



Universidad Internacional de La Rioja
Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Máster Universitario en Gestión Ambiental y Energética en las
Organizaciones

Auditoría energética en un edificio residencial de Madrid en situación de vulnerabilidad

Trabajo fin de estudio presentado por:	Darío Montes Santamaría
Tipo de trabajo:	Auditoría energética edificio
Directores:	Elena Morchón Villar y Fernando Martín-Consuegra
Fecha:	Marzo 2022

Resumen

La rehabilitación energética de los edificios se perfila como sector clave en la transición ecológica. Además, en torno al 90% de los edificios residenciales en España se pueden considerar deficientes energéticamente. Hay que añadir que este sector es un actor con gran potencial de lucha contra la pobreza energética. Este trabajo tiene como objetivo realizar una auditoría energética de un bloque de viviendas de Madrid en una zona de vulnerabilidad y pobreza urbana. La elección del edificio se da dentro proyecto Habita_RES, realizado por el Instituto de Ciencia Eduardo Torroja de ciencias de la Construcción del Consejo Superior de Investigaciones Científicas que ha facilitado datos para la realización de la auditoría.

Se ha utilizado la Herramienta Unificada Líder Calener (HULC). Los resultados arrojados por el modelo teórico se comparan con los datos monitorizados por el Instituto de Ciencia Eduardo Torroja. Este análisis permite comprobar que las condiciones reales de habitabilidad en el edificio no se corresponden con los estándares establecidos por el CTE. Se deduce que, en general, en las viviendas analizadas se tiende a ahorrar en los consumos energéticos sacrificando las condiciones de confort y calidad del aire.

A continuación se proponen medidas de mejora de la eficiencia energética analizando dos alternativas diferentes las cuales, a su vez, se exponen con y sin producción de energía renovable *in situ*. Los resultados muestran como las alternativas más asequibles económicamente no suponen grandes mejoras y no resultan tan económicas para población en situación de vulnerabilidad energética. Las opciones integrales, de presupuestos más elevados, suponen mejorías sustanciales logrando reducciones sensibles de la demanda energética y, por lo tanto, la mejora de la calidad del ambiente interior de las viviendas, el ahorro de consumo de energía y la reducción de las emisiones de CO₂ equivalentes asociadas.

El trabajo permite constatar que, para cumplir con los objetivos de reducción de la pobreza energética especificados por la ERESEE, las Administraciones Públicas deben establecer políticas públicas de mejora de la eficiencia energética del sector residencial que incluyan medidas específicas para los sectores más vulnerables.

Palabras clave: eficiencia energética, rehabilitación, certificación, pobreza, vulnerabilidad

Abstract

Building's energy rehabilitation is emerging as a key sector in the ecological transition. In addition, around 90% of residential buildings in Spain can be considered energy deficient. In addition, this sector is an actor with great potential to battle energy poverty. This goal of this work is to carry out an energy audit of a block of flats in Madrid in an area of vulnerability and urban poverty. The building was chosen within the Habita_RES project, carried out by the Eduardo Torroja Science Institute of Construction Sciences of the Higher Council for Scientific Research, which has provided data for the audit.

The Calener Leader Unified Tool (HULC) has been used for this purpose. The results produced by the theoretical model are compared with the data monitored by the Eduardo Torroja Science Institute. This analysis allows to verify that the real conditions of habitability in the building do not correspond to the standards established by the CTE. It follows that, in general, in the houses analysed there is a tendency to save on energy consumption, sacrificing comfort conditions and air quality.

Next, measures to improve energy efficiency are proposed by analysing two different alternatives which, in turn, are exposed with and without production of renewable energy on site. The results show how the most affordable alternatives do not imply great improvements and are not so affordable for the population in a situation of energy vulnerability. The comprehensive options, with higher budgets, reach substantial improvements, achieving significant reductions in energy demand and, therefore, improving the quality of the interior environment of homes, saving energy consumption and reducing greenhouse gas emissions associated CO₂ equivalents.

The work allows us to verify that, in order to meet the energy poverty reduction objectives specified by the ERESEE, Public Administrations must establish public policies to improve energy efficiency in the residential sector that include specific measures for the most vulnerable sectors.

Keywords: energy efficiency, rehabilitation, certification, poverty, vulnerability.

Índice de contenidos

1. Justificación	13
2. Introducción y marco teórico	14
2.1. Crisis climática	14
2.1.1 El desarrollo sostenible como agente de desigualdad	14
2.2. El sector de la edificación	16
2.2.1. Contexto internacional	16
2.2.2. Contexto europeo	19
2.2.3. Contexto nacional	27
3. Objetivos	32
3.1. Objetivo general	32
3.2. Objetivos específicos	32
4. Hipótesis de trabajo	33
5. Estado actual del consumo energético en edificación en España	34
5.1. Políticas y estrategias en el marco nacional	38
5.1.1. Agenda urbana española	39
5.1.2. Implementación y objetivos de la aplicación de las estrategias nacionales	40
5.2. La pobreza energética en España	42
5.2.1. Marco Europeo	42
5.2.2. Marco Nacional	45
6. Ahorro energético en la edificación	52
6.1. Tecnologías clave para el compromiso de reducción de emisiones en el sector residencial	53
6.2. Certificación energética de los edificios	55

7.	Descripción del edificio objeto de estudio.....	57
7.1.	Características de la colonia y el barrio	57
7.2.	Ubicación y orientación	61
7.3.	Superficies y volúmenes	63
7.4.	Estructura y envolvente	65
7.5.	Puentes térmicos	69
7.6.	Sistemas	69
7.7.	Otros equipos.....	71
7.8.	Resultados del modelo actual.....	71
7.9.	Situación monitorizada de habitabilidad y consumos	73
7.9.1.	Condiciones reales de habitabilidad de las viviendas	73
7.9.2.	Consumos energéticos monitorizados	76
7.9.3.	Comparativa de los consumos esperados con los monitorizados	78
8.	Medidas analizadas para la mejora de la eficiencia energética del edificio	80
8.1.	Alternativa Económica (AE)	81
8.1.1.	Cubierta	81
8.1.2.	Sustitución equipo de ACS.....	83
8.1.3.	Costes de instalación	85
8.1.4.	Resultados del modelo	86
8.2.	Alternativa Integral (AI)	87
8.2.1.	Ventanas.....	87
8.2.2.	Fachada y voladizo.....	89
8.2.3.	Cubierta	93
8.2.4.	Sustitución de equipos de calefacción y agua caliente sanitaria	94

8.2.5.	Costes de la Alternativa Integral	97
8.2.6.	Análisis de resultados de Alternativa Integral.....	97
8.3.	Comparativa de la Alternativa Económica e Integral	99
8.3.1.	Demanda, consumo y certificación	99
8.3.2.	Costes y amortización.....	100
9.	Propuesta de instalación de fuentes de energía renovable	101
9.1.	Instalación de captadores solares planos: alternativa económica con energía termosolar (AE+Tm).....	101
9.1.1.	Cálculo de consumos y superficie necesaria de captador solar plano.....	101
9.1.2.	Costes instalación captadores solares planos	105
9.1.3.	Resultados	105
9.2.	Instalación de energía fotovoltaica: Alternativa Integral con energía fotovoltaica (AI+FV).....	106
9.2.1.	Costes	108
9.2.2.	Resultados	109
9.3.	Comparativa de alternativa económica e integral con energías renovables	110
9.3.1.	Consumo, demanda, emisiones y calificación energética.....	110
9.3.2.	Costes y amortización.....	111
10.	Análisis de resultados	112
11.	Conclusiones.....	115
	Agradecimientos.....	117
	Referencias bibliográficas.....	118
	Bibliografía.....	125

Índice de figuras

Figura 1. Proporción de energía consumida y emisiones a nivel mundial.....	17
Figura 2. Evolución BCT y BCT acumulado respecto a línea objetivo.....	19
Figura 3. Tasa de renovación energética de edificios residenciales (media entre 2012 - 2016)	22
Figura 4. Ahorro total de energía primaria (Tep/año).....	22
Figura 5. Ahorro de energía primaria por tipo de reforma (Tep/año)	23
Figura 6. Reducción de emisiones en Europa (kteqCO ₂ /año)	24
Figura 7. Reducción de GEI per cápita en teCO ₂ /año.....	24
Figura 8. Inversión en rehabilitación energética (€/m ²)	25
Figura 9. Rentabilidad de inversión para rehabilitación energética de edificios	26
Figura 10. Evolución transmitancia térmica (W/m ² K) para muro en contacto con exterior en la ciudad de Madrid.....	30
Figura 11. Construcción de viviendas en España por años	31
Figura 12. Consumo de energía por metro cuadrado en el sector residencial	35
Figura 13. Consumo de energía en el sector residencial por uso	35
Figura 14. Evolución porcentual energía final destinada al sector residencial	36
Figura 15. Evolución indicadores energéticos en España	37
Figura 16. Consumo energético del sector residencial por fuentes energéticas	38
Figura 17. Situación pobreza energética según la UE en 2014	44
Figura 18. Evolución precio MWh en España.....	50
Figura 19. Modelo de etiqueta energética para edificio terminado	56
Figura 20. Plano histórico. Año 1965. Fuente Archivo Regional de Madrid	58
Figura 21. Vista aérea del Área Vulnerable de Villaverde Alto Sur	58

Figura 22. Datos sociodemográficos Área Vulnerable Villaverde Alto Sur	60
Figura 23. Foto satelital de la colonia de San Carlos	61
Figura 24. Patio interior de la colonia de San Carlos.....	62
Figura 25. Modelo del edificio, fachada I	63
Figura 26. Modelo del edificio, fachada II	64
Figura 27. Vista del modelo con obstáculos generadores de obstrucciones solares colindantes	64
Figura 28. Tablas para calculo demanda de AC.....	65
Figura 29. Verificación Requisitos Mínimos CTE-HE-2019. Calidad de la envolvente térmica.	72
Figura 30. Distribución de consumo de EP del edificio de estudio	72
Figura 31. Calificación energética del edificio	73
Figura 32. Factores de paso de Energía Final	79
Figura 33. Sistema de aislamiento por el interior de la cubierta	81
Figura 34. Demanda, consumos y emisiones de AE	86
Figura 35. Calificación energética de AE.....	86
Figura 36. Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE)	89
Figura 37. Caldera eléctrica para calefacción y ACS.....	94
Figura 38. Demandas , consumos y emisiones de AI.....	97
Figura 39. Calificación energética de AI	98
Figura 40. Temperaturas de suministro de agua por provincias.....	103
Figura 41. Valores de producción de energía térmica.	103
Figura 42. Radiación solar media en Madrid por meses	104
Figura 43. Demandas, consumos y emisiones de AE+Tm	106
Figura 44. Calificación energética de AE+Tm	106

Figura 45. Dimensiones módulo DE17M de Trina Solar	107
Figura 46. Energía FV y radiación solar mensual	108
Figura 47. Demanda, consumo y emisiones de AI+FV	109
Figura 48. Calificación energética de AI+FV	109

Índice de tablas

Tabla 1. Consumo energético en los hogares en España	34
Tabla 2. Datos de indicadores energéticos en España 2000-2019.....	37
Tabla 3. Objetivos de consumo y ahorro de energía final en el sector de la edificación.....	42
Tabla 4. Objetivos de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector residencial.....	42
Tabla 5. Evolución indicadores pobreza energética en España	46
Tabla 6. Evolución indicadores pobreza energética Comunidad de Madrid.....	47
Tabla 7. Tecnologías para la eficiencia energética en la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050.....	54
Tabla 8. Distribución de las superficies del edificio.....	63
Tabla 9. Demandas ACS por vivienda y edificio.....	65
Tabla 10. Características constructivas de solera y forjados.....	66
Tabla 11. Características constructivas de solera y forjados.....	66
Tabla 12. Características constructivas de muros exteriores.....	67
Tabla 13. Características constructivas de particiones interiores.....	67
Tabla 14. Características constructivas de ventanas.....	68
Tabla 15. Características constructivas de puertas	68
Tabla 16. Caracterización de los puentes térmicos del edificio	69
Tabla 17. Datos monitorización de las viviendas de estudio	75
Tabla 18. Valores parámetros que superan las normativas.....	76
Tabla 19. Demanda energética y costes por suministros.....	77
Tabla 20. Comparativa consumos de calefacción y ACS monitorizados con los de HULC	78
Tabla 21. Características constructivas de forjado superior con aislamiento.....	82
Tabla 22. Costes instalación aislante térmico en cubierta	82

Tabla 23. Nuevo equipo ACS para V1 y V3 en AE	83
Tabla 24. Nuevo equipo ACS para V2 en AE	84
Tabla 25. Características nuevo equipo ACS para V4 en AE	84
Tabla 26. Costes sustitución equipos ACS para AE	85
Tabla 27. Costes totales AE	85
Tabla 28. Características constructivas de ventanas mejoradas en AI	87
Tabla 29. Características constructivas puerta mejorada en AI	88
Tabla 30. Costes ventanas y puertas mejoradas en AI	89
Tabla 31. Características constructivas muro exterior en AI	90
Tabla 32. Características constructivas forjado en voladizo en AI	91
Tabla 33. Puentes térmicos en AI	92
Tabla 34. Costes SATE en AI	92
Tabla 35. Características constructivas del forjado superior AI	93
Tabla 36. Costes aislamiento cubierta en AI	93
Tabla 37. Características equipos mixtos ACS y calefacción en AI	94
Tabla 38. Características calentador eléctrico Clase A en AI	95
Tabla 39. Características radiadores eléctricos clase A en AI	95
Tabla 40. Coste sustitución equipos en AI	96
Tabla 41. Costes totales AI	97
Tabla 42. Comparativa alternativas respecto al modelo actual	99
Tabla 43. Comparativa costes y amortización de alternativas respecto a Modelo actual	100
Tabla 44. Características captador solar plano para AE+Tm	101
Tabla 45. Superficie y número de paneles necesarios	105
Tabla 46. Costes instalaciones paneles termosolares	105

Tabla 47. Características instalación energía solar fotovoltaica	107
Tabla 48. Costes instalación FV en AI+FV	108
Tabla 49. Comparativa del modelo actual con las Alternativas con EERR	110
Tabla 50. Comparativa de costes y amortización de Alternativas con EERR	111
Tabla 51. Resumen resultados calificación energética	114

1. Justificación

La motivación principal de este trabajo se basa en el interés por la sostenibilidad del planeta para mantener la vida tal y como la conocemos.

En esa línea, la Unión Europea se ha puesto a trabajar para conseguir una transición a marchas forzadas. En el transcurso del máster en el que se desarrolla este trabajo se ha tenido acceso a información acerca de la importancia de la eficiencia energética y las grandes cantidades de emisiones equivalentes de CO₂ procedentes de la edificación.

Una segunda motivación ha sido la imposibilidad de separar la transición energética de los problemas de la pobreza energética y las desigualdades sociales que existen en el acceso a la energía en España. El Pacto Verde Europeo incluye ambiciosas medidas de inclusión social y acceso universal a la energía, especificando que la transición hacia un continente descarbonizado para el año 2050 se debe realizar “sin dejar a nadie atrás”. En ese sentido, la colaboración con el Instituto de Ciencia Eduardo Torroja de ciencias de la Construcción del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IETcc-CSIC) y la realización de la auditoría energética en uno de los edificios de su proyecto Habita_RES permite elaborar un trabajo de eficiencia energética con un enfoque de pobreza y vulnerabilidad energética.

El bloque escogido se encuentra ubicado en el Distrito de Villaverde de Madrid, que representa uno de los de menor renta del municipio (Ayuntamiento de Madrid, 2022). Según el INE, el barrio en el que se encuentra la colonia, ronda los 9.000€ anuales (Instituto Nacional de Estadística, 2019). Además, los datos recogidos y monitorizados muestran grandes deficiencias en un edificio construido antes de la entrada en vigor de la Norma Básica de la Edificación en el año 1979 (NBE CT 79, 1979). Esta normativa incluye por primera vez en España condiciones de eficiencia energética en la edificación.

En consecuencia, la actuación de mejora de la eficiencia energética de este bloque puede suponer una sustancial mejoría en las condiciones de vida de sus inquilinos y en la reducción de emisiones.

2. INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO

2.1. Crisis climática

El informe “*Climate Change 2021. The physical Science Basics*” publicado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) concluye que es indiscutible que el ser humano y sus actividades son responsables del calentamiento de la atmósfera, tierra y océanos y han producido rápidos cambios en los mismos. Los cambios que se están observando se producen a nivel mundial como conjunto y alcanzan escalas sin precedentes en los últimos siglos.

El informe presenta modelos de futuro basado en cinco escenarios posibles. Solo en uno de ellos se predice que se podría conseguir el objetivo de París para mantener el aumento de la temperatura por debajo de 1,5°C en el 2100 (Naciones Unidas, 2015).

El principal agente del cambio climático son las emisiones de gases de efecto invernadero. Muchos de los cambios que estos han producido, y producirán en el futuro, se podrían alargar durante siglos y hasta milenios, especialmente los asociados a los océanos y los glaciares. El informe hace patente la necesidad inmediata de reducir la contaminación originada por nuestras actividades para frenar estas consecuencias.

Además, dado el desarrollo tecnológico de las últimas décadas y el crecimiento de población se hace más evidente la necesidad de cambiar nuestros modelos de vida hacia modelos más sostenibles y eficientes; un crecimiento en la población conllevará un aumento de la demanda energética y, en consecuencia, un aumento de emisiones, si no se hace algo para remediarlo.

2.1.1 El desarrollo sostenible como agente de desigualdad

En 1987, en el conocido como informe Brundtland, se definió el término desarrollo sostenible como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades” (Brundtland, G, 1987). Este concepto fue piedra angular durante la celebración de la Cumbre de la Tierra o Cumbre de Río en 1992. Catorce años después del informe Brundtland, en 2001, se estableció la Estrategia

Europea de Desarrollo Sostenible que ha sido actualizada en varias ocasiones en los últimos años, la más reciente de 2020.

En cualquier caso, a pesar de las estrategias y políticas establecidas, las consecuencias del cambio climático se están produciendo desde hace años lo que muestra que estas medidas han sido tomadas tarde y que son insuficientes. Además, es importante recalcar que las consecuencias del cambio no afectan a todas las personas por igual. (Noah S. Diffenbaugh, 2019) concluye que los países desarrollados no solo se han enriquecido durante décadas gracias a la explotación de los recursos fósiles sino que también se han beneficiado del calentamiento global. Por el contrario, los países más pobres, que se han enriquecido menos con el desarrollo de la industria y la tecnología fruto de la explotación de los combustibles fósiles, se han empobrecido más (en términos relativos) por el consumo energético de los países más ricos.

Este argumento también es esgrimido por la Organización Mundial para la Alimentación y la Agricultura, FAO, que asegura que el cambio climático afecta más a los países y a las personas más pobres. Esto se debe a la capacidad de adaptación y resiliencia según los poderes adquisitivos.

En la misma línea, (Fuentes, N.M, 2021) escribe que las políticas públicas deben basarse en enfoques integrales en las cuales la desigualdad de la renta y la riqueza tengan una relevancia importante. Así, resalta “la pertinencia de que la política monetaria preste más atención a la desigualdad de la renta y la riqueza y a la crisis climática que en el pasado.”

Con los informes del IPPC, la inmensidad de artículos científicos relacionados con las consecuencias del cambio climático y los otros tantos artículos relacionados con estos impactos sobre las poblaciones más vulnerables, se pone de manifiesto que las políticas y actuaciones de gobiernos, industria y población en general deben ir destinados a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero prestando especial atención en las poblaciones más pobres y menos resilientes.

2.2. El sector de la edificación

El sector de la edificación varía enormemente según el lugar desde el que se observe. Esta variabilidad depende de múltiples factores de diferente índole: clima de la región, materias primas locales, tradición constructiva, cultura, grado de desarrollo del país, etc. En cualquier caso, al margen del lugar o el punto de vista, la edificación tiene en común que es una necesidad básica para la humanidad y representa un alto impacto sobre nuestros entornos.

A continuación se abordarán algunos aspectos del sector a nivel internacional, europeo y nacional. Más adelante, en el punto 5 se abordará la relación del sector en el ámbito nacional con la energía.

2.2.1. Contexto internacional

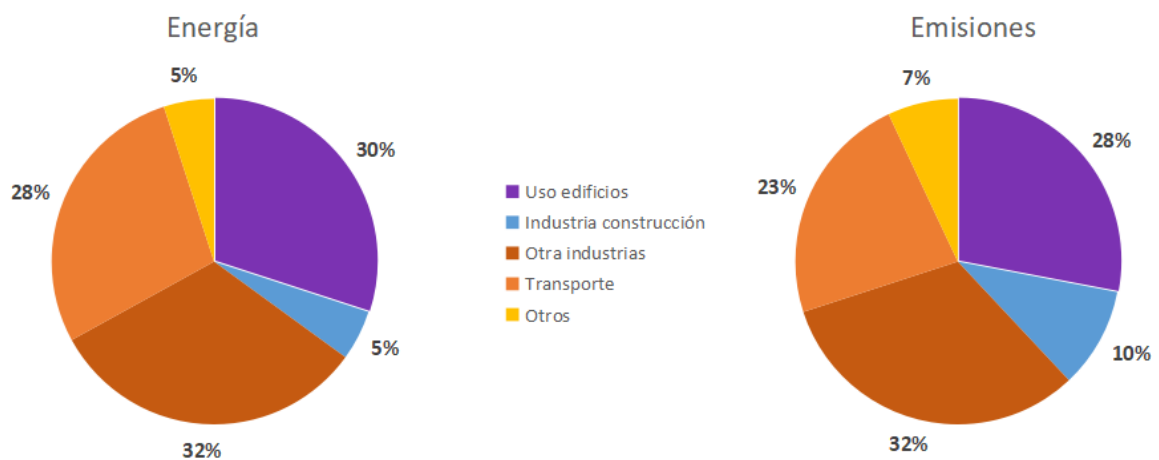
Según (United Nation Environment Programme, 2020) en el año 2020, la energía destinada al sector de la edificación, incluyendo la usada tanto para la construcción como el uso de los edificios, se ha mantenido en parámetros similares a los del 2019. En cambio, si nos referimos a las emisiones de CO₂ en el uso de hogares, durante 2020 tuvo un incremento de 10 GtCO₂ respecto al 2019. Este incremento es fácilmente comprensible si se tiene en cuenta que todavía mucha de la energía destinada al uso doméstico, sobre todo en los sistemas de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), es dependiente de combustibles fósiles.

La subida también se vio motivada por el aumento de emisiones en la fabricación y transporte de materiales de construcción. Aunque no es prioritario analizar este apartado para el caso de la auditoría energética de este trabajo, veo necesario señalar esta vicisitud: ante la crisis climática y los hitos y fechas propuestas por la ciencia para solventarla, todos y cada uno de los procesos de este sector -como en el resto de sectores-, deben sumar a la descarbonización. La sostenibilidad de nuestros modos de vida depende de que se transversalice a todos los campos la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y otros contaminantes que están impactando negativamente en nuestro planeta. Sin embargo, para este trabajo me centraré en los consumos y emisiones del uso de los edificios.

El mismo informa muestra cómo, en lo referente al consumo final global de energía, los edificios representan el 35% del total de energía consumida - un 55% si nos referimos a la electricidad. Si se elimina el porcentaje referente a la construcción, este porcentaje se reduce a un 30%. Aun así, es significativo que represente un porcentaje mayor que el transporte, cuya porción se eleva a un 28%.

Si nos referimos a las emisiones equivalentes de CO₂, el uso de las viviendas y hogares suponen un 28% del total, un 5% más de las emisiones asociadas al transporte.

Figura 1. Proporción de energía consumida y emisiones a nivel mundial.



Fuente: (International Energy Agency. 2021)

Según el proyecto (International Energy Agency, 2021), para llegar en esta fecha a una emisión neta de cero emisiones, el número de unidades equivalentes de CO₂ en la construcción y uso de los edificios debe de pasar de 3 Gt en 2020 a 2 Mt en 2050, lo que equivale a una reducción del 95%. Todo ello teniendo en cuenta el crecimiento de los países en vías de desarrollo o la creciente demanda de sistemas de aire acondicionado. Para conseguirlo se deberán implementar medidas de mejora relacionadas con la eficiencia energética de los sistemas, las técnicas y materiales de aislamiento de las envolventes de los edificios o el control y digitalización de los sistemas. Sin descartar que, como usuarios, hay que modificar nuestros comportamientos hacia hábitos más sostenibles. Estas medidas y cambios han de ir acompañado por la transición de energías de fuentes fósiles a energías de fuentes renovables. Se estima que la reducción de los combustibles fósiles y la implementación de técnicas de

eficiencia energética supondrían el 70% de las reducciones para llegar al escenario proyectado en el 2050.

A tenor de esto, se presentan dos líneas de acción en la edificación:

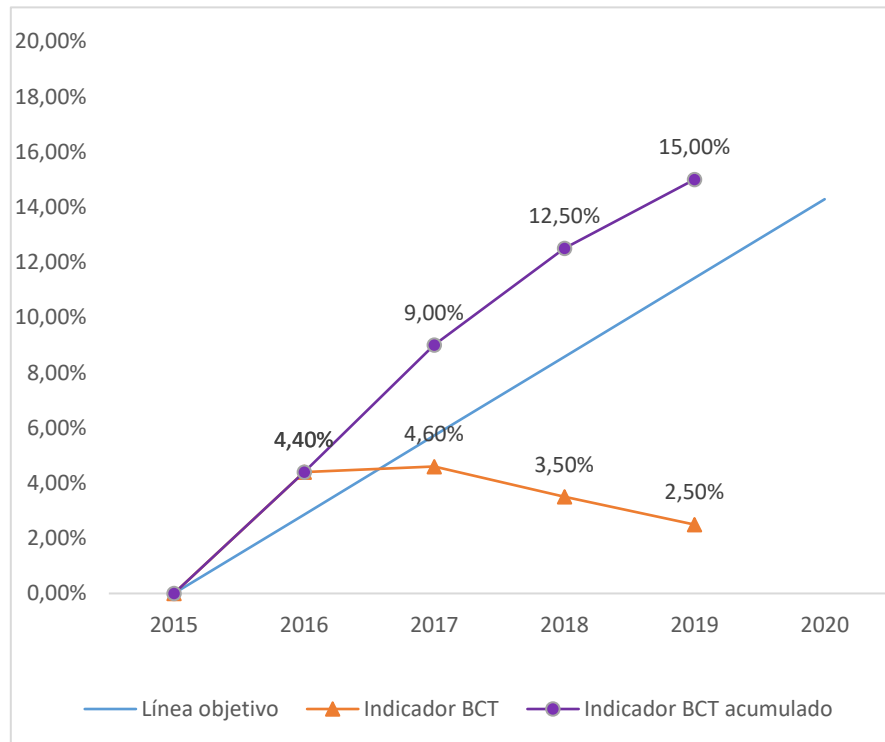
- La creación e implementación de normativas y legislación en lo referente a la construcción de edificios con nulas o casi nulas emisiones de carbono.
- La modernización del parque inmobiliario de los edificios existentes.

El segundo punto es muy importante, especialmente en los países “desarrollados”. En estos países (entre los que se encuentra incluida España) hay un elevadísimo porcentaje de viviendas con larga vida media. Gran parte de los edificios ya construidos seguirán en pie en 2050. De ahí que cobre tanta relevancia su remodelación para convertirlos en edificios más eficientes. La estimación del ratio de edificios a remodelar por año ronda el 2,5% del total del parque inmobiliario, lo que significa un conjunto de 10 millones de viviendas mejoradas anualmente. Si incluimos los “países en vías de desarrollo”, esta cifra subiría hasta los 20 millones.

En resumen, las medidas a tomar y los comportamientos a cambiar en el sector inmobiliario deberían reducir en un 6% anual las emisiones a lo largo de la actual década.. De esta manera, en 2030 las emisiones de CO₂ se habrían reducido a menos de 2 GtCO₂. Si se estima anualmente, las emisiones en los edificios deberían ser reducidas en un 6% durante la década 2020-2030.

La Alianza Global para los Edificios y la Construcción (GlobalABC por sus siglas en inglés) lleva recopilando datos sobre la descarbonización del sector desde 2015. Para ello ha calculado un indicador, el indicado BCT, a partir de otros siete indicadores. Eso sí, este indicador no incluye algunas variables como, por ejemplo, las emisiones asociadas a la gestión del fin de ciclo de vida de las construcciones o desarrollos futuros del cambio climático o el aumento de la población. Por lo tanto, se considerará este indicador como algo orientativo ya que con el paso de los años los números reales necesarios para conseguir los objetivos previstos para 2050 pueden ser más fáciles o más difíciles de obtener.

Figura 2. Evolución BCT y BCT acumulado respecto a línea objetivo



Fuente: GlobalABC, 2020 Global Status Report for Buildings and Construction

En la figura 2, se comprueba que como la descarbonización medida hasta el 2019 supera la línea objetivo -los números necesarios para llegar al 2050 con un 95% de reducción de las emisiones. Se observa como en los dos últimos años medidos, se ha reducido el valor del BCT poniendo en peligro el mantenimiento de la línea de descarbonización por encima de los objetivos deseados.

2.2.2. Contexto europeo

Según la Directiva 2010/31/UE *“El 40% del consumo total de energía en la Unión corresponde a los edificios. El sector se encuentra en fase de expansión, lo que hará aumentar el consumo de energía. Por ello, la reducción del consumo de energía y el uso de energía procedente de fuente renovables en el sector de la edificación constituyen una parte importante de las medidas necesarias para reducir la dependencia energética de la Unión y las emisiones de gases de efecto invernadero”*

Aprobada el 19 de mayo del 2010, la Directiva 2010/31/UE reconoce la importancia de la eficiencia energética en los edificios (Comisión Europea, 2010). Si la Unión Europea y sus Estados Miembros (EEMM) quieren cumplir con sus objetivos para el 2030, urge abordar el asunto del consumo energético de nuestro parque inmobiliario.

Cabe destacar que esta directiva se elaboró fijándose los objetivos para el año 2020 . Uno de los objetivos propuestos suponía aumentar la eficiencia energética en un 20% para dicho año. No se consiguió entonces, por lo que ahora Europa se enfrenta a un objetivo más ambicioso para el 2030: aumentar la eficiencia energética en un 32,5%. Esto requerirá grandes esfuerzos por parte de todos los actores implicados en la edificación: desde empresas constructoras hasta consumidores, pasando por instituciones que legislen e incentiven en materia de nuevas edificaciones y rehabilitación.

Para 2030 los Estados Miembros están obligados a conseguir un objetivo de ahorro de energía de uso final. Este ahorro es equivalente a reducir la energía final un 0,8% anualmente (Ministerio para la Transición Energética y el Reto Demográfico, 2021). Teniendo en cuenta el gran porcentaje de energía que se destina a los edificios (40% del consumo total de energía) es evidente la relevancia que implica un buen comportamiento energético en los mismos.

No en vano, en el cuarto informe sobre el Estado de la Unión de la Energía, publicada en 2019, se hace referencia a los edificios en varios apartados:

“Por último, el marco legislativo de la Unión de la Energía reconoce el papel que desempeñan los agentes locales y regionales, sobre todo el Reglamento relativo a la gobernanza, y pide que se actúe, por ejemplo en materia de movilidad con bajas emisiones de carbono y edificios eficientes desde el punto de vista energético”.

Además, esta estrategia refuerza la importancia de la innovación y el desarrollo como factor clave. Así, se aportaron 2,5 billones de euros entre 2018 y 2020 para la investigación para la descarbonización del parque inmobiliario europeo.

Para un mayor entendimiento del estado de la rehabilitación energética de los edificios, la Comisión Europea realizó un estudio basado en entrevistas y encuestas: *“Comprehensive*

study of building energy renovation activities and the uptake of nearly zero - energy in the EU"
en el 2019.

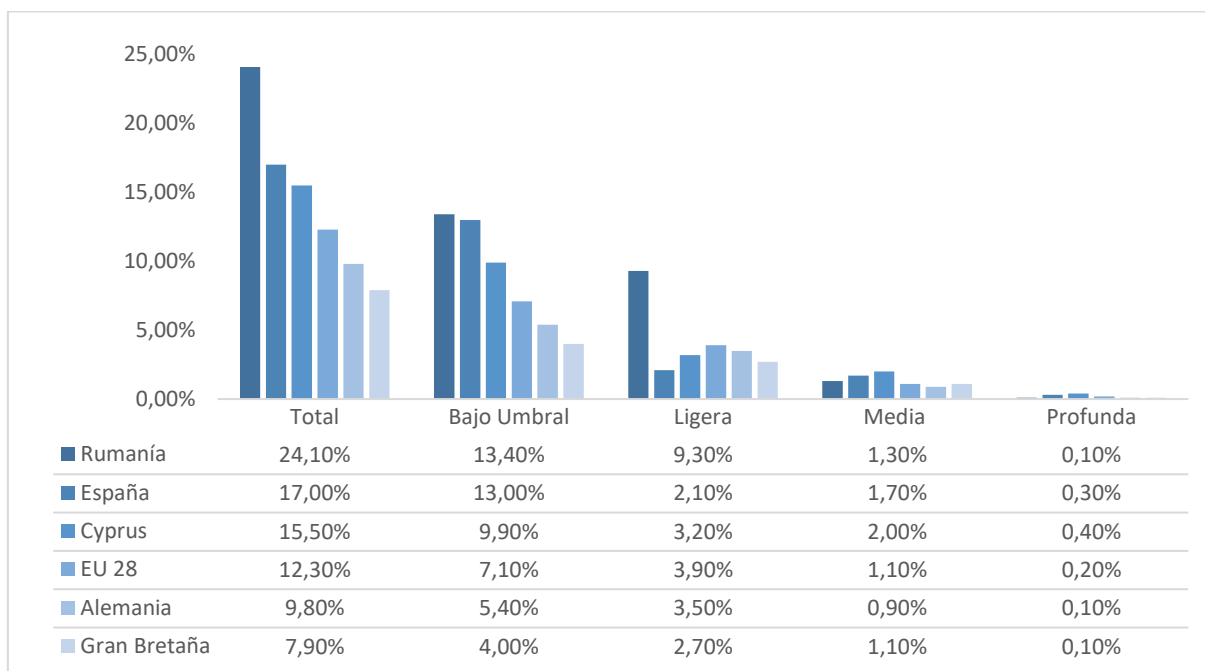
Este estudio, engloba datos obtenidos entre 2012 y 2016. Para analizar tales datos, considera cuatro categorías en función de los ahorros de energía primaria (EP) obtenidos:

- Renovación energética "bajo umbral" para ahorros de EP < 3%.
- Renovación energética "ligera" para ahorros de EP entre 3 y 30%.
- Renovación energética "media" para ahorros de EP entre el 30 y el 60%.
- Renovación energética "profunda" para ahorros de EP > 60%.

En la figura 3, se representa, porcentualmente, las reformas en edificios residenciales que implicaron una reforma energética. Se observa que la media europea de rehabilitación energética es del 12,30% pero sólo un 1,30% tiene ahorros energéticos de más del 30%, un porcentaje insuficiente para los objetivos buscados.

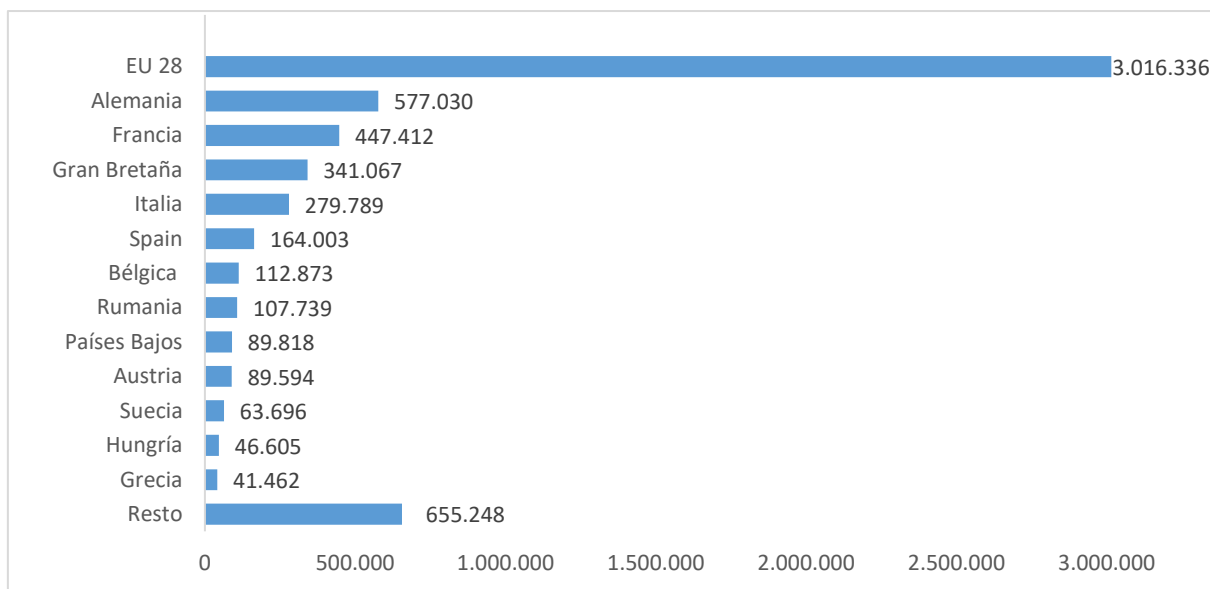
En las figuras 4 y 5 se muestran los ahorros medidos en Toneladas Equivalente de Petróleo al año. La figura 4 divide los resultados en función del tipo de reforma. Las reformas "medias" y "profundas" representan el 53% del ahorro a pesar de ser los tipos de reformas menos realizadas -un 1,3% como ya se mencionó.

Figura 3. Tasa de renovación energética de edificios residenciales (media entre 2012 - 2016)



Fuente: Comisión Europea, *Comprehensive study of building energy renovation activities and the uptake of nearly zero-energy buildings in the EU*

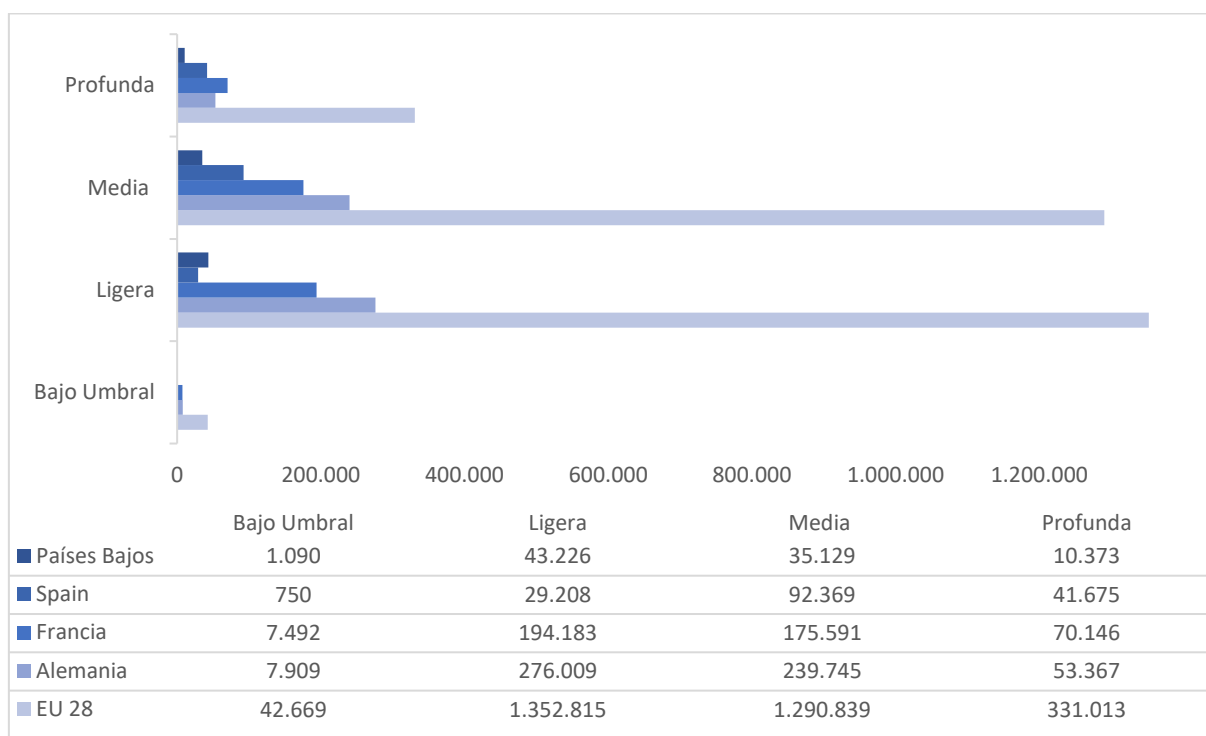
Figura 4. Ahorro total de energía primaria (Tep¹/año)



Fuente: Comisión Europea, *Comprehensive study of building energy renovation activities and the uptake of nearly zero-energy buildings in the EU*

¹ Tep = Tonelada equivalente de petróleo

Figura 5. Ahorro de energía primaria por tipo de reforma (Tep/año)



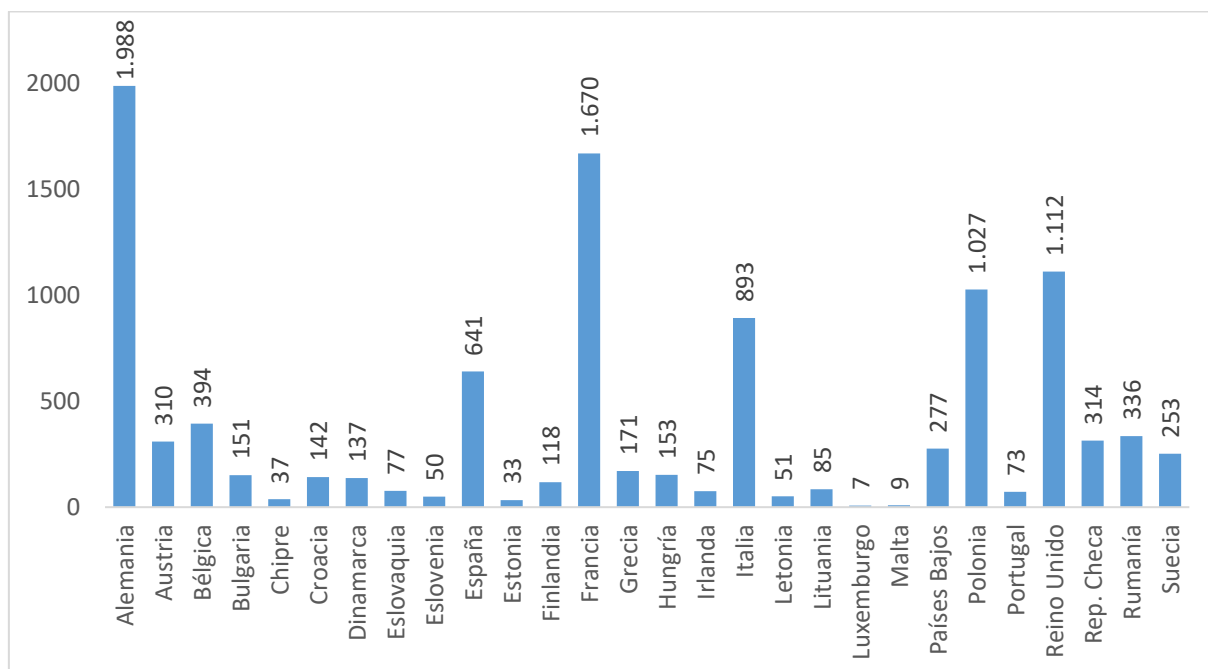
Fuente: Comisión Europea, *Comprehensive study of building energy renovation activities and the uptake of nearly zero-energy buildings in the EU*

En 2016 se consumieron 1.385 millones de toneladas equivalentes de petróleo en toda la Unión Europea (European Environment Agency, 2021). Considerando que se estima el ahorro en 3,016 Mtep, se puede asegurar que se ha conseguido un ahorro del 0,0022% - una cantidad muy pequeña para contribuir al 0,8% de ahorro anual de EP deseada.

Considerando todas las reformas que se han hecho durante este periodo, se calcula que se reducen en aproximadamente 11 MteCO₂ por año entre el 2012 - 2016. La distribución por países se muestra en las Figuras 6 y 7.

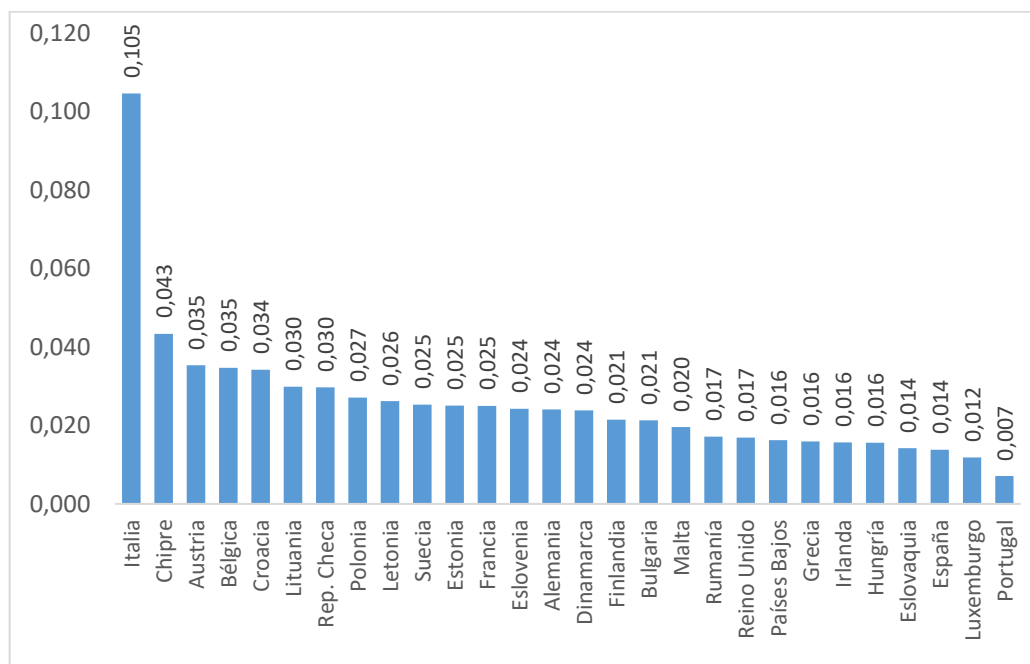
El total de las estimaciones de ahorro suma una cantidad de 10,584 MteqCO₂/año. Según la Agencia Europea de Medio Ambiente, en 2016 el sector de la edificación emitió 1122,5 MteqCO₂. Por lo tanto, es posible afirmar que entre 2012 y 2016 se evitó emitir a la atmósfera, anualmente, un 9% de las emisiones de gases de efecto invernadero de 2016.

Figura 6. Reducción de emisiones en Europa (kteqCO₂/año)



Fuente: Comisión Europea, *Comprehensive study of building energy renovation activities and the uptake of nearly zero-energy buildings in the EU*

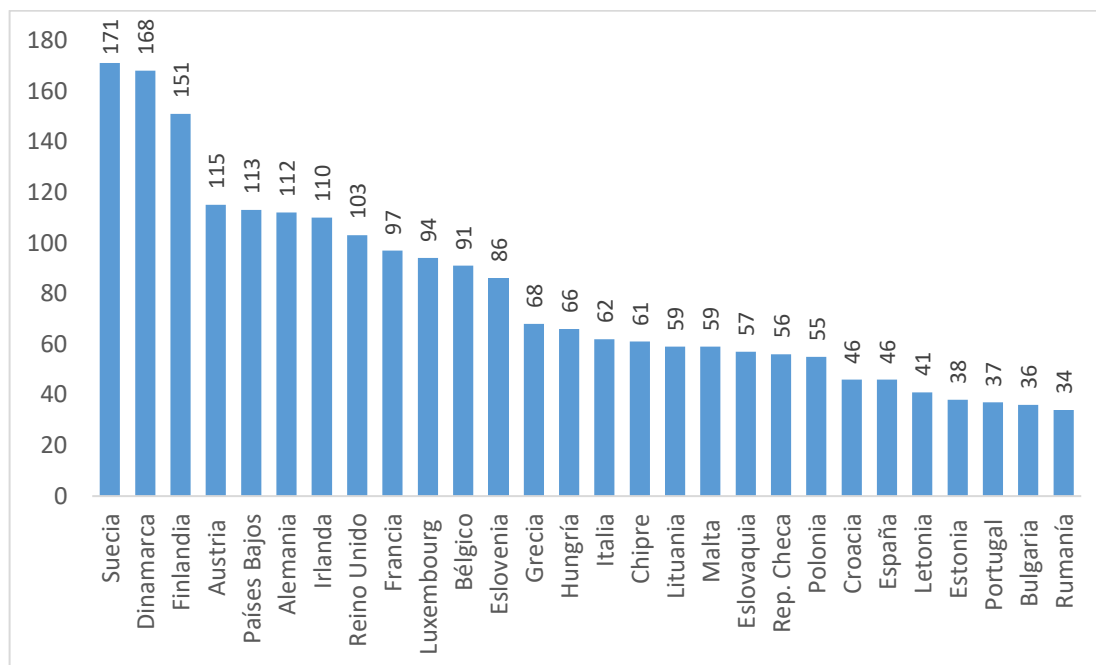
Figura 7. Reducción de GEI per cápita en teCO₂/año



Fuente: Comisión Europea, *Comprehensive study of building energy renovation activities and the uptake of nearly zero-energy buildings in the EU*

A continuación, en la figura 8 se muestra la inversión que se ha realizado por metro cuadrado de rehabilitación energética y por países.

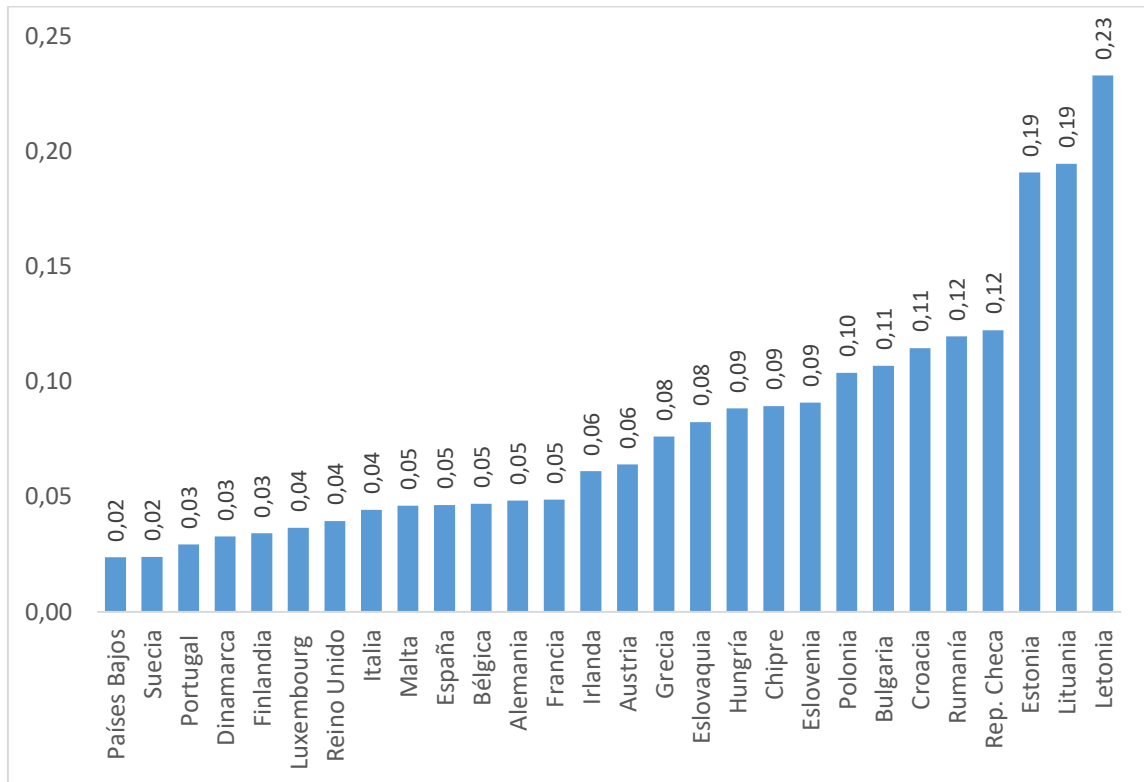
Figura 8. *Inversión en rehabilitación energética (€/m²)*



Fuente: Comisión Europea, *Comprehensive study of building energy renovation activities and the uptake of nearly zero-energy buildings in the EU*

Cruzando los datos de la figura 6 y 8, se identifica cuánto cuesta reducir las emisiones en cada país. En la figura 9 muestra un índice que se ha calculado como la reducción total de emisiones de gases de efecto invernadero entre la inversión total de euros destinadas a rehabilitación energética de los edificios. A mayor índice, mayor es la rentabilidad que se obtiene por cada euro invertido en la rehabilitación energética. Se comprueba cómo, en general, en los países del este de Europa el índice es mayor, mientras que en los países del norte de Europa el índice disminuye.

Figura 9. Rentabilidad de inversión para rehabilitación energética de edificios



Fuente: elaboración propia

En las encuestas y entrevistas de este informe se buscaron los motivos por los que los consumidores de los edificios decidían realizar las reformas. El mayor porcentaje contestó que habían hecho la rehabilitación energética aprovechando que tenían que sustituir o cambiar algún elemento del edificio. Es decir, el principal motivo para mejorar las prestaciones energéticas estaba ligado a reformas de otra índole no energética.

Por otro lado, otro grupo considerable declaró que emprendió las acciones de reforma al encontrarse con facilidad de financiación ya fuera en forma de condiciones de fácil acceso a las mismas o por otros motivos como herencias.

Con estos dos datos se pueden concluir dos cosas:

- La población europea prioriza las reformas estructurales frente las energéticas. Todo ello a pesar de los grandes beneficios para el medio ambiente y el ahorro de los

usuarios de los hogares. Esto puede darse a una falta de información y concienciación sobre los beneficios colectivos e individuales de actuar sobre los parques inmobiliarios.

- Las inversiones son una barrera a la hora de emprender estos proyectos y el acceso fácil a financiación favorecen la proliferación de rehabilitaciones energéticas. Por ello es necesario que desde las instituciones se fomenten herramientas financieras para que los propietarios de viviendas inicien las reformas correspondientes.

Los arquitectos preguntados en este estudio añaden a lo anterior que un significativo porcentaje de contratistas que adquirieron sus servicios pertenecían a un perfil de nuevo propietario. Es decir, se podría inferir que adquirir un nuevo hogar o edificio es considerado como un buen momento para implementar reformas.

El informe también sugiere la implantación de incentivos basados en:

- Garantizar menores precios y mayores ahorros energéticos.
- Reducir de las barreras administrativas y crear de regulaciones en el sector.
- Acceso a financiación .

2.2.3. Contexto nacional

2.2.3.1. Normativas

En la tesis doctoral (Gómez Muñoz, 2014) se realiza un desarrollo exhaustivo de los contextos y normativas desde el siglo XX. En ella se conoce que el primer tercio del siglo XX se caracterizó por varias regulaciones en la edificación que se centraban en la higiene y la economía. De esta etapa son la Ley de Casas Baratas (1911), la Ley de Casas Económicas para la clase media (1925) y la Ley Salmón (1935). Todas ellas tienen en común que solo imponía exigencias a aquellas viviendas de propiedad pública y no incluían medidas de aislamiento térmico o eficiencia en los sistemas.

Más tarde, en el segundo tercio del siglo XX se producen dos guerras, una nacional y otra internacional, que tuvieron gran impacto en la economía española y requirieron un gran esfuerzo posterior para su recuperación. La Guerra Civil supuso el aislamiento de España respecto a los países europeos y generó una gran crisis económica después de la contienda.

Muchas familias perdieron sus hogares y las administraciones se plantearon la necesidad de construir viviendas para ellas. Los intentos por aumentar el parque inmobiliario del país se vieron frenados por la escasez de recursos que provocó la II Guerra Mundial.

Durante este periodo se creó el Instituto Nacional de Vivienda (INV) cuyo objetivo era paliar la escasez de vivienda lo más rápidamente posible. Pero fueron muy pobres sus resultados.

A partir de la década de los 50 se implementaron diferentes Planes Nacionales de Vivienda que lograron más éxito. Pero, una vez más, estos planes venían regulados por normativas en las que primaba lo económico sin considerar criterios de eficiencia energética.

En los inicios del tercer tercio del siglo XX se advierte un mayor aperturismo del país y un desarrollo industrial más notable, lo que supone un aumento del poder adquisitivo y la migración de la población hacia las ciudades. Se incrementa, por lo tanto, la demanda de vivienda.

El sector privado de construcción se afianza como motor económico y las normativas muestran intenciones de mejora de calidad de las viviendas.

En 1969 aparecen las Normas Constructivas para las Viviendas Protegidas que establecen límites de transmitancia térmica en función de dos zonas climáticas y su orientación.

Las normativas nacional e internacional de entonces muestran carencias notables en lo referente al ahorro energético de los edificios. Era habitual que no se consideraran las condiciones de verano y, dado el contexto del momento, las exigencias técnicas de construcción estaban muy lejos de las exigencias requeridas actualmente.

Con la crisis del petróleo de 1973 aumenta la conciencia de ahorro energético. En 1975 y 1979 nace el Decreto 1940 y la Norma Básica de Edificación, respectivamente. En estos documentos se habla de coeficiente de transmisión global y no afecta solo a elementos de la envolvente. También contempla la determinación de las zonas climáticas, que acaba reflejándose en un mapa mucho más completo que la zonificación climática anterior.

El inicio del siglo actual se caracteriza, a nivel de eficiencia energética, por la transposición de las Directivas europeas en esta materia: la primera, la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los

edificios. Más tarde ésta sería derogada por la Directiva 2010/31/UE. En España se materializó, en el año 2006, en la publicación del Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE). En estas regulaciones no solo se tienen en cuenta los elementos de aislamiento sino también el consumo/producción de energías renovables, la climatización y el diseño. La última actualización del CTE es del año 2019.

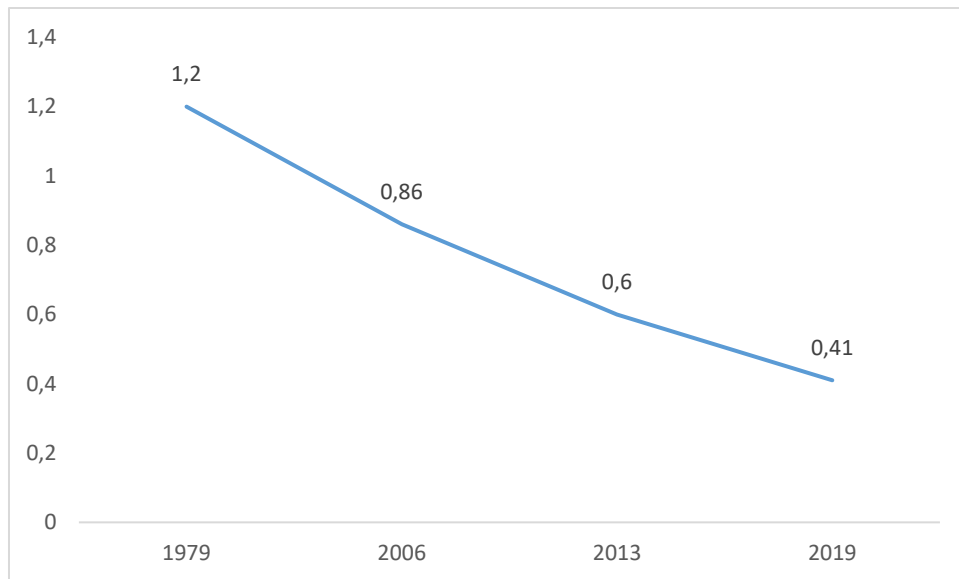
Unos años más tarde, en 2013, se finalizó la transposición de las Directivas con la publicación del Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. Este Decreto ha sido derogado recientemente por el Real Decreto 390/2021, de 1 de junio.

El CTE supuso un salto notable respecto a la NBE-CT-79 en cuanto a las exigencias térmicas. La figura 10 muestra la evolución de la transmitancia térmica para un muro de fachada en Madrid a lo largo de las diferentes normativas publicadas desde 1979.

Otras normativas, vigentes a día de hoy, relacionadas con la eficiencia energética son:

- La Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas,
- El Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana y el 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.
- En el ámbito de la Comunidad de Madrid, por ser el caso que se nos aplica en este trabajo, se ha introducido el Decreto 103/2016, de 24 octubre, que regula el Informe de Evaluación de los Edificios y crea el Registro Integrado Único de Inspección de Evaluación de la Comunidad de Madrid

Figura 10. *Evolución transmitancia térmica (W/m^2K) para muro en contacto con exterior en la ciudad de Madrid*



Fuente: elaboración propia^{2 3 4 5}

2.2.3.2. Estado actual del parque inmobiliario español

Con los datos del último censo de Población y Vivienda del Instituto Nacional de Estadística - fechado en 2011- y los permisos concedidos para la construcción de vivienda (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020), se ha realizado la figura 11.

A falta de la publicación del próximo censo, se puede estimar el número de viviendas que hay en España y clasificarlas según su año de construcción.

El total de viviendas construidas en España asciende a 26.090.802. De ellas, solo 113.764, es decir, un 0,004% de las viviendas españolas han sido ejecutadas tras la aprobación de la última actualización del CTE. Teniendo en cuenta las construidas tras publicación del primer CTE, el porcentaje aumentaría hasta el 8%.

² (Ministerio de la Presidencia, 1979)

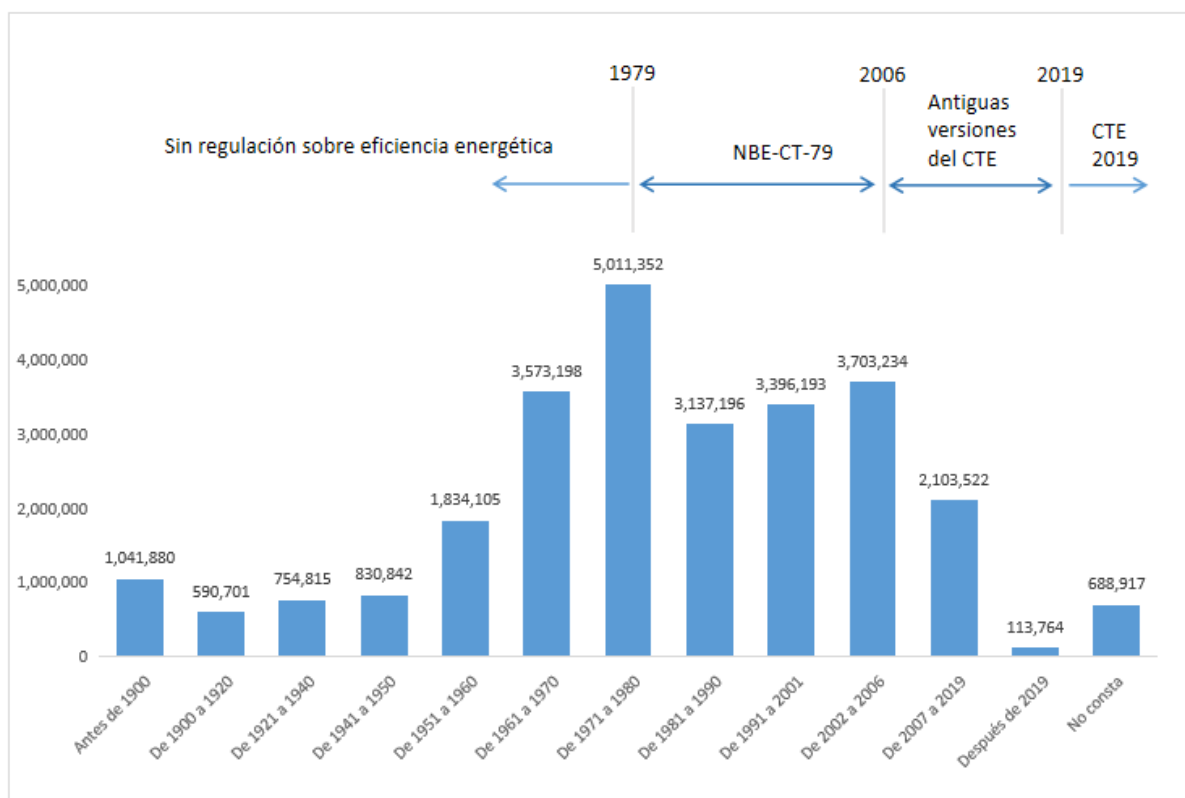
³ (Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo del Ministerio de Fomento, 2019)

⁴ (Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo del Ministerio de Fomento, 2013)

⁵ (Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo del Ministerio de Fomento, 2006)

Considerando como energéticamente eficiente las viviendas construidas desde el 2006 - aunque tengan menores exigencias térmicas que las de 2019- se obtiene que un 92% del parque inmobiliario español se construyó antes de introducir en la construcción transmitancias reducidas y otras exigencias, como la instalación de energías renovables.

Figura 11. Construcción de viviendas en España por años



Fuente: elaboración propia con datos (Instituto Nacional de Estadística, 2013)

Desde 2013, el número de viviendas que han sufrido algún tipo de rehabilitación ha sido 350.778 (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020). Aunque no todos los casos implican una reforma profunda y una rehabilitación energética del inmueble. Según la Unión Europea y el Consorcio Zebra2020, solo un 0,08% de estas reformas implican ahorros energéticos de entre el 50-80% (medidos en demanda de calefacción) (Comisión Europea, s.f.).

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Se realiza una auditoría energética de un edificio de vivienda oficial habitado por personas en situación de vulnerabilidad energética. Se pretende promover medidas de mejora en el comportamiento energético del edificio adecuadas a la realidad social del contexto.

3.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos son:

- Exponer el contexto del uso de energía en el sector residencial.
- Analizar la situación del parque inmobiliario y la pobreza energética en España.
- Utilizar la Herramienta Unificada Líder-Calener para verificar el grado de cumplimiento de los requisitos del edificio con el Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Contrastar las diferencias entre el consumo energético teórico calculado con la herramienta de verificación y los consumos registrados para el estudio de caso.
- Analizar la brecha entre ambos consumos a partir del análisis comparativo de las condiciones reales de habitabilidad en el edificio objeto con las condiciones establecidas por la normativa que se consideran para los cálculos de la Herramienta Unificada Líder-Calener.
- Proponer actuaciones para la reducción de la demanda de energía del edificio a través de medidas pasivas.
- Proponer soluciones para la generación de energías renovables para el autoconsumo.

4. Hipótesis de trabajo

La siguiente auditoría se realizará en un bloque de viviendas situado en la Colonia de San Carlos. Esta colonia se encuentra ubicada en el Distrito de Villaverde de Madrid, que es uno de los de menor renta per cápita del municipio. Según el INE, el barrio en el que se encuentra la colonia, no supera los 10.000€ anuales (Ayuntamiento de Madrid, 2022).

Este trabajo quiere poner de manifiesto la necesidad de intervenciones institucionales para proteger a la ciudadanía más vulnerable. Para ello se realizará una simulación para tratar de demostrar que las intervenciones de eficiencia energética en la edificación son una herramienta para sacar a las personas de la pobreza energética.

Las propuestas se harán considerando el difícil acceso a financiación para las familias que residen en el bloque y, por lo tanto, la necesidad de la intervención de entes públicos.

Las viviendas de la Colonia fueron construidas en 1950 y adolecen de grandes carencias en eficiencia energéticas. Aunque no son los únicos, estos dos factores influyen en que las personas que residen en la Colonia se encuentren en una situación de vulnerabilidad energética.

Por ello y por lo evidente de la ineficiencia energética que muestra el parque inmobiliario en general - y el de estas viviendas en concreto - se realizará una auditoría energética de cuatro viviendas de la colonia buscando dos fines: que se lo puedan permitir y que reduzcan la demanda para tratar de sacar a las personas residentes de una situación de pobreza energética.

En el proceso se tratará, además, demostrar como las condiciones reales de habitabilidad de sus residentes difieren de las condiciones establecidas para certificar en los programas oficiales de auditoría en edificios.

5. Estado actual del consumo energético en edificación en España

Las necesidades de los hogares suponen el 17% del consumo de energía final en España (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía, 2011). Este porcentaje se eleva al 25% si nos referimos a electricidad.

Tabla 1. Consumo energético en los hogares en España

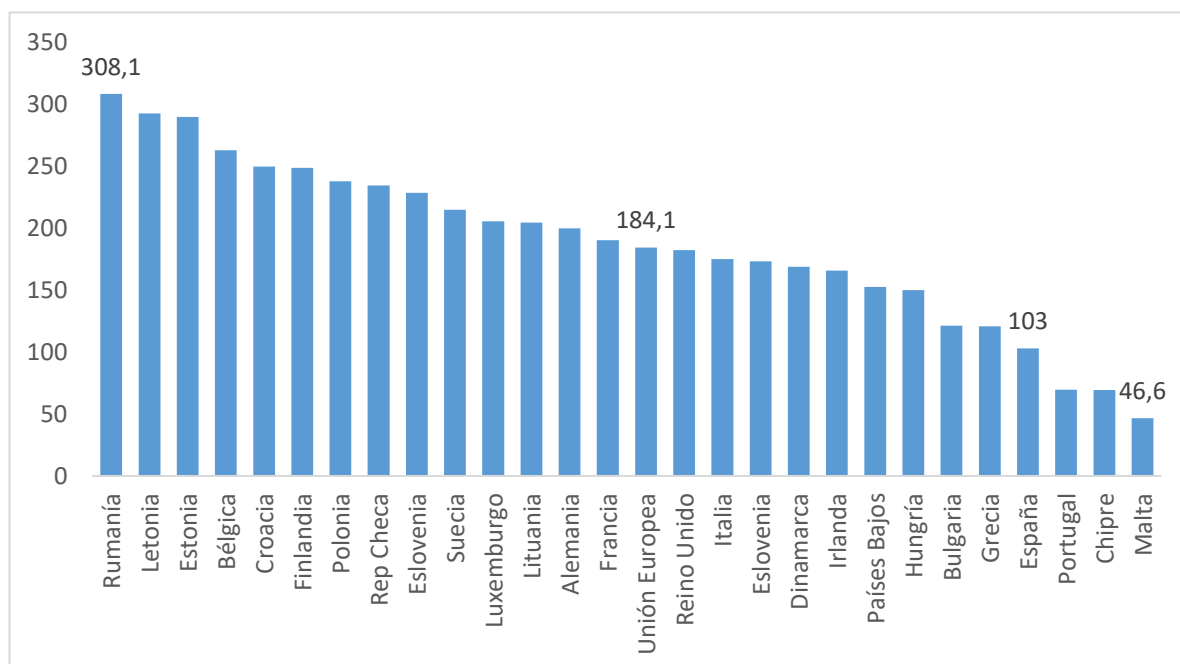
Consumo total (ktep)	14.676	14.676
Consumo total medio (ktep)	0,852	0,852
Estructura del consumo total (%)	Calefacción	47%
	ACS	18,9%
	Cocina	7,4%
	Refrigeración	0,8%
	Iluminación	4,1%
	Electrodomésticos	19,4%
	Standby	2,3%

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística, 2013)

Respecto a Europa, en 2013 España se encontraba a la cola en cuanto a consumo de energía por metro cuadrado en los edificios de vivienda. Solo Portugal, Chipre y Malta tenían menos consumos que España (ver figura 12). Mientras que la media europea estaba en 184,1 kWh/m², España consumía 103 kWh/m², muy por detrás de Rumanía con 308 kWh/m². El Estado Miembro que menos consumió fue Malta, con 46,6 kWh/m².

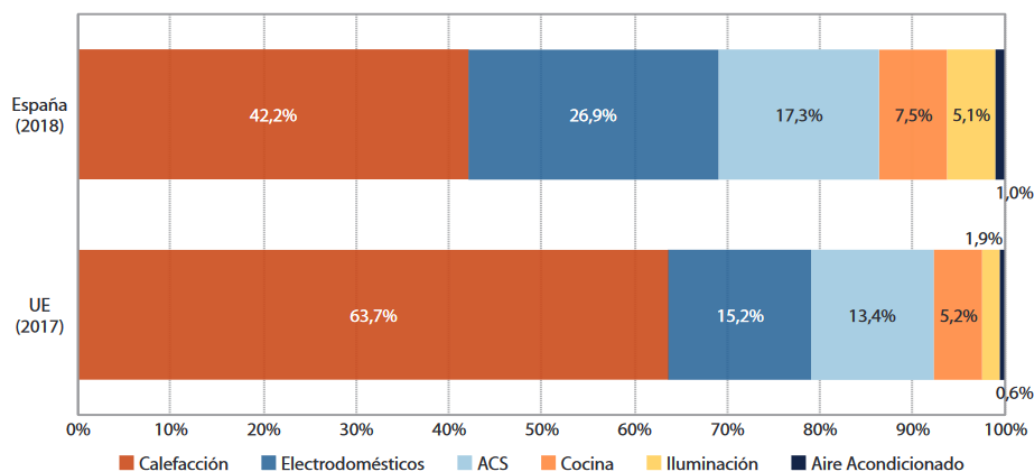
Un factor importante para explicar esta diferencia con otros países europeos es el clima. El mayor consumo energético de los hogares españoles, y el de los europeos, es la calefacción doméstica. España es un país con un clima cálido en comparación con otros países europeos y calentar el hogar “solo” implica algo más del 40% del consumo energético (ver figura 13). En cambio, en la media europea, este porcentaje alcanza el 63%.

Figura 12. Consumo de energía por metro cuadrado en el sector residencial



Fuente: (Comisión Europea, s.f.)

Figura 13. Consumo de energía en el sector residencial por uso



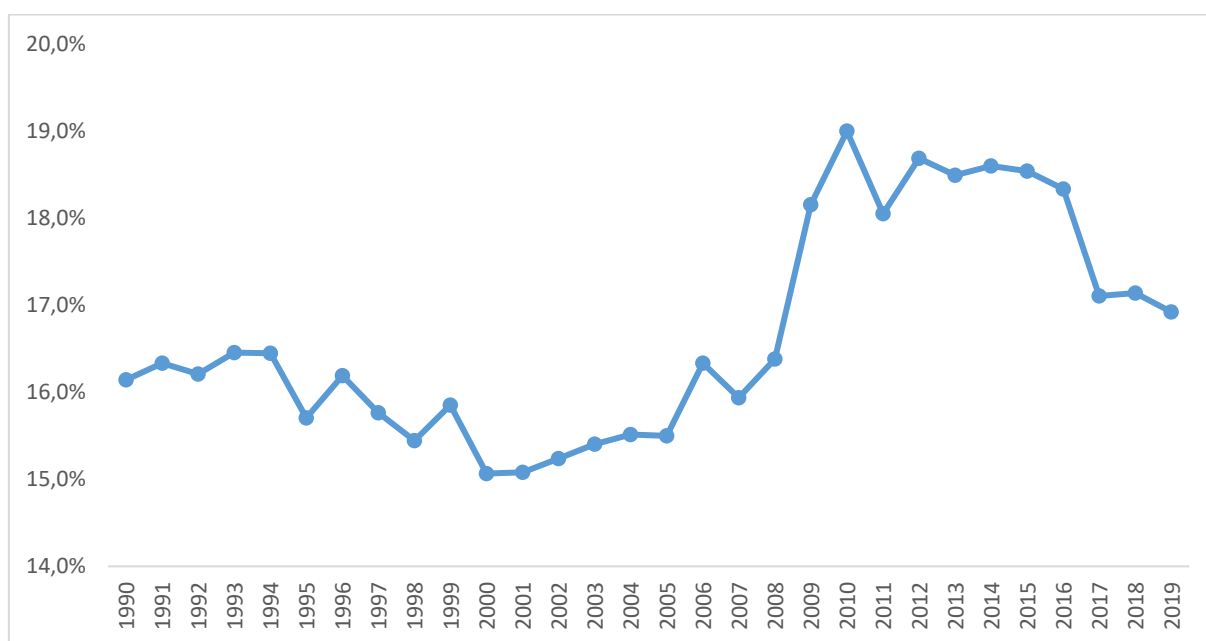
Fuente: (Ministerio para la Transición Energética y el Reto Demográfico, 2020)

En 2018 un 56,6% de la demanda energética en los edificios era demanda térmica (Ministerio para la Transición Energética y el Reto Demográfico, 2020), incluyendo en estos servicios la calefacción y el agua caliente sanitaria o la cocina. Más de la mitad de esta energía procede de fuentes fósiles. A tenor este factor y el que se apuntó al inicio de este apartado -que el sector residencial supone el 16,9% del consumo de energía final- se observa claramente el

potencial de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que supone rehabilitar energéticamente el parque inmobiliario español.

La proporción de energía final que se destina a uso residencial ha oscilado entre el 15% y el 18% desde 1990. En la figura 14 se muestra cómo ha sido la evolución de dicha proporción entre los años 1990 y 2019.

Figura 14. *Evolución porcentual energía final destinada al sector residencial*

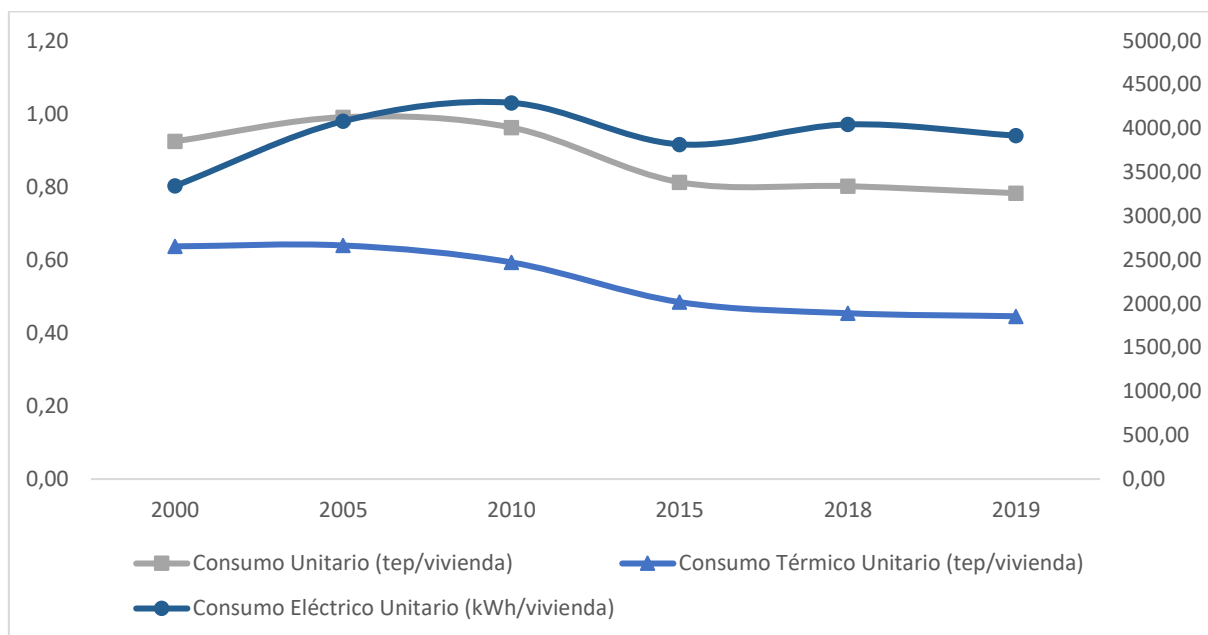


Fuente: (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía, 2022)

Se puede observar que en 2019 el 16,9% de la energía final consumida en España se destinaba al uso de las viviendas. Este porcentaje es algo más elevado que el dato inicial, que era del 16,1%. También se observa una tendencia a la baja desde el año 2010, cuando la energía que se destinó al sector residencial era del 19%, lo que representa el pico más elevado de los datos recogidos. En contraposición, el año 2000 supuso el dato con menor porcentaje, con un valor del 15,1%

Las figura 15 y la tabla 2 representan la evolución del consumo energético durante el siglo XXI. Se refleja en ellas un descenso paulatino en los consumos unitarios por hogar, tanto el total como el térmico. Pero no ocurre lo mismo con el consumo unitario de electricidad.

Figura 15. Evolución indicadores energéticos en España



Fuente: (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía)

Tabla 2. Datos de indicadores energéticos en España 2000-2019

Indicadores: Sector Residencial	2000	2005	2010	2015	2018	2019	$\Delta_{19/18}$	$\Delta_{19/00}$
Consumo Unitario (tep/vivienda)	0,9248	0,9908	0,9625	0,8129	0,8021	0,7828	-2,40%	-15,35%
Consumo Térmico Unitario (tep/vivienda)	0,6372	0,6397	0,5933	0,4845	0,4541	0,4459	-1,81%	-30,02%
Consumo Eléctrico Unitario (kWh/vivienda)	3.345	4.083	4.293	3.819	4.046	3.918	-3,17%	17,13%

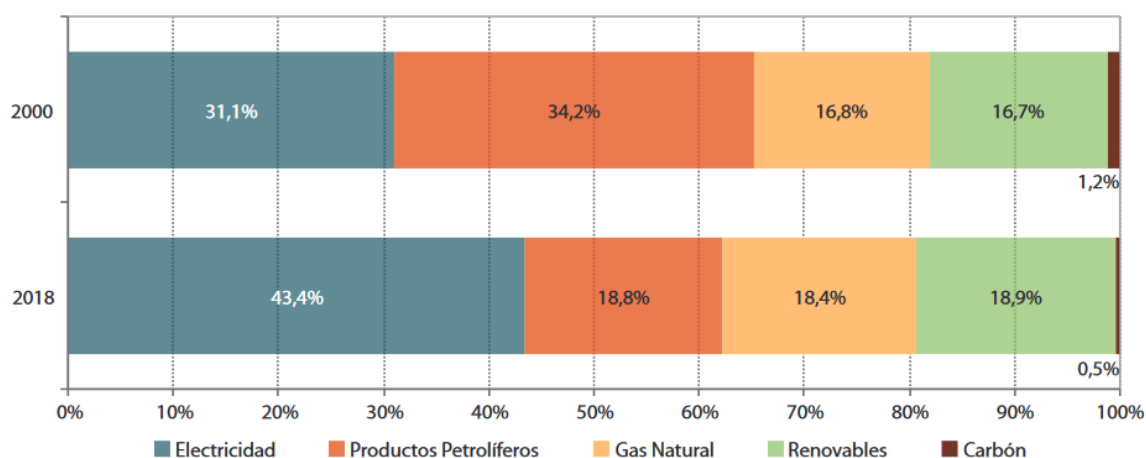
Fuente: (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía)⁶

⁶ Consumos unitarios en función de viviendas principales

Los datos de 2019 muestran un descenso del consumo en los tres indicadores respecto a 2018. Pero remontándose a los datos del 2000, el consumo eléctrico energético unitario ha subido en un 17,13%. Aun así, en líneas generales, el consumo energético en España en este sector sigue disminuyendo.

Por otro lado, resulta interesante conocer las fuentes de energía que alimentan los hogares en España. La figura 16 muestra la procedencia de las energías consumidas.

Figura 16. Consumo energético del sector residencial por fuentes energéticas



Fuente: (Ministerio para la Transición Energética y el Reto Demográfico, 2020)⁷

Desde 2000 hasta 2018 los productos petrolíferos han pasado de ser la principal fuente de energía a ser relegados a un tercer puesto, superados ampliamente por la electricidad (que supone un 12% más que en 2000) y, ligeramente, por las energías renovables.

5.1. Políticas y estrategias en el marco nacional

Para cumplir con los objetivos establecidos para el 2030 y con la Directiva 2010/31/UE, el Gobierno de España publicó en el 2020 la *Estrategia de Descarbonización a largo plazo 2050*. En ella se estima que en 2050 el 80% del parque inmobiliario español será vivienda ya existente. Por eso, se prioriza la rehabilitación de las viviendas construidas con una estrategia que establece un orden lógico de actuaciones: “1) reducción de la demanda mediante

⁷ Consumos unitarios en función de viviendas principales

actuaciones de eficiencia energética; 2) utilización de sistemas muy eficientes; y 3) aportando la energía final mediante energías renovables” Por otro lado, la construcción de nuevas edificaciones responderán a Edificios de Consumo Casi Nulo.

5.1.1. Agenda urbana española

La Agenda Urbana Española (AUE) es un documento estratégico. No es vinculante por lo que no posee carácter normativo. Su objetivo es proponer directrices de desarrollo del territorio urbano hacia una nueva visión más sostenible.

La AUE consta de 30 objetivos específicos divididos en 10 objetivos generales.

En el objetivo 2, *Evitar la dispersión urbana y revitalizar la ciudad existente*, se halla el objetivo específico 2.6: *Mejorar la calidad y la sostenibilidad de los edificios*. Las líneas de actuación que plantean son:

- *Propiciar una visión integral del entorno construido y no sólo de la edificación.*
- *Mejorar el estado de conservación, seguridad, mantenimiento de los edificios y la habitabilidad de las viviendas.*
- *Avanzar hacia la accesibilidad universal en edificios y viviendas.*
- *Impulsar la mejora de la eficiencia energética del parque edificatorio existente con todas las medidas disponibles y posibles: fiscales, de agilización y simplificación de los trámites administrativos y mediante la puesta en marcha de campañas pedagógicas.*
- *Promover las Inspecciones Técnicas de Edificios o los Informes de Evaluación de los Edificios para fomentar la puesta en marcha de medidas preventivas que impulsen el mantenimiento preventivo y no sólo corrector o paliativo en los edificios.*
- *Utilizar mecanismos que permitan lograr sinergias entre los diferentes tipos de intervención en los edificios: mantenimiento, accesibilidad, eficiencia energética, etc. Se trata de potenciar la actuación integral sobre ellos.*

- *Emplear técnicas constructivas eficientes que garanticen el uso de materiales adecuados para los edificios y viviendas y que faciliten la reutilización. Se trataría de “construir para durar”.*
- *Impulsar medidas que promuevan la participación de técnicos y empresas de rehabilitación y reforma, que cumplan con sus obligaciones profesionales, para garantizar un correcto diseño y ejecución, lo que redunde en la calidad, la seguridad y la tranquilidad.*

No son estas las únicas líneas de actuación relacionadas con la eficiencia energética de la edificación en este documento:

3.2 Reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero

- *Incentivar e impulsar un modelo urbano bajo en carbono, siguiendo las medidas y recomendaciones nacionales e internacionales (servicios públicos, infraestructuras, edificación, etc.).*
- *Ordenar los usos del suelo y de la edificación teniendo en cuenta aspectos bioclimáticos de eficiencia energética y de funcionalidad.*

4.1 Ser más eficientes energéticamente y ahorrar energía

- *Fomentar el uso de energías renovables térmicas, de manera especial en el parque edificatorio, que debería aprovechar su relativa baja demanda energética y su potencial de captación solar.*

5.1.2. Implementación y objetivos de la aplicación de las estrategias nacionales

5.1.2.1. Implementación

Para el desarrollo de estas estrategias hay que considerar la idiosincrasia de España. Como en otros casos, las competencias de Vivienda están en manos de las Comunidades Autónomas. Por ello, para realizar los planes de rehabilitación esperados, se ha de potenciar la coordinación en los diferentes niveles verticales y horizontales a nivel territorial. Es decir, debe de existir una coordinación entre el Estado y las Comunidades Autónomas y los diferentes actores dentro de las CC.AA.

Para fomentar la rehabilitación energética de los edificios se han de realizar una serie de acciones:

1. Integrar las reformas energéticas con las de conservación y accesibilidad.
2. Eliminar barreras burocráticas a nivel estatal, autonómico y municipal.
3. Dar continuidad a los planes y medidas de financiación pública y, a la vez, incentivar y activar la financiación privada.
4. Realizar las reformas en los edificios de propiedad de las Administraciones Públicas como función ejemplarizante, incluyendo el parque público de vivienda.
5. Incentivar la rehabilitación en pequeños municipios.
6. Luchar contra la pobreza energética a través del conocimiento de las personas en dicha situación y su protección.
7. Impulsar las energías renovables con la incentivo del autoconsumo, las Comunidades Energéticas y la reducción de las barreras que impiden el acceso a las mismas.
8. Concienciar al ciudadano estableciendo mensajes clave y facilitando el acceso a información y generando empoderamiento.
9. Generar e implementar medidas de seguimiento de las actuaciones para implementar la Estrategia.

5.1.2.2. Objetivos energéticos en el sector residencial:

El Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana se ha propuesto para 2050 los objetivos marcados en la tabla 3 y la tabla 4 respecto a energía final y emisiones de gases de efecto invernadero respectivamente. Para 2030: 6732 ktep, 18%

Tabla 3. Objetivos de consumo y ahorro de energía final en el sector de la edificación

Energía final (GWh)			
Año	2030	2040	2050
Consumo	146.025	124.172	108.264
Ahorro	-26.394	-21.853	-15.907

Fuente: (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020)

Tabla 4. Objetivos de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector residencial

Emisiones (kTeCO ₂)				
Año	2020	2030	2040	2050
Consumo	17.004	10.725	4.854	201

Fuente: (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020)

5.2. La pobreza energética en España

El Proyecto Habita_RES, proyecto en el que se engloba este documento, pretende hacer una aproximación a la eficiencia energética en el sector residencial desde un enfoque de pobreza energético. Por ello, en este apartado se tratará la situación normativa y situacional de este tema.

5.2.1. Marco Europeo

La directiva 2009/72/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de julio de 2009 sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad que deroga la directiva 2003/54/ce, establece “*normas comunes en materia de generación, transporte, distribución y suministro de electricidad, así como normas relativas a la protección de los consumidores[...]. Define asimismo las obligaciones de servicio universal y los derechos de los consumidores de electricidad, y aclara las obligaciones en materia de competencia.*”

De esta manera, los EEMM están obligados a garantizar la seguridad y calidad de suministro, la regularidad, la protección del medio ambiente y la protección de los consumidores domésticos, especialmente de los consumidores vulnerables. La definición de *consumidor vulnerable* y *pobreza energética* debe de ser establecido por cada EEMM.

Una de las medidas que los Estados Miembro deben adoptar es la creación de *“planes nacionales de acción en materia de energía, prestaciones en el marco de regímenes de seguridad social para garantizar el necesario suministro de electricidad a los clientes vulnerables o el apoyo a mejoras de la eficiencia energética, con el fin de atajar la pobreza energética donde se haya constatado, también en el contexto más amplio de la pobreza en general.”*

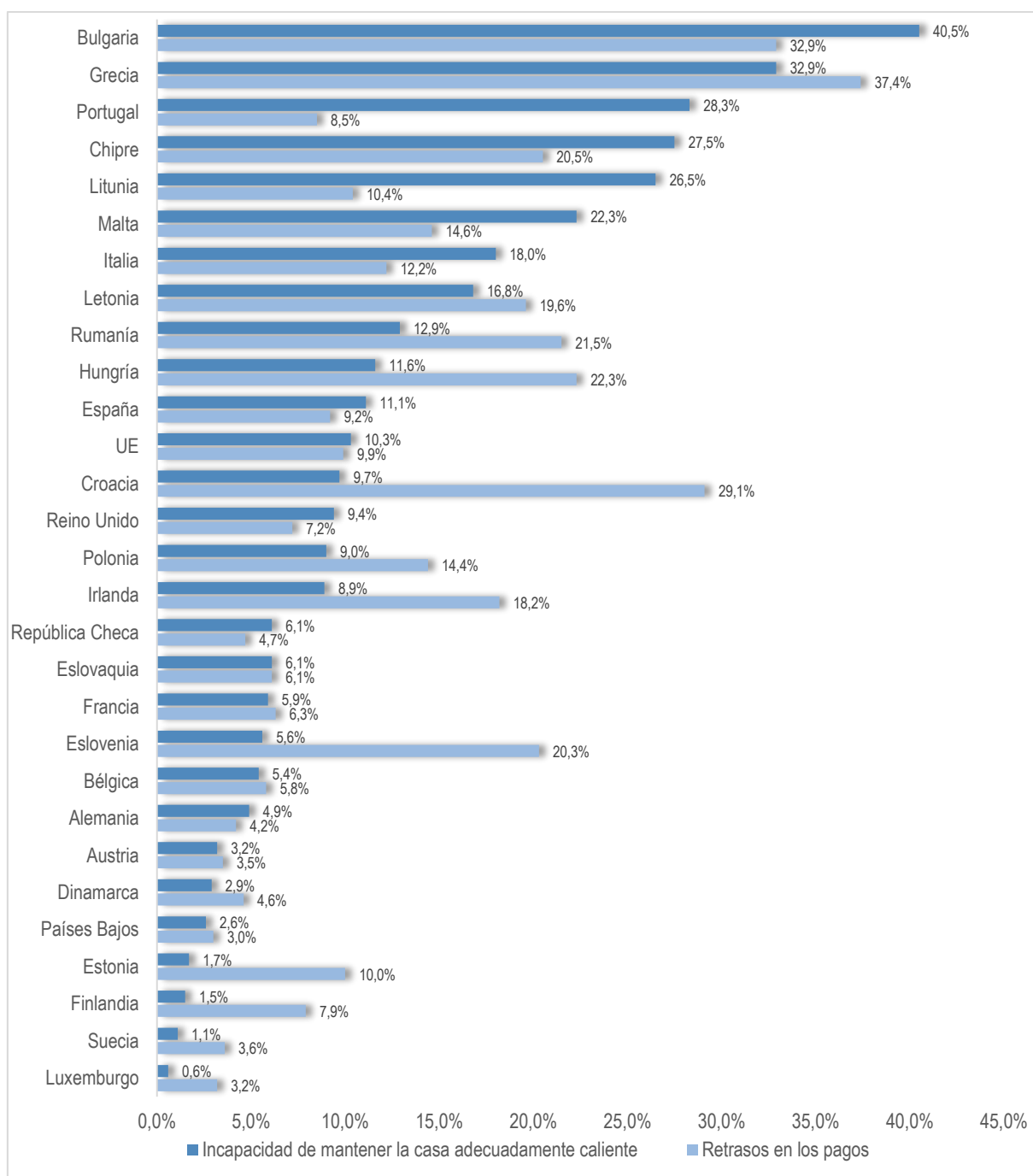
Más adelante, con la Directiva 2012/27/UE, se propone que los EEMM dispongan de prioridades en eficiencia energética para evitar la pobreza energética y ayudar a quienes ya se encuentran en esa situación. Las administraciones deben asegurar que los *“consumidores vulnerables tengan acceso a los beneficios que supone una mayor eficiencia energética”*, se les exhorta a hacer *“uso pleno de los Fondos Estructurales y Fondos de Cohesión para incentivar la inversión en medidas de eficiencia energética”* y se les permite incluir como obligaciones *“requisitos con finalidad social en las medidas de ahorro energético que impongan”*.

La Directiva (UE) 2019/944 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad, por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE, profundiza mucho más en la materia. Así, incide en que la pobreza energética sucede por una combinación de factores como los bajos ingresos, los elevados gastos energéticos y la mala eficiencia en los hogares. Establece, además, la obligación a los EEMM de controlar el número de hogares en situación de pobreza energética y darles apoyos. En el artículo 5, apartado 3, se establece que, como excepción, los EEMM pueden intervenir en la fijación de precios para los consumidores en situación de pobreza energética o vulnerables.

En 2020 la Comisión Europeo publicó las Recomendaciones 2020/1563 de 14 de octubre de 2020 sobre la pobreza energética. El documento empieza definiendo la pobreza energética como *“la situación en la que los hogares no pueden acceder a los servicios energéticos esenciales”*. Los europeos que no pudieron calentar adecuadamente sus hogares en 2018 fueron casi 34 millones, por lo que abordar la pobreza energética es un reto importante para

la Unión. Según datos de 2014 de la Unión Europea, en España había un 11,1% de la población que no podía mantener su hogar climatizado adecuadamente, y un 9,2% que tenía un retraso en el pago de las facturas. Más o menos, estos datos coinciden con la media de la UE, con un 10,3% y un 9,9% respectivamente (ver figura 17)

Figura 17. Situación pobreza energética según la UE en 2014



Fuente: (Comisión Europea, s.f.)

5.2.2. Marco Nacional

5.2.2.1. Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética

En el ámbito español el Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores obliga al Estado a aprobar un plan contra la pobreza energética que se traducirá en la aprobación de la Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2019 - 2024 (ENCPE).

En ella se describen las definiciones de pobreza energética y consumidor vulnerable:

- *La **pobreza energética** es la situación en la que se encuentra un hogar en el que no pueden ser satisfechas las necesidades básicas de suministros de energía, como consecuencia de un nivel de ingresos insuficiente y que, en su caso, puede verse agravada por disponer de una vivienda ineficiente en energía.*
- ***Consumidor vulnerable** es el consumidor de energía eléctrica o de usos térmicos que se encuentra en situación de pobreza energética, pudiendo ser beneficiario de las medidas de apoyo establecidas por las administraciones.*

Para cumplir con la obligación de contabilizar la población en situación de pobreza energética y los consumidores vulnerables, el Gobierno estableció cuatro indicadores que son los que se refieren a continuación:

- ***Gasto desproporcionado (2M):** porcentaje de hogares cuyo gasto energético en relación con sus ingresos es más del doble de la mediana nacional.*
- ***Pobreza energética escondida (HEP):** porcentaje de los hogares cuyo gasto energético absoluto es inferior a la mitad de la mediana nacional.*
- ***Incapacidad para mantener la vivienda a una temperatura adecuada:** porcentaje de la población que no puede mantener su vivienda a una temperatura adecuada.*
- ***Retraso en el pago de las facturas:** porcentaje de población que tiene retrasos en el pago de facturas de los suministros de la vivienda.*

Los últimos datos de estos indicadores y los objetivos planteados para este periodo se encuentran en la actualización de noviembre de 2020, plasmados en la tabla 5.

Tabla 5. Evolución indicadores pobreza energética en España

	2016	2017	2018	2019	Objetivo mín 2025	Objetivo Buscado 2025
Gasto desproporcionado 2M (% hogares)	16,7	17,3	16,9	16,7	12,9	8,6
Pobreza energética escondida (% hogares)	11,3	10,7	11	10,6	8,6	5,7
Temperatura inadecuada en la vivienda en invierno (% población)	10,1	8	9,1	7,6	6,0	4,0
Retraso en el pago de facturas de suministros de la vivienda	7,8	7,4	7,2	6,6	5,5	3,7

Fuente: (Ministerio para la Transición Ecológica, 2019)

En líneas generales, ha habido una bajada entre el 2018 y 2019. El gasto desproporcionado 2M y el retraso en el pago de las facturas marca una tendencia a la baja desde antes de ese año. En cualquier caso, la pandemia ha generado un contexto en el que muchas personas han perdido completa o parcialmente su fuente de ingresos, a la vez que ha aumentado el tiempo de estancia en los hogares - con los consecuentes aumentos en el uso de los suministros. Sería de esperar que estos indicadores muestren un empeoramiento respecto a 2019.

En la Comunidad de Madrid, lugar donde se emplaza la vivienda que será sometida a auditoría energética en este trabajo, la evolución de los indicadores de muestra en la tabla 6.

En el gasto desproporcionado 2M y la HEP, la Comunidad de Madrid muestra una menor proporción que la media española. En cambio, es mayor la proporción de población que vive con temperaturas inadecuadas en el invierno y que se retrasa en las facturas.

Tabla 6. Evolución indicadores pobreza energética Comunidad de Madrid

	2016	2017	2018	2019
Gasto desproporcionado 2M (% hogares)	--	--	12,9	12,74
Pobreza energética escondida (% hogares)	6,8	6,0	5,2	5,4
Temperatura inadecuada en la vivienda en invierno (% población)	6,8	7,7	9,2	8,3
Retraso en el pago de facturas de suministros de la vivienda	17,7	6,2	11,9	8,7

Fuente: (Ministerio para la Transición Ecológica, 2019)

Para cumplir con los objetivos marcados para 2025, la ENCPE se orienta en 9 líneas de actuación que incluyen conocer y hacer seguimiento de los indicadores, dar respuesta a la situación actual de pobreza energética o tomar medidas de protección para los consumidores. Estas 9 líneas se dividen a su vez en 19 medidas. Las más relevantes para este trabajo son:

- Realizar rehabilitaciones exprés, a corto plazo, de viviendas con actuaciones rápidas y de bajo precio a fin de cambiar los sistemas o modificar envolventes
- Fomentar, a medio plazo, la vivienda pública para alquiler social con subvenciones para los colectivos más vulnerables
- Sustituir, a medio plazo, equipos por otros más eficientes: desde sistemas de climatización a electrodomésticos
- A largo plazo, la rehabilitación integral de edificios con colectivos vulnerables

Desde 2014 se han presentado y aprobado planes para subvencionar las rehabilitaciones energéticas de viviendas o de bloques de viviendas. En este sentido, se encuentra la Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la Edificación en España (ERESEE) de 2014 y sus correspondientes revisiones en 2017 y 2020, el Programa PREE 5000 o la incorporación de ayudas a la eficiencia energética en los Planes Estatales de Vivienda.

A pesar de ello, se ha comprobado que los hogares que han accedido a estas ayudas y subvenciones han sido los de mayor nivel adquisitivo. La causa principal es que los colectivos más vulnerables no pueden afrontar los costes iniciales por su nivel de ingresos o por el elevado porcentaje de tales ingresos que se dedican a pagar suministros. Por ello, la propia ENCPE concluye de la siguiente manera:

“Se produce por tanto la paradoja de que estas medidas no llegan a los colectivos que se encuentran en una situación de mayor vulnerabilidad. Por estas razones, estos hogares más vulnerables necesitarán un apoyo social y un enfoque del problema más específico que se atienda, no tanto desde una perspectiva de rentabilidad económica mediante la capitalización de los ahorros energéticos, sino más bien desde una perspectiva social de reducción de la pobreza energética y/o protección de los consumidores vulnerables. Y es que aquellas medidas dirigidas a mejorar la eficiencia energética de los hogares de los colectivos más vulnerables no pueden suponer una carga económica adicional para los afectados, al menos en el corto plazo.”

5.2.2.2. El Bono Social

Otra de las medidas que aparece en el ENCPE es el Bono Social Energético, un recurso que nació en 2009 como mecanismo para facilitar el pago de la factura de suministros a los consumidores vulnerables, de acuerdo con el artículo 45 de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.

Según sus condiciones, la persona que solicita este bono podrá acceder a un 25% de descuento en el caso de consumidor vulnerable, un 40% en el caso de consumidor vulnerable severo y, si se encuentra en riesgo de exclusión social atendido por servicios sociales, podrá obtener hasta un 50% de descuento en las facturas energéticas. Actualmente existe en Bono Social Eléctrico (2009) y el Bono Social Térmico (2018).

Una vez más, esta herramienta ha mostrado deficiencias en su aplicación:

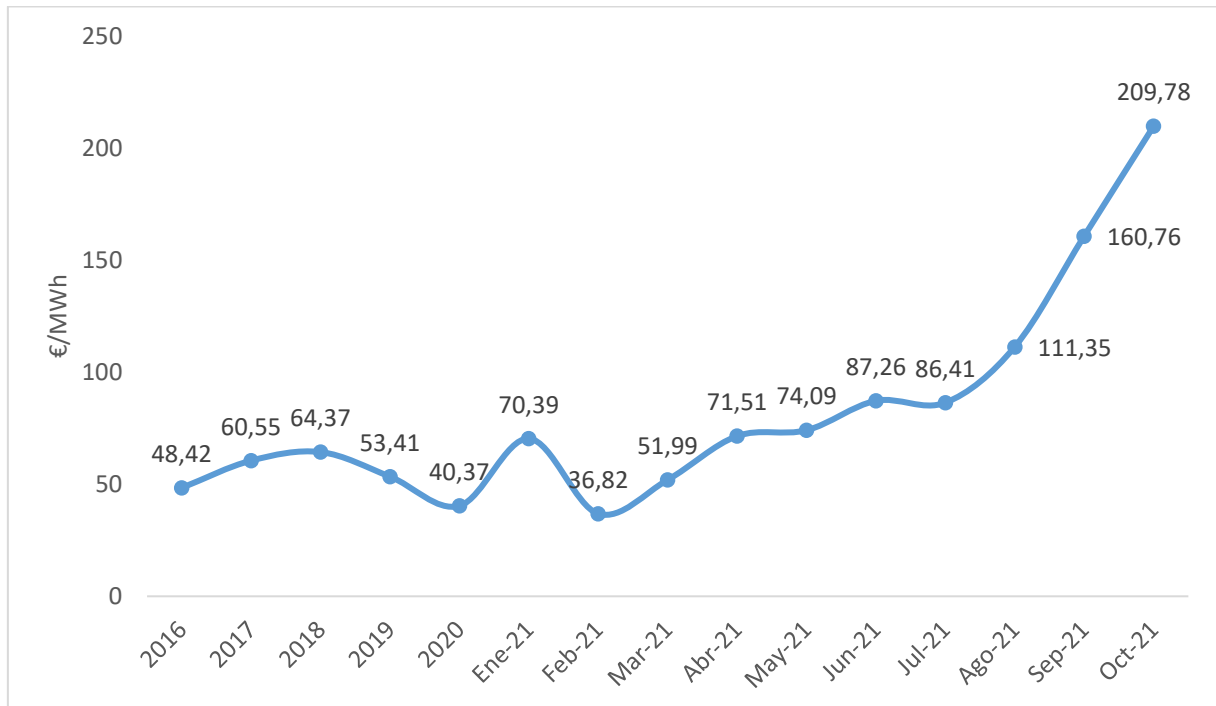
- La obtención del Bono a través de las comercializadoras - que realizan el papel de intermediarias entre el consumidor y el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD)- ralentiza y aumenta la complejidad del proceso.
- La imposibilidad de cruzar datos entre las diferentes administraciones con datos fiscales.
- La imposibilidad de atender a las reclamaciones correctamente al no obtenerse de -los órganos competentes para dar respuestas a éstas, los motivos de rechazo de solicitud del Bono.

5.2.2.3. La realidad del estado actual de la pobreza energética en España

Analizado desde un punto de visto europeo, con los números en la mano, España se encuentra por debajo de la media europea en los indicadores de pobreza energética y sus números se han reducido en el año 2019. Así mismo, la normativa referente a la lucha con la PE ha avanzado y se han analizado y actualizado los mecanismos para acabar con ella.

En cambio, si se analiza desde la propia problemática social que supone la pobreza energética, se advierte que siete de cada 100 españoles viven con una inadecuada temperatura en sus hogares contraviniendo los estándares establecidos en el Código Técnico de la Edificación. Además, para un 16 por ciento de españoles la energía es un lujo. Aunque durante la realización de este trabajo no se dispone de datos oficiales de las Administraciones Públicas, dado el marco contextual en el que el precio de la luz y el gas están alcanzando máximos históricos día tras día, es fácilmente esperar que estos indicadores empeoren por el encarecimiento de las energía. La figura 18 muestra cómo ha evolucionado el precio en los últimos años y el detalle en el 2021. Para este último año, la media del precio de los 10 meses recogidos es de 96,03€/MWh, más de 30 euros más caro que el año más alto representado.

Figura 18. Evolución precio MWh es España



Fuente: (Statista, 2022)

Analizando la ENCPE y el Bono Social, se ha visto que hay barreras que influyen en que las políticas no favorezcan a quienes más lo necesitan. Sobre este asunto han escrito otras organizaciones como ENGAGER o la “Alianza por la rehabilitación de las viviendas sin dejar a nadie atrás”..

El informe “*Engager’s toolkit for a just transition with the people*” insiste en que las políticas de rehabilitación deben tener perspectivas de vulnerabilidad y que estas deben tener prioridad sobre los mecanismos del mercado de viviendas.

Este informe insiste en la conveniencia de realizar la transición *con* la gente y no *para* la gente. En ese sentido, abogan por la democratización de la energía o la mejora de las cualificaciones profesionales de aquellos a los que pueden ayudar, es decir, abogan por convertir la lucha contra la pobreza energética en una prioridad para las entidades que trabajen directamente con ellas.

En España, la *Alianza por la rehabilitación de las viviendas sin dejar a nadie atrás* ha publicado recientemente un comunicado en el que establece un decálogo para afrontar la rehabilitación energética de los edificios con enfoque de vulnerabilidad. Este manifiesto, que

se refiere específicamente a España, declara que las políticas de ayudas a la rehabilitación deberían contemplar:

- Un objetivo mínimo del 20% de la tasa anual de edificios rehabilitados en hogares en situación de vulnerabilidad.
- Realizar programas de subvención que consideren las circunstancias de las personas en situación de vulnerabilidad como, por ejemplo, no requerir el plazo por adelantado cuando no se lo pueden permitir.
- Medidas y exenciones fiscales para facilitar -y no alejar- el acceso a estas subvenciones de las personas con rentas bajas.
- Destinar un 30% de estas ayudas a viviendas en régimen de alquiler.
- Fomentar las sinergias entre las energías renovables y la rehabilitación energética, así como la generación para el autoconsumo.
- Concentrar las reformas en el parque inmobiliario construido entre 1950 y 1980 por ser el clúster con mayor concentración de pobreza energética.

Tras estudiar la ENCPE y los comunicados de entidades especialistas en la rehabilitación y pobreza energética parece que la conclusión es que existe una situación insuficiente para afrontar una lucha justa contra la pobreza energética. Es cierto que es un estadio inicial -hace una década que salió la Directiva 2010/31/UE-, pero es evidente que hay un claro margen de mejora para introducir a las personas vulnerables como factor clave para luchar contra la pobreza. Esto supone, simultáneamente, obstaculizar la estrategia para conseguir los objetivos de eficiencia energética y reducción de emisiones ya que un amplio sector de la población -viviendo en casas de lo más ineficientes - no tiene acceso a financiación para las actuaciones de rehabilitación que se necesitan para alcanzar los objetivos mencionados.

6. Ahorro energético en la edificación

Con 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, se establece que han de ser Edificios de Consumo Casi Nulo (ECCN):

- todos los edificios de nueva construcción a partir de 2021 y
- todos los edificios que vayan a ser ocupados por la administración pública desde el 2019.

Estos edificios deben convertirse en el máximo exponente de eficiencia energética de la edificación y cumplir con todos los requisitos especificados en el CTE en su documento básico “DB HE Ahorro de Energía”. Sus características se basan en:

- Alta eficiencia energética
- Consumo bajo de energía
- Elevado suministro de energías de fuentes renovables.

Para cumplir con esta definición, a la hora del diseño y construcción de un ECCN se tendrán en cuenta el clima, el contexto y las tecnologías aplicadas. Es decir, habrá que atender:

- A la envolvente térmica del edificio para acumular calor en invierno y evitar las pérdidas térmicas.
- Al aprovechamiento de la radiación solar para calentar en invierno o para controlar su exceso en verano.
- A la ventilación natural en verano para renovar y enfriar el aire.
- A la ventilación en invierno para ventilar sin enfriar la temperatura interior.
- A los equipos de alta eficiencia energética (para iluminación, calefacción, refrigeración o agua caliente sanitaria).
- A la producción de energías renovables *in situ*.

6.1. Tecnologías clave para el compromiso de reducción de emisiones en el sector residencial

Para cumplir el objetivo de reducir en un 95% las emisiones en el sector residencial las tecnologías a tener en cuenta y que forman parte de la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050 se detallan en la tabla 7.

En dicha tabla la tecnologías se engloban en cuatro grandes campos:

- Relacionadas con la gestión y la automatización
- La reducción de la demanda
- Eficiencia térmica
- Electrificación

En el edificio que nos ocupa en este trabajo, no pueden ser implementadas muchas de estas tecnologías por la antigüedad de la edificación y por las altas reformas que deberían hacerse para suplir sus deficiencias. En consecuencia, las mejoras más oportunas pasan por la reducción de la demanda con medidas constructivas. Aunque también se considerará la mejora de la eficiencia térmica y la electrificación en los sistemas según cada caso. También, se pueden implementar las tecnologías de generación para autoconsumo o proximidad y solar térmica.

Tabla 7. Tecnologías para la eficiencia energética en la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050

Campo	Tecnología	Detalle
Digitalización, comportamiento y gestión	Sistemas <i>peer to peer</i>	Sistemas que permiten la gestión y la compra y venta de energía entre usuarios finales. Fomento del autoconsumo.
	Sistemas de monitorización en tiempo real para usuario	
	<i>Machine learning</i>	Inteligencia artificial aplicada en los edificios para reconocer patrones y optimizar los sistemas del edificio sin necesidad de programación previa.
Reducción de la demanda	Sistemas de gestión de la energía	Domótica, ventilación forzada con intercambio de calor.
	Soluciones de aislamiento térmico	Actuación sobre cerramientos exteriores, huecos y puentes térmicos.
	Sistemas de climatización y ventilación pasivos	Sistemas de gestión de temperatura interior sin aumentar el uso de energía: sistemas pasivos, invernaderos adosados, cerramientos acumulados, chimeneas solares, sistemas de protección solar,...
Térmicas	Sistemas geotérmicos directos	
	Calderas y estufas de biomasa	
	Sistemas de combustión de biogás/biometano	
	Bombas de calor	
	Frío solar	
	Solar térmica	
	Calefacción distrital	
Electrificación	Pilas de combustibles renovables	
	Generación para autoconsumo	
	Generación de proximidad	
	Sistemas de almacenamiento eléctrico	
	Puntos de recarga de vehículo eléctrico	
	Telecomunicaciones y electrónica de potencia para la gestión de otras cargas eléctricas	

Fuente: (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico)

6.2. Certificación energética de los edificios

La Directiva 2002/91/CE y la Directiva 2010/31UE establecen la exigencia de establecer un procedimiento de Certificación Energética de los Edificios. En España, este requisito se transpone con el Real Decreto 235/2013 que fue derogado por el actual 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.

Aunque no se trate de una tecnología como tal, es una herramienta que cumple las funciones de concienciación y acercamiento al conocimiento de la eficiencia energética de los edificios por parte de los usuarios. Según el decreto mencionado, la certificación energética se puede dar en tres niveles: proyecto, obra terminada o edificación existente. La Certificación se trata de un proceso en el que se valora la calificación energética de un edificio y que conduce a la expedición del certificado energético.

Dicho certificado es expedido por un técnico cualificado. En el documento constarán las características energéticas del edificio, su calificación energética y las recomendaciones de mejora del comportamiento energético del mismo.

Con ello se otorgará al edificio una etiqueta energética de la que dispondrá durante el periodo de validez de la certificación y que deberá ser incluida “en toda oferta, promoción y publicidad dirigida a la venta o arrendamiento del edificio o de parte del mismo”. En el caso de los inmuebles residenciales, será obligatoria su exposición en edificios o partes de edificios con una superficie total superior a 500 m².

Los indicadores principales de la eficiencia energética de los edificios son las emisiones anuales de CO₂ y el consumo anual de energía primaria no renovable. Estos dos indicadores van asociados a una escala de valores, nombradas desde la A a la G -siendo la A la más eficiente- que, en la etiqueta, se representan como se muestra en la Figura 19.

Figura 19. Modelo de etiqueta energética para edificio terminado

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO TERMINADO ETIQUETA

DATOS DEL EDIFICIO

Normativa vigente construcción / rehabilitación	Tipo de edificio
	Dirección
Referencia/s catastral/es	Municipio
	C.P.
	C. Autónoma

ESCALA DE LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA

	Consumo de energía kWh / m² año	Emisiones kg CO ₂ / m² año
A más eficiente		
B		
C		
D		
E		
F		
G menos eficiente		

REGISTRO

Válido hasta dd/mm/aaaa

ESPAÑA
Directiva 2010 / 31 / UE

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

Una vez más, esta certificación no supone en sí una mejora del comportamiento energético del edificio. Pero vale para inculcar al usuario de la vivienda un conocimiento sobre la eficiencia energética del mismo y, al incluir propuestas de mejora, aporta directrices para mejorarla - ambos, elementos clave para la rehabilitación energética del parque inmobiliario español como para la lucha contra la pobreza energética.

7. Descripción del edificio objeto de estudio

Para el desarrollo de este capítulo se han utilizado los resultados de las investigaciones y monitorizaciones realizadas por el IETcc-CSIC en el marco del proyecto Habita_RES (2018-2021); proyecto de investigación BIA2017-83231-C2-1-R del Plan nacional de I+D+i «Retos Investigación», financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación. El proyecto tiene como objetivo trazar la línea base de las necesidades energéticas de la edificación residencial en España de cara a su rehabilitación energética, y analizado en detalle el caso de la ciudad de Madrid.

7.1. Características de la colonia y el barrio

La colonia de San Carlos se comenzó a construir en los años 1940 por el Instituto Nacional de la Vivienda (INV) y la Obra Sindical del Hogar (Eblancooliva, 2017). Los primeros contratos otorgados datan de 1948.

La colonia consta de 92 viviendas distribuidas en bloques de edificios de cuatro viviendas cada uno. Ocho bloques, es decir, 32 viviendas, fueron vendidas a sus residentes por el antiguo Instituto de la Vivienda de Madrid (IVIMA). La Agencia de Vivienda Social de la Comunidad de Madrid es la actual propietaria del resto de viviendas, 60 en total, distribuidas en 15 bloques.

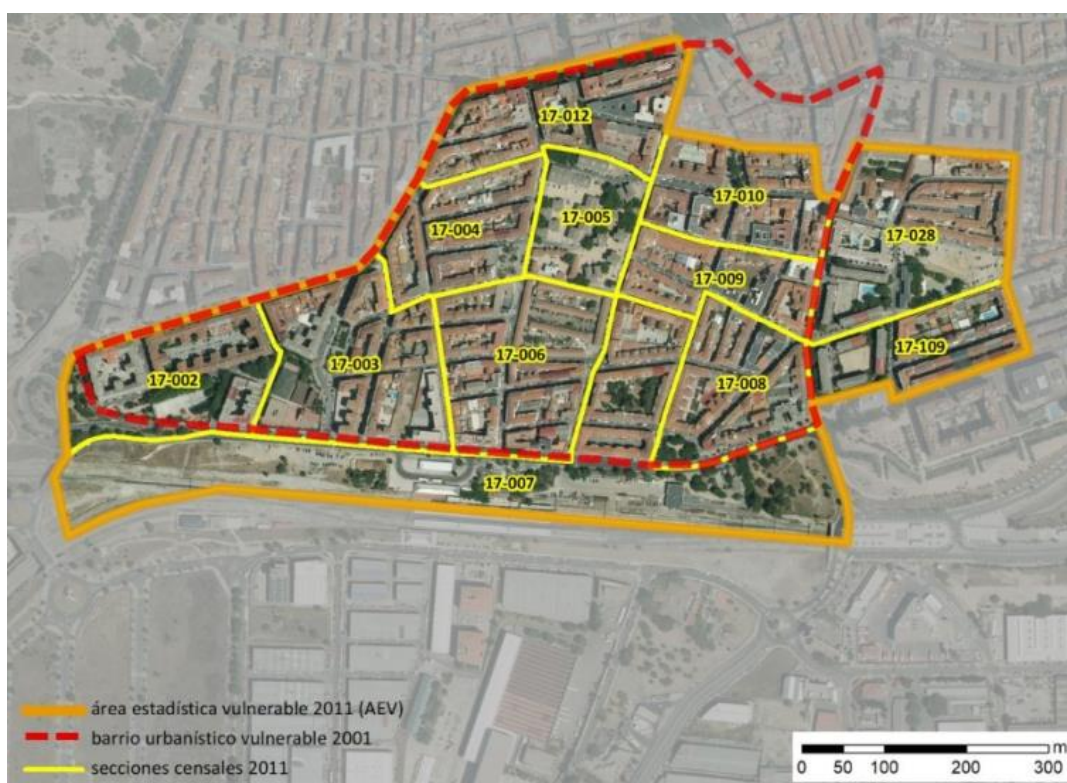
Con los datos del último censo publicado a la fecha de la realización de este trabajo (2011), aparece la colonia incluida dentro del Catálogo de Barrios Vulnerables como Área de Estadística Vulnerable (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2011). La figura 21 muestra este área concreta. La colonia de San Carlos se encuentra en la sección censal 17-006 que está contenida en el barrio de Villaverde Alto, Casco Histórico de Villaverde (anteriormente San Andrés) que, como se aprecia en la figura 21, también fue valorada como vulnerable en el censo anterior, el de 2001. Por lo tanto se trata de un ámbito urbano con problemas de privación que se prolongan en el tiempo.

Figura 20. Plano histórico. Año 1965. Fuente Archivo Regional de Madrid



Fuente: (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC), 2018-2021)

Figura 21. Vista aérea del Área Vulnerable de Villaverde Alto Sur



Fuente: (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2011)

Los indicadores básicos de vulnerabilidad hacen referencia a tres campos: el nivel de estudios de la población, el estado de las viviendas y la población en paro. En el caso de este área, denominada Villaverde Alto Sur, el indicador que sobrepasa el límite establecido es el que se refiere al nivel de estudios: un 18,24% de la población de más de 16 años es analfabeta y no ha tenido estudios básicos (Ministerio de Fomento, 2011). Aunque no supere el límite de casas ruinosas, en el área hay casi un 10% (Ministerio de Fomento, 2011) de casas que se encuentran en estado ruinoso, malo o deficiente. No hay datos, sin embargo, de la población mayor de 16 años en situación de desempleo -con respecto a la población mayor de 16 años- (Ministerio de Fomento, 2011).

Según el Catálogo de Barrios Vulnerables, el Área de Villaverde Alto Sur tiene un nivel de vulnerabilidad medio. La Ficha Técnica de este catálogo correspondiente a este área se muestran en la figura 22.

En este distrito, la renta media por persona en 2018 era de 9.666€ - o 26.701€ por hogar (Ayuntamiento de Madrid, 2022).

Figura 22. Datos sociodemográficos Área Vulnerable Villaverde Alto Sur

Población (2011)	Valores absolutos	%
Población total	1.165	
Población menor de 15 años	185	15,88
Población de 16 a 29 años	140	12,02
Población de 16 años y más	975	83,69
Población de 75 años y más	235	20,17
Población extranjera	165	14,16
Población extranjera menor de 15 años	70	37,84
Hogares (2011)		
Hogares	495	
Hogares unipersonales de mayores de 65 años	70	14,14
Hogares con un adulto y uno o más menores	40	8,08
Nivel educativo y situación laboral (2011)		
Población sin estudios	200	20,51
Población activa de 16 años o más	490	42,06
Población parada 16 años o más	175	35,71
Población activa de 16 a 29 años	55	39,29
Población parada de 16 a 29 años	s.d.	s.d.
Población ocupada	315	27,04
Población ocupada con carácter eventual	0	0,00
Población ocupada no cualificada	75	23,81
Edificación y vivienda (2011)		
Viviendas familiares	655	
Viviendas principales	495	75,57
Viviendas secundarias	0	0,00
Viviendas vacías	160	24,43
Viviendas unifamiliares (5)	0	0,00
Viviendas en edificios de vivienda plurifamiliar (6)	615	93,89
Viviendas con superficie menor de 30m ²	10	2,02
Viviendas sin cuarto de aseo con inodoro	10	2,02
Viviendas sin baño o ducha	10	2,02
Viviendas en edificios en estado ruinoso, malo o deficiente	0	0,00
Viviendas en edificios anteriores a 1940	0	0,00
Viviendas en edificios de 4 o más plantas	390	59,54
Viv. pples. en edificios de 4 plantas o más sin ascensor	s.d.	s.d.
Viviendas principales con calefacción individual	335	67,68
Viviendas principales con calefacción colectiva	s.d.	s.d.
Viviendas principales sin calefacción	s.d.	s.d.
Superficie media útil por habitante (m ²)	36,55	

Fuente: Catálogo de Barrios Vulnerables (Ministerio de Fomento, 2011)

7.2. Ubicación y orientación

La colonia de San Carlos se encuentra situada en el Distrito de Villaverde, al sur del municipio de Madrid, a una altura de 615 metros sobre el nivel del mar. Por su altura, el edificio se sitúa en la zona climática D3, según el Anejo B del Documento básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación.

Figura 23. Foto satelital de la colonia de San Carlos



Fuente: Google Earth

La legislación vigente en el momento de la construcción de estos edificios era la Ley y Reglamento de Viviendas para la clase media de 1944. La nueva clasificación de esta ley en función de la perfección de ejecución de la obra supuso un retroceso en la calidad general de las viviendas.

En este trabajo se va a analizar uno de los bloques, del cual no se dará la dirección exacta para respetar el derecho a la intimidad y la protección de datos de sus residentes.

El bloque de estudio se ubica en una parcela que ronda los 230 m². Al igual que el resto de los edificios de la colonia, el bloque consta de dos plantas, cada una con dos viviendas, es decir, un total de cuatro hogares por bloque. La orientación del edificio es este-oeste con una ligera rotación de 12°, de manera que se desarrolla en un eje norte-sur, con ventanas orientadas al este y oeste.

Según (Gómez Muñoz, 2014), en aquel periodo se juntaron dos factores que condicionaron la construcción de las viviendas: la crisis económica provocada por guerra mundial y la escasez de recursos para la construcción de viviendas de los Planes.

Por ello y por las quejas que revelan los vecinos de las plantas altas en encuestas del estudio del proyecto Habita_RES se supondrá en este trabajo que la cubierta no tiene aislamiento.

Figura 24. *Patio interior de la colonia de San Carlos*



Fuente: (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC), 2018-2021)

7.3. Superficies y volúmenes

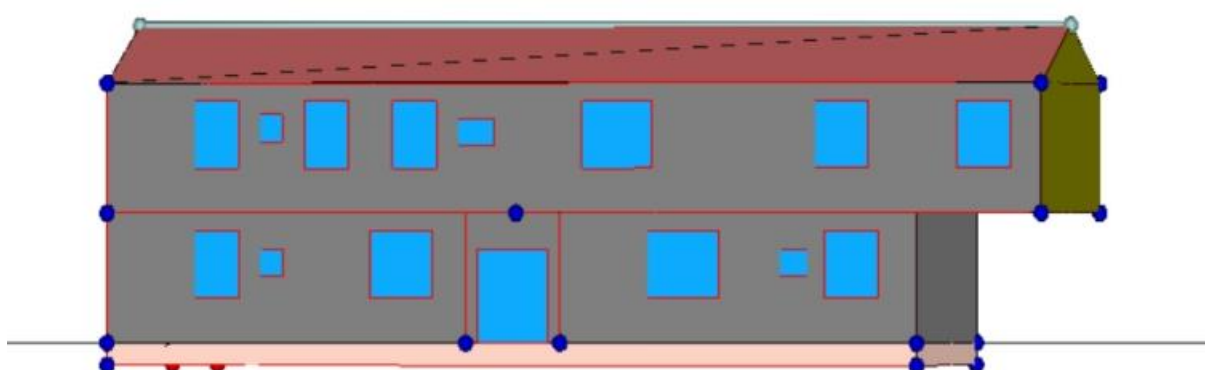
La planta baja consta de 110 m² habitables y la primera planta de 136 m² y una altura de 2,90 metros. Esto hace un total de 689 m³ de volumen aplicable. La distribución de las superficies queda reflejada en la tabla 8

Tabla 8. Distribución de las superficies del edificio

Planta	Espacio	Tipo de espacio	Tamaño (m ²)
1ª	Vivienda 1 (V1)	Habitable	55,3
	Vivienda 2 (V2)	Habitable	55,8
	Vestíbulo	Espacio no habitable	14,65
	Almacenes y otros espacios comunes	Espacio no habitable	103,25
2ª	Vivienda 3 (V3)	Habitable	77,8
	Vivienda 4 (V4)	Habitable	59,2
	Vestíbulo	Espacio no habitable	8,1

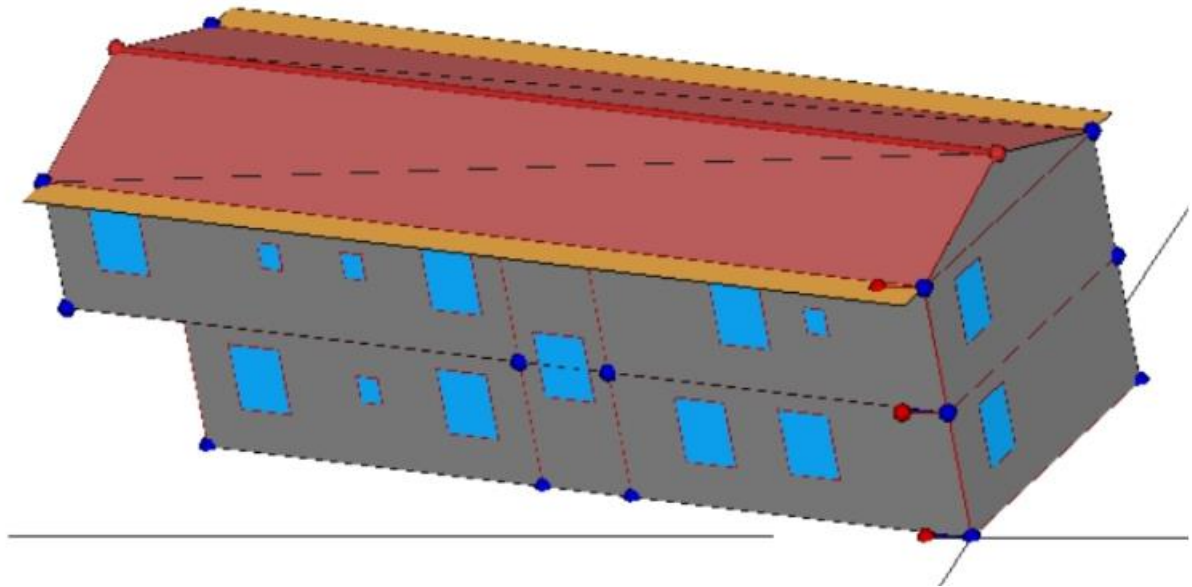
Fuente: (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC), 2018-2021)

Figura 25. Modelo del del edificio, fachada I



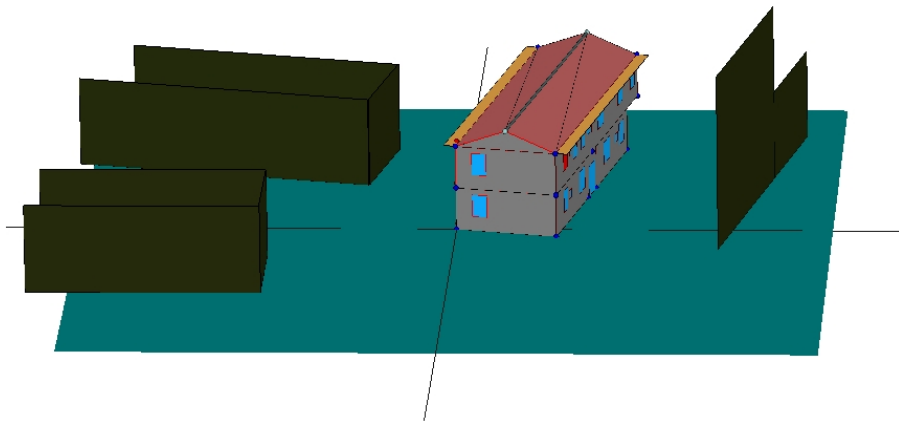
Fuente: elaboración propia con la herramienta HULC

Figura 26. *Modelo del edificio, fachada II*



Fuente: elaboración propia con la herramienta HULC

Figura 27. *Vista del modelo con obstáculos generadores de obstrucciones solares colindantes*



Fuente: elaboración propia con la herramienta HULC

La demanda de agua caliente sanitaria a 60°C viene tabulada en el Anejo F del CTE-DB-HE4 en función del tipo de edificio. La demanda de referencia para edificios de uso residencial privado se obtendrá considerando 28 litros/día·persona (a 60°C), una ocupación al menos igual a la mínima establecida en la tabla a-Anejo F (ver figura 28) y, en el caso de viviendas multifamiliares, un factor de centralización de acuerdo con la tabla b-Anejo F (ver figura 28).

Figura 28. Tablas para cálculo demanda de AC

Tabla a-Anejo F. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Tabla b-Anejo F. Valor del factor de centralización en viviendas multifamiliares

Nº viviendas	N≤3	4≤N≤10	11≤N≤20	21≤N≤50	51≤N≤75	76≤N≤100	N≥101
Factor de centralización	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

Fuente: CTE-DB-HE

Tres de las viviendas cuentan con tres habitaciones, un salón, una cocina y un baño. La cuarta, la vivienda del piso superior, tiene mayores dimensiones y cuatro habitaciones en vez de 3. Por lo tanto, la demanda de ACS para la vivienda 1, 2 y 4 serán la misma y la de la vivienda 3 será mayor:

Tabla 9. Demandas ACS por vivienda y edificio

	Demanda referencia	N.º habitaciones	N.º de personas	Demanda por vivienda	Factor centralización	Demanda total
V1	28	3	4	112	0,95	478,8
V2	28	3	4	112		
V3	28	4	6	168		
V4	28	3	4	112		

Fuente: elaboración propia con datos del CTE-DB-H4

7.4. Estructura y envolvente

La estructura y envolvente es común a las cuatro viviendas. La cimentación es muy somera y está formada por zapatas corridas y una solera en planta baja formando un suelo sanitario (Empresa Municipal de la Vivienda y Suelo, s.f).

El edificio tiene tres muros de carga. Dos de ellos forman parte de la envolvente; el tercero es un muro interior. Éste se encuentra dividido en dos paños unidos por una viga intermedia. Tanto los muros de carga como los muros de la envolvente transversales a estos no presentan

ni aislamiento ni cámara de aire. Además, se observa que el estado de los mismos no es óptimo: muestran fisuras, grietas y humedades puntuales en la planta baja.

La cubierta es una estructura a dos aguas formada por cerchas y rastreles metálicos cubiertos por teja de hormigón. Esta cubierta posee voladizos que sobresalen 0,8 metros de la fachada.

Los huecos son principalmente de aluminio y vidrio sencillo. Tres de esos huecos constan de doble ventana con los mismos elementos. La puerta está compuesta por los mismos elementos pero con mayor porcentaje aluminio.

La descripción detallada de los elementos constructivos se da a continuación en las tablas 10 a 15.

Tabla 10. Características constructivas de solera y forjados.

Solera y forjados					
N.º	Material	Espesor (m)	Conductividad	Densidad	Resistencia térmica
1	Plaqueta o baldosa cerámica	0,020	1,000	2000	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1000 < d < 1250$	0,020	0,550	1125	
3	FU entrevigado cerámico - canto 250 mm	0,250	0,908	1000	--
4	Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$	0,015	0,570	1150	
Transmitancia térmica (W/m^2K)					1,76

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

Tabla 11. Características constructivas de solera y forjados

Cubierta					
N.º	Material	Espesor (m)	Conductividad	Densidad	Resistencia térmica
1	Teja de hormigón	0,02	1,5	2100	--
Transmitancia térmica (W/m^2K)					6,52

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

Tabla 12. Características constructivas de muros exteriores

Muro exterior					
N.º	Material	Espesor (m)	Conductividad	Densidad	Resistencia térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	0,02	0,550	1125	
2	1 pie LM métrico o catalán 40 mm > G > 50	0,240	1,030	2140	--
3	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	
Transmitancia térmica (W/m²K)					2,15

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

Tabla 13. Características constructivas de particiones interiores

Tabique					
N.º	Material	Espesor (m)	Conductividad	Densidad	Resistencia térmica
1	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	
2	Tabicón de LH doble (60 mm < E < 90mm)	0,060	0,432	930	--
3	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	
Transmitancia térmica (W/m²K)					2,77

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

Tabla 14. Características constructivas de ventanas

Ventana	
Vidrio	Monolítico
	VER_ML_331
Marco	Metálico
	VER_Normal sin rotura de puente térmico
% marco	10
Permeabilidad del aire (m ³ /hm ² a 100 Pa)	50
Transmitancia total de energía solar de acristalamiento con dispositivos de sombra móvil activados.	0,77
Transmitancia térmica (W/m ² K)	6,17

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

Tabla 15. Características constructivas de puertas

Puerta	
Vidrio	Monolítico
	VER_ML_331
Marco	Metálico
	VER_Normal sin rotura de puente térmico
% marco	15
Permeabilidad del aire (m ³ /hm ² a 100 Pa)	60
Transmitancia total de energía solar de acristalamiento con dispositivos de sombra móvil activados.	0,77
Transmitancia térmica (W/m ² K)	6,18

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

7.5. Puentes térmicos

De acuerdo con el CTE, la “zona de la envolvente térmica del edificio donde se produce una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento” es un puente térmico.

En este caso, se obtienen los valores de su transmitancia lineal “por defecto”. La tabla 16 muestra las longitudes de los mismos.

Tabla 16. Caracterización de los puentes térmicos del edificio

Puente térmico	Longitud (m)	Transmitancia lineal (W/mK)
Frentes de forjados	141,96	0,97
Cubiertas planas	0	--
Esquinas exteriores	23,2	0,11
Esquinas interiores	0	--
Forjado inferior en contacto con el aire	12,49	0,86
Alfeizar	29,80	0,44
Dinteles/capialzados	29,80	0,82
Jambas	73,80	0,53
Pilares	0	--
Suelos en contacto con el terreno	0	--

Fuente: elaboración propia a partir de Herramienta Unificada Líder-Calener

7.6. Sistemas

Para este trabajo, se ha considerado cada vivienda como un espacio unizona.

Las viviendas en origen se construyeron sin instalación de calefacción, por lo que cada vivienda ha incorporado una solución diferente. Esto hace que tanto la evaluación como las propuestas para mejorar tenga que plantearse de manera particularizada para cada vivienda.

Vivienda 1:

Cuenta con un sistema combinado de calefacción y ACS. La caldera individual tiene 24 kW de potencia, un rendimiento estimado del 0,850 y se alimenta de gasoil. Dispone de un sistema de radiadores fijos de hierro fundido que, en conjunto, tienen una capacidad nominal aproximada de 5 kW (4 radiadores en total).

Cómo se ha mencionado anteriormente, con tres dormitorios, esta vivienda tiene una demanda de ACS de 112 l/día.

Vivienda 2

Esta vivienda cuenta con sistemas diferenciados de calefacción y ACS. La calefacción, alimentada por electricidad dispone de:

- Dos radiadores acumuladores de carga nocturna (con un potencia nominal de 1000W cada uno).
- Un calefactor eléctrico con una potencia de 1,2 kW.
- Una bomba de calor. No se ha podido conocer el modelo de la bomba real por lo que se utilizarán los valores por defectos de la herramienta unificada.

Para el agua caliente sanitaria la vivienda tiene una caldera eléctrica de 1,5 kW con acumulador de 100 litros.

Vivienda 3

Cuenta con un sistema combinado de calefacción y ACS. La caldera individual tiene 24 kW de potencia, un rendimiento del 0,850 y se alimenta con gas natural. Dispone de un sistema de radiadores fijos de hierro fundido que, en total, tienen una capacidad nominal de 6 kW (5 radiadores en total).

Según el CTE, con cuatro dormitorios, esta vivienda tiene una demanda de ACS de 168 l/día.

Vivienda 4

Esta vivienda cuenta con sistemas diferenciados de calefacción y ACS, siendo el primero un sistema muy poco adecuado.

La climatización es eléctrica. Dispone de un solo radiador, una placa eléctrica portátil de 220W y una bomba de calor para aire acondicionado y calefacción. Las características de ésta última han sido seleccionadas por defecto al no haber tenido acceso al modelo de la misma.

El sistema de ACS es una caldera convencional alimentada por gas butano.

La demanda de ACS corresponde a la demanda para una casa de tres habitación: 112 l/día.

7.7. Otros equipos

Parte del trabajo realizado en el Proyecto Habita_RES consistía en encuestar y enumerar los electrodomésticos del hogar. La relación de ellos se enumeran a continuación:

Vivienda 1

- Cocina de vitrocerámica
- Horno
- Frigorífico
- Televisión

Vivienda 3

- Cocina de vitrocerámica
- Televisión
- Ordenador

Vivienda 2

- Cocina de vitrocerámica
- Horno
- Frigorífico
- Televisión
- Ordenador

Vivienda 4

- Horno
- Frigorífico
- Lavadora
- Plancha

7.8. Resultados del modelo actual

Tras la introducción de los sistemas se ha procedido a realizar la verificación con HULC y los resultados se muestran en las figuras 29, 30 y 31.

Figura 29. Verificación Requisitos Mínimos CTE-HE-2019. Calidad de la envolvente térmica.

		Valores límite	
Transmitancia térmica global, K [W/m²K]	3,72	0,64	NO CUMPLE
Control solar, q _{sol} jul [kWh/m².mes]	8,57	2,00	NO CUMPLE
Relación de cambio de aire a 50 Pa, n50 [1/h]	11,33	-	NO APLICA
Compacidad [m³/m²]	1,57		
Superficie útil de cálculo, A _{útil} [m²]	271,12		
Superficie de cerramientos opacos, A _{opacos} [m²]	577,68		
Superficie de huecos, A _{huecos} [m²]	41,70		
Longitud de puentes térmicos, L _{pt} [m]	311,05		

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

Como se esperaba, los resultados de la verificación con el documento HE1 del CTE han quedado muy alejados de los requisitos que establece el actual CTE. No cumple ninguno de los parámetros necesarios, mostrando un pésimo aislamiento térmico (seis veces superior al límite establecido) y un mal control solar (superando casi en cinco veces el límite del CTE).

La figura 30 muestra los datos obtenidos para la demanda de calefacción, refrigeración y ACS, 168,40, 16,72 y 36,14 kWh/m²año, respectivamente. También se ve la cantidad de emisiones que ascienden a 58,55 kgCO₂/m²año

Al ser un edificio privado de 1950, los documentos HE0 de consumo de energía primaria, HE4 de contribución de energías renovables para cubrir la demanda de ACS y HE5 de generación mínima de energía eléctrica no aplican.

La figura 31 nos muestra la calificación energética del edificio: una E tanto para consumo de energía primaria no renovable como de emisiones de CO₂. Como dato destacable, la calificación parcial de la demanda energética de calefacción ha obtenido una G.

Figura 30. Distribución de consumo de EP del edificio de estudio

		Calefacción	Refrigeración	A.C.S.	Ventilación	Iluminación	Otros
Demanda, D	kWh/m²año	168,40	16,72	36,14	-	-	-
Energía Final, C _{ef}	kWh/m²año	176,14	9,22	41,89	0,00	0,00	-
Energía Primaria Total, C _{ep;tot}	kWh/m²año	259,59	21,83	62,43	-	0,00	-
Energía Primaria No Renovable, C _{ep;nren}	kWh/m²año	213,50	18,02	57,93	-	0,00	-
Energía Primaria Renovable, C _{ep;ren}	kWh/m²año	46,09	3,82	4,50	-	0,00	-
Emisiones, E _{CO2}	kgCO ₂ /m²año	43,52	3,05	11,98	-	0,00	-

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

Figura 31. Calificación energética del edificio

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m ² ·año)		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO ₂ /m ² ·año)	
<37.10 A 37.10-60.1 B 60.10-93.20 C 93.20-143.30 D 143.30-298.10 E 298.10-336.80 F =>336.80 G	289,45 E	<8.40 A 8.40-13.60 B 13.60-21.10 C 21.10-32.40 D 32.40-66.30 E 66.30-79.60 F =>79.60 G	58,55 E

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

7.9. Situación monitorizada de habitabilidad y consumos

En este apartado se analizan los resultados obtenidos a través de la monitorización de las viviendas durante un año, realizada en el marco del proyecto Habita_RES, para su comparación con las previsiones del modelo energético HULC.

7.9.1. Condiciones reales de habitabilidad de las viviendas

La normativa española actual determina ciertas condiciones de habitabilidad. Concretamente, en lo que se refiere al confort higrométrico y la calidad del aire, la normativa vigente establece que:

- La temperatura debe ser
 - En invierno:
 - Por la noche: superior a 17°C
 - Por el día: superior a 20°C
 - En verano:
 - Por la noche: máximo de 27°C
 - Por la tarde: máximo 25°C
- La humedad relativa debe encontrarse entre el 30% y el 70%
- La calidad del aire, medida en función de la concentración de CO₂, debe ser inferior a los 900 partículas por millón.

El IETcc-CSIC ha monitorizado durante un año estos tres parámetros. Para ello se han tomado medidas en tres de las viviendas. Más concretamente, esta actividad se ha hecho en una habitación y en el salón. Se ha procedido a tomar una medición cada 10 minutos. Para la muestra de resultados, tabla 17, se ha categorizado cada parámetro en función del porcentaje de tiempo registrado en cada uno de los tramos definidos por los valores del CTE. En la tabla 17 se han marcado aquellas casillas en las que el parámetro en cuestión no cumple con la normativa. La tabla 18 aglutina estos últimos valores.

En esta última tabla la calidad de aire destaca por ser muy deficiente. Esto supone una mala calidad del aire que puede llegar a ser insalubre. En algunos de los espacios monitorizados se supera con creces el 50% del tiempo con mala calidad de aire, llegando a rozar el 90%. En el mejor de los casos, el tiempo que se han medido calidades de aire dentro de los parámetros normativas supera, por poco la mitad de las mediciones.

La razón que explica esto es la falta de ventilación para favorecer el mantenimiento de la temperatura en el interior del hogar, especialmente en los meses de invierno para reducir las pérdidas de calor. Aun así la temperatura muestra también grandes excesos. Especialmente acusante en el caso de la V4 donde la habitación no cumple con los criterios del CTE más de la mitad del tiempo. En otros casos, 1 de cada 4 mediciones muestra ser deficiente.

Tabla 17. Datos monitorización de las viviendas de estudio

V1	Temperatura	T≤17°C	17°C<T≤20°C	20°C<T≤25°C	25°C<T≤27°C	T>27°C
	Habitación	4,94%	21,80%	42,47%	9,01%	21,26%
	Salón	3,46%	15,61%	40,19%	14,25%	25,73%
	Humedad relativa	HR≤30%		30%<HR≤70%		HR>70%
	Habitación	5,24%		93,97%		0,02%
	Salón	7,57%		91,67%		--
	Calidad del aire	ppm≤400		400<ppm≤900	900<ppm≤1600	ppm>1600
	Habitación	1,46%		49,12%	22,71%	25,95%
	Salón	0,14%		54,36%	29,67%	15,34%
V2	Temperatura	T≤17°C	17°C<T≤20°C	20°C<T≤25°C	25°C<T≤27°C	T>27°C
	Habitación	2,82%	31,83%	27,10%	13,47%	24,26%
	Salón	1,28%	13,95%	43,54%	20,47%	20,00%
	Humedad relativa	HR≤30%		30%<HR≤70%		HR>70%
	Habitación	12,50%		71,42%		15,32%
	Salón	12,76%		86,47%		--
	Calidad del aire	ppm≤400		400<ppm≤900	900<ppm≤1600	ppm>1600
	Habitación	--		12,35%	29,73%	57,40%
	Salón	3,57%		36,20%	29,99%	29,47%
V\$	Temperatura	T≤17°C	17°C<T≤20°C	20°C<T≤25°C	25°C<T≤27°C	T>27°C
	Habitación	29,76%	15,03%	18,16%	11,27	25,25%
	Salón	11,18%	21,06%	27,31%	13,93%	26,00%
	Humedad relativa	HR≤30%		30%<HR≤70%		HR>70%
	Habitación	21,39%		73,97%		3,87%
	Salón	21,40%		78,05%		0,02%
	Calidad del aire	ppm≤400		400<ppm≤900	900<ppm≤1600	ppm>1600
	Habitación	0,03%		40,07%	56,68%	2,45%
	Salón	0,05%		40,51%	55,31%	3,37%

Fuente: (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC), 2018-2021)

Tabla 18. Valores parámetros que superan las normativas

		V1	V2	V4
Temp.	Habitación	26,2%	27,1%	55,0%
	Salón	29,2%	21,3%	37,2%
Humedad relativa	Habitación	5,3%	27,8%	25,3%
	Salón	7,6%	12,8%	21,4%
Calidad del aire	Habitación	48,7%	87,1%	59,1%
	Salón	45,0%	59,5%	58,7%

Fuente: (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC), 2018-2021)

7.9.2. Consumos energéticos monitorizados

Gracias a la investigación y monitorización que el IETcc-CSIC ha realizado en estas viviendas, se conoce el consumo de las diferentes fuentes de energía de tres de las viviendas. En cambio, no ha sido posible acceder a los datos de la cuarta vivienda, la vivienda 3. Se trata de la más grande, concretamente un 40% más de superficie que la vivienda 1 pero con sistemas similares a esta. En consecuencia, se tomarán para la vivienda 4 una estimación de los consumos de la vivienda 2 y se añadirá un 25% más.

En la vivienda 4, aunque no se ha conseguido monitorizar el dato de gas butano consumido, sí se tiene una aproximación del número de bombonas de butano consumidas al año: 18. Se sabe también que las bombonas consumidas son de 12,5 kg para un consumo final de 225kg anuales. Por otro lado, se conoce que un kilogramo de gas butano equivale a 12,44 kWh (Puij Sellens, 2014).

Para el cálculo del precio por kWh del gasoil, se ha supuesto que un litro de gasoil equivale a 8,53 kWh (Fernández, 2012)

Para los precios de cada energía por kWh se ha usado la siguiente relación de precios:

- Gas Natural: precio del 12 de febrero de 2021, obtenido del Mercado Ibérico del Gas.
- Electricidad: precio de enero de 2021, obtenido de Red Eléctrica Española.
- Gas butano: precio de enero de 2022, obtenido de la comercializadora Repsol.
- Gasoil: precio de enero de 2022, obtenido del histórico de precios de Geoportal, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

La tabla 19 muestra los datos de consumo monitorizados por suministros, los totales y sus respectivos precios por suministros, vivienda y bloque.

Tabla 19. *Demanda energética y costes por suministros.*

	Fuente	Precio (€/kWh)	Calef. (kWh)	Refrig. (kWh)	ACS (kWh)	Otros (kWh)	Total (kWh)	Coste (€)	Coste (€)	Costes bloque (€)
V1	Electr.	0,209	43,78			1.695,04	1.738,82	363,41	1.595,19	5.532,17
	Gas	0,0756						0,00		
	Gasoil	0,121	9.102,11		1.077,89		10.180,00	1.231,7		
	GLP	0,112						0,00		
V2	Electr.	0,209	690,51	907,98	1.072,22	3.065,90	5.736,61	1.198,9	1.198,95	
	Gas	0,0756						0,00		
	Gasoil	0,121						0,00		
	GLP	0,112						0,00		
V3	Electr.	0,209				2.118,80	2.118,80	442,83	1.408,98	
	Gas	0,0756	11.432,36		1.347,36		12.779,73	966,15		
	Gasoil	0,121						0,00		
	GLP	0,112						0,00		
V4	Electr.	0,209				4.859,13	4.859,13	1.015,5	1.329,05	
	Gas	0,0756						0,00		
	Gasoil	0,121						0,00		
	GLP	0,112				2.799,00	2.799,00	313,49		

Fuente: elaboración propia con datos Habita_RES

7.9.3. Comparativa de los consumos esperados con los monitorizados

Los resultados obtenidos por HULC representan los consumos energéticos teóricos. Se calculan en base a la premisa de que se está cumpliendo con los parámetros de confort establecidos por la normativa española vigente. Pero, a través del trabajo de motorización realizado, se ha comprobado que en las viviendas estudiadas no siempre se cumplen dichas condiciones. La tabla 20 muestra la diferencia entre los kWh/año estimados por HULC y los monitorizados por el IETcc-CSIC.

Consideraciones sobre su elaboración:

- Para obtener las demandas por vivienda según HULC se han multiplicado los valores de demanda de la figura 30 por los metros cuadrados de cada vivienda de la tabla 8.
- No se cuentan con los datos del consumo de energía para refrigeración.
- No se han podido realizar los cálculos para la V4 al no tener los datos diferenciados por servicios.

Tabla 20. Comparativa consumos de calefacción y ACS monitorizados con los de HULC

	V1		V2		V3		V4	
Consumo	Calefacción	ACS	Calefacción	ACS	Calefacción	ACS	Calefacción	ACS
Monitorizado (kWh/año)	9145,9	1077,89	690,51	1072,22	11432,36	1347,36	NHD	NHD
HULC (kWh/año)	9312,52	1998,54	9396,72	2016,61	13101,52	2811,7	9969,28	2139,5
Diferencia (kWh/año)	-166,62	-920,65	-8706,21	-944,39	-1669,16	-1464,34		
Diferencia (%)	-1,79%	-46,07%	-92,65%	-46,83%	-12,74%	-52,08%	--	--

Fuente: elaboración propia con datos de Habita_RES y Herramienta Unificada Líder-Calener

Los resultados muestran que ninguna de las viviendas cumple con las condiciones de confort establecidas por el CTE. En cuanto a la calefacción el consumo en la V1 se aproxima a lo que se supone debería ser las condiciones de habitabilidad, pero, en el lado opuesto se encuentra la V2 que consume un 92% menos de kWh al año de lo estimado por HULC.

En cuanto al ACS advertimos una situación es similar en todas las viviendas, haciendo la mitad del uso esperado por la Herramienta certificadora.

Estos datos demuestran que la rehabilitación energética es necesaria no solo para reducir emisiones de los hogares españoles sino también para obtener las condiciones de confort establecidas por la normativa nacional.

Procediendo a la inversa con los cálculos monitorizados, es decir, si se multiplican los kWh totales de la tabla 19 y los dividimos por los metros cuadrados de las viviendas, se obtienen las emisiones por metro cuadrado y año. Al ordenado por fuente de energía, basta con multiplicarlos por los factores de paso de HULC (figura 32) para obtener la calificación energética de Energía Primaria no renovable. Ese valor es de 237,06 kWh/m²año, que corresponde a una calificación energética E pero con 50 kWh/m²año menos que el modelado por HULC.

Se puede proceder a realizar el mismo cálculo para las emisiones. En esta ocasión también se han utilizado los factores de pasos de HULC. El resultado obtenido es de 47,89 kgCO₂/m²año, que equivale a una letra E pero con un valor de 11 unidades menor.

Figura 32. Factores de paso de Energía Final

Energético	a Energía Primaria Total [kWhEP/kWhEF]	a Energía Primaria No Renovable [kWhEPNR/kWhEF]	a Emisiones de CO2 [kgCO2/kWhEF]
Electricidad	2,368	1,954	0,331
Gasoleo calefaccion / Fuel-oil	1,182	1,179	0,311
GLP	1,204	1,201	0,254
Gas Natural	1,195	1,190	0,252
Carbon	1,084	1,082	0,472
Biomasa no densificada	1,037	0,034	0,018
Biomasa densificada (pelets)	1,113	0,085	0,018
RED1	1,000	1,000	1,000
RED2	1,000	1,000	1,000

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

Estos datos evidencian que en el caso de personas en situación de pobreza o vulnerabilidad, el modelado con las herramientas de certificación puede no corresponderse con absoluta fidelidad de la condiciones de habitabilidad en las que viven.

8. Medidas analizadas para la mejora de la eficiencia energética del edificio

Las propuestas de mejora planteadas en esta sección se basan en la reducción de la demanda a través de la modificación de elementos de la envolvente y la sustitución de los equipos existentes por otros más eficientes.

Para el cálculo de los costes de cada actuación se ha utilizado la metodología de (Martín-Consuegra Ávila, 2019) calculando el Presupuesto de Ejecución Material (PEM) a través del *Generador de precios* de CYPE Ingenieros S.A al que después se le añadirán los costes de:

- Seguridad y Salud en la obra y Control de Calidad (SSyCC), estimado en un 4% del PEM,
- Gastos Generales y Beneficios de la Contrata (Contr), estimados en un 19% del PEM,
- Honorarios Técnicos (HT), estimados en un 14% del PEM y
- Visados Generales (Vis), estimados en un 0,5% .

Una vez calculado ese presupuesto se procederá a incluir:

- El Impuesto de Valor Añadido (IVA), por valor de 21% y
- Licencias (Licen), estimado en un 3%

Las mejoras se presentan en dos conjuntos que se llamarán Alternativa Económica (AE) y Alternativa Integral (AI). Cada una se propone para una situación diferente, considerando la situación contextual de vulnerabilidad energética. En un segundo caso de estudio, a estas alternativas se les añadirán energías renovables: termosolar en el primer caso (AE+Tm) y fotovoltaica en el segundo (AI+FV).

En el primer caso, la AE, se presupone un escenario en el que las administraciones competentes no intervienen en el proceso de rehabilitación, es decir, no asumen la responsabilidad de aportar el capital. En este caso y dada la situación económica de las

personas inquilinas se ha primado la viabilidad económica o, dicho de otro modo, se contemplan pocos cambios lo menos costosos posibles.

En la segunda propuesta, la AI, se proponen mejoras sustanciales asumiendo que las instituciones públicas realizan una intervención en favor de estas familias vulnerables a través de ayudas parciales o totales. De ahí que esta propuesta contará con mayor cantidad actuaciones y costes más elevados.

8.1. Alternativa Económica (AE)

Esta alternativa plantea los siguientes cambios:

- Adición de aislante en la cubierta.
- Sustitución del equipo de ACS por un equipo de ACS más eficiente.

8.1.1. Cubierta

Como se vio anteriormente, la cubierta es un espacio no habitable con las tejas apoyadas directamente sobre cerchas y rastreles metálicos. La propuesta de mejora se basa en la instalación de mantas de lana mineral desenrolladas directamente sobre la parte superior del forjado que separa las viviendas del espacio no habitable que conforma el tejado con él (ver figura 33).

Figura 33. Sistema de aislamiento por el interior de la cubierta



Fuente: (CYPE Ingenieros, S.A., 2021)

Dentro de la Herramienta Unificada Líder-Calener, la actuación se refleja en la composición del forjado superior. Al tratarse de una única actuación sobre los cerramientos y ser una instalación sencilla y relativamente económica, se opta por un grosor elevado de lana mineral. De esta manera, el último forjado quedaría como muestra la tabla 21. Los costes derivados de esta instalación se muestran en la siguiente tabla 22:

Tabla 21. Características constructivas de forjado superior con aislamiento

Forjado superior aislado					
N.º	Material	Espesor (m)	Conductividad	Densidad	Resistencia térmica
1	MW Lana mineral [0,031 W/mK]	0,120	0,031	40	--
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1000 < d < 1250$	0,020	0,550	1125	
3	FU entrevigado cerámico - canto 250 mm	0,250	0,908	1000	--
4	Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$	0,015	0,570	1150	
Transmitancia térmica (W/m²K)					0,22

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

Tabla 22. Costes instalación aislante térmico en cubierta

Concepto	Precio por m² (€)	Cant (m²)	PEM (€)	SSyCC (€)	Contr (€)	HT (€)	Vis (€)	Total sin imp (€)	IVA (€)	Licen (€)	Total con imp (€)
Manta de lana	6,89	145	1.616,8	64,7	307,2	226,3	8,1	2.223,0	466,8	666,9	3.356,8
Cinta adhesiva	0,31										
Mano de obra	3,73										
Costes complem.	0,22										
Total	11,15										

Fuente: elaboración propia con datos de Generador de Precios de CYPE Ingenieros S.A.

8.1.2. Sustitución equipo de ACS

Debido a que en cada vivienda son diferentes los equipos y las instalaciones, no es posible proponer una alternativa única. Así, por ejemplo, hay viviendas que cuentan con instalación de radiadores fijos y otras que no los tienen y usan calefacción eléctrica. Por lo tanto no se puede plantear, por ejemplo, la instalación de una caldera colectiva sin tener que realizar previamente obras para instalar los radiadores. En consecuencia, se propone una sustitución de equipos de manera individualizada para cada vivienda y sin necesidad de obras de instalación de radiadores fijos.

Equipos que se plantean sustituir:

- Viviendas 1 y 3: Estas cuentan con instalación de radiadores y ya tienen un equipo mixto de ACS y calefacción. Por eso en la propuesta se sustituye calderas convencionales por una caldera, también mixta, de condensación y alimentadas por gas natural.

Tabla 23. Nuevo equipo ACS para V1 y V3 en AE

Temperatura de impulsión sanitaria	60°C
Temperatura de impulsión calefacción	80°C
Capacidad total caldera	25 kW
Tipo de energía	Gas Natural
Potencia de radiadores	5-6 kW

Fuente: elaboración propia

- Vivienda 2: Esta tiene un calentador eléctrico para ACS bastante antiguo, de dudosa eficiencia energética. Por ello, se sugiere sustituir el viejo calentador eléctrico por un calentador instantáneo de calificación energética A.

Tabla 24. Nuevo equipo ACS para V2 en AE

Temperatura de impulsión sanitaria	60°C
Capacidad total caldera	6 kW
Tipo de energía	Electricidad

Fuente: elaboración propia

- Vivienda 4: En esta la calefacción y ACS van por separado. Para calentar el agua dispone de una caldera convencional de GLP, que se sustituirá por una caldera de condensación de gas natural.

Tabla 25. Características nuevo equipo ACS para V4 en AE

Temperatura de impulsión sanitaria	60°C
Capacidad total caldera	10 kW
Tipo de energía	Gas Natural

Fuente: elaboración propia

Los resultados de la metodología empleada para el cálculo de costes se ven en la tabla 26.

Tabla 26. Costes sustitución equipos ACS para AE

Concepto		Precio (€)	Cant.	PEM (€)	SSyCC (€)	Contr (€)	HT (€)	Vis (€)	Total sin imp- (€)	IVA (€)	Licen (€)	Total con imp. (€)
Calentador eléctrico (V2)	Material	369,4	1	5.913,5	236,5	1.123,6	827,9	29,6	8.131,1	1.707,5	2.439,3	12.278,0
	Mano de obra	50,7										
	Costes complem.	7,9										
	Total	428,06										
Caldera mixta cond. (V1 y V3)	Material	1685,9	2									
	Mano de obra	257,1										
	Costes complem.	36,2										
	Total	1979,4										
Caldera ACS conde. (V4)	Material	1312,9	1									
	Mano de obra	185,6										
	Costes complem.	28,1										
	Total	1526,6										

Fuente: elaboración propia con datos de (CYPE Ingenieros, S.A., 2021)

8.1.3. Costes de instalación

Sumando ambas actuaciones, el total de los costes es el siguiente:

Tabla 27. Costes totales AE

Instalación	Presupuesto (€)	Total (€)
Cubierta	3.356,8	15.634,8
Sistemas	12.278,0	

Fuente: elaboración propia

8.1.4. Resultados del modelo

Como era de esperar dadas las pequeñas modificaciones que se han planteado para un edificio con grandes deficiencias, los cambios del modelo desarrollado en HULC reflejan mejoras poco significativas. En la figura 34 se indican la demanda, consumos de energía final y emisiones del modelo AE. En la figura 35 se comprueba que la certificación energética del edificio es una E tanto en energía primaria no renovable como en emisiones.

Figura 34. Demanda, consumos y emisiones de AE

		Calefacción	Refrigeración	A.C.S.	Ventilación	Iluminación	Otros
Demanda, D	kWh/m²año	141,13	13,07	36,28	-	-	-
Energía Final, C_ef	kWh/m²año	130,77	6,11	38,76	0,00	0,00	-
Energía Primaria Total, C_ep;tot	kWh/m²año	201,35	14,48	58,91	-	0,00	-
Energía Primaria No Renovable, C_ep;nren	kWh/m²año	162,61	11,95	54,33	-	0,00	-
Energía Primaria Renovable, C_ep;ren	kWh/m²año	38,74	2,53	4,59	-	0,00	-
Emisiones, E_CO2	kgCO2/m²año	30,97	2,02	10,61	-	0,00	-

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

Figura 35. Calificación energética de AE

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m²·año)		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO2/m²·año)	
<37.10 A 37.10-60.1 B 60.10-93.20 C 93.20-143.30 D 143.30-298.10 E 298.10-336.80 F =>336.80 G	228,89 E	<8.40 A 8.40-13.60 B 13.60-21.10 C 21.10-32.40 D 32.40-66.30 E 66.30-79.60 F =>79.60 G	43,60 E

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

8.2. Alternativa Integral (AI)

Esta propuesta trata de ser más ambiciosa. Se plantea una reforma más completa basada en:

- Sustitución de ventanas y puerta exterior,
- Instalación de un Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE),
- Aislamiento de la cubierta con lana mineral y
- Sustitución de equipos de ACS y calefacción.

8.2.1. Ventanas

En el modelo ideado para esta segunda alternativa se contempla sustituir las ventanas antiguas por otras con doble acristalamiento bajo emisivo y marcos de PVC . Para la puerta se mantendrá la estética de marco con vidrio para facilitar la iluminación del rellano y, a diferencia de las ventanas, se instalarán vidrios dobles sin propiedades especiales. El marco será de madera y se supone mayor porcentaje de marco para reducir las pérdidas asociadas a vidrios más grandes. Las características se ven en las tablas 28 y 29 .

Tabla 28. Características constructivas de ventanas mejoradas en AI

Ventana mejorada	
Vidrio	Bajo Emisivo Doble Bajo Emisivo < 0,03 vertical
	VER_DB3_4-12-6
Marco	PVC
	VER_PVC dos cámaras
% marco	10
Permeabilidad del aire (m ³ /hm ² a 100 Pa)	50
Transmitancia total de energía solar de acristalamiento con dispositivos de sombra móvil activados.	0,63
Transmitancia térmica (W/m ² K)	1,83

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

Tabla 29. Características constructivas puerta mejorada en AI

Puerta mejorada	
Vidrio	Doble en posición vertical
	VER_DC_4-12-6
Marco	Madera
	VER_Madera
% marco	50
Permeabilidad del aire (m ³ /hm ² a 100 Pa)	60
Transmitancia total de energía solar de acristalamiento con dispositivos de sombra móvil activados.	0,60
Transmitancia térmica (W/m ² K)	2,64

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

El CTE para nuevos edificios limita la transmitancia térmica de estos elementos a 1,8W/m²K. Como se trata de una rehabilitación, no hay consecuencias por no cumplir con el Código. Aunque es posible afirmar que la nueva transmitancia se aproxima mucho al límite y significa una clara mejoría respecto a los huecos instalados actualmente.

Para el cálculo del coste final se tendrá en cuenta que se cambiarán todas las ventanas y puertas las cuales suman 29 huecos:

Tabla 30. Costes ventanas y puertas mejoradas en AI

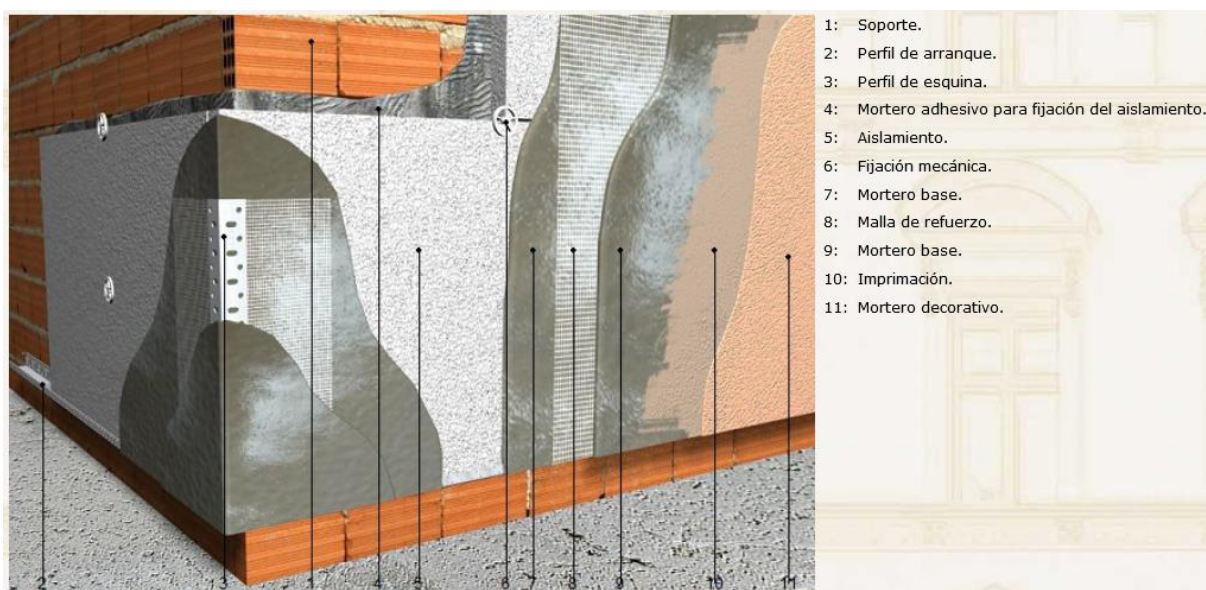
Concepto	Precio (€)	Cant	PEM (€)	SSyCC (€)	Contr (€)	HT (€)	Vis (€)	Total sin imp(€)	IVA (€)	Licen (€)	Total con imp (€)
Marco (ud)	224,6	29	14.192,3	567,7	2.696,5	1.986,9	71,0	19.514,4	4.098,0	5.854,3	29.466,8
Otros marco	7,9	29									
Vidrio (m²)	90,75	40,66									
Perfil para vidrio (m)	3,07	133,4									
Mano de obra	106,8	29									
Costes complementarios	8,73	29									

Fuente: elaboración propia con datos de (CYPE Ingenieros, S.A., 2021)

8.2.2. Fachada y voladizo

En los muros exteriores se propone la instalación de un SATE: un trasdosado exterior que se compone de una capa de aislamiento térmico y las capas de sujeción y protección de la misma.

Figura 36. Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE)



Fuente: (CYPE Ingenieros, S.A., 2021)

Esta medida facilita la realización de las obras desde el exterior sin impedir la coexistencia de la misma con la vida en el interior de los hogares.

A través de la herramienta HULC se construye la nueva composición de los muros exteriores y se obtiene la transmitancia térmica. Se ha recurrido a un mortero comercial (SUCO Morteros, 2022) para añadir al trasdosado.

Tabla 31. Características constructivas muro exterior en AI

Muro exterior con SATE					
N.º	Material	Espesor (m)	Conductividad	Densidad	Resistencia térmica
1	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1000 < d < 1250$	0,02	0,400	875	
2	Mortero tipo GP W2	0,1	0,930	1800	
3	EPS Poliestireno Expandido	0,06	0,029	30	
4	Mortero tipo GP W2	0,1	0,930	1800	
5	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1000 < d < 1250$	0,02	0,400	875	
6	1 pie LM métrico o catalán 40 mm > G > 50	0,240	1,030	2140	--
7	Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$	0,015	0,57	1150	
Transmitancia térmica (W/m^2K)					0,36

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

La nueva transmitancia térmica del muro exterior es de $0,36 W/m^2K$, valor inferior al límite establecido por el CTE para la zona climática D ($0,41 W/m^2K$).

En la construcción de la tabla anterior se obvian algunos elementos que, por su naturaleza y grosor, no afectaban al resultado de la resistencia térmica del muro, aunque habrá que tenerlo en cuenta para el cálculo de costes. Esos materiales son una capa de malla de fibra de vidrio y otra de imprimación entre los morteros, que suponen la capa n.º 4 y 5 de la tabla 31.

Además de estos elementos, habrá que considerar en los presupuestos otros elementos:

- Perfiles de arranque de aluminio para nivelación y soporte de paneles aislantes.
- Perfiles de cierre de aluminio para los paneles aislantes.
- Perfiles de esquina para el refuerzo de los cantos.
- Elementos de fijación mecánica para los paneles aislantes.
- Cordón de aislante para relleno de las juntas.

Hay un forjado en contacto con el exterior al que también se le aplica la solución SATE, quedando dicho forjado de la siguiente manera:

Tabla 32. Características constructivas forjado en voladizo en AI

Forjado en voladizo con SATE					
N.º	Material	Espesor (m)	Conductividad	Densidad	Resistencia térmica
1	Plaqueta o baldosa cerámica	0,020	1,000	2000	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1000 < d < 1250$	0,020	0,550	1125	
3	FU entrevigado cerámico - canto 250 mm	0,250	0,908	1000	
4	Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$	0,015	0,570	1150	--
5	Mortero tipo GP W2	0,1	0,930	1800	
6	EPS Poliestireno Expandido [0,029 W/(mK)]	0,06	0,029	30	
	Mortero tipo GP W2	0,1	0,930	1800	
	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $750 < d < 1000$	0,02	0,400	875	
Transmitancia térmica (W/m²K)					0,35

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

Se percibe una reducción significativa de la transmitancia térmica, alcanzando valores por debajo de lo establecido en el CTE.

La opción de un SATE mejora el rendimiento térmico de los puentes térmicos ya que el trasdosado genera una capa de aislamiento continuo sobre ellos. La obtención de los nuevos

valores se ha determinado a través del DA-DB-CTE-HE3 y usando Ψ_e (transmitancia lineal exterior). Estos valores se reflejan en la siguiente tabla:

Tabla 33. Puentes térmicos en AI

Puente térmico	Longitud (m)	Transmitancia lineal (W/mK)
Frentes de forjados	141,96	0,25
Cubiertas planas	0	--
Esquinas exteriores	23,2	0,07
Esquinas interiores	0	--
Forjado inferior en contacto con el aire	12,49	0,26
Alfeizar	29,80	0,09
Dinteles/capialzados	29,80	0,10
Jambas	73,80	0,05
Pilares	0	--
Suelos en contacto con el terreno	0	--

Fuente: DA-DB-CTE-HE4

El presupuesto correspondiente a esta actuación, incluyendo fachadas y voladizo, queda representado en la tabla siguiente:

Tabla 34. Costes SATE en AI

Concepto	Precio por m ²	Cant (m ²)	PEM (€)	SSyCC (€)	Contr (€)	HT (€)	Vis (€)	Total sin imp. (€)	IVA (€)	Licen(€)	Total con imp (€)
Material	27,02	270	16.883,1	675,3	3.207,8	2.363,6	84,4	23.214,3	4.875,0	6.964,3	35.053,5
Mano de obra	34,28										
Costes complem	1,23										
Total	62,53										

Fuente: elaboración propia con datos de Generador de Precios de CYPE Ingenieros S.A.

8.2.3. Cubierta

La actuación sobre la cubierta será similar a la propuesta para la AE si bien el espesor del material de aislamiento será menor. El resto de la envolvente ya ha sido modificado y no es necesario imponer un grosor tan elevado. Las características del elemento constructivo quedan así:

Tabla 35. Características constructivas del forjado superior AI

Forjado superior aislado					
N.º	Material	Espesor (m)	Conductividad	Densidad	Resistencia térmica
1	MW Lana mineral [0,031 W/mK]	0,080	0,031	40	--
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1000 < d < 1250$	0,020	0,550	1125	
3	FU entrevigado cerámico - canto 250 mm	0,250	0,908	1000	--
4	Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$	0,015	0,570	1150	
Transmitancia térmica (W/m²K)					0,33

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

Los costes asociados son los siguientes:

Tabla 36. Costes aislamiento cubierta en AI

Concepto	Precio por m²	Cant (m²)	PEM (€)	SSyCC (€)	Contr (€)	HT (€)	Vis (€)	Total sin imp (€)	IVA (€)	Licen (€)	Total con imp (€)
Material	4,6	145	1.232,5	49,3	234,2	172,6	6,2	1.694,7	355,9	508,4	2.559,0
Mano de obra	3,73										
Costes complem.	0,17										
Total	8,5										

Fuente: elaboración propia con datos de Generador de Precios de CYPE Ingenieros S.A.

8.2.4. Sustitución de equipos de calefacción y agua caliente sanitaria

Ya se ha visto anteriormente, en el apartado 1.1.2, que no es fácil plantear una sola solución única para la sustitución de equipos en el conjunto total de las viviendas. Por ello, se seguirá el mismo planteamiento que en AE: las propuestas de mejora se adaptarán a cada situación. La propuesta plantea la sustitución de los equipos alimentados por combustibles fósiles por equipos alimentados con electricidad. Esta decisión se basa en la relevancia de electrificar para reducir las emisiones que se pueden dar con el aumento de las energías renovables en el *mix* energético y la posibilidad de la generación para autoconsumo de energía solar fotovoltaica (aspecto que se plantea en el siguiente capítulo).

En resumen, la propuesta quedaría así:

- Viviendas 1 y 3: Las antiguas calderas se sustituyen por calderas mixtas eléctricas.

Tabla 37. *Características equipos mixtos ACS y calefacción en AI*

Temperatura de impulsión sanitaria	60°C
Temperatura de impulsión calefacción	80°C
Capacidad total caldera	25 kW
Tipo de energía	Electricidad
Potencia de radiadores	5-6 kW

Fuente: elaboración propia

Figura 37. *Caldera eléctrica para calefacción y ACS*



Fuente: (CYPE Ingenieros, S.A., 2021)

- Vivienda 2 y 4: aunque en el modelo actual tengan diferentes equipos, se sugiere cambiar los equipos de ambas por calentadores instantáneos de calificación energética A. Además, se propone la sustitución de sus antiguos radiadores por radiadores más eficientes. Para satisfacer correctamente las condiciones de calefacción, se estimará la compra de cuatro radiadores por casa, uno para cada habitación y uno más para el salón. Este último tendrá el doble de potencia que los de las habitaciones.

Tabla 38. *Características calentador eléctrico Clase A en AI*

Temperatura de impulsión sanitaria	60°C
Capacidad total caldera	6 kW
Tipo de energía	Electricidad

Fuente: elaboración propia

Tabla 39. *Características radiadores eléctricos clase A en AI*

Radiador	Mural seco
Panel de control	Digital
Potencia (habitación/salón)	750/1500 W

Fuente: Generador de precios de (CYPE Ingenieros, S.A., 2021)

Tabla 40. Coste sustitución equipos en AI

Concepto		Precio (€)	Cant	PEM (€)	SSyCC (€)	Contr (€)	HT (€)	Vis (€)	Total sin imp (€)	IVA (€)	Licen (€)	Total con imp (€)
Calentador eléctrico (V2)	Material	369,46	2	7.781,9	311,3	1.478,6	1.089	38,9	10.700	2.247	3.210	16.157,1
	Mano de obra	50,7										
	Costes complem.	7,9										
	Total	428,06										
Caldera mixta eléctrica (V1 y V3)	Material	1953,74	2									
	Mano de obra	428,62										
	Costes complem.	43,36										
	Total	2425,72										
Radiador Habitaciones	Material	234,85	6									
	Mano de obra	6,77	6									
	Costes complem.	4,83	6									
Radiador Salón	Mat	284,37	2									
	Mano de obra	7,59	2									
	Costes complem.	5,84	2									

Fuente: elaboración propia con datos de (CYPE Ingenieros, S.A., 2021)

8.2.5. Costes de la Alternativa Integral

Haciendo un resumen de todos los conceptos mencionados, el monto total para la reforma es de 83.236€ que se desglosa como se muestran en la tabla 41.

Tabla 41. Costes totales AI

Instalación	Presupuesto (€)
Cubierta	2.559,0
SATE	35.053,5
Huecos	29.466,8
Sistemas	16.157,1
Total	83.236,4

Fuente: Elaboración propia

8.2.6. Análisis de resultados de Alternativa Integral

La calificación energética respecto a emisiones energéticas ha mejorado a una letra D (figura 39) mientras que la calificación respecto a consumo de energía primaria no renovable se mantiene en una E al no haberse producido la introducción de energías renovables. Aun así, el consumo ha experimentado una bajada sustancial respecto al modelo actual. Los detalles de las demandas y consumos por servicios se pueden observar en la figura 38.

Figura 38. Demandas , consumos y emisiones de AI

		Calefacción	Refrigeración	A.C.S.	Ventilación	Iluminación	Otros
Demanda, D	kWh/m²año	38,53	12,36	36,28	-	-	-
Energía Final, C_ef	kWh/m²año	40,37	8,66	40,31	0,00	0,00	-
Energía Primaria Total, C_ep;tot	kWh/m²año	94,14	20,50	95,46	-	0,00	-
Energía Primaria No Renovable, C_ep;nren	kWh/m²año	76,80	16,92	78,77	-	0,00	-
Energía Primaria Renovable, C_ep;ren	kWh/m²año	17,33	3,58	16,69	-	0,00	-
Emisiones, E_CO2	kgCO2/m²año	13,01	2,87	13,34	-	0,00	-

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

Figura 39. Calificación energética de AI

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m ² ·año)		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO ₂ /m ² ·año)	
<37.10 A 37.10-60.1 B 60.10-93.20 C 93.20-143.30 D 143.30-298.10 E 298.10-336.80 F =>336.80 G	172,49 E	<8.40 A 8.40-13.60 B 13.60-21.10 C 21.10-32.40 D 32.40-66.30 E 66.30-79.60 F =>79.60 G	29,22 D

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

8.3. Comparativa de la Alternativa Económica e Integral

8.3.1. Demanda, consumo y certificación

Tabla 42. Comparativa alternativas respecto al modelo actual

	Demanda (kWh/ m²año)		Energía primaria (kWh/ m²año)	Energía renovable (kWh/ m²año)	EP no renovable (kWh/ m²año)	Emisiones (KgCO ₂ / m²año)				
Modelo actual	Calef.	168,4	259,6	46,1	213,5	43,5	Ahorro no renovable		Reducción emisiones	
	Refrig.	16,7	21,8	3,8	18,0	3,1				
	ACS	36,1	62,4	4,5	57,9	12,0				
	Total	221,3	343,9	54,4	289,4	58,6	(kWh/ m²año)	%	(KgCO ₂ / m²año)	%
	Ahorro	--	Calificación Energética		E	E				
AE	Calef.	141,1	201,4	38,7	162,6	31,0	50,9	23,8	12,6	28,9
	Refrig.	13,1	14,5	2,5	12,0	2,0	6,1	33,6	1,0	33,8
	ACS	36,3	58,9	4,6	54,3	10,6	3,6	6,2	1,4	11,4
	Total	190,5	274,7	45,9	228,9	43,6	60,6	20,9	15,0	25,6
	Ahorro	13,9%	Calificación Energética		E	E				
AI	Calef.	38,5	94,1	17,3	76,8	13,0	136,7	64,0	30,5	70,1
	Refrig.	12,4	20,5	3,6	16,9	2,9	1,1	6,3	0,2	5,9
	ACS	36,3	95,5	16,7	78,8	13,3	-20,8	-36,0	-1,4	-11,4
	Total	87,2	210,1	37,6	172,5	29,2	56,4	40,4	29,3	50,1
	Ahorro	60%	Calificación Energética		E	D				

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

Se comprueba que la AE, que no varía en cuanto a la letra de la calificación, reduce en casi un 21% el consumo de energía primaria no renovable y en un 25% las emisiones de gases de efecto invernadero. La AI duplica prácticamente esos porcentajes y mejora la calificación energética de emisiones ascendiendo una letra, de la E a la D.

8.3.2. Costes y amortización

En la tabla 43 se muestran los datos de certificación, ahorro, coste y amortización de las dos alternativas dadas. Para el cálculo de la amortización se ha utilizado el coste de energía total del bloque, expuesto en la tabla 19: la AE se amortiza en apenas dos años y 10 meses mientras que la AI en poco más de 15 años.

Tabla 43. Comparativa costes y amortización de alternativas respecto a Modelo actual

	Certificación EP no renovable	Certificación Emisiones	Reducción EP no renovable (%)	Reducción emisiones (%)	Coste	Amortización (años)
Modelo actual	E 289,4	E 58,6	--	--	--	--
Alternativa económica	E 228,9	E 43,6	20,9	25,6	15.634,76 €	2,83
Alternativa integral	E 172,5	D 29,2	40,4	50,1	83.236,4	15,05

Fuente: elaboración propia

9. Propuesta de instalación de fuentes de energía renovable

Teniendo en cuenta los dos conjuntos de mejoras propuestas, se van a plantear dos aplicaciones de energía diferentes. Para la AE, se plantea la instalación de energía solar térmica, y para la AI, opción que apostaba por la electricidad como energía primaria, se sugiere la instalación de energía solar fotovoltaica.

9.1. Instalación de captadores solares planos: alternativa económica con energía termosolar (AE+Tm)

La instalación de energía solar térmica es la propuesta para cubrir la demanda de ACS del edificio.

Se ha visto en el 8.1.4 que la demanda de ACS es de 36,1 kWh/m²año (ver figura 34). El objetivo es cubrir toda la demanda de ACS para los meses más desfavorables, los meses de invierno.

Para poder desarrollar este apartado se va a utilizar como ejemplo un modelo comercial obtenido en el sitio web Generador de Precios CYPE Ingenieros. Se utilizarán las características siguientes:

Tabla 44. Características captador solar plano para AE+Tm

Superficie útil	2,1 m ²
Acumulador	150 litros
Rendimiento	75%
Coefficiente de pérdidas primario	3.993 W/m ² K

Fuente: (CYPE Ingenieros, S.A., 2021)

9.1.1. Cálculo de consumos y superficie necesaria de captador solar plano

Para el desarrollo de este apartado se usará de referencia la metodología de (Tobajas, 2017).

En esta instalación se pretende cubrir la demanda total de ACS por lo que se calculará la demanda más desfavorable para dimensionar la instalación. También se procederá a calcular

la demanda más favorable y una intermedia. Estos cálculos son necesario porque al realizar la instalación cubriendo la demanda mayor, se caerá en el incumplimiento de la especificación del CTE de no superar en un 110% la energía producida en un mes - o el 100% en un trimestre. Para evitar este incumplimiento, se debe adoptar una medida compensatoria que, en este caso, será *“tapado parcial del campo de captadores. En este caso el captador está aislado del calentamiento producido por la radiación solar y a su vez evacua los posibles excedentes térmicos residuales a través del fluido del circuito primario (que seguirá atravesando el captador)”* (CTE-DB-HE4, 2019). Esta medida se deberá contratar con la empresa mantenedora de la instalación.

Este cálculo servirá para establecer el tapado parcial de los paneles. Los periodos que se consideran son:

- Periodo desfavorable: meses de octubre a febrero incluidos.
- Periodo intermedio: marzo, abril, mayo y septiembre.
- Periodo favorable: meses de junio a agosto incluidos.

Los periodos han sido determinados en función de los valores de radiación de la figura 42 .

Se conoce por el apartado 7.3 que la demanda del bloque es de 478,8 litros/día. Para el siguiente paso se usará la fórmula de demanda en función del caudal (m), calor específico (C_p) y la diferencia de temperatura de servicio de ACS (T_{ACS}) y suministro de agua de la red (T_{sp}):

$$Q = mC_p(T_{ACS} - T_{sp})$$

Para el cálculo de las demandas se utilizarán la temperatura media de suministro de la red de los meses mencionados. Estas temperaturas se consiguen de la figura 40, siendo la $T_{desfavorable}=9,4^{\circ}\text{C}$, $T_{intermedia}=13,25^{\circ}\text{C}$ y $T_{favorable}=18,6^{\circ}\text{C}$.

Figura 40. Temperaturas de suministro de agua por provincias

Provincia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	t media
Huesca	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7	12,42
Jaén	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9	14,58
Las Palmas de Gran Canaria	15	15	16	16	17	18	19	19	19	18	17	16	17,08
León	6	6	8	9	12	14	16	16	15	11	8	6	10,58
Lleida	7	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	7	13,08
Logroño	7	8	10	11	13	16	18	18	16	13	10	8	12,33
Lugo	7	8	9	10	11	13	15	15	14	12	9	8	10,92
Madrid	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8	13,00
Málaga	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12	15,50
Melilla	12	13	13	14	16	18	20	20	19	17	14	13	15,75

Fuente: (Tobajas, 2017)

Sabiendo la densidad, el calor específico del agua (C_p) y la temperatura de servicio de ACS ($T_{ACS}=60^{\circ}\text{C}$) se procede a calcular la demanda de energía:

$$Q_{\text{desfavorable}} = mC_p(T_{ACS} - T_{sp}) = 478,8l \cdot 1\text{kg/l} \cdot 1,16 \cdot 10^{-3}\text{kWh}/(\text{kgC}) \cdot (60-9,4)\text{C} = 28,1 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{media}} = mC_p(T_{ACS} - T_{sp}) = 478,8l \cdot 1\text{kg/l} \cdot 1,16 \cdot 10^{-3}\text{kWh}/(\text{kgC}) \cdot (60-13,2)\text{C} = 26 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{favorable}} = mC_p(T_{ACS} - T_{sp}) = 478,8l \cdot 1\text{kg/l} \cdot 1,16 \cdot 10^{-3}\text{kWh}/(\text{kgC}) \cdot (60-18,6)\text{C} = 23 \text{ kWh}$$

Estos valores, multiplicados por el número de días -se asumirá la media de 30 días por mes-, son los que se dispondrán en la herramienta HULC para la certificación del edificio.

Figura 41. Valores de producción de energía térmica.

Valores mensuales de la producción de Energía Térmica a partir de una fuente de energía renovable (kWh)(Producción total 9510,0 kWh)														
☐ No existen datos mensuales														
Sistema o Equipo	Comentario	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Solar Térmica ACS	Instalación en cubierta	864,0	864,0	780,0	780,0	780,0	690,0	690,0	690,0	780,0	864,0	864,0	864,0	
		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

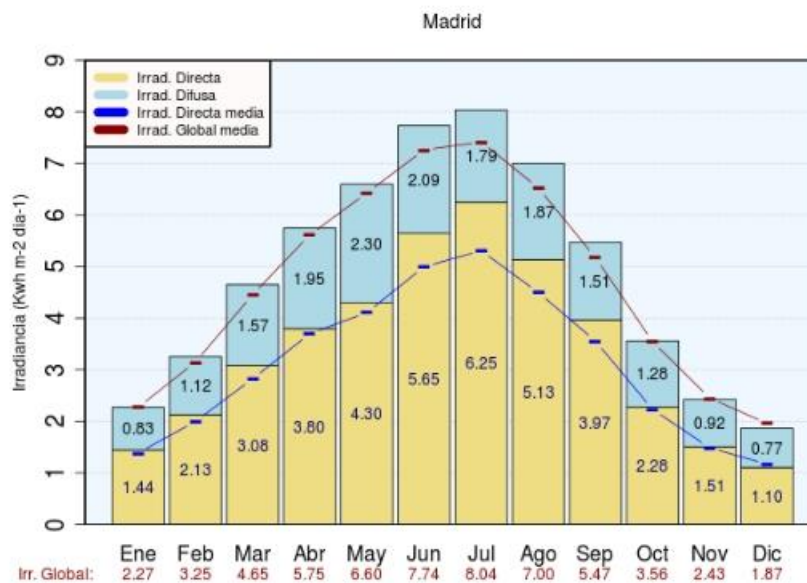
El siguiente paso que se debe dar es delimitar la superficie de paneles necesarios para conseguir esa energía con la ecuación:

$$S = FS \cdot Q / (\eta \cdot E_{\text{útil}})$$

Siendo η el rendimiento de la placa termosolar FS la fracción solar media en invierno y $E_{\text{útil}}$ la radiación media diaria en invierno. Se sabe por la ficha técnica del comerciante que el rendimiento es del 75%. Para la fracción solar, se debe ir con la demanda total y la zona climática, la IV, las tablas 2.1 y 2.2 del CTE-DB-HE4 con lo que se obtiene que la contribución solar para la casa debe de ser del 60% y 70% respectivamente. Aunque, en este caso, se desea cubrir toda la demanda de ACS con la aportación termosolar. Por eso se considerará un $FS=1$.

Para la radiación media se usarán las medidas de la Agencia Estatal de Meteorología (figura 42). Haciendo la ponderación con los días correspondientes, se obtiene que los resultados de la tabla 45.

Figura 42. Radiación solar media en Madrid por meses



Fuente: (Agencia Estatal de Meteorología (AEMET))

Tabla 45. Superficie y número de paneles necesarios

	Q	E _{útil}	η	Superficie	N.º de paneles
Desfavorable	28,8	2,67	0,75	14,40	7
Media	26	5,62	0,75	6,17	3
Favorable	23	7,59	0,75	4,04	2

Fuente: elaboración propia

El resultado indica que se necesitan siete paneles para cubrir la demanda de invierno, pero habrá que cubrir cuatro durante los meses intermedios y cinco en verano.

Como apunte, se ha de considerar que se recomienda no colocar más de ocho m² de paneles en línea, así que habrá que hacer la instalación en dos líneas diferentes.

9.1.2. Costes instalación captadores solares planos

Tabla 46. Costes instalaciones paneles termosolares

Concepto	Precio por ud	Cant (ud)	PEM (€)	SSyCC (€)	Contr (€)	HT (€)	Vis (€)	Total sin imp (€)	IVA (€)	Licen (€)	Total con imp (€)
Panel con acumulador	784	7	10.297,5	411,9	1.956,5	1.441,6	51,5	14.159,0	2.973,4	4.247,7	21.380,1
Estructura	235	7									
Otros	222,84	1									
Anticongelante	4	7									
Mano de obra	354,24	7									
Costes complem.	61,99	7									

Fuente: elaboración propia con datos de Generador de Precios de CYPE Ingenieros S.A.

9.1.3. Resultados

En las figuras 43 y 44 es posible ver los resultados de las demandas, consumos, emisiones y certificación del modelo AE con Energía Termosolar. El resultado muestra que aunque se consigues sensibles reducciones, la calificación no mejora la letra.

Figura 43. Demandas, consumos y emisiones de AE+Tm

		Calefacción	Refrigeración	A.C.S.	Ventilación	Iluminación	Otros
Demanda, D	kWh/m ² año	141,13	13,07	36,23	-	-	-
Energía Final, C_ef	kWh/m ² año	130,76	6,11	40,09	0,00	0,00	-
Energía Primaria Total, C_ep;tot	kWh/m ² año	201,34	14,48	46,09	-	0,00	-
Energía Primaria No Renovable, C_ep;nren	kWh/m ² año	162,60	11,95	9,65	-	0,00	-
Energía Primaria Renovable, C_ep;ren	kWh/m ² año	38,74	2,53	36,43	-	0,00	-
Emisiones, E_CO2	kgCO2/m ² año	30,96	2,02	1,70	-	0,00	-

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

Figura 44. Calificación energética de AE+Tm

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m ² ·año)		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO2/m ² ·año)	
<37.10 A 37.10-60.1 B 60.10-93.20 C 93.20-143.30 D 143.30-298.10 E 298.10-336.80 F =>336.80 G	184,20 E	<8.40 A 8.40-13.60 B 13.60-21.10 C 21.10-32.40 D 32.40-66.30 E 66.30-79.60 F =>79.60 G	34,68 E

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

9.2. Instalación de energía fotovoltaica: Alternativa Integral con energía fotovoltaica (AI+FV)

En esta alternativa se ha hecho una clara apuesta por la electrificación -siguiendo las recomendaciones de las instituciones europeas, por lo que se ha sugerido la instalación de paneles solares fotovoltaicos sobre la cubierta. Esta instalación irá conectada a la red.

Al estar la cubierta desarrollada en un eje norte-sur, los paneles deberán ir instalados sobre estructuras que las orienten y les otorguen la inclinación deseada.

Para la realización de esta propuesta se ha consultado a una empresa de instalación eléctrica, Platino Instalaciones y Servicios, y se va a utilizar un ejemplo real de panel solar fotovoltaico, concretamente el modelo TallMax de 17M de Trina Solar, con una potencia máxima de 450W

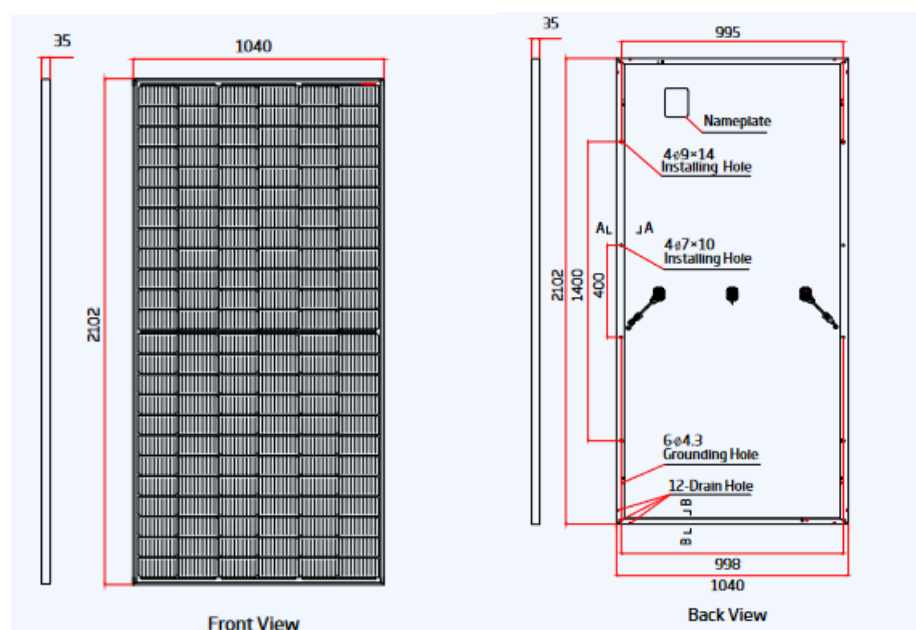
y una eficiencia del 21%. Tras probar varias opciones en la herramienta HULC y considerando el tamaño de la cubierta.

Tabla 47. Características instalación energía solar fotovoltaica

Ubicación	Madrid (Madrid)
Módulos	18
Potencia unitaria	450W
Potencia Instalada	8,1 kW
Inclinación	36°
Orientación (Azimut)	3°

Fuente: PVGIS y Platino Instalaciones y Servicios

Figura 45. Dimensiones módulo DE17M de Trina Solar



Fuente: (Trina Solar, 2022)

Acudiendo a la herramienta interactiva PVGIS, se recaba información sobre la energía obtenida con estos paneles (figura 46). Se suponen unas pérdidas por defecto iguales al 14%.

Figura 46. Energía FV y radiación solar mensual

Mes	E_m	H(i)_m	SD_m	
Enero	847.7	124.0	200.9	E_m: Producción eléctrica media mensual del sistema definido [kWh].
Febrero	905.5	134.2	146.2	H(i)_m: Suma media mensual de la irradiación global recibida por metro cuadrado por los módulos del sistema dado [kWh/m²].
Marzo	1146.0	174.5	140.4	SD_m: Desviación estándar de la producción eléctrica mensual debida a la variación interanual [kWh].
Abril	1184.6	185.4	95.2	
Mayo	1263.2	202.8	92.1	
Junio	1265.8	209.8	39.8	
Julio	1381.8	233.6	41.0	
Agosto	1370.7	230.3	29.1	
Septiembre	1219.3	198.7	48.3	
Octubre	1061.2	166.2	100.9	
Noviembre	843.0	125.8	129.8	
Diciembre	856.5	125.3	119.5	

Fuente: PVGIS

9.2.1. Costes

Como se ha mencionado anteriormente, el presupuesto ha sido facilitado por la empresa Platino Instalaciones y Servicios. En este caso la metodología de cálculo difiere del resto de costes calculados a lo largo de este trabajo. En esta ocasión los gastos asociados a mano de obra, contrata y otros aspectos de la empresa están ya incluidos. El único dato no incluido en el PEM es el IVA que, en este caso, es un 10%. El monto total para los 18 módulos se ve en la siguiente tabla:

Tabla 48. Costes instalación FV en AI+FV

Concepto	Precio por ud (€)	Cant (ud)	PEM (€)	IVA (€)	Total con imp (€)
Panel	177,79	18	16.221,4	1.622,1	17.843,5
Estructura	700,97	18			
Cuadros eléctricos	403,7	1			
Optimizadores	45	18			
Cableado y otros	1009,3	1			

Fuente: Platino Instalaciones y Servicios

9.2.2. Resultados

El desglose por servicios de la demanda, consumos y emisiones se presentan en la figura 47 mientras que la nueva calificación energética se ve en la figura 48. Las letras han ascendido a una C y B en energía primaria no renovable y emisiones, respectivamente.

Figura 47. Demanda, consumo y emisiones de AI+FV

		Calefacción	Refrigeración	A.C.S.	Ventilación	Iluminación	Otros
Demanda, D	kWh/m ² año	38,53	12,36	36,28	-	-	-
Energía Final, C_ef	kWh/m ² año	40,37	8,66	40,31	0,00	0,00	-
Energía Primaria Total, C_ep;tot	kWh/m ² año	65,09	14,10	65,68	-	0,00	-
Energía Primaria No Renovable, C_ep;nren	kWh/m ² año	35,32	7,78	36,23	-	0,00	-
Energía Primaria Renovable, C_ep;ren	kWh/m ² año	29,77	6,32	29,45	-	0,00	-
Emisiones, E_CO2	kgCO2/m ² año	5,98	1,32	6,14	-	0,00	-

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

Figura 48. Calificación energética de AI+FV

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m ² •año)		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO2/m ² •año)	
<37.10 A 37.10-60.1 B 60.10-93.20 C 93.20-143.30 D 143.30-298.10 E 298.10-336.80 F =>336.80 G	79,33 C	<8.40 A 8.40-13.60 B 13.60-21.10 C 21.10-32.40 D 32.40-66.30 E 66.30-79.60 F =>79.60 G	13,44 B

Fuente: Herramienta Unificada Líder-Calener

9.3. Comparativa de alternativa económica e integral con energías renovables

9.3.1. Consumo, demanda, emisiones y calificación energética

Tabla 49. Comparativa del modelo actual con las Alternativas con EERR

		Demanda (kWh/ m²año)	Energía primaria (kWh/ m²año)	Energía renovable (kWh/ m²año)	EP no renovable (kWh/ m²año)	Emisiones (KgCO ₂ / m²año)				
Modelo actual	Calef.	168,4	259,6	46,1	213,5	43,5	Reducción EP no renovable		Reducción emisiones	
	Refrig.	16,7	21,8	3,8	18,0	3,1				
	ACS	36,1	62,4	4,5	57,9	12,0				
	Total	221,3	343,9	54,4	289,4	58,6	(kWh/ m²año)	%	(KgCO ₂ / m²año)	%
	Ahorro	--	Calificación Energética		E	E				
AE+Tm	Calef.	141,1	201,4	38,7	162,6	31,0	50,9	23,8	12,6	28,9
	Refrig.	13,1	14,5	2,5	12,0	2,0	6,1	33,6	1,0	33,8
	ACS	36,2	46,1	36,4	9,7	1,7	48,3	83,3	10,3	85,8
	Total	190,4	261,9	77,7	184,2	34,7	105,2	36,4	23,9	40,8
	Ahorro 14%	Calificación Energética		E	E					
AI+FV	Calef.	38,5	65,1	29,8	35,3	6,0	178,2	83,5	37,5	86,3
	Refrig.	12,4	14,1	6,3	7,8	1,3	10,2	56,8	1,7	56,7
	ACS	36,3	65,7	29,5	36,2	6,1	21,7	37,5	5,8	48,7
	Total	87,2	144,9	65,5	79,3	13,4	104,9	72,6	45,1	77,0
	Ahorro 14%	Calificación Energética		C	B					

Fuente: elaboración propia

La tabla 49 nos muestra que los cambios en la calificación se han mantenido para la Alternativa Económica. En cambio, para la AI+FV, la calificación en energía renovable ha subido dos letras, situándose en la C, y tres letras en cuanto a emisiones, para obtener un B. La reducción en energía primaria no renovable es de 36,4% para la AE+Tm y casi el doble para la Integral. En cuanto a la reducción de emisiones son un 40,8% y un 77% respectivamente.

9.3.2. Costes y amortización

Ya se ha visto la mejora en cuanto a la calificación energética. En la siguiente tabla se añaden los costes totales de la Alternativa correspondiente y su amortización. Se enseña que la Económica se amortiza en 6 años y 9 meses mientras que la Integral tardaría 18 años y un trimestre en amortizarse.

Tabla 50. *Comparativa de costes y amortización de Alternativas con EERR*

	Certificación EP no renovable	Certificación Emisiones	Reducción EP no renovable (%)	Reducción emisiones (%)	Coste	Amortización (años)
Modelo actual	E 289,4	E 58,6	--	--	--	--
AE+Tm	E 184,2	E 34,7	36,4	40,8	30.134,07 €	6,69
AI+FV	C 79,3	B 13,4	115	77,0	101.079,89 €	18,27

Fuente: elaboración propia

10. Análisis de resultados

Los resultados que se redactan en este apartado se resumen en la tabla 51. Las unidades a las que se refieren las calificaciones son:

- Energía Primaria no renovable (EPnR): kWh/m²año
- Emisiones: kgCO₂/m²año

Tras la modelización del edificio en HULC, se ha procedido a certificar el edificio con la obtención de una letra E en EPnR y emisiones, con un total de 289,4 y 58,6 respectivamente. Después se ha visto como el uso de los inquilinos parece mostrar menores consumos, reduciendo la EPnR a 237,1 y las emisiones a 47,9.

En un primer paso se proponen mejoras en la envolvente y en los sistemas. La Alternativa Económica que modifica solo la cubierta y los sistemas supone un ahorro del 21% de EPnR - para obtener una E 228,9- y un 25% en emisiones -para obtener una E 43,6.

La Alternativa Integral, que rehabilita la envolvente de manera integral y modifica los sistemas, reduce en un 40,4% la EPnR -para obtener una E 172,5 y un 50,1% las emisiones - para obtener una D 29,2. En esta alternativa sí que se produce un empeoramiento en la EPnR y emisiones asociadas al ACS al haberse electrificado los sistemas. En cambio, la mejora en calefacción y refrigeración compensan el cambio en ACS.

En un segundo nivel de mejoras, se incluyen las energías renovables. Para la Alternativa Económica, se instala energía térmica solar produciéndose una reducción del 36,4% de EPnR y un 40% de emisiones respecto al estado actual. Aún mantienen la calificación energética E.

En la Alternativa Integral se introduce energía fotovoltaica. Con ello se obtienen unas reducciones del 72,6% en EPnR -para calificar una C 79,3- y del 77% en emisiones -para calificar una B 13,4. En esta alternativa, el ACS sigue obteniendo una calificación G, pero se reducen a la mitad con respecto a la Alternativa Integral sin energías renovables.

En cuanto al aspecto económico, la opción más asequible es la Alternativa Económica, seguida por la Alternativa Económica con Termosolar, la Alternativa Integral y, por último, la Alternativa Integral con Fotovoltáica. La primera tiene un coste de 15.634,76€, es decir, 3.909€ por cada vivienda. Considerando que el salario medio de un hogar del barrio es de 26.701€,

cada uno de estos hogares debería aportar un 15% de sus ingresos anuales para poder realizar la ejecución de la rehabilitación. Se desconocen los datos exactos de ingresos de las familias por lo que no se puede conocer con exactitud sus ingresos anuales, pero si se observa en los resultado de la monitorización que alguna de las personas inquilinas, por razones económicas, no pueden mantener el hogar en las condiciones térmicas establecidas por el CTE. Se deduce, por lo tanto, que una inversión de casi 4.000 euros sería algo inalcanzable para estos hogares.

Por otro lado se puede ver que en la opción económica, aunque haya una reducción del 20% respecto al modelo de HULC, solo se reducen en 3,4% respecto a lo monitorizado. En definitiva, esta opción es bastante barata pero supone que personas con dificultades para pagar la luz inviertan un 15% del salario mensual en unas reformas que les van a suponer pequeñas mejoras.

Para otras propuestas, las reducciones respecto al modelo de HULC y la situación monitorizada se hacen más tangibles. Pero a la vez el presupuesto es más elevado lo que hace aún más imposible la realización de estas actuaciones sin ayudas externas.

La opción con mejores resultados de reducción de las emisiones, las demandas y la vulnerabilidad de las inquilinas es la opción Alternativa Integral con Fotovoltaica.

Tabla 51. Resumen resultados calificación energética

			Estado actual		Alternativas sin Energía Renovable		Alternativas con Energía Renovable		
			Real	HULC	Económica	Integral	Económica + Termosolar	Integral + Fotovoltaica	
Calificación	Calefacción	E. no renovable	--	E 213,50	E 162,61	D 76,80	E 162,6	B 35,32	
		Emisiones	--	E 43,52	E 30,97	C 13,01	E 30,96	B 5,98	
	Refrigeración	E. no renovable	--	D 18,02	C 11,95	D 16,92	C 11,95	B 7,78	
		Emisiones	--	C 3,05	B 2,02	C 2,87	B 2,02	A 1,32	
	ACS	E. no renovable	--	G 57,93	G 54,33	G 77,78	D 9,65	G 36,23	
		Emisiones	--	G 11,98	G 10,61	G 13,34	C 1,7	G 6,14	
	Total	E. no renovable	E 237,1	E 289,4	E 228,9	E 172,5	E 184,2	C 79,3	
		Emisiones	E 47,9	E 58,6	E 43,6	D 29,2	E 34,7	B 13,4	
				Reducción Respecto de HULC (%)	E. no renovable	20,9	40,4	36,4	72,6
					Emisiones	25,6	50,1	40,8	77,0
Coste (€)				15.634,7	83.236,3	37.014,8	101.079,8		
Amortización (años)				2,83	15,05	6,69	18,27		

Fuente: elaboración propia

11. Conclusiones

La rehabilitación energética de los edificios se encuentra entre las estrategias fundamentales para los objetivos de reducción de emisiones. Tanto a nivel internacional como a nivel comunitario, las nuevas políticas y recomendaciones inciden en la necesidad de reducir el consumo energético del sector de la edificación.

En España el 17% de la energía final se destina a los hogares de los que un 90% de los edificios fueron construidos antes de que entraran en vigor las políticas de eficiencia energética de los edificios. La rehabilitación se convierte, pues, en un actor fundamental para contribuir a la reducción de las emisiones y posibilitar la transición ecológica.

Además la rehabilitación también tiene un componente que permite luchar contra la pobreza energética. Reducir la demanda energética de los edificios supone limitar los gastos asociados para las personas que los habitan. En España, para 16 de cada 100 españoles pagar la energía es un lujo. Numerosas publicaciones y organizaciones inciden en que, para que estas personas puedan permitirse una rehabilitación, los Estados deben tomar mayor número de medidas más focalizadas en las poblaciones en situación de pobreza y vulnerabilidad energética.

En este trabajo se ha analizado el caso de una vivienda pública que se encuentra en esta situación, localizada en Madrid y construida en torno al año 1950 y el modelado con la Herramienta Unificada Líder-Calener ha demostrado las deficiencias energéticas que tiene.

Además, gracias a la monitorización se ha podido ver que las condiciones de habitabilidad en las que viven sus inquilinos no corresponden a los estándares que se utilizan en las herramientas de certificación oficiales. Dichas condiciones reales no llegan o se pasan de los límites establecidos por el Código Técnico de la Edificación.

Se han propuesto cuatro alternativas de mejora para este edificio. La primera es la Alternativa Económica, propuesta pensada para hacer la rehabilitación viable económicamente a las inquilinas del edificio. La segunda es la Alternativa Integral, propuesta que incluye una reforma completa de la envolvente para la cual se necesitaría la intervención de las administraciones públicas para poder financiarla. La tercera es igual que la Alternativa Económica pero añadiéndole energía termosolar producida *in situ* y la cuarta es la Alternativa Integral con energía fotovoltaica, también producida *in situ*.

Los resultados ponen de manifiesto que las alternativas económicas suponen mejoras mínimas: reduciendo la cantidad de energía primaria no renovable y las emisiones pero no consiguiendo un ascenso en las letras de calificación energética. Además, a pesar de ser la “económica”, siguen resultando de difícil acceso para personas en situación de vulnerabilidad energética.

Las alternativas integrales, en cambio, muestran grandes mejorías y se perfilan como las opciones que combinan la consecución de los objetivos para reducir las emisiones y la pobreza energética. En especial la alternativa con fotovoltaica que no solo mejora ampliamente la calificación energética sino que supone la producción “in situ” de la energía haciendo a las personas inquilinas menos vulnerables a los fluctuantes y crecientes precios de la energía del mercado nacional. Para la realización de estas obras se deben poner sobre la mesa financiaciones completas y de fácil acceso destinadas, exclusivamente, a los sectores de la población sobre los que se basan el proyecto Habita_RES y este trabajo.

Agradecimientos

Al grupo de investigación de Sistemas Constructivos y Habitabilidad en la Edificación del Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción, perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas por compartir los resultados del proyecto Habita_RES “Nueva herramienta integrada de evaluación para áreas urbanas vulnerables. Hacia la autosuficiencia energética y a favor de un modelo de habitabilidad biosaludable”, BIA-2017-83231-C2-1-R, financiado por el MINECO a través del Programa Estatal de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad 2018.

Referencias bibliográficas

- Agencia Estatal de Meteorología (s.f.). *Atlas de Radiación Solar en España Utilizando datos del SAF de Clima EUMETSAT*. Obtenido de http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_radiacion_solar/atlas_de_radiacion_24042012.pdf
- Ayuntamiento de Madrid. (2022). Urban Audit. *Indicadores de renta media según Distritos Barrios y Secciones Censales (2017-2018)*. Obtenido de Renta media de los hogares: <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/El-Ayuntamiento/Estadistica/Areas-de-informacion-estadistica/Economia/Renta/Urban-Audit/?vgnextoid=6d40393c7ee41710VgnVCM2000001f4a900aRCRD&vgnextchannel=ef863636b44b4210VgnVCM2000000c205a0aRCRD>
- Brundtland, G. (1987). *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development*. Geneva. Génova: UN-Dokument A/42/427.
- Comisión Europea. (2001). *Estrategia de la Unión Europea para un desarrollo sostenible*. Gotemburgo.
- Comisión Europea. (2001-2022). *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*. Obtenido de <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- Comisión Europea. (2019). *Comprehensive study of building energy renovation activities and the uptake of nearly zero - energy in the EU*.
- Comisión Europea. (27 de Octubre de 2020). Recomendación (UE) 2020/1563 de la Comisión de 14 de octubre de 2020 sobre la pobreza energética. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 35 a 41.
- Comisión Europea. (s.f.). *EU Buildings Factsheets*. Obtenido de https://ec.europa.eu/energy/eu-buildings-factsheets_en?redir=1

CYPE Ingenieros, S.A. (2021). *Generador de precios de rehabilitación en España*. Obtenido de
Generador de precios de rehabilitación en España:

<http://www.generadordeprecios.info/rehabilitacion/#gsc.tab=0>

Diario Oficial de la Unión Europea. (23 de julio de 2009). *Directiva 2009/72/CE del Parlamento Europeo y el consejo de 13 de julio de 2009 sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y por la que se deroga la Directiva 2003/54/CE*.

Obtenido de <https://www.boe.es/doue/2009/211/L00055-00093.pdf>

Diario Oficial de la Unión Europea. (14 de Noviembre de 2012). *Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE*.

Diario Oficial de la Unión Europea. (14 de Junio de 2019). *Directiva (UE) 2019/944 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE*.

Diffenbaugh, N. S. (2019). Global warming has increased global economic inequality. *PNAS* 116(20), 9808-9813.

Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo del Ministerio de Fomento. (febrero de 2006). *Documento Básico HE Ahorro Energía*. España.

Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo del Ministerio de Fomento. (septiembre de 2013). *Documento Básico HE Ahorro Energía*. España.

Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo del Ministerio de Fomento. (20 de diciembre de 2019). *Documento Básico HE Ahorro de Energía*. España.

Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana; Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA). (29 de septiembre de 2021). *Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC)*.

Eblancooliva. (3 de mayo de 2017). *Madrid Distrito 17 – Villaverde*. Obtenido de <https://eblancooliva.com/2017/05/03/madrid-distrito-17-villaverde/>

Engager. (2017). *A toolkit for a just transition with the people*.

European Environment Agency. (19 de noviembre de 2021). Primary and final energy consumption in Europe. Obtenido de <https://www.eea.europa.eu/ims/primary-and-final-energy-consumption-1>

Fernández, S. R. (2012). La Eficiencia Energética en las Explotaciones de vacuno lechero en Galicia. *La Eficiencia Energética en las Explotaciones de vacuno lechero en Galicia*. España.

Empresa Municipal de Vivienda y Suelo (s.f.) *Descripción de la Colonia de San Carlos*. Madrid

Fuentes, N. M. (2021). Política monetaria, desigualdad y crisis climática. *International Review of Economic Policy-Revista Internacional de Política Económica*, 3(2), 1-16.

Gómez Muñoz, G. (2014). *Método análisis diacrónico para la intervención alojamiento con criterios ecológicos. El caso de Madrid 1940-2100*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.

Grupo Intergubernamental de Experto sobre el Calentamiento Climático (IPPC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*

Instituto de Ciencia Eduardo Torroja de ciencias de la Construcción del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IETcc-CSIC). (2018-2021). Proyecto Habita_RES. Proyecto de investigación BIA2017-83231-C2-1-R. *Proyecto Habita_RES. Proyecto de investigación BIA2017-83231-C2-1-R*. Madrid, Madrid, España.

Instituto Nacional de Estadística. (2013). *Censo de Población y Viviendas 2011*. Obtenido de https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176992&menu=ultiDatos&idp=1254735572981

Instituto Nacional de Estadística (2019). *Atlas de distribución de renta de los hogares*. Obtenido de: <https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=31097>

Instituto Nacional de Estadística. (abril de 2021). *Atlas de distribución de la Renta de los Hogares*. Obtenido de <https://inespain.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=022a8b93cf3d4e6983c0df31f7a3e998>

- Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía. (16 de julio de 2011). *Análisis del consumo energético del sector residencial en España*. Proyecto Sech-Spahousec.
- Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía. (2019). *Estudios, Informes y Estadísticas. Intensidades Energética (2019)*. Obtenido de <https://www.idae.es/informacion-y-publicaciones/estudios-informes-y-estadisticas>
- Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía. (2022). *Consumo de energía final*. Obtenido de: <https://sieeweb.idae.es/consumofinal/bal.asp?txt=2018&tipbal=t>
- International Energy Agency. (Julio de 2021). *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*.
- Jefatura del Estado. (2013). Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas. . *Boletín Oficial del Estado n.º153*.
- Jefatura del Estado. (2018). Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. *Boletín Oficial del Estado*, 97430 a 97467. Obtenido de Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.
- Martín-Consuegra Ávila, F. (2019). Análisis de datos espaciales para la erradicación de la pobreza energética en la rehabilitación urbana: el caso de Madrid. *Análisis de datos espaciales para la erradicación de la pobreza energética en la rehabilitación urbana: el caso de Madrid*. Madrid: UPM.
- Mercado Ibérico del Gas. (febrero de 2022). *MIBGAS. Mercado Ibérico del Gas*. Obtenido de MIBGAS. Mercado Ibérico del Gas: <https://www.mibgas.es/>
- Ministerio de Fomento. (2011). Obtenido de Ficha AEV (Área Estadística Vulnerable): 28079057: https://cdn.mitma.gob.es/barriosvulnerables/static/fe/IBVU_ESTADISTICA_2011_28079057.pdf
- Ministerio de Fomento. (octubre de 2013). *Documento de Apoyo al Documento Básico HE. DA-DB-HE2*. España.

Ministerio de Fomento. (enero de 2014). *Documento de Apoyo al Documento Básico HE. DA-DB-HE3*. España.

Ministerio de Fomento. (2015). Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana. *Boletín Oficial del Estado n.º 261*.

Ministerio de Fomento (20 de Diciembre de 2019). Documento Básico HE Ahorro de Energía. *Documento Básico HE Ahorro de Energía*. España.

Ministerio de la Presidencia. (6 de julio de 1979). *Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79. Condiciones térmicas de los edificios*. España.

Ministerio de la Presidencia. (5 de abril de 2013). 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. *Boletín Oficial del Estado n.º 89*, 27548 a 27562.

Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. (1 de junio de 2021). 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. *Boletín Oficial del Estado n.º121*, 67351 a 67373.

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2011). *Visor del Catálogo de Barrios Vulnerables*. Obtenido de <https://portalweb.mitma.es/aplicaciones/portalweb/BarriosVulnerables>

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (Junio de 2020). *ERESEE 2020. Actualización 2020 de la Estrategia a Largo Plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España*.

Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana. (Enero de 2020). *Documento de Apoyo al Documento Básico HE. DA-DB-HE1*. España.

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2020). *Visados de dirección de obra de los Colegios de Arquitectos Técnicos (Obras en edificación)* . Obtenido de <https://www.fomento.gob.es/BE/?nivel=2&orden=09000000>

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (s.f.). *Agenda Urbana Española*.
Obtenido de Agenda Urbana Española: https://www.aue.gob.es/que-es-la-aue#Agenda_Urbana_Espanola

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (s.f.). *Visor del Catálogo de Barrios Vulnerables*. Obtenido de Visor del Catálogo de Barrios Vulnerables:
<https://portalweb.mitma.es/aplicaciones/portalweb/BarriosVulnerables>

Ministerio para la Transición Ecológica. (5 de Abril de 2019). *Estrategia Nacional Contra la Pobreza Energética 2019-2024*.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020.). *Estrategia de descarbonización a largo plazo 2050*. España.

Ministerio para la Transición Energética y el Reto Demográfico. (2020). *La Energía en España 2018*. Madrid, Madrid, España.

Ministerio para la Transición Energética y el Reto Demográfico. (2021). *Memoria justificativa de la propuesta de orden por la que se establecen las obligaciones de aportación al Fondo Nacional de Eficiencia Energética en el año 2022*. Madrid.

Ministerio para la Transición Energética y el Reto Demográfico (2022). Geoportal. Obtenido de: <https://geoportalgasolineras.es/#/Inicio>

Naciones Unidas. (Diciembre de 2015). *Acuerdo de París*. París

Organización Mundial para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (30 de noviembre de 2015). *El cambio climático golpea más duramente a los pobres y hambrientos*. Obtenido de <https://www.fao.org/news/story/es/item/350753/icode/>

Parlamento Europeo y Consejo Europeo. (4 de enero de 2003). Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 65 a 71.

Parlamento Europeo y Consejo 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. *Diario Oficial de la Unión Europea n.º153*, 13 a 35.

- Puij Sellens, J. (2014). Auditoria energética, en un edificio existente, de una vivienda unifamiliar entre medianeras. *Auditoria energética, en un edificio existente, de una vivienda unifamiliar entre medianeras*. Universitat Politècnica de València.
- Red Eléctrica de España. (2022). *Red Eléctrica de España: Mercados*. Obtenido de Red Eléctrica de España: Mercados: <https://www.ree.es/es/datos/mercados>
- Repsol. (febrero de 2022). *Repsol Particulares*. Obtenido de Repsol Particulares: <https://www.repsol.es/particulares/hogar/bombona-butano-propano/precio/>
- Selectra. (2022). *Preciogas*. Obtenido de Preciogas: <https://preciogas.com/faq/precio-kwh>
- Statista. (4 de febrero de 2022). *Precio medio final anual de la electricidad en España de 2010 a 2022*. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/993787/precio-medio-final-de-la-electricidad-en-espana/>
- SUCO Morteros. (2022). Obtenido de <http://sucomorteros.com/productos/mortero-proyectable-W2>
- TrinaSolar (2022). Modules. Obtenido de <https://www.trinasolar.com/en-glb/resources/downloads#TSM-DD05A-08-2>
- Tobajas, M. C. (2017). *Energía solar térmica para instaladores (5a. ed.)*. Carlos Pina.
- United Nation Environment Programme. (2020). *2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*. Nairobi, Kenya.

Bibliografía

- AEICE Construcción Eficiente. (2018). Estrategias para Edificios de Energía Casi Nula.
- Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. (2022). Boletín Oficial del Estado. España. Obtenido de <https://boe.es/>
- Ararteko. (Octubre de 2017). El marco jurídico de pobreza energética. Obtenido de https://www.ararteko.eus/RecursosWeb/DOCUMENTOS/1/2_4379_3.pdf
- Comisión Europea. (2019). Fourth report on the State of the Energy Union.
- Comisión Europea. (Diciembre de 2019). El Pacto Verde Europeo. Bruselas
- Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía. (junio de 2010). Guía Técnica de Condiciones Climáticas exteriores de Proyecto. Madrid, Madrid, España: IDAE.
- Ministerio de Fomento. (Noviembre de 2015). Calificación de la Eficiencia Energética de los Edificios.
- Ministerio de Fomento. (febrero de 2017). Documento descriptivo climas de referencia. España.
- Moreno, J. F. (2021). Política monetaria, desigualdad y crisis climática. *International Review of Economic Policy*, 3(2), 1-16.
- Presidencia del Gobierno. (6 de julio de 1979). Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios. Boletín Oficial del Estado n.º 253, 24524 a 24550.
- Secretaría de Estado de Energía, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). Bono Social. Obtenido de Bono Social: <https://www.bonosocial.gob.es/>
- World Green Building Council. (Septiembre de 2021). WorldGBC Net Zero Carbon Buildings Commitment. Introduction: Businesses & Organisations. WorldGBC Net Zero Carbon Buildings Commitment. Introduction: Businesses & Organisations.