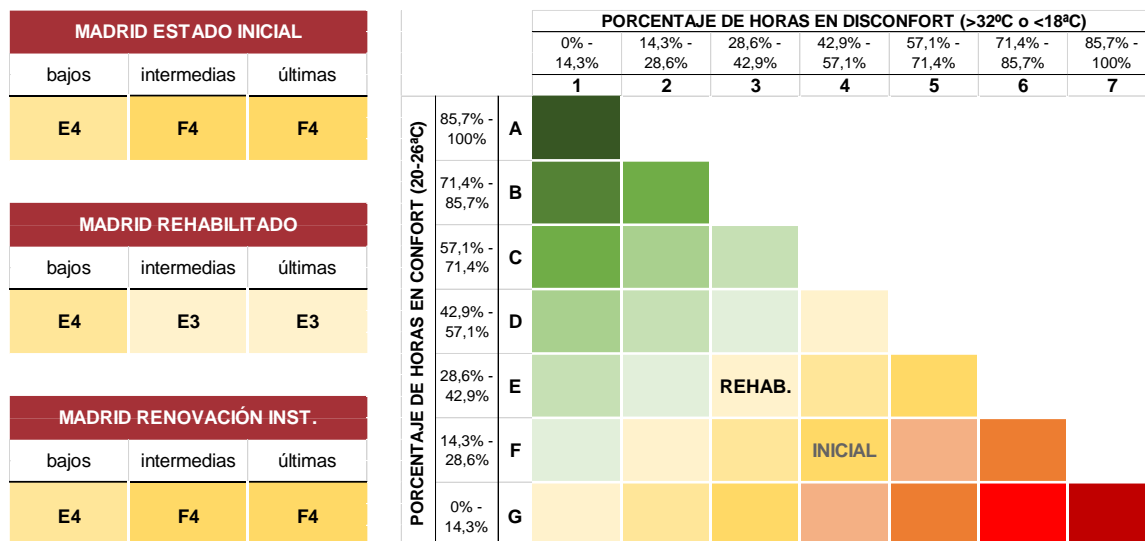
También se puede comprobar cómo la renovación de las instalaciones no genera una mejora del certificado de confort si no hay un aporte energético que las ponga en funcionamiento.

### 3.4.3.2 Edificio en Madrid

Se han evaluado los resultados de las viviendas de Madrid para los tres escenarios planteados: estado inicial, estado rehabilitado y estado con la renovación de las instalaciones.

En la Tabla 21 se muestran los resultados del certificado de bienestar por plantas bajas, intermedias y últimas para las viviendas en Madrid para los tres escenarios planteados. En el gráfico de la derecha se ha recogido el caso más representativo para el estado inicial y para el estado rehabilitado. Como se puede comprobar, con el escenario de rehabilitación planteado, en el certificado se refleja la mejora del porcentaje de horas que se encuentran en un rango no saludable, así como el incremento del porcentaje de horas en las que las viviendas se encuentran en temperaturas de bienestar.

Tabla 21. Resultados de certificado de bienestar por plantas para las viviendas de Madrid en los tres escenarios: estado inicial, estado rehabilitado y estado con la renovación de las instalaciones

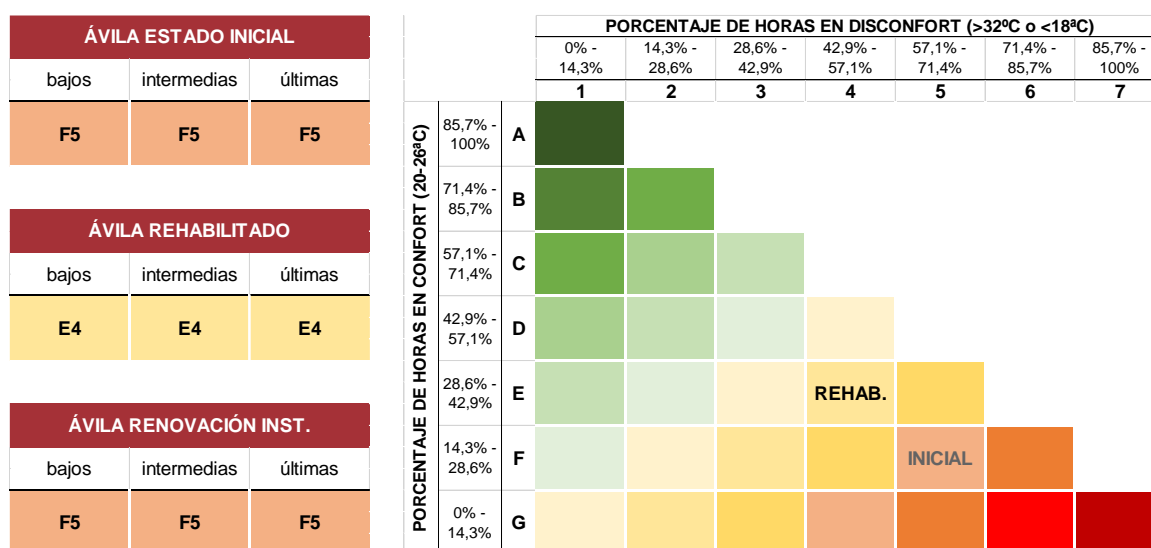


### 3.4.3.3 Edificio en Ávila

Se han evaluado los resultados de las viviendas de Ávila para los tres escenarios planteados: estado inicial, estado rehabilitado y estado con la renovación de las instalaciones.

En la Tabla 22 se muestran los resultados del certificado de bienestar por plantas bajas, intermedias y últimas para las viviendas en Ávila para los tres escenarios planteados. En el gráfico de la derecha se ha recogido el caso más representativo para el estado inicial y para el estado rehabilitado. Como se pudo comprobar, con el escenario de rehabilitación planteado, en el certificado se refleja la mejora del porcentaje de horas que se encuentran en un rango no saludable, así como la mejora en el porcentaje de horas en las que las viviendas se encuentran en temperaturas de bienestar.

Tabla 22. Resultados de certificado de bienestar por plantas para las viviendas de Ávila en los tres escenarios: estado inicial, estado rehabilitado y estado con la renovación de las instalaciones



## 4 La rehabilitación integral de edificios de vivienda en un escenario de escasez de energía y necesidad de reducción de impactos ambientales

### 4.1 Panorama sobre la producción y uso algunos materiales habituales en la rehabilitación energética de viviendas

En la rehabilitación energética de edificios de viviendas en España suelen utilizarse un conjunto definido de materiales y sistemas constructivos habituales en la práctica constructiva. La elección dependerá de las condiciones del proyecto y en gran medida de la disponibilidad de recursos económicos. Sin embargo, desde el enfoque ambiental anteriormente comentado, es necesario disponer de otro tipo de información para definir las soluciones constructivas. Resulta fundamental conocer el origen de estos materiales, los procesos de transformación, dónde se producen y los impactos que llevan asociados, así como la posibilidad de valorización de los residuos generados tanto en el proceso de construcción como en la demolición.

**No resulta fácil recopilar de toda esta información ya que procede de muy diversas fuentes, algunas de ellas sin datos disponibles en abierto.** Sin embargo, se ha tratado de realizar una aproximación mediante un análisis de estos materiales habituales, atendiendo a sus procesos de fabricación, las materias primas necesarias y disponibilidad de estas en el territorio, así como las industrias existentes en nuestro país.

#### 4.1.1 MATERIALES AISLANTES

##### 4.1.1.1 Poliestireno expandido (EPS)

El EPS es un material plástico espumado utilizado como aislante térmico en la construcción y para producir diferentes embalajes. En el caso de la construcción se utiliza en muchas aplicaciones y en la rehabilitación energética forma parte de uno de los Sistemas de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE) más habitual. El SATE consta de diversas capas que permiten su fijación al soporte existente, la reducción de las pérdidas de energía a través del cerramiento a la vez que funciona como capa impermeabilizante para evitar la entrada de agua a través de la envolvente con diversas capas que evitan también su fisuración.

El EPS se define como un *“Material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas preexpandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire”*<sup>9</sup>.

Por tanto, se fabrica a partir de un polímero derivado del petróleo que contiene pentano, un agente expansor. El procesado del petróleo y el gas natural da lugar a diversos subproductos, entre los que se encuentran el etileno y otros compuestos aromáticos que son la materia prima base para la producción del EPS. Según los datos que ofrece la Asociación

<sup>9</sup> Fuente: Asociación Nacional del Poliestireno Expandido <https://anape.es/producto/#eps>. Consulta marzo de 2023

Española del Poliestireno Expandido sólo un 6% del petróleo extraído se dedica a la industria química, mientras que el resto se destina al uso combustible.

Para la obtención el etileno se requiere la ruptura de los enlaces de los hidrocarburos de refinería gracias al calentamiento a altas temperaturas (750-850°C). Este proceso tiene importantes impactos sobre el medio ambiente ya que, además de la energía necesaria durante el calentamiento, se generan otros productos que bien se queman para recuperar parte de la energía del proceso.

A partir del etileno, y gracias un proceso con altas necesidades energéticas, se obtiene estireno monómero que se polimeriza en un reactor con agua dando lugar al poliestireno expandible. Esta transformación se realiza en tres fases. La primera es una preexpansión con vapor de agua a temperaturas entre 80°C y 110°C que consiguen convertir el poliestireno en unas perlas ligeras de plástico con celdas que contienen aire en su interior. El material pasa de tener una densidad de 630 kg/m<sup>3</sup> a 10-30 kg/m<sup>3</sup>. En la segunda fase, el material se estabiliza por enfriamiento, permitiendo que el aire penetre en su interior y compense el vacío que se crea durante la preexpansión. La última etapa consiste en el moldeo del material en bloques que permiten su posterior mecanizado en planchas o en otras formas que se requieran. Este proceso de configuración del material es el que le confiere sus propiedades aislantes térmicas, entre otras.

### Propiedades del EPS

Las propiedades de cada EPS dependen, sobre todo, de la densidad del producto y de los aditivos que se hayan añadido en el proceso de fabricación. De forma orientativa, se incluye un listado de propiedades de este material con diferentes densidades<sup>10</sup>.

Tabla 23. Propiedades térmicas e higroscópicas del poliestireno expandido (EPS)

EPS			
Tipo	$\rho$ - Densidad, en Kg/m <sup>3</sup>	$\lambda$ - Conductividad térmica, en W/m·K	$\mu$ - Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua, adimensional
Genérico	10-50	0,046-0,029	20-100
	35-50	0,037	150
	40-50	0,038	150
	40-50	0,042	150
	38-50	0,041	150

### La fabricación de EPS y su transformación en producto de la construcción. Contexto español

En España existen yacimientos de petróleo y gas en diversas zonas del territorio, tanto terrestre como marino. La producción interior de crudo en 2022 fue de 1.000 toneladas<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Catálogo de Elementos Constructivos CTE <https://www.codigotecnico.org/Programas/CatalogoElementosConstructivos.html>

<sup>11</sup> Fuente: Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos (Cores) <https://www.cores.es/es/estadisticas>



frente a la importación de 63.596.000 de toneladas. Esto muestra la enorme dependencia exterior de este recurso, que mayoritariamente se destina al refinado para la obtención de gasóleo y en segundo lugar a la fabricación de otros productos derivados. En el caso de la industria petroquímica, en el año 2020, consumió 63.000 de toneladas de crudo y productos petrolíferos<sup>12</sup>, en su mayoría importados ya que la producción local no alcanza para ese volumen de abastecimiento.

Según la información disponible en la página de la Asociación Nacional del Poliestireno Expandido (ANAPE) las empresas fabricantes asociadas en España son cinco: Basf, Synthos, Versalys, Sunpor y Bewi, aunque en la página no se indica su localización, que es dónde se realiza el proceso de obtención del poliestireno expandible. Las empresas asociadas que comercializan el EPS una vez expandido son dos, Emsa (Barcelona) y Quimidroga (Barcelona). Las empresas asociadas transformadoras del material se distribuyen en varias provincias, especialmente en el centro (Madrid) y en la zona mediterránea.

### **Aspectos ambientales en la fabricación y reciclado del EPS**

La obtención de EPS está condicionada a la extracción del petróleo de sus yacimientos y su transformación en otros productos. Según los datos consultados, el consumo de petróleo para la generación de EPS es residual respecto al uso de éste como combustible fósil. Los impactos generados en la fabricación del EPS se derivan sobre todo de la energía necesaria para sus procesos de transformación. Esta energía se utiliza en forma de vapor de agua, generada sobre todo a partir del gas. Numerosos productos fabricados con EPS tienen Declaración Ambiental de Producto (DAP) y sus datos se pueden consultar en diversas páginas y bases de datos<sup>13</sup>.

La vida útil del EPS se ha estimado en 30 años, aunque cuando se conforma con un SATE hay que tener en cuenta que los revestimientos a la intemperie tienen una vida útil de aproximadamente 10 años, por lo que requiere un mantenimiento.

El EPS se puede reutilizar, reciclar o recuperar la energía embebida mediante su combustión. Poliestireno extruido (XPS)

El proceso de fabricación del poliestireno extruido o extrusionado es similar al del EPS ya que procede del mismo recurso, el petróleo. La diferencia es que este producto tiene una absorción de agua prácticamente nula y, para ello, requiere un proceso diferente de conformado que el EPS, que consiga que las celdas sean cerradas. Esta característica hace que sea más rígido y, por tanto, tenga más resistencia mecánica.

A partir de granza o pequeñas partículas de material de poliestireno, a la que se añaden una serie de aditivos y un agente espumante, se obtiene el XPS en un proceso de extrusión, expansión, estabilización y mecanización. Es habitual añadir material procedente del reciclado del XPS en la granza inicial. Los gases utilizados para la expansión del XPS son el dióxido de carbono y los hidrofluorocarbonos (HFC).

---

<sup>12</sup> El sector de la construcción consumió ese mismo año 1.307 miles de toneladas

<sup>13</sup> <https://www.aenor.com/certificacion/certificacion-de-producto/declaraciones-ambientales-de-producto>

## Propiedades del XPS

Las propiedades del XPS dependen de su densidad y de los aditivos y gases utilizados para su expansión.

Tabla 24. Propiedades térmicas e higroscópicas del poliestireno extruido (XPS)

XPS			
Tipo	$\rho$ - Densidad, en Kg/m <sup>3</sup>	$\lambda$ - Conductividad térmica, en W/m·K	$\mu$ - Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua, adimensional
Genérico			
Expandido con dióxido de carbono	25-50	0,042-0,034	100-220
Genérico	25-50	0,039-0,025	100-220
Expandido con HFC			

## La fabricación de XPS y su transformación en producto de la construcción en España

El grupo internacional SOPREMA<sup>14</sup> es uno de los proveedores a nivel mundial de XPS. La filial española tiene almacenes de distribución en varios lugares de la península, con oficinas en Madrid y en Barcelona. En el folleto corporativo la empresa expone la política ambiental tanto en la gestión como en el desarrollo de los productos que comercializa. Sus paneles de XPS cuentan con declaración de impacto ambiental y con fichas de sostenibilidad. También anuncia que parte del material que produce procede del reciclado del XPS.

### Aspectos ambientales en la fabricación y reciclado del XPS

El proceso de fabricación es similar a la del EPS, salvo en los aditivos y el extrusionado que le confiere las propiedades impermeabilizantes y aisladas. Al igual que el EPS, el XPS puede reciclarse con el mismo procedimiento y se puede incorporar en la fabricación de nuevo XPS tras un proceso de separación de componentes y desintegración en una nueva granza.

#### 4.1.1.2 Lana de roca

La lana de roca es un material aislante térmico y acústico que se obtiene a partir de la fusión de roca basáltica, ofita y escoria en un horno calentado a unos 1500°C. El basalto es una roca ígnea máfica compuesta por plagiocasa cálcica, piroxeno y olivino que una vez fundida se centrifuga para transformarla en fibras y se le añade un ligante que la convierte en lana sin polimerizar que luego se polimeriza y comprime durante un proceso de enfriamiento y estabilizado. Es un material que, por sus características y producción, tiene una alta resistencia al fuego además de propiedades acústicas y térmicas.

<sup>14</sup> <https://www.soprema.es/es/>

## Propiedades de la lana de roca

Las características de la lana mineral dependen del fabricante. Se adjunta una tabla orientativa con los rangos más habituales de sus propiedades.

*Tabla 25. Propiedades térmicas e higroscópicas de la lana mineral*

LANA MINERAL				
Tipo	$\rho$ - Densidad, en Kg/m <sup>3</sup>	$\lambda$ - Conductividad térmica, en W/m·K	$\mu$ - Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua, adimensional	
Genérico	100	0,05-0,31		1

## La fabricación de lana de roca para la construcción en España

La Asociación de Fabricantes Españoles de Lanasy Minerales Aislantes (AFELMA) en España está compuesta por cuatro empresas: Rockwool, Knauf, Isover y Ursa.

En Navarra, Rockwool tiene una planta de producción de lana de roca que se abastece de canteras cercanas, con una producción de unas 120.000 toneladas al año. Isover forma parte del grupo internacional Saint Gobain y tiene instalaciones industriales en Segovia, Alcalá y Azuqueca de Henares. En el caso de Knauf no se ha encontrado información sobre plantas de fabricación de lana mineral en España, sí en otros países europeos. La sede central de Ursa se encuentra en España y una planta en Tarragona.

## Aspectos ambientales en la fabricación y reciclado de la lana de roca

Todas estas empresas explicitan en sus webs la apuesta por políticas de sostenibilidad en su proceso de fabricación del material, desarrollando procesos menos consumidores de energía y reduciendo la producción de residuos. La lana de roca es fácil de separar y reciclar una vez que se desmonta del sistema constructivo del edificio. Por ese motivo, algunos de los fabricantes tienen incorporados en su proceso de fabricación el reciclaje del material para su tratamiento y nueva configuración en lana de roca nueva.

### 4.1.1.3 Corcho

El corcho es un material aislante de origen natural. Procede de la extracción de la corteza de los alcornoques, que debe ser tratada posteriormente para su configuración como elemento constructivo. En el caso del aislamiento, se utiliza en láminas o placas o bien proyectado en forma de granos triturados.

La obtención de la materia prima se realiza gracias a que los alcornoques liberan cada 10 años su corteza, que puede ser aprovechada. A partir de ahí se trata con una serie de colas y pegamentos que consiguen que tenga la consistencia necesaria para su colocación como aislante térmico y acústico.

Por su origen y propiedades, el consumo energético en su transformación como producto de la construcción es muy bajo en comparación con otros materiales. En el caso de fabricación de planchas, se utiliza un corcho de peor calidad que el que se utiliza para fabricar los

taponos junto con restos y residuos. Este se limpia, tritura, aglutina y prensa, para su configuración en granos o en planchas<sup>15</sup>.

### Propiedades del corcho

El corcho es un material con propiedades adecuadas como aislante térmico y acústico a ruido impacto y aéreo, además de ser impermeable y transpirable. En la siguiente tabla se recogen las propiedades de este material.

*Tabla 26. Propiedades térmicas e higroscópicas del corcho<sup>16</sup>*

CORCHO			
Tipo	$\rho$ - Densidad, en Kg/m <sup>3</sup>	$\lambda$ - Conductividad térmica, en W/m·K	$\mu$ - Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua, adimensional
Genérico	100-115	0,036	05-oct

### La producción de corcho para la construcción en España

En España han estado presentes desde el siglo XVIII diversas industrias de aprovechamiento del corcho, especialmente para taponos, ubicadas en Cataluña y posteriormente en Extremadura y Andalucía. También hay una industria importante del corcho en Portugal. Actualmente la mayoría de los productores se sitúan en la región extremeña y portuguesa.

### Aspectos ambientales en la fabricación y reciclado del corcho

Se trata de un material reutilizable ya que suele colocarse en seco y, por tanto, fácilmente reciclable. Al ser de origen netamente natural es biodegradable, convirtiéndose en un residuo inocuo. Los taponos de corcho utilizados se pueden recoger y transformar para su uso en el sector de la construcción como material aislante térmico y acústico.

<sup>15</sup> <https://www.barnacork.com/que-es-el-corcho/>

<sup>16</sup> <https://www.lasureda-cork.com/es/corcho-ecologico.html>

#### 4.1.2 MATERIALES PARA CARPINTERÍAS

Los materiales más habituales para los marcos de carpinterías en vivienda son el aluminio, el PVC y la madera. Las propiedades térmicas de estos tres materiales son las que se recogen en la siguiente tabla.

Tabla 27. Propiedades térmicas de marcos de carpinterías

MARCOS DE CARPINTERÍAS		
Tipo	$\rho$ - Densidad, en Kg/m <sup>3</sup>	$\lambda$ - Conductividad térmica, en W/m·K Vertical
Aluminio con rotura de puente térmico > 12 mm		3,2
PVC tres cámaras		1,8
Madera	700	2,2

En el acristalamiento de las ventanas se utiliza vidrio. Para el cumplimiento de las limitaciones en la demanda y el consumo energético en viviendas las composiciones más habituales de los vidrios son doble y triple, con las propiedades térmicas que se recogen en la siguiente tabla.

Tabla 28. Propiedades térmicas de vidrios

VÍDRIOS		
Tipo	$\rho$ - Densidad, en Kg/m <sup>3</sup>	$\lambda$ - Conductividad térmica, en W/m·K Vertical
Doble Genérico		2,8
Triple Genérico		1,9

Estas propiedades se pueden mejorar mediante el tratamiento con láminas de baja emisividad y láminas reflectantes en los vidrios y cámaras de aire o de gas argón, que consiguen unos parámetros más adecuados a cada uno de los casos.

##### 4.1.2.1 Aluminio

El aluminio es el segundo metal más abundante en la corteza terrestre por detrás del silicio. El principal problema para su uso es la separación del metal de la mena que lo contiene, la bauxita. Este mineral es sencillo y barato de extraer ya que los yacimientos se encuentran cerca de la superficie terrestre y son blandos. Sin embargo, su procesado para obtener el aluminio es caro y requiere de mucho consumo de energía. La mayor parte de los yacimientos de bauxita se encuentran en zonas tropicales, debido a que el clima y las condiciones geológicas favorecen su formación en esas regiones.

Desde estos lugares, la bauxita se transporta triturada y seca a otros países en los que la energía es más barata para proceder a su procesado, mediante la reducción electrolítica de la alúmina. El país con mayor producción de aluminio es China, seguido de lejos por Rusia, India, Canadá y Emiratos Árabes Unidos.

Debido al alto coste energético para su producción primaria, en la década de 1990 comenzó a desarrollarse la industria del reciclado del aluminio a partir de sus residuos, ya que requiere sólo un 5% de la energía necesaria para producir la misma cantidad de metal a partir de su extracción.

La industria de la fabricación de aluminio en España se sitúa el norte de la península. Esta industria está teniendo importantes problemas para mantener su producción debido al incremento de los costes de la energía de los últimos años. Una buena parte de la producción es secundaria, es decir a partir del reciclado de este material.<sup>17</sup>

España cuenta de productos de aluminio a partir de los lingotes producidos previamente, estando entre los tres primeros productores europeos junto con Alemania e Italia<sup>18</sup>. Uno de los productos fabricados son los perfiles de aluminio con los que se configuran los marcos de las carpinterías. Hay numerosas empresas en nuestro país distribuidas por todo el territorio que transforman el aluminio en perfiles mediante un fundido y posterior moldeo. Estos perfiles luego son cortados y ensamblados por las empresas fabricantes de los marcos.

La vida útil de los perfiles de aluminio se estima entre 50 -80 años.

#### 4.1.2.2 Policloruro de vinilo (PVC)

El policloruro de vinilo (PVC) es un polímero que se obtiene a partir del monómero cloruro de vinilo, una combinación química de carbono, hidrógeno y cloro. Se fabrica a partir del petróleo bruto (43%) y de sales de cloro (57%). Es un material blanco que comienza a reblandecer alrededor de los 80 °C y se descompone sobre 140 °C.

El proceso para su obtención se basa en el craqueo del petróleo, rompiendo los enlaces químicos que permiten obtener el etileno. Este se combina con el cloro y, tras varias transformaciones, se convierte en cloruro de vinilo que posteriormente se polimeriza. La polimerización se realiza a 58 °C durante 17 horas en un cilindro rotativo, en cuyo interior hay bolas de acero inoxidable.

La fase más consumidora de energía y más contaminante es el craqueo del petróleo para la obtención del etileno. El proceso de craqueo quiere gran cantidad de energía para la disociación de la nafta. *Una mezcla de nafta y gas es precalentada a 750-850°C mediante la adición de vapor y productos a altas temperaturas en el horno de reacción. Después de producirse la reacción, el gas de craqueo resultante se enfría con agua y aceites residuales, lo que genera vapor que es utilizado posteriormente para precalentar la nafta de entrada al proceso. Esta mezcla de aceite, gas de craqueo y vapor se separa en diferentes fracciones en una sección de rectificación (columna de rectificación) en varios pasos*

<sup>17</sup> [040301-fabric-aluminio\\_tcm30-502319.pdf \(miteco.gob.es\)](https://www.miteco.gob.es/040301-fabric-aluminio_tcm30-502319.pdf)

<sup>18</sup> <https://www.iberalc.com/>

*Según la materia prima utilizada se obtiene una gama distinta de productos, en el caso de la nafta, se obtienen entre otros: propileno, butadieno y compuestos aromáticos (productos primarios). Adicionalmente también se generan cantidades significativas de otros productos (productos secundarios) tales como hidrógeno, metano y fracciones C4 entre otros, que suelen ser quemados como recuperación de energía dentro del proceso, aunque también pueden ser utilizados en otra ubicación como por ejemplo refinerías.*<sup>19</sup>.

Aproximadamente el 55% de la producción de PVC se destina a aplicaciones de larga duración como la construcción. Como el resto de derivados del petróleo, en la producción del material intervienen diversos agentes que suelen estar integrados en el circuito globalizado de la industria de los plásticos. En España, según la información recabada, hay tres empresas dedicadas a la producción de PVC para su posterior moldeo en diversos usos. Actualmente esta industria está integrando en sus fábricas líneas para el reciclaje del producto.

A partir de la materia prima de PVC, los perfiles de ventanas se fabrican en extrusoras. El proceso consiste en introducir por un extremo de la máquina el PVC en polvo o en grano junto con sus aditivos. En este momento, pasan por un proceso de fundido. Por el otro extremo de la extrusora, sale el perfil a través de una boquilla con la forma que éste adoptará. El siguiente paso consiste en cortar las barras de PVC en largos de cinco a seis metros. Posteriormente se cortan y se ensamblan para conformar los marcos de las ventanas. Las carpinterías de PVC, según distintos fabricantes, tienen una vida útil entre hasta 50 años.

#### 4.1.2.3 Madera

La madera es el material más habitual en la construcción tradicional para la configuración de carpinterías. Los perfiles utilizados se obtienen a partir de la madera obtenida en explotaciones madereras, que puede configurarse de manera directa o mediante su transformación en perfiles laminados que mejoran su resistencia y reducen las necesidades de mantenimiento.

En cualquier caso, la madera debe extraerse de bosques mediante tala, poda y descortezado. Desde la explotación se transporta a los lugares de procesado para su secado, natural o artificial y posterior corte y cepillado. En el caso de las carpinterías suelen utilizarse maderas blandas como el pino, abeto, chopo y algunas maderas duras como el roble o el cerezo.

La madera se considera un recurso renovable ya que una vez extraída del bosque, este puede continuar con su crecimiento, aunque los tiempos de renovación pueden ser largos. Además, puesto que su montaje se realiza en seco, puede desmontarse, reutilizarse y reciclarse. En el proceso de fabricación de las carpinterías no se requiere gran cantidad de energía puesto que el material apenas es transformado químicamente. El mayor coste energético puede suponer el transporte desde el bosque productivo hasta el lugar de ejecución.

---

<sup>19</sup> Fuente: [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/040501-fabric-etileno\\_tcm30-502316.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/040501-fabric-etileno_tcm30-502316.pdf)



Según los datos de Vignote et al, 2014 la producción de la industria de la madera en rollo en España en el año 2012 fue de 11.627.000 m<sup>3</sup>, una cantidad muy similar a la de años anteriores. Las empresas que se dedican a la producción de este tipo de madera que es la que se utiliza, entre otras, para la construcción de estructuras de madera y la fabricación de carpinterías de ventanas están ubicadas cerca de las zonas productoras de madera, esto es en Galicia, Cornisa Cantábrica y Castilla León. Según las últimas estadísticas consultadas<sup>20</sup> con datos de 2012, aproximadamente un 13% de la producción maderera en España se destina a la elaboración de productos de construcción, carpintería y madera estructural. Las encuestas en este sector indican que el 43% de la madera empleada para fabricar sus ventanas es pino silvestre, el 21% es iroko, el 15% corresponde al roble y el 6% al castaño.

#### 4.1.2.4 Vidrio

El vidrio se produce por la fusión conjunta de diversos minerales y rocas que se enfrían posteriormente sin que se produzca su cristalización. El principal componente del vidrio es la sílice contenida en el cuarzo de arenas y areniscas. Puesto que el punto de fusión de la sílice es elevado, se mezcla con óxido de sodio para rebajarlo y cal para estabilizar la mezcla, con alúmina para mejorar su resistencia química y con otros materiales para proporcionar determinadas propiedades. En esta mezcla se puede incorporar vidrio procedente del reciclado, que ha sido tratado previamente.

La mezcla se funde en unos hornos a una temperatura de 1.500°C para su posterior enfriamiento lento o recocado, que permite reducir tensiones. La fabricación de vidrios para carpinterías se hace mediante laminado que permite unir dos o más capas de vidrio con una capa intermedia de PVB (butiral de polivinilo).

En España hay numerosas empresas dedicadas a la fabricación del vidrio plano, distribuidas por todo el territorio, al igual que las empresas que se dedican a su posterior manipulado para conformar vidrio laminado.

## 4.2 Impactos ambientales asociados a la producción y utilización de los materiales estudiados

Las Declaraciones Ambientales de Producto (EDP/DAP) para los materiales de construcción se elaboran en base a una metodología definida en la norma ISO 14025 y la Norma Europea UNE-EN 15804 que establece los indicadores ambientales y de uso de recursos que se tienen que cuantificar.

A continuación, se describen los **indicadores de impacto ambiental**.

### **Potencial de calentamiento global (GWP)**

Indica el potencial de calentamiento global de cada uno de los gases de efecto invernadero que se producen en cada fase del Análisis de Ciclo de Vida. Se expresa en kg de CO<sub>2</sub> equivalente.

---

<sup>20</sup> Asociación Española del Comercio e Industria de la madera AEIM de <https://www.aeim.org/>

**Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico (ODP)**

Indica la destrucción de la capa de ozono estratosférica, que protege a la Tierra de los rayos ultravioletas. El proceso de destrucción del ozono estratosférico se debe a la ruptura de las moléculas de ozono (O<sub>3</sub>) por la presencia de ciertos compuestos que contienen cloro y bromo. Se expresa en kg de CFC 11 equivalente.

**Potencial de acidificación del suelo y de los recursos de agua (AP)**

Las principales fuentes de emisiones de sustancias acidificantes son la agricultura y la combustión de sólidos utilizados para la producción de electricidad, calefacción y transporte. Los compuestos ácidos en la atmósfera acaban llegando a la corteza terrestre en forma de lluvia ácida, que tiene impactos negativos en los ecosistemas naturales y el medio ambiente. Se expresa en kg de SO<sub>2</sub> equivalente.

**Potencial de eutrofización (PO)**

Indica los efectos biológicos adversos derivados del excesivo enriquecimiento con nutrientes inorgánicos, sobre todo nitrógeno y fósforo, de las aguas y las superficies continentales. La eutrofización tiene impactos negativos sobre los ecosistemas acuáticos ya que modifica su equilibrio por la proliferación de algas. Se expresa en kg de (PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>-equivalente.

**Potencial de formación de ozono troposférico (POCP)**

A diferencia del ozono estratosférico, el exceso de ozono que se forma en la troposfera es nocivo para la salud y para los ecosistemas. Se trata de un contaminante secundario formado por la reacción de contaminantes con la radiación solar. Se expresa en kg de etileno equivalente.

**Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos no fósiles (ADPE)**

Incluye el consumo de todos los recursos abióticos no renovables en las diferentes fases analizadas. Se expresa en kg de Sb equivalente.

**Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos fósiles (ADFP)**

Incluye el consumo de todos los recursos fósiles. Se expresa en MJ.

Los indicadores de **uso de recursos** son los siguientes

**Uso total de energía primaria renovable (PERT)**

Cuantifica el uso de energía primaria renovable. Se expresa en MJ.

**Uso total de energía primaria no renovable (PERNRT)**

Cuantifica el uso de energía primaria no renovable. Se expresa en MJ.

**Uso neto de recursos de agua corriente (FW)**

Cuantifica el uso de agua natural en la superficie de la Tierra, en las capas de hielo, en los casquetes de hielo, glaciares, icebergs, ciénagas, lagunas, lagos, ríos y arroyos, y aguas subterráneas de acuíferos y corrientes subterráneas. Se expresa en m<sup>3</sup>.

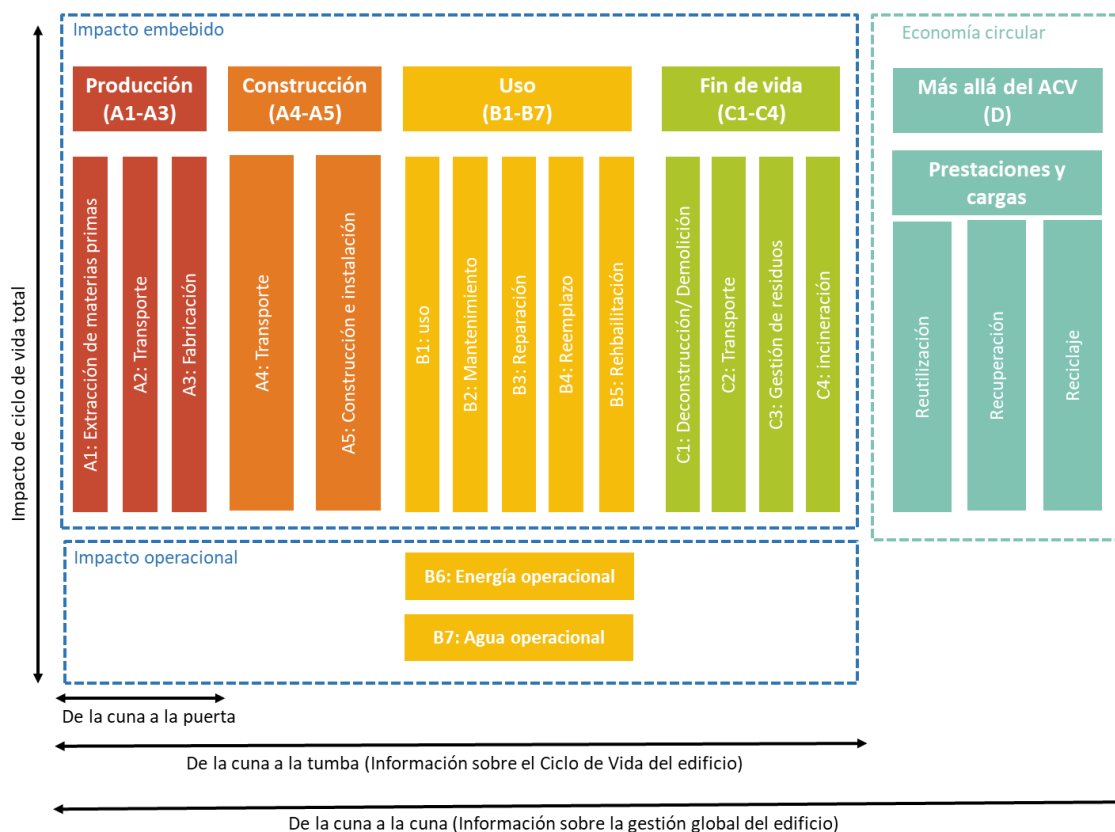
#### 4.2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL PROYECTO

Previamente a realizar cualquier Análisis de Ciclo de Vida es fundamental determinar las etapas que se quieren estudiar para identificar el ámbito y el alcance del mismo. En el caso de los edificios, el análisis global es complejo ya que puede abarcar periodos dilatados en el tiempo en el que intervienen diferentes agentes. Esto supone que los datos, procedimientos, materiales y técnicas ambientales disponibles en el momento de redacción del proyecto, no sean los mismos que al final de la vida útil del edificio.

Por otro lado, la complejidad y diversidad de agentes que intervienen en el proceso dificultan la disponibilidad de acceder a bases de datos contextualizadas a cada ámbito local y territorial. En ese sentido, al hacer este tipo de análisis debemos tener presente que se trabaja con estimaciones que permiten comparar soluciones u opciones bajo el mismo procedimiento de cálculo pero que, en ningún caso, son resultados definitivos.

En la Figura 25 se muestran las diferentes etapas y nomenclatura de los alcances en el ACV de edificios. Se comprueba que, desde el punto de vista teórico, el análisis puede ser completo con un enfoque global de la cuna a la cuna, que desde el punto de vista ambiental sería lo más deseable y ajustado a los principios de funcionamiento de los ecosistemas. Sin embargo, disponer de información para realizar este tipo de análisis es, en estos momentos, imposible, por lo que se suele acotar el enfoque a la disponibilidad de datos o al alcance del que es posible conocer datos en cada momento.

Figura 25. Esquema de etapas y nomenclatura en el Análisis de Ciclo de Vida de los edificios



En la base de datos consultada y utilizada para realización de este informe (Arquímedes CYPE, 2023) se han tenido sólo en cuenta las fases desde la producción de materiales hasta la construcción del edificio, quedando excluidos los impactos derivados del uso y de la posterior demolición o desmontaje del mismo.

### Fabricación de producto (A1 - A2 - A3)

Comprende la elaboración del producto, abarcando desde la extracción de las materias primas hasta la fabricación y embalaje del producto final, incluyendo el transporte de las materias primas hasta la fábrica y los desplazamientos necesarios para su producción.

### Transporte del producto (A4)

Esta fase comprende el transporte del producto desde la salida de la fábrica hasta la entrada de la obra, incluyendo los desplazamientos necesarios en el proceso de distribución.

### Proceso de instalación del producto y construcción (A5)

Esta fase se refiere al proceso de construcción e instalación de los productos, incluyendo los desplazamientos dentro del recinto de la construcción.

## 4.2.2 IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LOS MATERIALES ESTUDIADOS

A partir de los materiales más habituales en la rehabilitación energética de edificios de vivienda se han escogido una serie de aplicaciones de mejora de la eficiencia energética de la envolvente específicas para cada uno de los tres climas que se quieren estudiar. En concreto, se plantean soluciones alternativas para la mejora de la eficiencia energética de la envolvente mediante el uso de un sistema de aislamiento térmico por el exterior (SATE) con tres materiales diferentes. De igual manera se plantean tres soluciones alternativas para la cubierta, el suelo y las carpinterías (marco y acristalamientos). A continuación, se incluyen los indicadores para cada una de las opciones que permiten evaluar desde diversas perspectivas el impacto ambiental en la fabricación de cada uno de ellos. Es importante señalar que estas cuantificaciones se refieren únicamente a las fases de extracción, producción, transporte y puesta en obra, quedando fuera del análisis la fase operacional del edificio, así como la deconstrucción y posterior reciclaje de estos materiales.

### 4.2.2.1 Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior (SATE)

Tabla 29. Indicadores ambientales asociados a los sistemas de aislamiento por el exterior (SATE) propuestos para la fachada. Unidades por m<sup>2</sup>.

SISTEMAS DE AISLAMIENTO TÉRMICO EXTERIOR - ENERGÍA Y EMISIONES - A1+A2+A3+A4+A5										
Tipo	Indicadores de impacto ambiental							Uso de recursos		
	GWP CO <sub>2</sub> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ODP CFC 11 eq. (kg) / m <sup>2</sup>	AP SO <sub>2</sub> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	EP (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	POCP etileno eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ADPE Sb eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ADFP (MJ) / m <sup>2</sup>	PERT (MJ) / m <sup>2</sup>	PERNRT (MJ) / m <sup>2</sup>	FW (m <sup>3</sup> ) / m <sup>2</sup>
SATE EPS (10 cm)	8,809	0,000647	0,057	0,011	0,023	0,000353	255,154	9,418	213,012	0,218
SATE Lana mineral (12 cm)	25,939	0,001	0,207	0,046	0,019	0,000601	642,891	43,274	896,833	0,339
SATE Corcho (10 cm)	-17,755	0,000829	0,174	0,049	0,009	0,000429	183,25	724,427	136,116	0,226

#### 4.2.2.2 Aislamiento en cubierta

Tabla 30. Indicadores ambientales asociados a los sistemas de aislamiento propuestos para la cubierta. Unidades por m<sup>2</sup>.

AISLAMIENTO EN CUBIERTAS - ENERGÍA Y EMISIONES - A1+A2+A3+A4+A5										
Tipo	Indicadores de impacto ambiental							Uso de recursos		
	GWP CO <sub>2</sub> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ODP CFC 11 eq. (kg) / m <sup>2</sup>	AP SO <sub>2</sub> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	EP (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	POCP etileno eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ADPE Sb eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ADFP (MJ) / m <sup>2</sup>	PERT (MJ) / m <sup>2</sup>	PERNRT (MJ) / m <sup>2</sup>	FW (m <sup>3</sup> ) / m <sup>2</sup>
XPS (12 cm)	14,187	0,000744	0,084	0,018	0,021	0,000378	452,302	19,948	412,004	0,262
Lana mineral (12 cm)	9,233	0,00023	0,064	0,015	0,006	0,000172	204,389	16,602	295,944	0,141
Panel de madera (10 cm)	6,073	0,000732	0,067	0,024	0,006	0,000486	163,499	94,942	120,44	0,293

#### 4.2.2.3 Aislamiento en suelos

Tabla 31. Indicadores ambientales asociados a los sistemas de aislamiento propuestos para el suelo. Unidades por m<sup>2</sup>.

AISLAMIENTO EN SUELOS - ENERGÍA Y EMISIONES - A1+A2+A3+A4+A5										
Tipo	Indicadores de impacto ambiental							Uso de recursos		
	GWP CO <sub>2</sub> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ODP CFC 11 eq. (kg) / m <sup>2</sup>	AP SO <sub>2</sub> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	EP (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	POCP etileno eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ADPE Sb eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ADFP (MJ) / m <sup>2</sup>	PERT (MJ) / m <sup>2</sup>	PERNRT (MJ) / m <sup>2</sup>	FW (m <sup>3</sup> ) / m <sup>2</sup>
EPS (10 cm)	8,291	0,000638	0,056	0,011	0,023	0,000339	250,586	6,838	208,728	0,189
Lana mineral (10 cm)	6,021	8,43E-06	0,035	0,008	0,002	2,78E-05	96,638	12,499	97,363	2,564
Corcho (10 cm)	-19,902	0,000622	0,156	0,044	0,008	0,000311	147,32	713,192	113,259	0,149

#### 4.2.2.4 Carpinterías

Tabla 32 Indicadores ambientales asociados a los sistemas de aislamiento propuestos para las carpinterías. Unidades por m<sup>2</sup>.

CARPINTERÍAS - ENERGÍA Y EMISIONES - A1+A2+A3+A4+A5										
Tipo	Indicadores de impacto ambiental							Uso de recursos		
	GWP CO <sub>2</sub> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ODP CFC 11 eq. (kg) / m <sup>2</sup>	AP SO <sub>2</sub> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	EP (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	POCP etileno eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ADPE Sb eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ADFP (MJ) / m <sup>2</sup>	PERT (MJ) / m <sup>2</sup>	PERNRT (MJ) / m <sup>2</sup>	FW (m <sup>3</sup> ) / m <sup>2</sup>
Aluminio	75,353	0,000325	0,486	0,028	0,181	0,00059	1076,367	311,321	786,409	10,831
PVC	121,126	0,000972	0,641	0,04	0,055	0,002	1498,28	133,92	1122,926	3,722
Madera	-69,705	0,001	0,201	0,068	0,015	0,146	474,324	5099,784	422,435	98,901

#### 4.2.2.5 Vidrios

Tabla 33 Indicadores ambientales asociados a los sistemas de aislamiento propuestos para los vidrios Unidades por m<sup>2</sup>.

VÍDRIOS - ENERGÍA Y EMISIONES - A1+A2+A3+A4+A5										
Tipo	Indicadores de impacto ambiental							Uso de recursos		
	GWP CO <sub>2</sub> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ODP CFC 11 eq. (kg) / m <sup>2</sup>	AP SO <sub>2</sub> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	EP (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	POCP etileno eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ADPE Sb eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ADFP (MJ) / m <sup>2</sup>	PERT (MJ) / m <sup>2</sup>	PERNRT (MJ) / m <sup>2</sup>	FW (m <sup>3</sup> ) / m <sup>2</sup>
Doble	7,912	0,000664	0,061	0,008	0,011	0,000461	159,002	13,425	114,618	0,213
Triple	8,347	0,000823	0,069	0,01	0,013	0,000459	171,283	9,451	114,867	0,205

- A1: Suministro de materias primas  
 A2: Transporte de materias primas  
 A3: Fabricación del producto  
 A4: Transporte del producto  
 A5: Proceso de instalación del producto y construcción

- GWP: Potencial de calentamiento global  
 ODP: Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico  
 AP: Potencial de acidificación del suelo y de los recursos de agua  
 EP: Potencial de eutrofización  
 POCP: Potencial de formación de ozono troposférico  
 ADPE: Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos no fósiles  
 ADFP: Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos fósiles  
 PERT: Uso total de energía primaria renovable  
 PERNRT: Uso total de energía primaria no renovable  
 FW: Uso neto de recursos de agua corriente

### 4.3 Impactos ambientales asociados a la rehabilitación energética integral de un edificio de viviendas en tres climas españoles

A partir del edificio seleccionado para el estudio de caso y los diferentes escenarios de ubicación, así como de rehabilitación se ha estudiado el impacto ambiental de la rehabilitación energética de la envolvente con tres opciones de materiales para la mejora de la eficiencia energética de la envolvente, así como la sustitución de equipos.

Para cada uno de los climas se han cuantificado los siguientes indicadores ambientales asociados a la incorporación de los materiales aislantes en el edificio objeto del estudio.

- Potencial de calentamiento global (GWP) (kgCO<sub>2</sub>)
- Uso total de energía primaria no renovable (PERNRT) (kWh)

De esta manera se puede conocer la energía y las emisiones derivadas de la rehabilitación energética del edificio.

Por otro lado, se han utilizado los siguientes datos obtenidos en las simulaciones energéticas mediante la herramienta HULC para el caso base (antes) y para la intervención en la envolvente mediante la mejora de su eficiencia energética (después) que permiten conocer los impactos asociados al uso del edificio.

- Demanda calefacción (kWh/m<sup>2</sup> año)
- Demanda refrigeración (kWh/m<sup>2</sup> año)
- Consumo de energía primaria no renovable (PERNRT) (kWh/m<sup>2</sup> año)
- Emisiones CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> año)

A partir de estos datos se obtienen valores totales anuales para el conjunto del edificio, en la lógica de estimar el impacto de la rehabilitación integral de la envolvente. Hay que señalar que los materiales aislantes evaluados no tienen los mismos valores de transmitancia, pero de cara a objetivo del análisis se ha considerado que las soluciones son equivalentes, ya que se trata de comparar diferentes opciones de materiales con mayor o menor impacto ambiental en su proceso de fabricación, transporte y colocación en obra.

Por otro lado, algunas de los materiales seleccionados corresponden a soluciones específicas que dependen de la configuración constructiva del edificio. También se han tratado los materiales como soluciones equivalentes por el mismo motivo.

La comparación entre la energía primaria no renovable consumida y las emisiones producidas por la intervención en el edificio, con los ahorros energéticos obtenidos (y la consiguiente reducción de consumo de energía primaria no renovable de y las emisiones evitadas por la mejora de le envolvente), permitirán, en cada clima, tener más datos sobre los impactos ambientales evitados por la rehabilitación energética del edificio, en función del tipo de materiales seleccionados y de las condiciones climáticas.

#### **4.3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS OPCIONES DE INTERVENCIÓN EN LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO**

Se han definido las siguientes tres opciones que incluyen un conjunto de materiales que, respondiendo a las mismas prestaciones energéticas, tienen diferentes impactos ambientales.

- Opción 1. Materiales habituales
- Opción 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas
- Opción 3. Materiales de bajo impacto ambiental

El objetivo es evaluar desde un enfoque ambiental las ventajas e inconvenientes de cada una de las opciones en los tres climas escogidos y, si es posible, establecer conclusiones en relación con elección de materiales y sistemas constructivos en la rehabilitación energética de edificios de viviendas en España.

Por otro lado, en base a estas conclusiones, explorar la posibilidad de incorporar indicadores ambientales que completen la calificación energética de las viviendas, ampliando de esa manera el enfoque de las políticas destinadas a la transformación del sector.

Se describen a continuación los materiales y sistemas planteados en cada una de las opciones.



Tabla 34. Materiales empleados en las tres opciones propuestas en cada uno de los climas

ZONA CLIMÁTICA		A4 ALMERÍA	D3 MADRID	E1 ÁVILA
FACHADA	Opción 1. Materiales habituales	SATE 5 cm EPS	SATE 10 cm EPS	SATE 12 cm EPS
	Opción 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas	SATE 5 cm Lana mineral	SATE 10 cm Lana mineral	SATE 12 cm Lana mineral
	Opción 3. Materiales de bajo impacto ambiental	SATE 5 cm Corcho	SATE 10 cm Corcho	SATE 12 cm Corcho
CUBIERTA	Opción 1. Materiales habituales	8 cm de XPS	10 cm de XPS	12cm de XPS
	Opción 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas	8 cm de lana mineral	10 cm de lana mineral	12 cm de lana mineral
	Opción 3. Materiales de bajo impacto ambiental	10 cm de panel de madera	12 cm panel de madera	14 cm panel de madera
SUELO	Opción 1. Materiales habituales	8 cm de EPS	10 cm de EPS	12 cm de EPS
	Opción 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas	8 cm de lana mineral	10 cm de lana mineral	12 cm de lana mineral
	Opción 3. Materiales de bajo impacto ambiental	8 cm de corcho	10 cm de corcho	10 cm de corcho
CARPINTERÍA	Opción 1. Materiales habituales	Aluminio con RPT con vidrio doble	Aluminio con RPT con vidrio triple	Aluminio con RPT con vidrio triple
	Opción 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas	PVC con vidrio doble	PVC con vidrio triple bajo emisivo	PVC con vidrio triple bajo emisivo
	Opción 3. Materiales de bajo impacto ambiental	Madera con vidrio doble	Madera con vidrio triple bajo emisivo	Madera con vidrio triple bajo emisivo

### 4.3.2 CUANTIFICACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES DE LAS OPCIONES DE INTERVENCIÓN EN LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO

La aplicación de cada una de las opciones en los tres climas seleccionados da lugar a la cuantificación de los dos indicadores mencionados con los valores que se recogen en la tabla siguiente. Estos dos valores representan el potencial de calentamiento global y el uso total de energía primaria no renovable que supone la intervención en el edificio utilizando los materiales estudiados. Estos indicadores se han seleccionado porque permiten la comparación con los indicadores que se recogen el certificado de eficiencia energética, de manera que se puede comparar el impacto ambiental de la rehabilitación en relación con las mejoras que se obtienen en el uso del edificio después de la intervención realizada.

Tabla 35. Cuantificación de dos indicadores ambientales asociados a la rehabilitación energética del edificio en los tres climas seleccionados

		POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL (GWP) (kgCO <sub>2</sub> )			USO TOTAL DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (PERNRT) (kWh)		
		A4 Almería	D3 Madrid	E1 Ávila	A4 Almería	D3 Madrid	E1 Ávila
<b>FACHADA</b>	EPS	17.427,22	32.760,65	39.045,27	2.833,13	4.877,28	5.716,64
	Lana de roca	70.239,50	137.930,42	165.006,73	7.614,62	14.361,65	17.060,23
	Corcho	12.358,53	20.934,26	20.934,26	-4.239,45	-9.830,41	-9.830,41
<b>CUBIERTA</b>	XPS	12.485,08	24.027,84	24.027,84	1.502,40	2.978,56	2.978,56
	Lana mineral	6.983,70	17.259,29	3.039,67	749,31	1.938,47	1.175,09
	Panel de madera	5.571,31	7.023,99	7.739,63	988,86	1.275,03	1.416,11
<b>SUELO</b>	EPS	9.840,59	12.174,06	24.030,13	1.429,27	1.740,86	2.978,84
	Lana mineral	3.542,54	5.678,70	6.770,89	794,74	1.264,23	1.492,47
	Corcho	3.414,46	6.605,83	6.605,83	-2.049,31	-4.178,82	-4.178,82
<b>CARPINTERÍA</b>	Aluminio+ vidrio triple	24.575,51	24.582,30	24.582,30	8.175,79	8.218,50	8.218,50
	PVC+vidrio triple	33.754,01	33.760,80	33.760,80	12.670,24	12.712,95	12.712,95
	Madera + vidrio triple	14.648,12	14.654,91	14.654,91	-6.067,45	-6.024,74	-6.024,74
<b>TOTAL</b>	<b>Opción 1</b>	64.328,42	93.544,86	111.685,55	13.940,59	17.815,20	19.892,55
	<b>Opción 2</b>	105.341,25	185.450,71	199.399,59	17.334,46	25.782,85	27.946,29
	<b>Opción 3</b>	37.404,81	49.219,00	45.234,67	-11.606,90	-18.758,95	-18.858,89

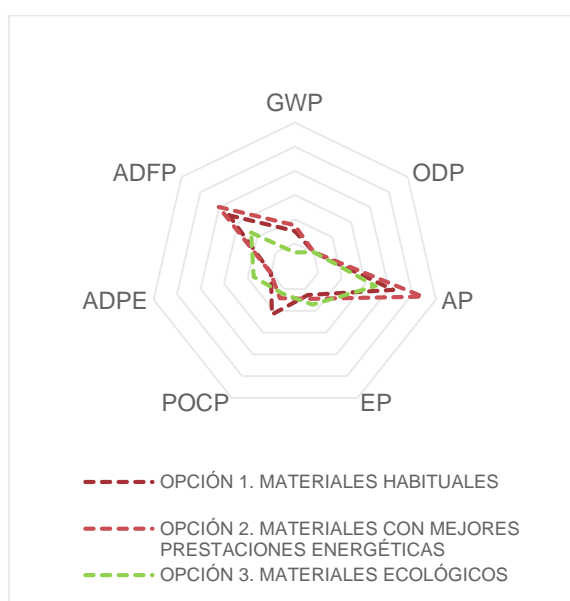
Se observa que, de las tres opciones, la que tiene menos impacto desde el punto de vista de las emisiones y el consumo de energía primaria no renovable es la opción 3. La opción 1, con soluciones más habituales, es la que ocupa el segundo lugar y la tercera es la que tiene en cuenta materiales más eficientes desde el punto de vista energético. Sin embargo, si consideramos el resto de los indicadores, esta valoración puede ser diferente ya que, en la

producción de algunos de los materiales seleccionados, los impactos asociados a otros indicadores se incrementan. Por ejemplo, el uso del agua necesaria para la producción del corcho es muy superior a la que se requiere en los otros dos materiales de aislamiento. Esto se traduce en la necesidad de contextualizar la producción de materiales al territorio para conocer la disponibilidad de recursos necesarios para ellos, así como si los impactos son críticos. Los resultados se muestran en las siguientes tablas.

*Tabla 36. Cuantificación de indicadores ambientales asociados a la rehabilitación energética del edificio en el clima A4 (Almería)*

ALMERÍA (A4) - ENERGÍA Y EMISIONES - A1+A2+A3+A4+A5										
Tipo	Indicadores de impacto ambiental							Uso de recursos		
	GWP CO <sub>2</sub> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ODP CFC 11 eq. (kg) / m <sup>2</sup>	AP SO <sub>2</sub> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	EP (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	POCP etileno eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ADPE Sb eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ADFP (MJ) / m <sup>2</sup>	PERT (MJ) / m <sup>2</sup>	PERNRT (MJ) / m <sup>2</sup>	FW (m <sup>3</sup> ) / m <sup>2</sup>
Opción 1. Materiales habituales	14079,16	0,4	84,68	9,33	31,91	0,28	285537	39044,59	234650,8	1210,75
Opción 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas	103631,4	0,64	147,67	22,38	13,34	0,51	393657,1	30567,69	424638,6	862,36
Opción 3. Materiales de bajo impacto ambiental	-10797,8	0,63	108,93	31,54	7,35	14,66	168131,9	805169,9	131748,8	9901,91

*Figura 26. Esquema comparativo de indicadores de impacto ambiental asociados a las tres opciones para la rehabilitación energética del edificio en el clima A4 (Almería)*



*Figura 27. Esquema comparativo de indicadores de uso de recursos asociados a las tres opciones para la rehabilitación energética del edificio en el clima A4 (Almería)*

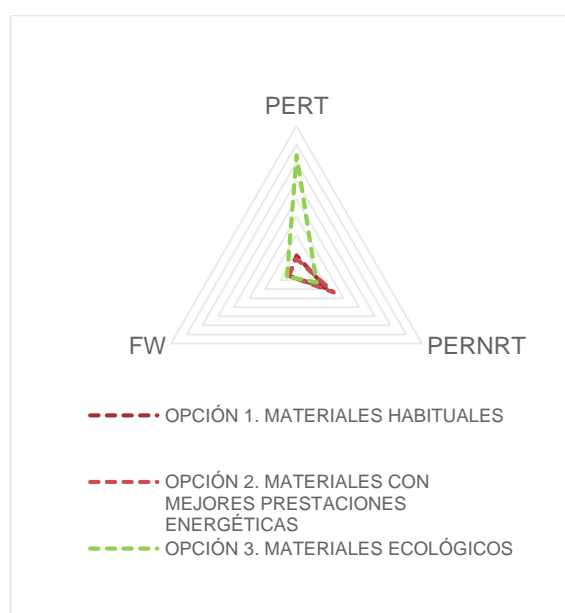


Tabla 37. Cuantificación de indicadores ambientales asociados a la rehabilitación energética del edificio en el clima D3 (Madrid)

MADRID (D3) - ENERGÍA Y EMISIONES - A1+A2+A3+A4+A5										
Tipo	Indicadores de impacto ambiental							Uso de recursos		
	GWP CO <sub>2</sub> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ODP CFC 11 eq. (kg) / m <sup>2</sup>	AP SO <sub>2</sub> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	EP (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	POCP etileno eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ADPE Sb eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ADFP (MJ) / m <sup>2</sup>	PERT (MJ) / m <sup>2</sup>	PERNRT (MJ) / m <sup>2</sup>	FW (m <sup>3</sup> ) / m <sup>2</sup>
Opción 1. Materiales habituales	18053,75	0,78	116,99	16,21	41,64	0,46	418263,8	42589,96	342529,9	1304,92
Opción 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas	30937,01	0,79	210,72	36,45	19,39	0,63	600495,9	45318,98	724951,4	1150,43
Opción 3. Materiales de bajo impacto ambiental	-20059,4	0,86	174,38	50,39	10,92	14,8	235074	1092069	180874,4	9955,27

Figura 28. Esquema comparativo de indicadores de impacto ambiental asociados a las tres opciones para la rehabilitación energética del edificio en el clima D3 (Madrid)

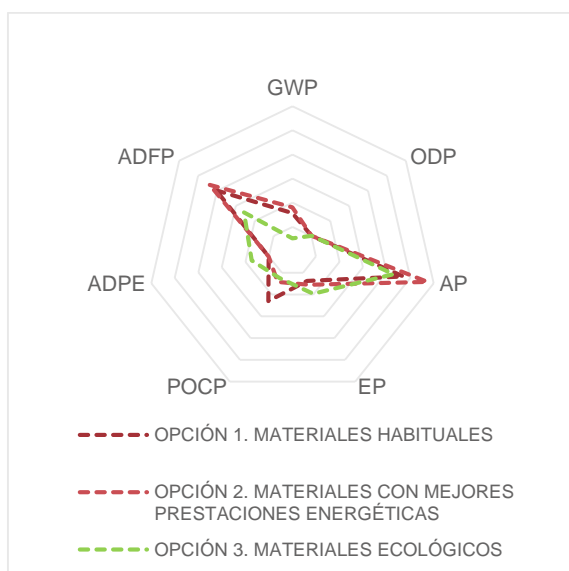


Figura 29. Esquema comparativo de indicadores de uso de recursos asociados a las tres opciones para la rehabilitación energética del edificio en el clima D3 (Madrid)

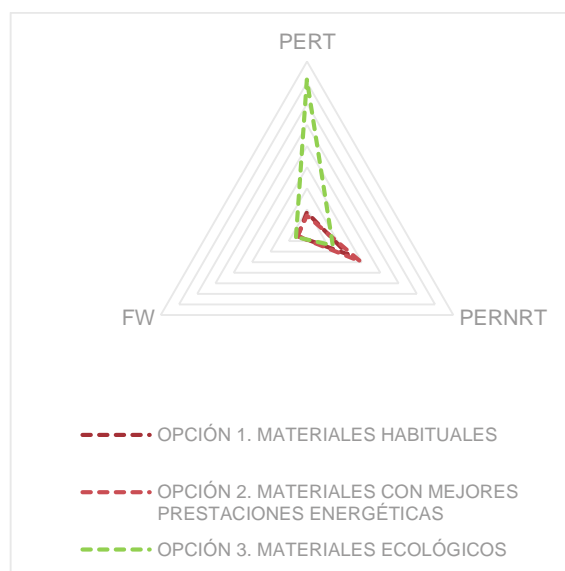


Tabla 38. Cuantificación de indicadores ambientales asociados a la rehabilitación energética del edificio en el clima E1 (Ávila)

Tipo	Indicadores de impacto ambiental						Uso de recursos			
	GWP CO <sub>2</sub> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ODP CFC 11 eq. (kg) / m <sup>2</sup>	AP SO <sub>2</sub> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	EP (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	POCP etileno eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ADPE Sb eq. (kg) / m <sup>2</sup>	ADFP (MJ) / m <sup>2</sup>	PERT (MJ) / m <sup>2</sup>	PERNRT (MJ) / m <sup>2</sup>	FW (m <sup>3</sup> ) / m <sup>2</sup>
Opción 1. Materiales habituales	20172,15	0,94	132,16	18,84	44,13	0,52	493967,1	45693,44	408942,9	1342,9
Opción 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas	33232,45	0,9	238,61	40,68	22,13	0,73	656115,7	51843,19	779934,9	1295,11
Opción 3. Materiales de bajo impacto ambiental	-19918,3	0,89	176,27	51,02	11,13	14,81	239296,3	1094765	183450,7	9960,31

Figura 30. Esquema comparativo de indicadores de impacto ambiental asociados a las tres opciones para la rehabilitación energética del edificio en el clima E1 (Ávila)

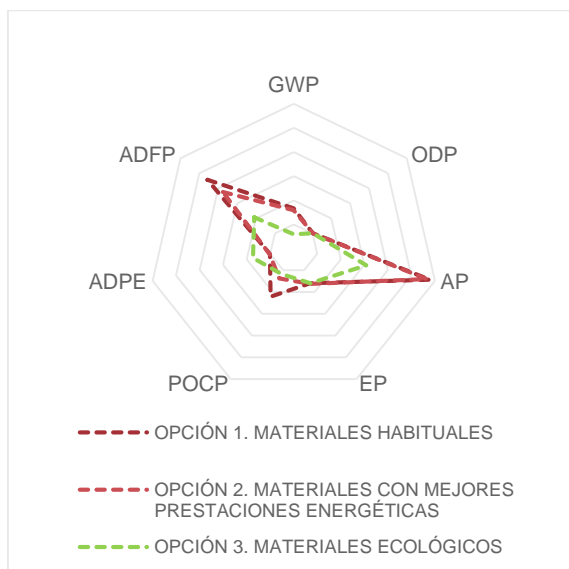
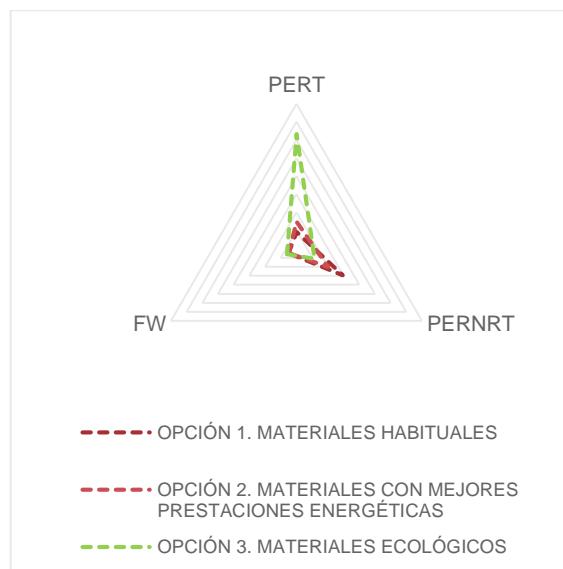


Figura 31. Esquema comparativo de indicadores de uso de recursos asociados a las tres opciones para la rehabilitación energética del edificio en el clima E1 (Ávila)



## 4.4 Impactos ambientales asociados a la sustitución del sistema de climatización de las viviendas

De acuerdo con la simulación energética, se ha considerado que se sustituyen las calderas de 9 de las 12 viviendas en el edificio estudiado por una caldera mural de condensación a gas para calefacción y ACS. Los costes ambientales son los mismos en las tres zonas climáticas, ya que las condiciones ambientales no influyen en la selección de la caldera. A continuación, se incluyen los indicadores ambientales para la sustitución de la caldera.

Tabla 39. Cuantificación de indicadores ambientales asociados a la sustitución de sistemas de climatización en viviendas

SUSTITUCIÓN DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN - ENERGÍA Y EMISIONES - A1+A2+A3+A4+A5									
Indicadores de impacto ambiental							Uso de recursos		
GWP	ODP	AP	EP	POCP	ADPE	ADFP	PERT	PERNRT	FW
CO <sub>2</sub> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	CFC 11 eq. (kg) / m <sup>2</sup>	SO <sub>2</sub> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	(PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> eq. (kg) / m <sup>2</sup>	etileno eq. (kg) / m <sup>2</sup>	Sb eq. (kg) / m <sup>2</sup>	(MJ) / m <sup>2</sup>	(MJ) / m <sup>2</sup>	(MJ) / m <sup>2</sup>	(m <sup>3</sup> ) / m <sup>2</sup>
786,897	0,009	4,851	1,485	0,225	0,306	6151,059	1459,773	8474,067	24,876

- A1: Suministro de materias primas
- A2: Transporte de materias primas
- A3: Fabricación del producto
- A4: Transporte del producto
- A5: Proceso de instalación del producto y construcción

## 4.5 Análisis multifactorial de la rehabilitación energética integral de un edificio de viviendas en tres climas españoles

Una vez obtenida la cuantificación de todos los indicadores, se procede a hacer un análisis del conjunto para cada una de las tres ubicaciones. Por un lado, se comparan los ahorros energéticos en consumo y demanda antes y después de las intervenciones propuestas para la mejora de la envolvente mediante tres opciones de conjunto de materiales y con cambio del sistema de climatización. También se cuantifican los ahorros de emisiones. Estos indicadores son los que actualmente se incluyen en el certificado de eficiencia energética de edificios y permiten obtener la calificación. Los valores se dan por m<sup>2</sup> de vivienda y para el conjunto del edificio.

A continuación, se realiza un análisis del coste monetario de las actuaciones y un análisis del coste en emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo de energía primaria no renovable de las actuaciones en relación con el consumo en el uso del edificio.

Por último, para las tres ubicaciones se ofrece un coste de amortización en base a los tres factores estudiados: monetario, consumo de energía primaria no renovable y potencial de calentamiento global.

Para el análisis monetario se proponen dos escenarios. En el primero se considera que el precio de la energía sube anualmente según la tendencia de los últimos dos años en los que los incrementos han sido mayores debido a la crisis originada por la guerra en Ucrania. En el segundo, se considera el incremento anual medio de los cinco últimos años. Para el coste

de la energía se ha utilizado la base de datos estadística de Eurostat<sup>21</sup>. Tanto para gas como para electricidad se han utilizado los datos de precio para consumidores domésticos, incluyendo tasas e impuestos.

Los precios utilizados son los siguientes:

- Gas natural 0,1855 € / kWh
- Electricidad 0,335 € / kWh

Para cada uno de los escenarios, los incrementos anuales utilizados son los siguientes:

Escenario 1. Evolución alcista del precio de la energía

- Incremento anual de precio de la electricidad 1,21
- Incremento anual de precio del gas 1,09

Escenario 2. Evolución moderada del precio de la energía

- Incremento anual de precio de la electricidad 1,08
- Incremento anual de precio del gas 1,04

#### 4.5.1 EDIFICIO DE VIVIENDAS SITUADO EN ALMERÍA

Para el edificio situado en Almería la cuantificación de los indicadores antes y después de la actuación se recogen a continuación.

Tabla 40. Indicadores anuales por m<sup>2</sup> antes y después de la actuación en edificio en Almería

	DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> año)	DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> año)	CONSUMO EPNR (kWh/m <sup>2</sup> año)	EMISIONES CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)
Estado inicial	42,27	29,68	146,51	24,84
Tras actuación envolvente	9,02	23,8	97,14	16,46
% de reducción	79%	20%	34%	34%
Tras cambio de sistemas climatización	42,27	29,68	118,6	20,21
% de reducción	0%	0%	19%	18,60%

Tabla 41. Indicadores anuales totales antes y después de la actuación en edificio en Almería

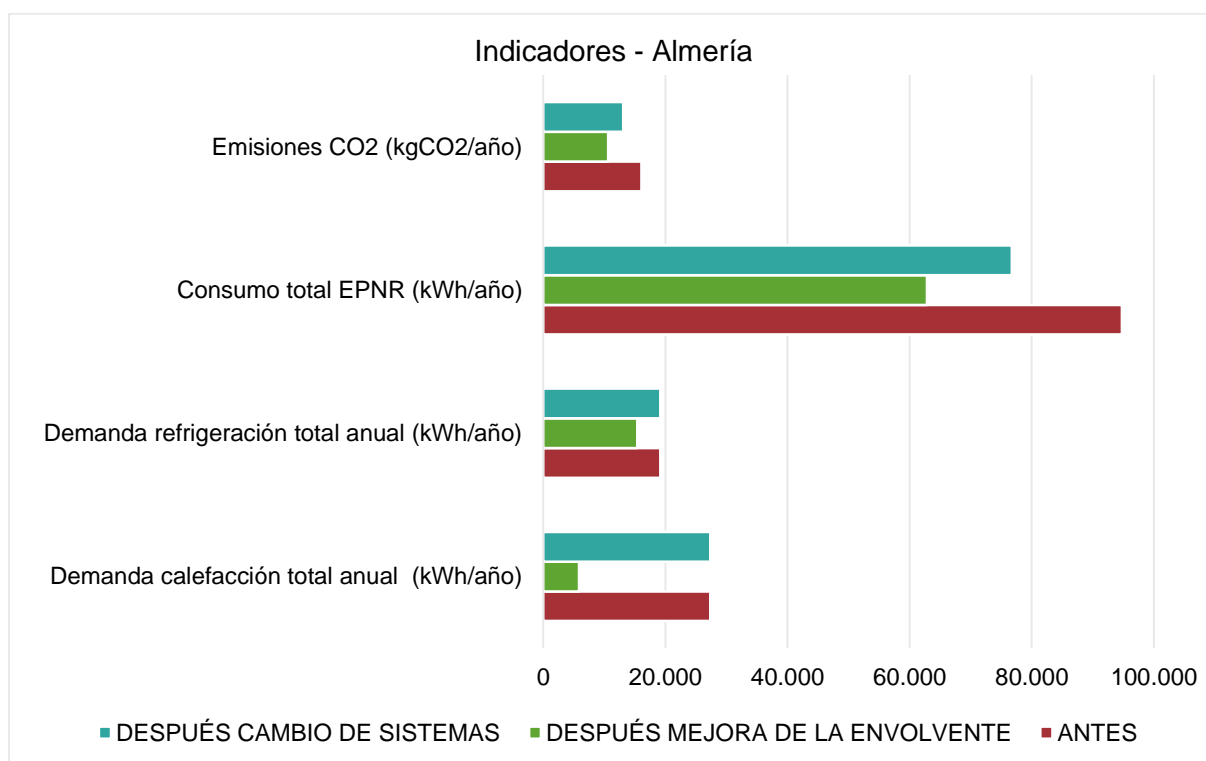
	DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh año)	DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh año)	CONSUMO EPNR (kWh año)	EMISIONES CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> año)
Estado inicial	27.338,97	19.196,13	94.758,27	16.065,77
Tras actuación envolvente	5.833,87	15.393,13	62.827,24	10.645,83
% de reducción	79%	20%	34%	34%
Tras cambio de sistemas climatización	27.338,97	19.196,13	76.706,92	13.071,22
% de reducción	0%	0%	19%	18,60%

<sup>21</sup> Disponible en <https://ec.europa.eu/eurostat>

Mediante la intervención en la envolvente, hay una importante reducción, especialmente en la demanda anual de calefacción y en el consumo total de energía primaria no renovable. La menor reducción se consigue en la demanda de refrigeración. En el caso del cambio del sistema de climatización, la reducción únicamente se consigue en el consumo de energía y en las emisiones, y tiene una menor cuantía que la intervención en la envolvente.

En la Figura 22 se puede apreciar la comparación de la cuantificación de estos indicadores antes y después de la intervención en la envolvente del edificio y con el cambio de sistemas.

*Figura 32. Comparativa de indicadores antes y después de la intervención en el edificio en Almería*



#### 4.5.1.1 Análisis monetario

A partir de estos datos, junto con los costes de la energía indicados previamente se ha realizado una estimación del gasto anual en energía antes y después de la realización de las dos intervenciones: Mejora de la envolvente y sustitución de equipo de climatización. En el caso de Almería, teniendo en cuenta que es el clima más benigno de los tres analizados, el ahorro anual en energía después de la actuación es mayor que con la sustitución del equipo de climatización.



Tabla 42. Indicadores monetarios antes y después de la actuación en edificio en Almería

	GASTO ANUAL EN ENERGÍA	AHORRO ANUAL	INVERSIÓN
	(€)	(€)	(€)
Estado inicial	16536,09		
Tras actuación envolvente 1. Materiales habituales			77286,75
Tras actuación envolvente 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas	12704,72	3831,37	93653,69
Tras actuación envolvente 3. Materiales de bajo impacto ambiental			137762,88
Tras cambio de nueve calderas	11385,71	5150,38	22500,00

#### 4.5.1.2 Análisis potencial de calentamiento global

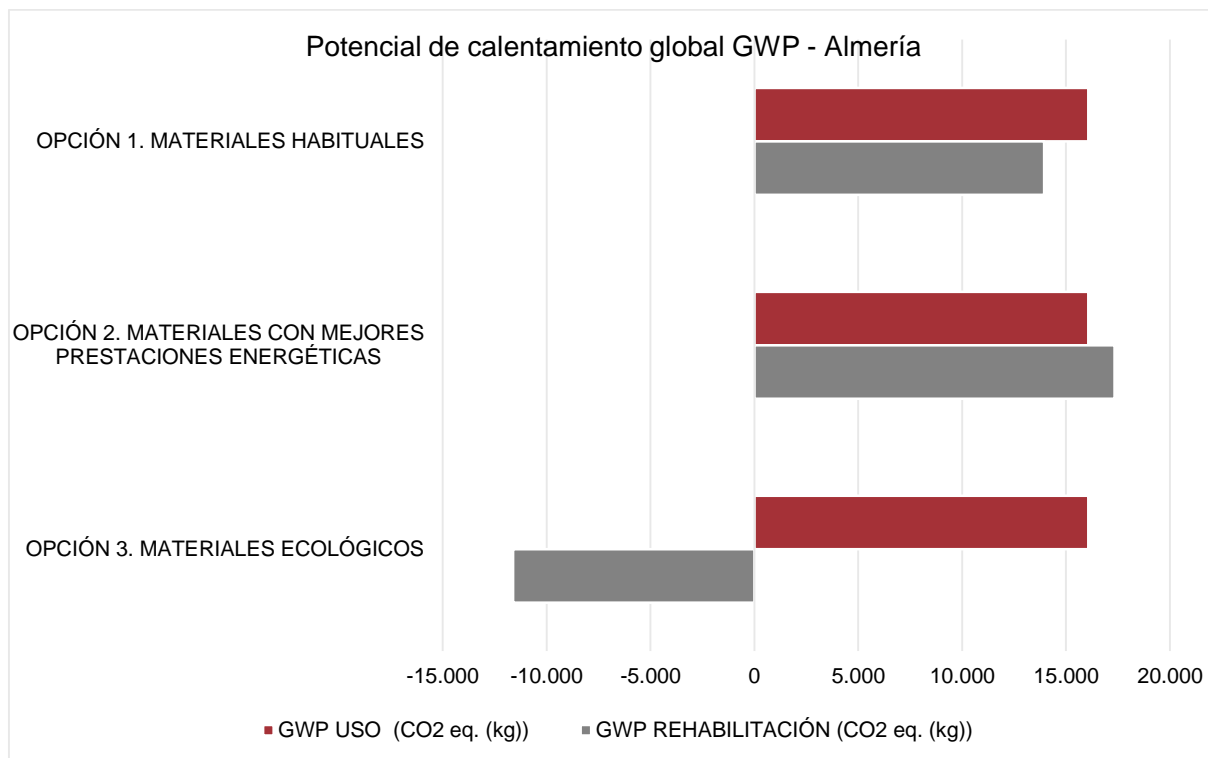
En lo que se refiere al indicador de potencial de calentamiento global, la fabricación de los sistemas de climatización supone menos emisiones que la fabricación de los materiales para la mejora de la eficiencia energética de la envolvente, tal y como se muestra en la Tabla 36.

Tabla 43. Potencial de calentamiento global por el uso anual del edificio (GWP) y en las intervenciones del edificio en Almería

	GWP uso del edificio	GWP mejora de la envolvente del edificio	GWP sustitución del sistema de climatización del edificio
	(kgCO <sub>2</sub> eq)	(kgCO <sub>2</sub> eq)	(kgCO <sub>2</sub> eq)
Opción 1. Materiales habituales		13.940,59	
Opción 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas	16.285,67	17.334,46	786,897
Opción 3. Materiales de bajo impacto ambiental		-11.606,90	

En la figura 22 se cuantifican los dos indicadores seleccionados para las tres opciones en la intervención de la envolvente. Se observa que desde el punto de vista de la energía primaria, la opción 2 es la más consumidora y que desde el potencial de calentamiento, la opción 3, compuesta de materiales ecológicos, es la que tiene incluso un impacto positivo, lo que significa que contribuye a reducir el calentamiento global.

Figura 33. Cuantificación del indicador de potencial de calentamiento global (GWP) durante el uso y en las intervenciones en el edificio en Almería



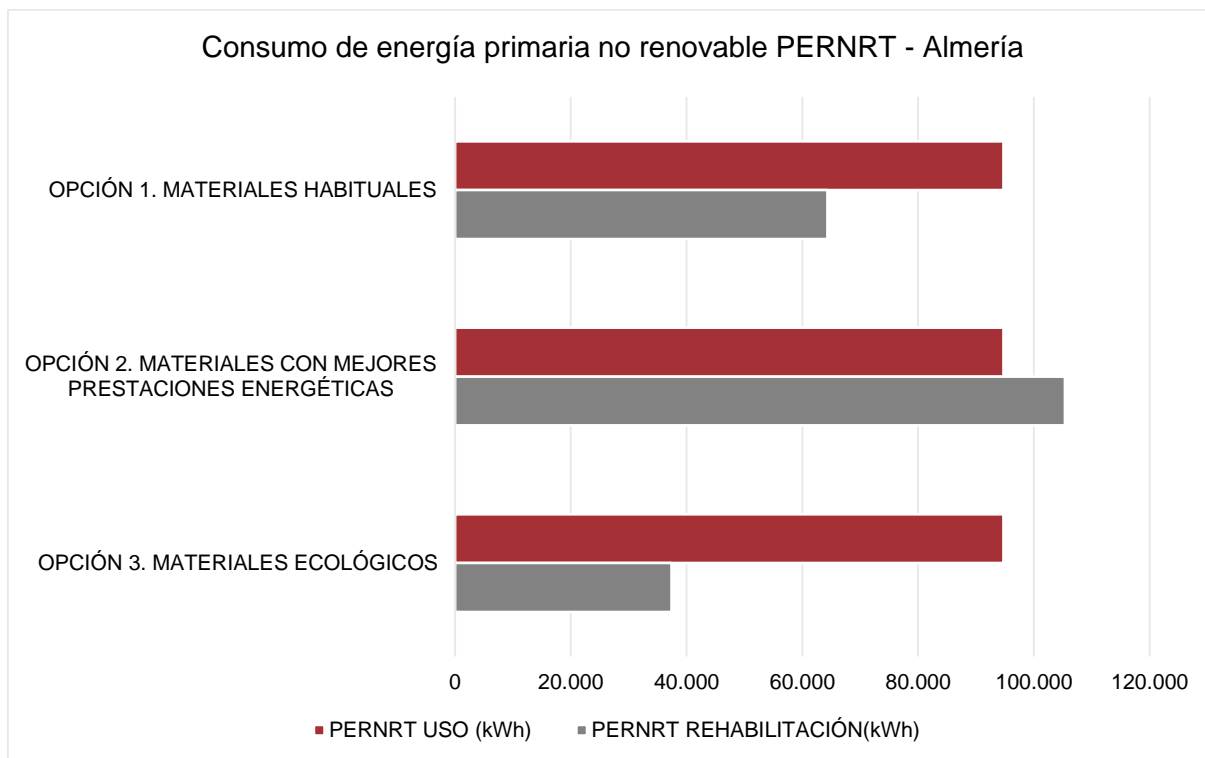
#### 4.5.1.3 Análisis de consumo de energía primaria no renovable

En lo que se refiere a la energía primaria no renovable, la opción que menos impacto tiene en la fase de construcción e incorporación al edificio es la 3, a partir de materiales ecológicos, y la de mayor impacto es la 2, compuesta de materiales con mejores prestaciones energéticas.

Tabla 44. Consumo de energía primaria renovable en el uso anual del edificio (PERNRT) y en las intervenciones del edificio en Almería

	PERNRT uso del edificio (kWh/año)	PERNRT mejora de la envolvente del edificio (kWh)	PERNRT sustitución sistema de climatización del edificio (kWh)
Opción 1. Materiales habituales	79.779,08	64.328,42	2.353,90
Opción 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas		105.341,25	
Opción 3. Materiales de bajo impacto ambiental		37.404,81	

Figura 34. Cuantificación del indicador consumo de energía primaria no renovable PERNRT durante el uso y en las intervenciones en el edificio en Almería



#### 4.5.1.4 Análisis de amortización según indicadores

Con los datos obtenidos en el análisis de cada uno de los indicadores se puede establecer el periodo de amortización de la intervención en el edificio según cada uno de ellos. Como se observa en la siguiente tabla, desde el punto de vista del coste monetario, los periodos de amortización de la intervención en la envolvente son largos. En un escenario de evolución moderada de precios de la energía, la opción 3, compuesta de materiales ecológicos, se aproxima a los 20 años. La sustitución de equipos se amortiza en apenas 3 años, aunque conviene recordar que los equipos requieren de sustitución cada 10 años mientras que la envolvente tiene periodo de vida útil de unos 50 años. En el caso de los otros dos indicadores, los periodos de amortización de todas las soluciones no llegan a los dos años. Esto quiere decir que la inversión en la fabricación y puesta en obra de materiales y sistemas compensa ya que la reducción de impacto ambiental se aprecia a partir de ese periodo

Tabla 45. Periodos de amortización según indicadores en Almería

		Periodo de amortización según coste monetario	Periodo de amortización según indicador GWP	Periodo de amortización según indicador PERNRT
<b>Mejora de la envolvente de edificio</b>				
Escenario 1 Evolución alcista del precio de la energía	Opción 1. Materiales habituales	9 años	1 año	1 año
	Opción 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas	11 años	1 año	1 año
	Opción 3. Materiales de bajo impacto ambiental	13 años	0 años	0,5 años
Escenario 2 Evolución moderada del precio de la energía	Opción 1. Materiales habituales	15 años	1 año	1 año
	Opción 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas	16 años	1 año	1 año
	Opción 3. Materiales de bajo impacto ambiental	19 años	0 años	0,5 años
<b>Sustitución de sistema de climatización</b>				
Escenario 1 Evolución alcista del precio de la energía		3 años	0 años	0 años
Escenario 2 Evolución moderada del precio de la energía		3 años	0 años	0 años

#### 4.5.2 EDIFICIO DE VIVIENDAS SITUADO EN MADRID

Para el edificio situado en Madrid la cuantificación de los indicadores antes y después de la actuación se recogen a continuación.

Tabla 46. Indicadores anuales por m<sup>2</sup> antes y después de la actuación en edificio en Madrid

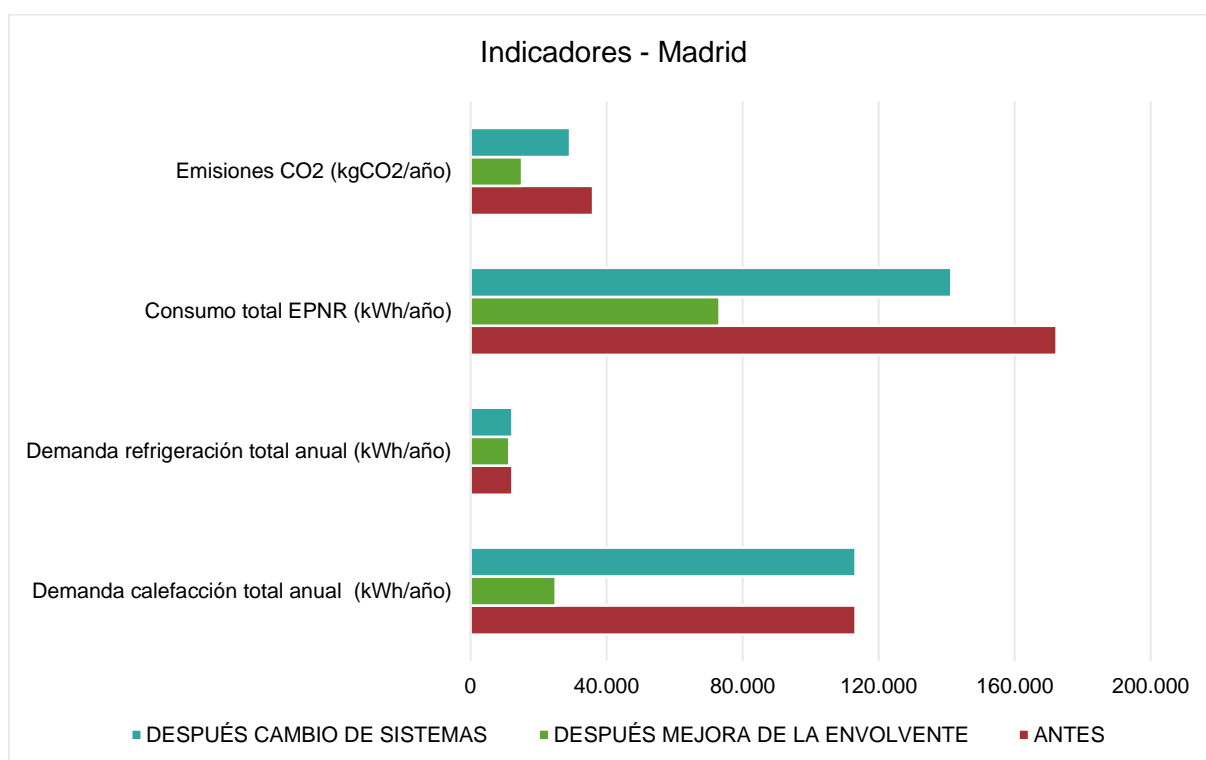
	DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> año)	DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> año)	CONSUMO EPNR (kWh/m <sup>2</sup> año)	EMISIONES CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)
<b>Estado inicial</b>	175,09	19,06	266,46	55,82
<b>Tras actuación envolvente</b>	38,72	17,69	113,37	23,43
<b>% de reducción</b>	78%	7%	57%	58%
<b>Tras cambio de sistemas climatización</b>	175,09	19,06	218,56	45,27
<b>% de reducción</b>	0%	0%	25%	24,97%

Tabla 47. Indicadores anuales totales antes y después de la actuación en edificio en Madrid

	DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh año)	DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh año)	CONSUMO EPNR (kWh año)	EMISIONES CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> año)
<b>Estado inicial</b>	113.242,96	12.327,44	172.338,33	36.102,70
<b>Tras actuación envolvente</b>	25.042,93	11.441,36	73.324,31	15.153,82
<b>% de reducción</b>	78%	7%	57%	58%
<b>Tras cambio de sistemas climatización</b>	113.242,96	12.327,44	141.358,05	29.279,28
<b>% de reducción</b>	0%	0%	25%	24,97%

Se observa que las mayores reducciones se obtienen en la demanda de calefacción mediante la actuación en el envolvente. La reducción de las emisiones y consumo de energía primaria son mayores mediante la intervención en la envolvente que mediante la sustitución de los equipos de climatización. En la Figura 25 se puede apreciar el cambio de los indicadores antes y después de la intervención.

Figura 35. Cuantificación de indicadores antes y después de la intervención en el edificio en Madrid



#### 4.5.2.1 Análisis monetario

Se muestra a continuación la cuantificación del coste monetario de cada una de las opciones de intervención en el edificio en Madrid. Se observa que el coste del cambio de sistemas de climatización es el mismo en los tres climas, ya que este parámetro no influye en la solución seleccionadas. Sin embargo, al ser un clima más severo en invierno, en

Madrid se requieren mayores espesores de aislamiento para mejorar la envolvente y eso se traduce en un mayor coste monetario de las soluciones.

*Tabla 48.. Indicadores monetarios antes y después de la actuación en edificio en Madrid*

	<b>GASTO ANUAL EN ENERGÍA</b>	<b>AHORRO ANUAL</b>	<b>INVERSIÓN</b>
	(€)	(€)	(€)
Estado inicial	21314,15		
Tras actuación envolvente 1. Materiales habituales	5876,71	15437,45	88255,93
Tras actuación envolvente 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas			115160,75
Tras actuación envolvente 3. Materiales de bajo impacto ambiental			154783,37
Tras cambio de nueve calderas	24056,35	10141,95	22500,00

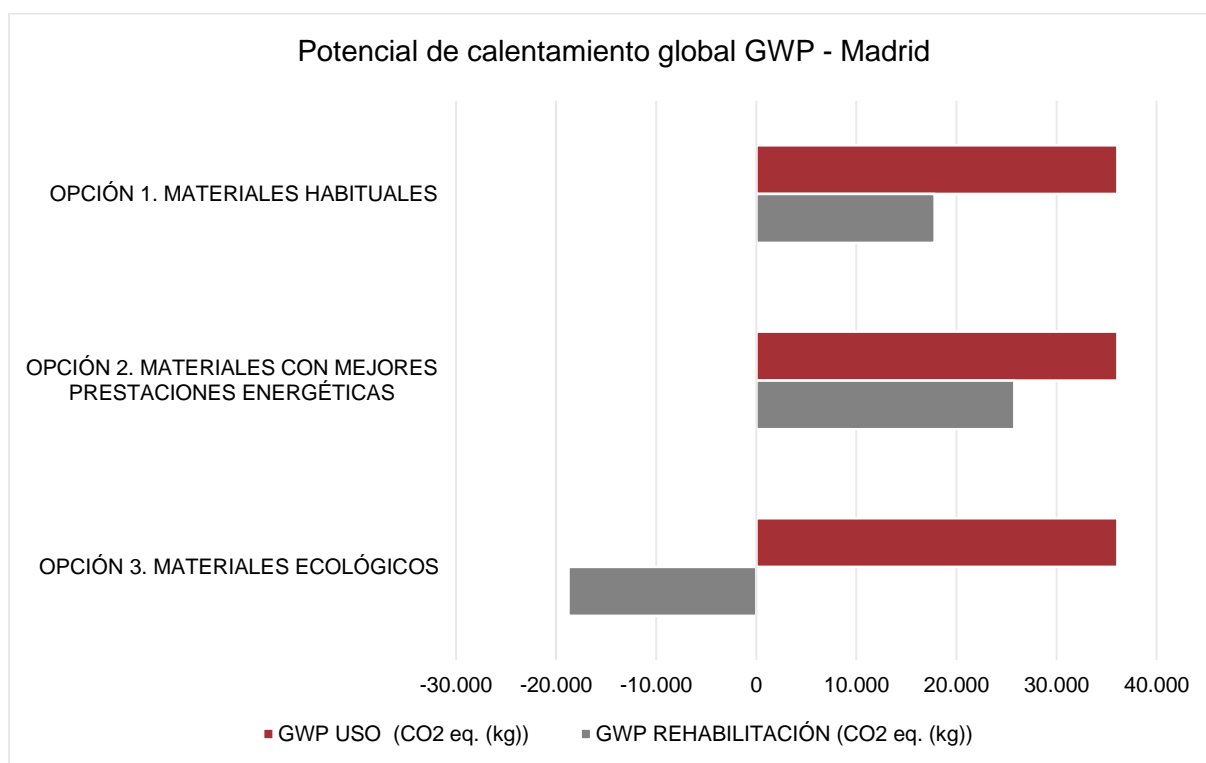
#### 4.5.2.2 Análisis potencial de calentamiento global

Se muestra en la siguiente tabla la cuantificación del indicador de calentamiento global por el uso anual en el edificio y el derivado de las intervenciones que se proponen en Madrid.

*Tabla 49. Potencial de calentamiento global por el uso anual del edificio (GWP) y en las intervenciones del edificio en Madrid*

	<b>GWP uso del edificio</b>	<b>GWP mejora de la envolvente del edificio</b>	<b>GWP sustitución del sistema de climatización del edificio</b>
	(kgCO <sub>2</sub> eq)	(kgCO <sub>2</sub> eq)	(kgCO <sub>2</sub> eq)
Opción 1. Materiales habituales	36.102,70	17.815,20	786,897
Opción 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas		25.782,85	
Opción 3. Materiales de bajo impacto ambiental		-18.758,95	

Figura 36. Cuantificación del indicador de potencial de calentamiento global GWP durante el uso y en las intervenciones en el edificio en Madrid



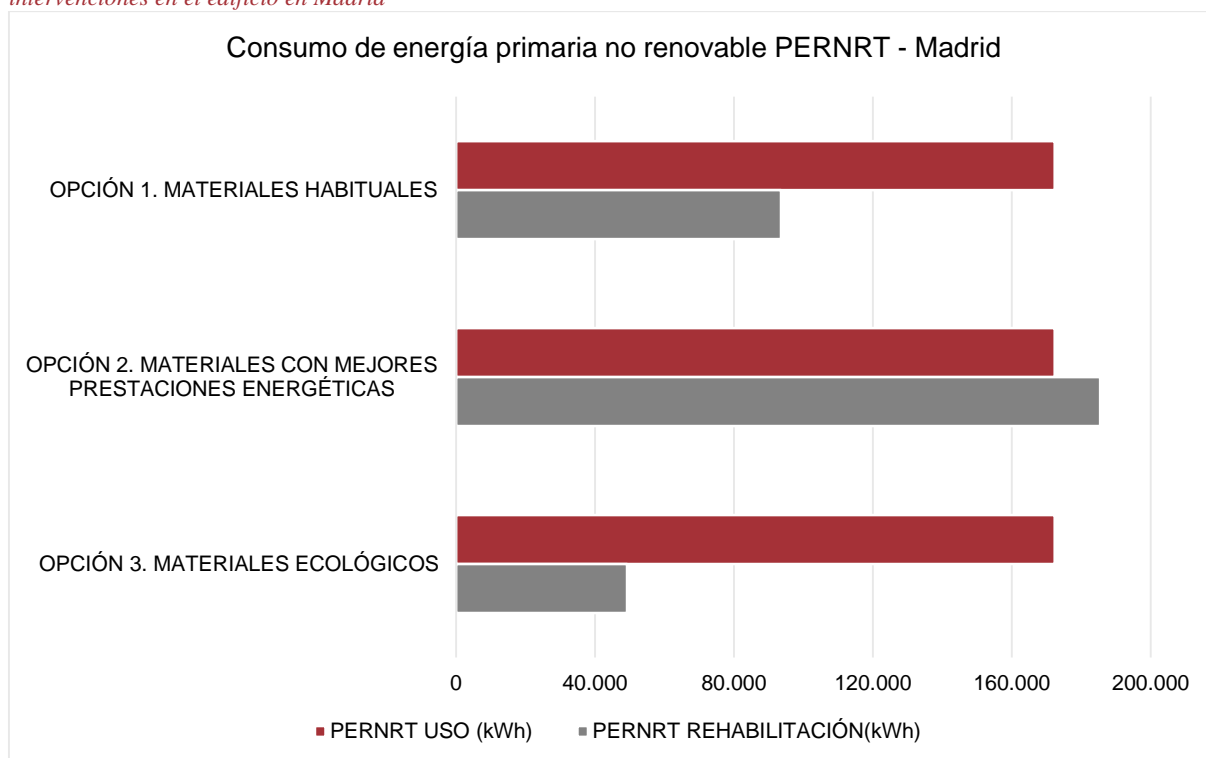
#### 4.5.2.3 Análisis de consumo de energía primaria no renovable

En la siguiente Tabla 50 se muestra la cuantificación del indicador de consumo de energía primaria no renovable necesaria para realizar las intervenciones propuestas en el edificio en Madrid, así como la necesaria en el uso del mismo.

Tabla 50. Uso de energía primaria renovable en el uso anual del edificio (PERNRT) y en las intervenciones del edificio en Madrid

	PERNRT uso del edificio	PERNRT mejora de la envolvente del edificio	PERNRT sustitución sistema de climatización del edificio
	(kWh/año)	(kWh)	(kWh)
Opción 1. Materiales habituales	172.338,33	93.544,86	2.353,90
Opción 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas		185.450,71	
Opción 3. Materiales de bajo impacto ambiental		49.219,00	

Figura 37. Cuantificación del indicador consumo de energía primaria no renovable PERNRT durante el uso y en las intervenciones en el edificio en Madrid



#### 4.5.2.4 Análisis de amortización según indicadores

En el caso de Madrid, los periodos de amortización según el coste monetario se reducen respecto a otros climas menos severos, siendo el más largo de seis años teniendo en cuenta un escenario de evolución moderada del precio de la energía. En el caso de los otros dos indicadores ambientales, los periodos de amortización son algo mayores, debido a que se requiere más cantidad de material, llegando a tres años y medio en el caso de la opción de uso de materiales ecológicos. Al igual que el resto de climas, el periodo de amortización de la modificación de los sistemas de climatización es muy corto ya que se obtiene una reducción importante del consumo energético y emisiones en el uso del edificio mediante aparatos que no requieren de grandes inversiones en su fabricación.



Tabla 51. Periodos de amortización según indicadores en edificio en Madrid

		Periodo de amortización según coste monetario	Periodo de amortización según indicador GWP	Periodo de amortización según indicador PERNRT
<b>Mejora de la envolvente de edificio</b>				
Escenario 1 Evolución alcista del precio de la energía	Opción 1. Materiales habituales	4 años	2 años	2 años
	Opción 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas	4 años	1,5 años	1 año
	Opción 3. Materiales de bajo impacto ambiental	5 años	0 años	3,5 años
Escenario 2 Evolución moderada del precio de la energía	Opción 1. Materiales habituales	4 años	2 años	2 años
	Opción 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas	5 años	1 año	1 año
	Opción 3. Materiales de bajo impacto ambiental	6 años	0 años	3 años
<b>Sustitución de sistema de climatización</b>				
Escenario 1 Evolución alcista del precio de la energía		2 años	0 años	0 años
Escenario 2 Evolución moderada del precio de la energía		2 años	0 años	0 años

### 4.5.3 EDIFICIO DE VIVIENDAS SITUADO EN ÁVILA

Para el caso de Ávila, se recogen en las siguientes tablas los datos de demandas, consumos y emisiones tanto por superficie como totales a lo largo del año antes y después de las intervenciones previstas. Según los datos climáticos que utiliza el CTE, en Ávila no hay demanda de refrigeración, por lo que ese valor es nulo y no computa en la calificación energética.

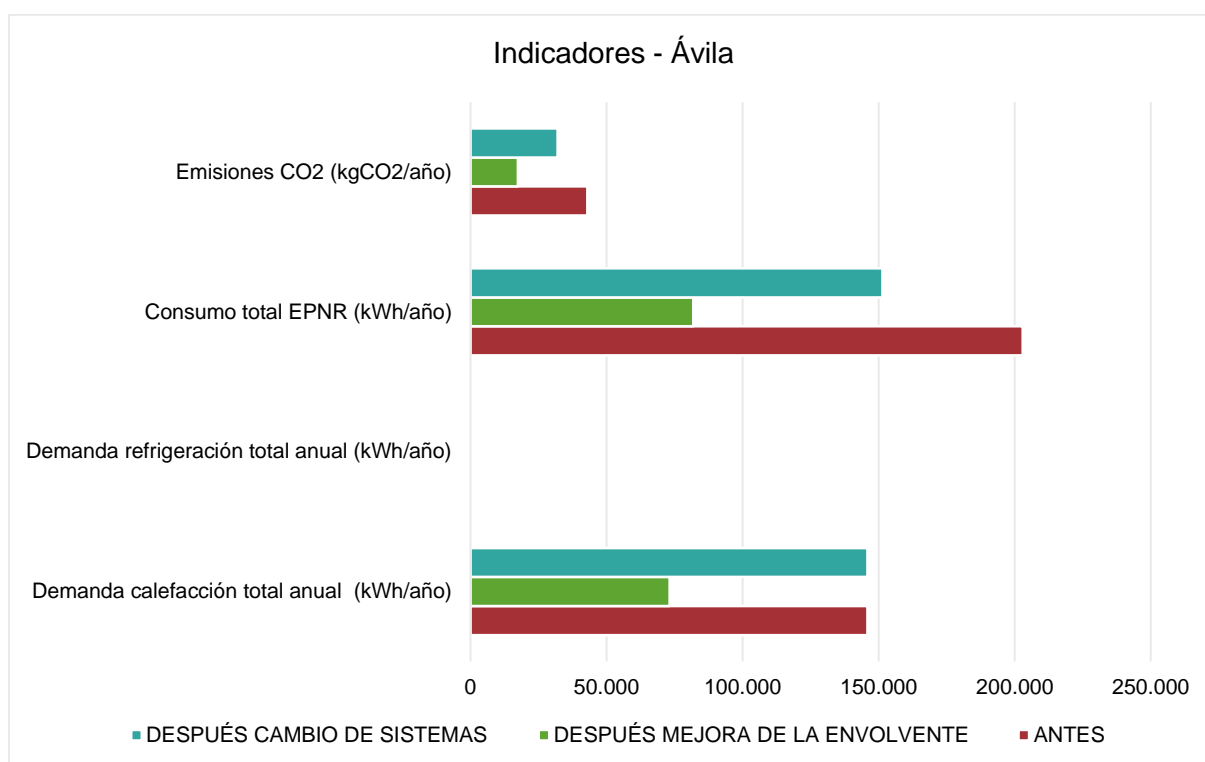
Tabla 52. Indicadores anuales por m<sup>2</sup> antes y después de la actuación en edificio en Ávila

	DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> año)	DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> año)	CONSUMO EPNR (kWh/m <sup>2</sup> año)	EMISIONES CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)
<b>Estado inicial</b>	225,63	0	313,86	66,36
<b>Tras actuación envolvente</b>	113,17	0	126,64	26,88
<b>% de reducción</b>	50%		60%	59%
<b>Tras cambio de sistemas climatización</b>	225,63	0	234,12	49,47
<b>% de reducción</b>	0%		49%	25,40%

Tabla 53. Indicadores anuales antes y después de la actuación en edificio en Ávila

	DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh año)	DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh año)	CONSUMO EPNR (kWh año)	EMISIONES CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> año)
<b>Estado inicial</b>	145.930,72	0,00	202.995,23	42.919,66
<b>Tras actuación envolvente</b>	73.194,96	0,00	81.906,95	17.385,18
<b>% de reducción</b>	50%		60%	59%
<b>Tras cambio de sistemas climatización</b>	145.930,72	0,00	151.421,79	31.995,71
<b>% de reducción</b>	0%		49%	25,40%

Figura 38. Cuantificación de indicadores antes y después de la intervención en el edificio en Ávila



#### 4.5.3.1 Análisis monetario

Como se observa en la siguiente tabla, en el caso de Ávila los costes monetarios de inversión para la rehabilitación energética de la envolvente son más elevados que en los otros dos climas. Se debe a que se requieren mayores espesores de aislamiento por la severidad climática de invierno. La inversión requerida para el cambio de calderas se estima igual que en los otros dos climas estudiados.

Tabla 54. Indicadores monetarios antes y después de la actuación en edificio en Ávila

	GASTO ANUAL EN ENERGÍA (€)	AHORRO ANUAL (€)	INVERSIÓN (€)
Estado inicial	35948,37		
Tras actuación envolvente 1. Materiales habituales			91382,07
Tras actuación envolvente 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas	17653,66	18294,71	123987,01
Tras actuación envolvente 3. Materiales de bajo impacto ambiental			154783,37
Tras cambio de nueve calderas	28088,74	7859,63	22500,00

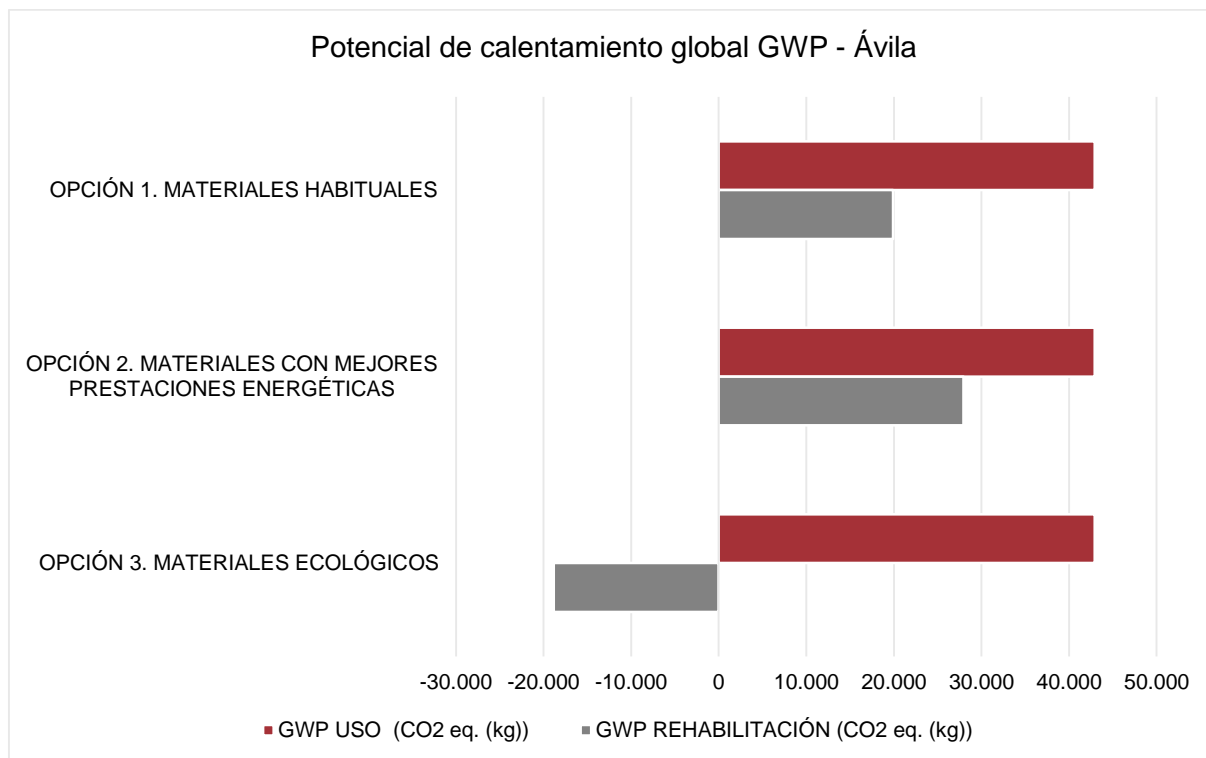
#### 4.5.3.2 Análisis potencial de calentamiento global

El potencial de calentamiento global antes y después de las intervenciones propuestas para el edificio de Ávila se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 55. Potencial de calentamiento global por el uso anual del edificio (GWP) y en las intervenciones del edificio en Ávila

	GWP uso del edificio (kgCO <sub>2</sub> eq)	GWP mejora de la envolvente del edificio (kgCO <sub>2</sub> eq)	GWP sustitución del sistema de climatización del edificio (kgCO <sub>2</sub> eq)
Opción 1. Materiales habituales		19.892,55	
Opción 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas	17.385,18	27.946,29	786,897
Opción 3. Materiales de bajo impacto ambiental		-18.858,89	

Figura 39. Cuantificación del indicador de potencial de calentamiento global (GWP) durante el uso y en las intervenciones en el edificio en Ávila



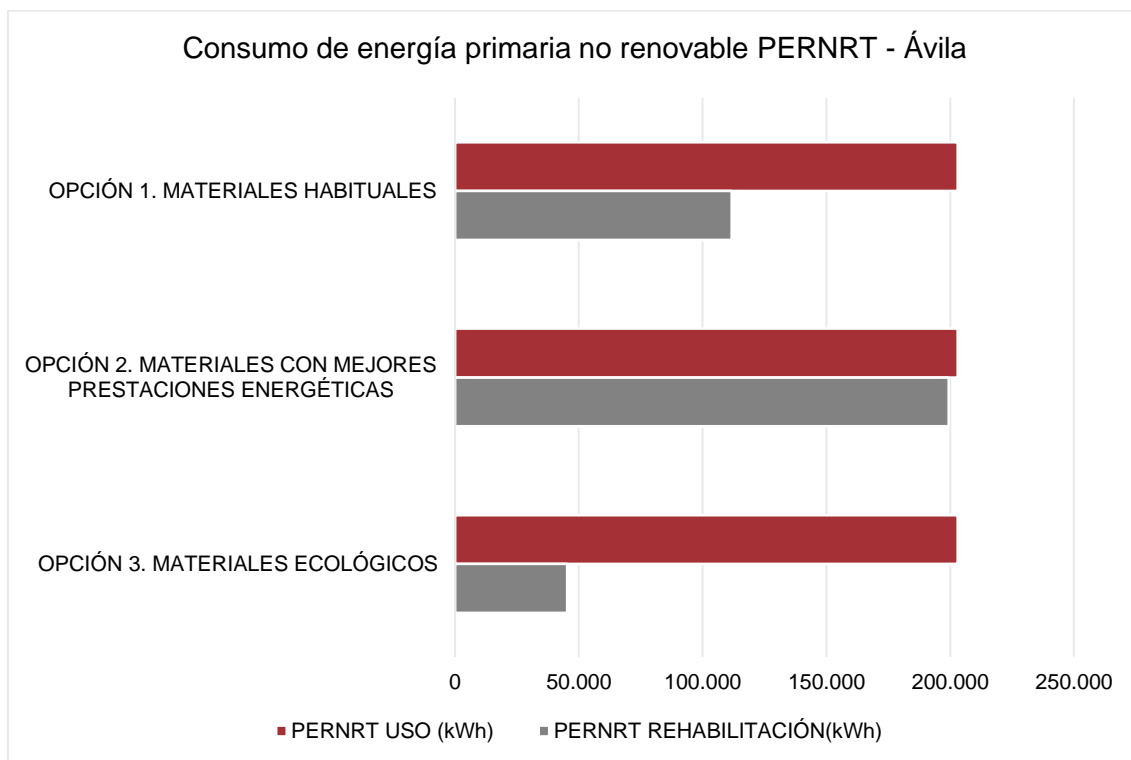
#### 4.5.3.3 Análisis de consumo de energía primaria no renovable

El consumo de energía primaria no renovable antes de la intervención y la requerida para cada una de las intervenciones se muestra en la Tabla 53 y de manera gráfica en la Figura 30. La opción 3 con materiales ecológicos es la que menos energía requiere en su fabricación, transporte y puesta en obra. La opción más consumidora de energía es la segunda.

Tabla 56. Uso de energía primaria renovable en el uso anual del edificio y en las intervenciones del edificio en Ávila

	PERNRT uso del edificio (kWh/año)	PERNRT mejora de la envolvente del edificio (kWh)	PERNRT sustitución sistema de climatización del edificio (kWh)
Opción 1. Materiales habituales	81.906,95	111.685,55	2.353,90
Opción 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas		199.399,59	
Opción 3. Materiales de bajo impacto ambiental		45.234,67	

Figura 40. Cuantificación del indicador consumo de energía primaria no renovable PERNRT durante el uso y en las intervenciones en el edificio en Ávila



#### 4.5.3.4 Análisis de amortización según indicadores

En el clima de Ávila, los periodos de amortización del coste monetario se acortan significativamente ya que el consumo energético antes y después de la intervención en la envolvente se reduce de manera importante. La estimación mayor es de 8 años con una evolución moderada de los precios de la energía. Los otros dos indicadores, al igual que en los climas estudiados previamente tienen periodos de amortización muy cortos.

Tabla 57. Periodos de amortización según indicadores en edificio en Ávila

		Periodo de amortización según coste monetario	Periodo de amortización según indicador GWP	Periodo de amortización según indicador PERNRT
<b>Mejora de la envolvente de edificio</b>				
Escenario 1 Evolución alcista del precio de la energía	Opción 1. Materiales habituales	4 años	1 año	1 año
	Opción 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas	5 años	1,5 años	2,5 años
	Opción 3. Materiales de bajo impacto ambiental	6 años	0 años	0,5 años
Escenario 2 Evolución moderada del precio de la energía	Opción 1. Materiales habituales	6 años	1 año	1 año
	Opción 2. Materiales con mejores prestaciones energéticas	7 años	1,5 años	2,5 años
	Opción 3. Materiales de bajo impacto ambiental	8 años	0 años	0,5 años
<b>Sustitución de sistema de climatización</b>				
Escenario 1 Evolución alcista del precio de la energía		1 año	0 años	0 años
Escenario 2 Evolución moderada del precio de la energía		2 años	1 año	1 año

## 4.6 Comparativa de resultados de edificios en las tres zonas climáticas

Si se comparan los resultados del edificio estudiado en cada uno de los climas y teniendo en cuenta los escenarios planteados se obtiene la tabla y las siguientes figuras en las que se muestran los resultados de manera gráfica. Estos resultados indican la importancia que tiene el contexto climático a la hora de evaluar posibles soluciones desde un punto de vista ambiental y monetario. Es evidente que los climas más extremos requieren de mayor cantidad de energía en sus edificios para que alcancen el confort, sobre todo si la envolvente no tiene la calidad necesaria. Para adecuar su envolvente se requiere mayor cantidad de material y, por tanto, más inversión económica y ambiental en la fase de intervención. Por otro lado, el periodo de amortización de esa inversión es más corto que en climas más benignos, lo que puede suponer un impulso importante para activar la transformación del parque de viviendas situados en esas zonas.

Tabla 58. Comparativa de factores analizados en cada uno de climas y opciones planteadas

CONSUMO TOTAL EPNR						
		ALMERÍA	MADRID	ÁVILA		
ANTES (kWh año)		94.758,27	172.338,33	202.995,23		
REHABILITACIÓN ENVOLVENTE (kWh)	Opción 1	Rehabilitación tradicional	64.328,42	93.544,86	111.685,55	
	Opción 2	Rehabilitación eficiencia energética	105.341,25	185.450,71	199.399,59	
	Opción 3	Rehabilitación ecológica	37.404,81	49.219,00	45.234,67	
DESPUÉS REHABILITACIÓN ENVOLVENTE (kWh año)		62.827,24	73.253,17	73.324,31		
CAMBIO DE EQUIPOS (kWh)		2.353,91	2.353,91	2.353,91		
DESPUÉS DE CAMBIO DE EQUIPOS (kWh año)		76.706,92	141.358,05	151.421,79		
CALENTAMIENTO GLOBAL GWP						
		ALMERÍA	MADRID	ÁVILA		
ANTES (kgCO <sub>2</sub> año)		16.065,77	36.102,70	42.919,66		
REHABILITACIÓN ENVOLVENTE (kgCO <sub>2</sub> )	Opción 1	Rehabilitación tradicional	13.940,59	17.815,20	19.892,55	
	Opción 2	Rehabilitación eficiencia energética	17.334,46	25.782,85	27.946,29	
	Opción 3	Rehabilitación ecológica	-11.606,90	-18.758,95	-18.858,89	
DESPUÉS REHABILITACIÓN ENVOLVENTE (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )		10.645,83	15.140,89	29.279,28		
CAMBIO DE EQUIPOS (kgCO <sub>2</sub> )		786,9	786,9	786,9		
DESPUÉS DE CAMBIO DE EQUIPOS (kgCO <sub>2</sub> año)		13.071,22	29.279,28	31.995,71		
COSTE MONETARIO						
		ALMERÍA	MADRID	ÁVILA		
ANTES (€/año)		16.536,09	34.198,31	35.948,37		
REHABILITACIÓN ENVOLVENTE (€)	Opción 1	Rehabilitación tradicional	77.286,75	88.255,93	91.382,07	
	Opción 2	Rehabilitación eficiencia energética	93.653,69	115.160,75	123.987,01	
	Opción 3	Rehabilitación ecológica	137.762,88	154.783,37	154.783,37	
DESPUÉS REHABILITACIÓN ENVOLVENTE (€/año)		12.704,72	12.142,78	17.653,66		
CAMBIO DE EQUIPOS (€)		22.500,00	22.500,00	22.500,00		
DESPUÉS DE CAMBIO DE EQUIPOS (€/año)		14.229,13	26.221,92	28.088,74		

Figura 41. Comparativa del consumo total de energía primaria no renovable en los tres climas

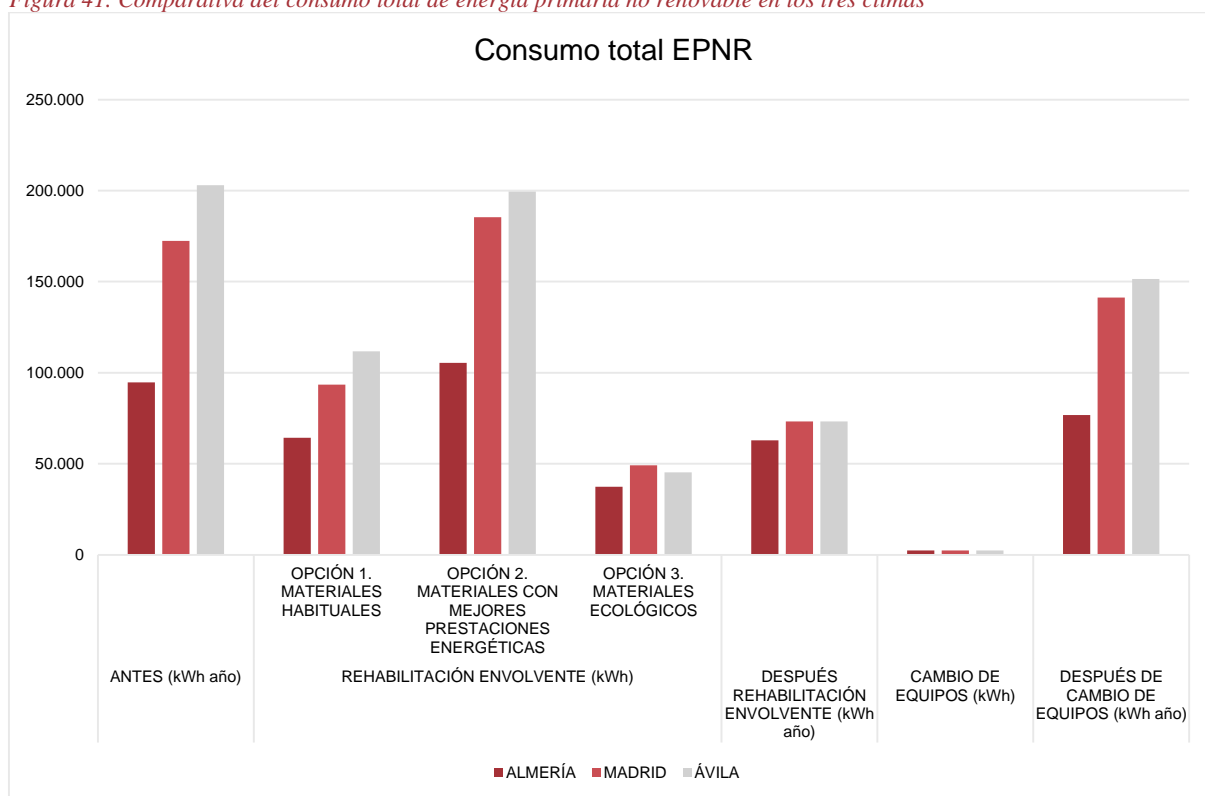


Figura 42. Comparativa del potencial de calentamiento global en los tres climas

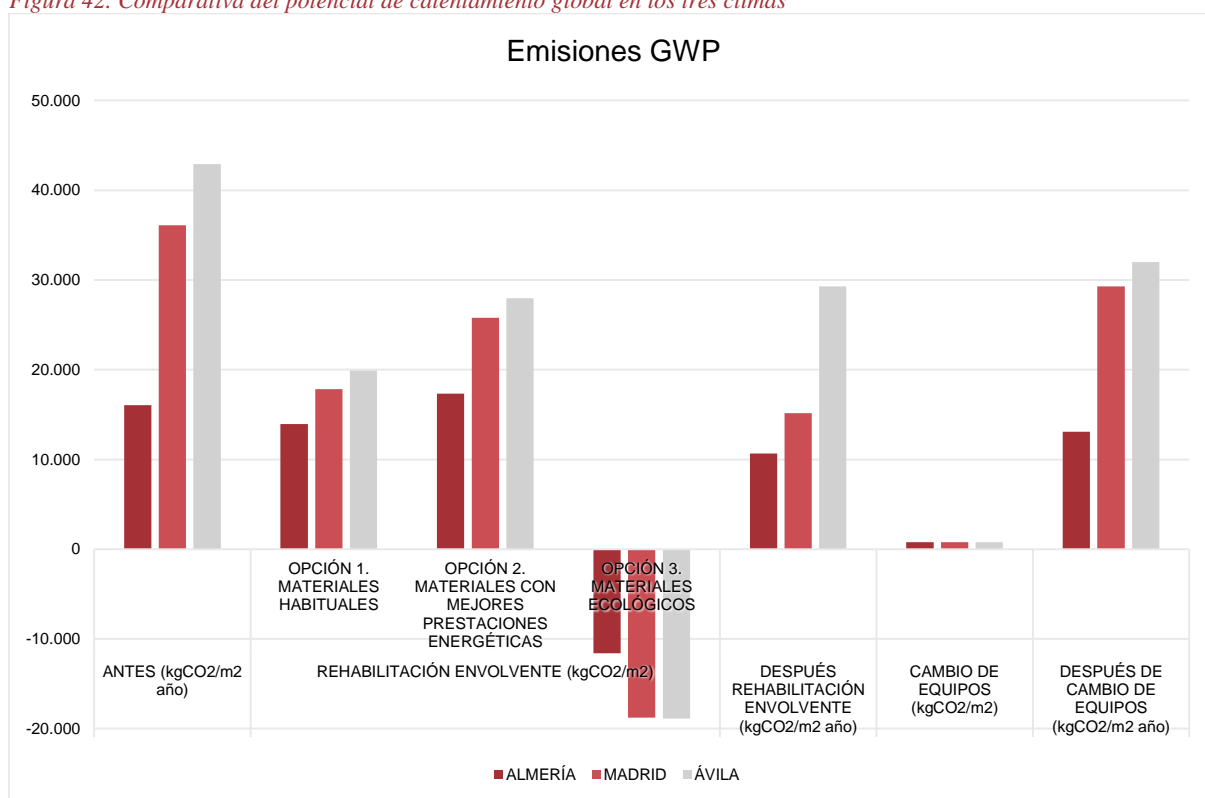
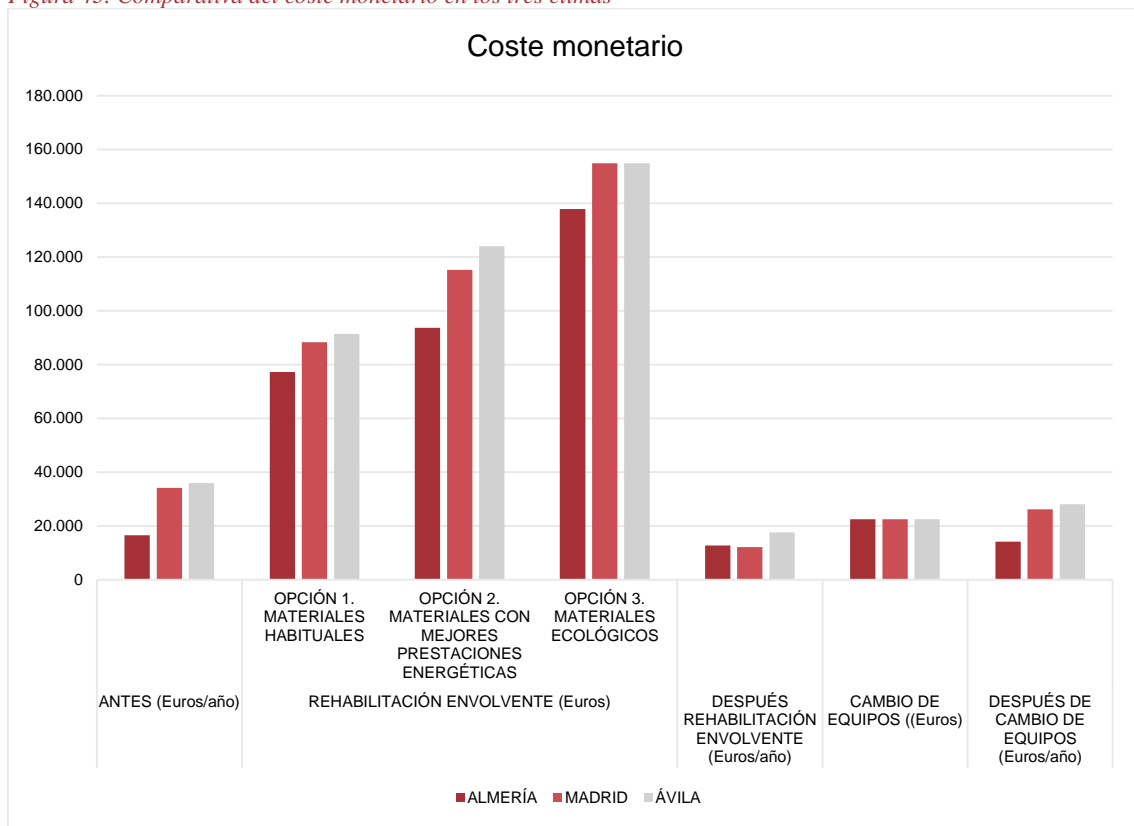




Figura 43. Comparativa del coste monetario en los tres climas



## 5 Conclusiones

Este informe tenía como objetivo la revisión de las políticas existentes en materia de mejora de eficiencia energética de las viviendas en el actual contexto. Uno de los instrumentos clave en estas políticas es la transposición de las prestaciones que se desean alcanzar en materia de eficiencia energética a los certificados energéticos que aportan una mejor o peor calificación a los inmuebles en base a sus condiciones de eficiencia energética.

Como conclusión global al informe, es posible afirmar que el enfoque actual de las políticas de la Unión Europea y su trasposición a las políticas españolas, se centran fundamentalmente en la reducción de energía final pero no en la mejora del confort pasivo de los edificios o de la reducción de la demanda de energía. Además de esto tampoco se consideran los impactos ambientales asociados a la transformación y rehabilitación del parque de viviendas que se promueve desde estas políticas.

### 5.1 Sobre el análisis de directivas y políticas relativas a la eficiencia energética

1. En términos generales, la energía es el tema que mayor importancia tiene en los documentos analizados, pero, especialmente aquellos conceptos relacionados con "eficiencia", "consumo", "emisiones" y "ahorro" (por este orden). En una última posición queda el concepto de "**demanda**" **cuya disminución debería ser considerada como prioritaria desde la perspectiva del confort y de la reducción de la dependencia energética de los edificios**. Esto permitiría no sólo una edificación descarbonizada, sino que tenga un buen funcionamiento pasivo.
2. La presencia de conceptos vinculados a los aspectos **sociales**, como pobreza energética o vulnerabilidad, han ido haciéndose paso hasta incorporarse de manera habitual, incluso considerando las necesidades específicas de estos hogares, por lo que ha habido una tendencia positiva en ese sentido. Sin embargo, aún hay **margen de mejora, relacionando mejor las situaciones de vulnerabilidad con las necesidades específicas de estos hogares**.
3. Los **conceptos vinculados con la utilización de los inmuebles y de la capacidad de los mismos para proporcionar condiciones adecuadas, tales como "confort", "habitabilidad", "grados-día" u "horas en confort" no se mencionan prácticamente en ningún documento**. También es destacable que la búsqueda de "temperatura", aunque arroja resultados, la mayoría de las menciones a este concepto están relacionadas con el incremento de esta por el cambio climático y no a la temperatura interior de los inmuebles. Sería importante que conceptualmente se pasara del concepto de "edificios de energía casi nula" al de "edificios de confort casi total", de tal manera que los profesionales de la edificación centraran sus esfuerzos en conseguir edificios pasivos y no únicamente energéticamente eficientes.

## 5.2 Sobre el impacto en el bienestar de la mejora de los certificados energéticos

4. Una de las grandes conclusiones y propuesta a partir de este estudio es la necesidad de mejorar el contenido de los certificados de eficiencia energética de los edificios, o la elaboración de nuevas certificaciones para la edificación que midan la capacidad de proporcionar confort térmico sin necesidad de consumir energía. Con el objetivo se alcanzaría el objetivo de preparar el parque de viviendas no sólo hacia una economía descarbonizada, sino también hacia un escenario de “**edificios de confort casi total (ECCT)**”.
5. Se comprueba mediante el cálculo de certificados, que **la reducción de la demanda de energía no tiene siempre una trasposición en una mejora del certificado**, como ocurre en el caso de Almería o Ávila. Tanto es así que, que en Almería o Ávila se obtiene la misma calificación tanto para la rehabilitación de la envolvente como para la renovación de las instalaciones. La renovación de los sistemas de climatización, como ocurre en la sustitución de la caldera de gas por una de biomasa, tiene un gran impacto sobre el certificado energético de las viviendas debido a la asignación de emisiones a esa tecnología, pese a no reducirse la demanda de calefacción ni de refrigeración.
6. **Ocupantes activos en edificios pasivos:** Otra de las conclusiones del trabajo es la relevancia de los ocupantes de los inmuebles como usuarios activos que buscan el confort mediante la adaptación. Esto permite ampliar los rangos de bienestar considerados hasta ahora, y que los estudios muestran que tienen una gran concordancia con el comportamiento real de los usuarios. Se considera que este enfoque adaptativo es de interés en la reflexión sobre los modos de habitar que debemos imaginar en un proceso de transición ecológica de nuestra sociedad.
7. **Se propone la incorporación de un indicador de confort térmico en la certificación energética.**, Este indicador puede resultar mucho más legible para los usuarios, y ayudarles en la toma de decisión en la compra o alquiler de un inmueble. **La búsqueda de la legibilidad es uno de los objetivos que se establecieron en la aparición de los primeros certificados energéticos.**
8. Junto a las conclusiones enumeradas anteriormente se deben señalar algunas de las limitaciones del estudio realizado. En primer lugar, este estudio se centra en un único caso de estudio, y sería necesario un análisis más amplio del parque de viviendas actual. Además de esto, debe considerarse que la escala actual de los certificados de eficiencia energética está establecida en base a las condiciones generales del parque de viviendas de cada región climática. En este estudio, la propuesta de indicador de confort térmico se hace de manera absoluta a partir del análisis de un caso de estudio. Puesto que el estudio no abarca el parque de viviendas en su conjunto y por tanto no es posible establecer las condiciones globales de bienestar térmico del mismo.

9. A partir del indicador de confort térmico estudiado se comprueba que existe todavía una gran capacidad de mejora del comportamiento de los edificios a la hora de proporcionar condiciones adecuadas sin consumir energía. Este estudio ha evaluado las medidas más comúnmente empleadas en la rehabilitación energética de edificios, alineadas con las exigencias que plantea el Código Técnico de la Edificación. Sin embargo, se podrían desplegar más estrategias, especialmente para los meses cálidos. En el caso de climas fríos sería posible además de mejorar la resistencia de la envolvente térmica la incorporación de dispositivos de captación solar para el calentamiento del aire o de la inercia térmica. En el caso de climas cálidos, además de las estrategias de sombreado, se podrían incorporar estrategias de ventilación y disipación del calor durante las horas de la noche.

### 5.3 Sobre la relación entre el impacto ambiental y la mejora de bienestar. Análisis multifactorial

10. En un escenario de crisis ambiental es necesario ampliar el análisis sobre la edificación para tratar de reducir su impacto a lo largo de cada una de las fases de la edificación. En ese sentido, y teniendo en cuenta los diversos impactos ambientales que se producen a diversas escalas, la certificación no sólo debería cuantificar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el uso del edificio, sino **incluir el coste ambiental en energía y materiales de las soluciones constructivas** que se quieren utilizar en la rehabilitación del parque de viviendas en España.
11. Desde un punto de vista extractivo, en España hay disponibilidad de materiales aislantes de bajo impacto para la rehabilitación energética de la envolvente tales como la lana de roca y el corcho. Sin embargo, el volumen necesario para abordar la rehabilitación del conjunto del parque de viviendas requiere un estudio pormenorizado sobre la transformación y puesta en marcha de una industria capaz de abastecer de estas soluciones. Por otro lado, no dispone de otro tipo de materiales que se utilizan habitualmente en la construcción como, por ejemplo, el aluminio. Sin embargo, la puesta en marcha de industrias para el reciclaje de este, o del PVC, el EPS, ... puede ser una **oportunidad para la transformación e innovación en el sector de la edificación**.
12. El análisis multifactorial de la intervención en el edificio en los tres climas seleccionados permite cuantificar no sólo los indicadores de consumo de energía total de energía primaria no renovable y de emisiones de gases de efecto invernadero asociados al uso del edificio, sino también los impactos asociados a la rehabilitación con diferentes soluciones y estrategias. En ese sentido, se comprueba que, en los tres climas, el periodo de retorno de la inversión en términos de estos dos indicadores es similar y se produce en los dos primeros años. Esto significa que la reducción de energía primaria no renovable y de emisiones de gases contaminantes que se consigue es muy superior a las cantidades que se requieren en estos dos indicadores para la fabricación de materiales y equipos que permiten la rehabilitación.

13. **Los materiales que mejoran la capacidad aislante de la envolvente tienen diferentes impactos ambientales y costes monetarios.** En general, los materiales con menores costes ambientales tienen periodos de amortización más largos que el conjunto de soluciones habituales ya que suelen ser más caros, siempre que las prestaciones sean equivalentes. Las soluciones de los edificios situados en climas fríos tienen periodos de amortización monetaria, de energía y emisiones más cortos que los edificios en climas más templados.
14. En los tres climas estudiados, **la demanda de calefacción sigue teniendo más peso en la cuantificación que la de refrigeración y, por tanto, las estrategias para reducir el consumo y las emisiones se centran sobre todo en ese periodo del año.** Teniendo en cuenta las previsiones, sería interesante analizar el impacto que pueden tener **los efectos del cambio climático** en la demanda y consumo energéticos de los edificios en las próximas décadas ya que puede modificarse esta distribución y ser necesarias otras soluciones en los edificios para las que habría hacer una evaluación integral.
15. El análisis de ciclo de vida de los materiales y equipos utilizados en la rehabilitación ambiental permite la cuantificación de otros impactos relacionados con la capacidad de carga y los límites que permiten la vida en el planeta. En próximas revisiones de los certificados energéticos de los edificios sería deseable incorporar estos indicadores, al menos aquellos relacionados con la energía necesaria para la construcción y deconstrucción del edificio que se relaciona con los materiales y las soluciones constructivas. Esta información es especialmente importante cuando se trata de abordar la rehabilitación a gran escala, ya que esto requiere de soluciones y materiales disponibles y asequibles, y que garantice el menor impacto ambiental posible.

## 6 Referencias bibliográficas

Amini Toosi, Hashem, Lavagna, Monica, Leonforte, Fabrizio, Del Pero, Claudio, Aste, Niccolò (2020) Life Cycle Sustainability Assessment in Building Energy Retrofitting; A Review, Sustainable Cities and Society, Volume 60, 2020, 102248, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102248>.

Arcas-Abella, J., Pagès-Ramon, A., Larrumbide, E., & Huerta, D. (2019). Segmentación del parque residencial de viviendas en España en clústeres tipológicos. *Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo. Ministerio de Fomento.*, 01, 1–87. [https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/planes\\_estategicos/1\\_2020\\_segmentacion\\_parque\\_residencial\\_clusteres.pdf](https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/planes_estategicos/1_2020_segmentacion_parque_residencial_clusteres.pdf)

Asociación Española de Normalización. (2019). *Parte 1: Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido. Módulo 1-6.*

- Assiego De Larriva, R., Calleja Rodríguez, G., Cejudo López, J. M., Raugei, M., & Fullana I Palmer, P. (2014). A decision-making LCA for energy refurbishment of buildings: Conditions of comfort. *Energy and Buildings*, 70, 333–342. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.049>
- Camarasa, C., Mata, É., Navarro, J. P. J., Reyna, J., Bezerra, P., Angelkorte, G. B., Feng, W., Filippidou, F., Forthuber, S., Harris, C., Sandberg, N. H., Ignatiadou, S., Kranzl, L., Langevin, J., Liu, X., Müller, A., Soria, R., Villamar, D., Dias, G. P., ... Yaramenka, K. (2022). A global comparison of building decarbonization scenarios by 2050 towards 1.5–2 °C targets. *Nature Communications*, 13(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29890-5>
- Comisión Europea, Secretaría General. (2019). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité De Las Regiones: El Pacto Verde Europeo [COM(2019) 640 final de 11.12.2019]
- Craig, James R., Vaughan, David J. y Skinner, Brian J. (2012) Recursos de la Tierra y el medio ambiente. Pearson
- CYPE Arquímedes (2023) Base de datos de precios descompuestos. Indicadores ambientales.
- De Dear, R. J., Akimoto, T., Arens, E. A., Brager, G., Candido, C., Cheong, K. W. D., Li, B., Nishihara, N., Sekhar, S. C., Tanabe, S., Toftum, J., Zhang, H., & Zhu, Y. (2013). Progress in thermal comfort research over the last twenty years. *Indoor Air*, 23(6), 442–461. <https://doi.org/10.1111/ina.12046>
- EL PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA. (2003). DIRECTIVA 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios (DEEE). *Directiva*, 2002, 65–71.
- Fnais, A., Rezgui, Y., Petri, I. et al. (2022) The application of life cycle assessment in buildings: challenges, and directions for future research. *Int J Life Cycle Assess* 27, 627–654 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02058-5>
- Gómez Muñoz, G. (2014). *Método de análisis diacrónico para la intervención en el alojamiento con criterios ecológicos. El caso de Madrid 1940-2100*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Instituto Nacional de Estadística. (2008). *Encuesta de Hogares y Medio Ambiente*. <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?L=0&type=pcaxis&path=/t25/p500&file=inebase>
- Instituto Nacional de Estadística. (2011). *Censo de población y viviendas*. [http://www.ine.es/censos2011\\_datos/cen11\\_datos\\_inicio.htm](http://www.ine.es/censos2011_datos/cen11_datos_inicio.htm)
- López-Moreno, H., Núñez-Peiró, M., Sánchez-Guevara, C., & Neila, J. (2022). On the identification of Homogeneous Urban Zones for the residential buildings' energy evaluation. *Building and Environment*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108451>
- Ministerio de Fomento. (2019). DB HE - Ahorro de Energía 2019. *Código Técnico de La Edificación*, 1–129. <http://www.arquitectura-tecnica.com/hit/Hit2016-2/DBHE.pdf>
- Ministerio de Fomento de España. (2017). Documento descriptivo climas de referencia - [CTE-DB-HE-Climas de referencia]. *Código Técnico de La Edificación*, 1–7.

<https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/20170202-DOC-DB-HE-0-Climas de referencia.pdf>

Ministerio de la Presidencia. (2007). Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción. *Boletín Oficial Del Estado, 31 de Enero de 2007, Núm. 27, 4499–4507.*

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (2020) Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España.  
<https://www.mitma.gob.es/el-ministerio/planes-estrategicos/estrategia-a-largo-plazo-para-la-rehabilitacion-energetica-en-el-sector-de-la-edificacion-en-espana>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2020) Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030.

[https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto\\_tcm30-508410.pdf](https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf)

*Real Decreto 390/2021, de 1 de Junio, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios*, (2021) (testimony of Ministerio de la Presidencia). <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2021-9176>

Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana. (2020). *ERESEE 2020. Actualización 2020 de La Estrategia a Largo Plazo Para La Rehabilitación Energética En El Sector de La Edificación En España*. <https://www.mitma.es/el-ministerio/planes-estrategicos/estrategia-a-largo-plazo-para-la-rehabilitacion-energe>

Nicol, J. F., & Humphreys, M. A. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings, 34*(6), 563–572.  
[https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00006-3)

Parlamento Europeo. (2010). *Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición)* (pp. 13–35). Diario Oficial de la Unión Europea. 18.06.2010. No. 153.

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2018). Directiva (UE) 2018/844 relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética. *Diario Oficial de La Unión Europea, 6*(2), 253–254.

Pombo Rodilla, O. (2016). *Análisis multicriterio de la eficiencia de medidas de rehabilitación de viviendas mediante el enfoque de ciclo de vida : propuesta metodológica*. [Universidad Politécnica de Madrid]. <https://doi.org/https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.42315>.

Thibodeau, C., Bataille, A., & Sié, M. (2019). Building rehabilitation life cycle assessment methodology—state of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 103*(January 2017), 408–422. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.037>

Unión Europea. Reglamento (UE) 2021/1056 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de junio de 2021, por el que se establece el Fondo de Transición Justa

Unión Europea. Reglamento (UE) 2021/1119 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de junio de 2021, por el que se establece el marco para lograr la neutralidad climática.



Unión Europea. Reglamento (UE) 2022/1854 del Consejo de 6 de octubre de 2022 relativo a una intervención de emergencia para hacer frente a los elevados precios de la energía

Unión Europea. Reglamento (UE) 2022/1369 del Consejo de 5 de agosto de 2022 sobre medidas coordinadas para la reducción de la demanda de gas

Unión Europea. Reglamento (UE) 2023/955 del Parlamento Europeo y del Consejo de 10 de mayo de 2023 por el que se establece un Fondo Social para el Clima

Unión Europea. Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética (modificada)

Unión Europea. Directiva (UE) 2018/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética (en vigor)

Unión Europea. Directiva (UE) 2023/XX Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética de los edificios (en proceso de aprobación)

Vázquez Espí, Mariano (2023) ¿Construcción circular? Mejor en bucles. Conferencia pronunciada el 8 de junio de 2023 en las IV Jornadas de Economía Circular en Canarias: "La construcción en sistemas insulares". Las Palmas de Gran Canaria.

<https://atenergetica.es/actividades/transicion-energetica-en-canarias>

Vignote Peña, Santiago , Villasante Plagaro, Antonio, Martínez Rojas, Isaac, Hernando, Javier, Laina Relaño, Ruben and González González de Linares, Victor Manuel (2014). La industria maderera en España en el contexto del mundo y de Europa. Monografía (Informe Técnico). E.T.S.I. Montes (UPM) [antigua denominación], Madrid. <https://orcid.org/0000-0003-3437-1910>

Vilches, A., Garcia-Martinez, A., & Sanchez-Montañes, B. (2017). Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. *Energy and Buildings*, 135, 286–301. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.042>





Plaza San Bruno, 9  
50001 - Zaragoza (España)

Telf.: +34 976 29 82 82  
[ecodes@ecodes.org](mailto:ecodes@ecodes.org)

[www.ecodes.org](http://www.ecodes.org)

