MÁSTER UNIVERSITARIO EN TRANSICIÓN ENERGÉTICA RENOVABLE

MODULO X: TRABAJO FIN DE MÁSTER

ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA VIVIENDA TIPO DE UN EDIFICIO RESIDENCIAL EN LEGANÉS: ESTIMACIÓN DEL IMPACTO GLOBAL

ALUMNA: KARLA FRANSHESKA ICAZA DIAZ

NÚMERO DE EXPEDIENTE: 22416229

PROFESOR (A): SANTIAGO RUIZ LAISECA

07 DE SEPTIEMBRE DEL 2025

RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Máster analiza la eficiencia energética de un edificio residencial situado en la Calle Bárdenas 4, en Leganés (Madrid), representativo de la tipología constructiva de mediados del siglo XX. La investigación parte del diagnóstico del consumo actual a nivel de una vivienda tipo, estimado en un rango de 7.954–9.200 kWh/año, con un predominio de la calefacción a gas natural. Posteriormente, los resultados se extrapolan al conjunto del edificio, compuesto por 38 viviendas, lo que permite dimensionar el impacto energético y ambiental a escala comunitaria.

Se proponen medidas de mejora basadas en tres ejes principales: rehabilitación pasiva de la envolvente mediante aislamiento en fachadas (SATE) y sustitución de carpinterías, modernización activa de sistemas con la incorporación de aerotermia y autoconsumo fotovoltaico, y la optimización digital mediante domótica, sensorización IoT y algoritmos de inteligencia artificial. Los cálculos muestran ahorros energéticos relevantes, una reducción de emisiones de CO_2 en el rango del 40-45 % y mejoras en el confort de los usuarios.

Desde la perspectiva económica, las medidas con mayor atractivo por su bajo periodo de retorno son la fotovoltaica (4 años), la domótica (13 años) y la inteligencia artificial (21 años), mientras que el aislamiento y la aerotermia requieren apoyo de subvenciones públicas. Este estudio evidencia la necesidad de una estrategia integral de rehabilitación energética en el parque edificatorio español y aporta un caso práctico alineado con los objetivos europeos de descarbonización y eficiencia.

ABSTRACT

This Master's Thesis analyses the energy efficiency of a residential building located at Calle Bárdenas 4, in Leganés (Madrid), representative of the mid-20th-century Spanish housing stock. The research starts with the assessment of the current energy consumption at the level of a typical dwelling, estimated between 7,954 and 9,200 kWh/year, with heating supplied by natural gas accounting for approximately 55 % of the total. Results are then extrapolated to the entire building, consisting of 38 dwellings, in order to evaluate energy and environmental impacts at community scale.

The proposed improvement measures follow three main strategies: passive rehabilitation of the building envelope through external thermal insulation (SATE) and replacement of windows, active system modernization with the integration of aerothermal heat pumps and rooftop photovoltaic generation, and the digital optimization by implementing home automation, IoT-based monitoring and artificial intelligence algorithms. The calculations show significant energy savings, a reduction of CO_2 emissions in the range of 40-45 %, and improved indoor comfort for residents.

From the economic perspective, the most attractive measures due to their low payback periods are photovoltaic systems (4 years), home automation (13 years), and artificial intelligence (21 years), while insulation and aerothermal solutions require public subsidies to be feasible. This study highlights the need for a comprehensive strategy for energy retrofitting in the Spanish residential sector and provides a practical case aligned with European decarbonization and efficiency goals.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN 2
ABSTRACT 3
1. INTRODUCCIÓN 8
1.1. Contexto de la transición energética en España 8
1.2. Problemática del sector residencial 9
1.3. Objetivos del trabajo 13
1.4. Justificación académica y práctica 14
1.5. Metodología empleada 15
2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE 17
2.1. Sostenibilidad y eficiencia energética en la edificación 17
2.2. Normativa española y europea 18
2.3. Tecnologías actuales de eficiencia 21
2.4. Energías renovables aplicables a edificios residenciales 24
2.5. Innovación: Inteligencia Artificial e IoT en gestión energética 27
2.6. Casos de referencia 29
3. CARACTERIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO 30
3.1. Descripción del edificio de Calle Bárdenas 4 (Leganés) 30
3.2. Tipología constructiva y características generales 39
3.3. Datos climáticos de Leganés 41
3.4. Consumo energético medio en viviendas de la Comunidad de Madrid 43
3.5. Hipótesis de trabajo: selección de una vivienda tipo 44
4. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO ACTUAL 46
4.1. Estimación del consumo eléctrico y térmico de la vivienda. 46
4.2. Reparto por usos: calefacción, ACS, electrodomésticos, iluminación. 51
4.3. Comparación con consumos promedio en Madrid. 54
4.4. Estimación de emisiones de CO_2. 55
4.5. Extrapolación al edificio completo (38 viviendas). 57
5. PROPUESTAS DE MEJORA 59
5.1. Aislamiento térmico en cerramientos. 59
5.2. Sustitución de carpinterías y vidrios. 61
5.3. Sistemas de climatización eficientes (aerotermia). 62
5.4. Producción renovable (placas fotovoltaicas en cubierta). 63

5.5. Domótica e IoT para monitorización y control de consumos. 64
5.6. Inteligencia Artificial para optimización de la climatización. 65
6. ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL 66
6.1. Coste de las medidas propuestas. 66
6.2. Estimación de ahorro energético (kWh/año). 66
6.3. Ahorro económico (€/año). 67
6.4. Reducción de emisiones de CO_2 (kg/año). 67
6.5. Período de retorno de inversión (Payback). 67
6.6. Escalado al edificio completo (impacto global). 71
7. GESTIÓN DE RESIDUOS 72
8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 73
8.1. Comparación con estudios similares en España y Europa. 73
8.2. Beneficios sociales y ambientales de aplicar mejoras. 73
8.3. Limitaciones del estudio (falta de datos de envolvente, uso de valores de referencia). 74
8.4. Proyección futura con tecnologías emergentes. 74
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 75
9.1. Conclusiones vinculadas a los objetivos del trabajo 75
9.2. Recomendaciones para el edificio y sus residentes. 76
9.3. Relevancia académica del trabajo. 76
9.4. Posibles líneas de investigación futura. 76
10. BIBLIOGRAFÍA 77
11. ANEXOS 80

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Energías fósiles vs renovables 10
Ilustración 2 Vivienda sin aislamiento térmico vs con aislamiento térmico 11
Ilustración 3 Zonas climáticas en España 12
Ilustración 4 Objetivo principal y específicos para el análisis de vivienda tipo en un edifico de Leganés. 14
Ilustración 5 Neutralidad climática de edificios para el 2050 17
Ilustración 6 Distribución del consumo energético residencial en España (2023). 18
Ilustración 7 Hoja de Ruta para la descarbonización del Sector de la Edificación en el 2050 19
Ilustración 8 Mejora del balance energético en ventanas 22
Ilustración 9 Funcionamiento de una bomba de calor 23
Ilustración 10 Domótica con on smart aplicada a la eficiencia energética 24
Ilustración 11 Producción anual aprovechada y desaprovechada GWh por autoconsumo 26
Ilustración 12 Aerotermia como energía renovable 26
Ilustración 13 Optimización de la climatización 27
Ilustración 14 Internet de las cosas para mejora de eficiencia energética en viviendas 28
Ilustración 15 Croquis catastral calle Bárdenas 4 30
Ilustración 16 Medidas del edificio calle Bárdenas 4 (Catastro) 31
Ilustración 17 Edificio calle Bárdenas 4 en vista isométrica (Catastro) 32
Ilustración 18 Croquis planta baja calle Bárdenas 4 (Catastro) 33
Ilustración 19 Croquis plantas 1 a 9 calle Bárdenas 4 (Catastro) 33
Ilustración 20 Fachada calle Bárdenas (Catastro) 34
Ilustración 21 Fachada posterior calle Bárdenas (Catastro) 35
Ilustración 22 Vista panorámica calle Bárdenas 2, 4 y 6 36
Ilustración 23 Croquis catastral edificio calle Bárdenas 4 39
Ilustración 24 Vista isométrica vivienda tipo (catastro) 46
Ilustración 25 Reparto porcentual de consumo en vivienda tipo 49
Ilustración 26 Consumo anual por vivienda: escenarios del estudio frente a la media IDAE 55
Ilustración 27 Emisiones por uso – Escenario B (porcentaje por vivienda) 56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Consumo anual por uso y portador energético (vivienda tipo, 9.200 kWh/año) 48
Tabla 2 Consumo anual por uso y portador (vivienda tipo, escenario calibrado) 48
Tabla 3 Consumos mensuales de electricidad y gas natural en vivienda tipo 50
Tabla 4 Escenario A con datos de IDAE 52
Tabla 5 Escenario B con datos reales de facturas 53
Tabla 6 Consumo anual por vivienda y diferencias respecto al IDAE (Comunidad de Madrid) 54
Tabla 7 Emisiones por uso y portador. Escenario A (vivienda tipo) 56
Tabla 8 Emisiones por uso y portador. Escenario B (vivienda tipo, calibrado) 56
Tabla 9 Consumo anual total del edificio (38 viviendas) 57
Tabla 10 Emisiones anuales del edificio (38 viviendas) 57
Tabla 11 SATE y cubierta: ahorro e inversión 60
Tabla 12 Ventanas: ahorro e inversión 61
Tabla 13 Aerotermia centralizada: balance por vivienda y edificio 63
Tabla 14 Fotovoltaica compartida: energía e inversión 64
Tabla 15 Domótica/IoT: ahorro e inversión 65
Tabla 16 IA de optimización: ahorro e inversión 65
Tabla 17 Coste de las medidas propuestas (38 viviendas) 66
Tabla 18 Estimación de ahorro energético (kWh/año) para 38 viviendas 66
Tabla 19 Ahorro económico (€/año) para 38 viviendas 67
Tabla 20 Reducción de emisiones de CO_2 (kg/año) para 38 viviendas 67
Tabla 21 Payback SATE 68
Tabla 22 Payback ventanas 68
Tabla 23 Payback IA 68
Tabla 24 Payback IoT 69
Tabla 25 Payback fotovoltaica 69
Tabla 26 Payback aerotermia 70
Tabla 27 Período de retorno de inversión (Payback) 70
Tabla 28 Escalado al edificio completo (impacto global de ahorro energético) 71

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto de la transición energética en España

La transición energética constituye uno de los pilares estratégicos para alcanzar la neutralidad climática de la Unión Europea en 2050. En este marco, España se encuentra en un proceso de transformación profunda de su sistema energético, alineado con los objetivos climáticos de la Unión Europea y con compromisos internacionales como el Acuerdo de París. Este proceso, conocido como transición energética, busca reducir de manera progresiva la dependencia de los combustibles fósiles y fomentar el uso de energías renovables, la eficiencia energética y la descarbonización de la economía.

El sector residencial desempeña un papel crucial en esta transición, ya que representa aproximadamente el 17% del consumo final de energía en España (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía [IDAE], 2020). La demanda energética de los edificios se concentra principalmente en calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) y, en menor medida, en refrigeración e iluminación.

Uno de los hitos más importantes fue la aprobación del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030, que plantea reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del 23 % respecto a 1990 para el año 2030, aumentar la participación de las energías renovables hasta un 42 % sobre el consumo final bruto y mejorar la eficiencia energética en un 39,5 % (MITECO, 2021).

En paralelo, España ha impulsado políticas de cierre de centrales de carbón, que entre 2010 y 2021 redujeron su peso en la generación eléctrica del 15 % a menos del 2 %. Al mismo tiempo, las energías renovables —especialmente la eólica y la solar fotovoltaica— han experimentado un crecimiento acelerado. En 2023, las renovables representaron más del 50 % de la generación eléctrica nacional, convirtiendo a España en uno de los países líderes en Europa en capacidad instalada de energía solar y eólica (Red Eléctrica de España, 2023).

La transición energética en España no se limita únicamente al sector eléctrico, sino que también incluye medidas en el transporte, la edificación y la industria. En el caso concreto de la edificación, donde se enmarca esta tesis, el reto es reducir el alto consumo energético asociado a la climatización y al agua caliente sanitaria, que representa en promedio más del 40 % de la energía final de los hogares (IDAE, 2020). Programas como el Plan de Rehabilitación Energética de Edificios (PREE) y los fondos europeos Next Generation EU están aportando financiación para impulsar mejoras en eficiencia energética, rehabilitación del revestimiento térmico, y la integración de energías renovables en el parque residencial.

En este sentido, España afronta la transición energética como una oportunidad no solo para reducir emisiones, sino también para modernizar su economía, generar empleo en sectores verdes, mejorar la calidad del aire en las ciudades y garantizar un suministro energético más seguro y menos dependiente de las importaciones fósiles.

En este contexto global y nacional, resulta fundamental trasladar los objetivos de la transición energética a casos concretos que permitan dimensionar su viabilidad técnica, económica y ambiental. El presente estudio se centra en un edificio residencial ubicado en el municipio de Leganés (Madrid), caracterizado por la ausencia de aislamiento térmico y el uso de sistemas convencionales de calefacción y agua caliente. Analizar la eficiencia energética de una de sus viviendas y extrapolar los resultados al conjunto del bloque no solo permite identificar oportunidades de mejora en este caso específico, sino también aportar un modelo replicable en otras zonas urbanas con tipologías similares, contribuyendo así a los objetivos de descarbonización y eficiencia marcados por España y la Unión Europea.

1.2. Problemática del sector residencial

Uno de los principales problemas es la antigüedad del parque de viviendas. Más de la mitad de las viviendas en España se construyeron antes de 1980, cuando no existían normativas específicas de eficiencia energética. Esto significa que muchos edificios presentan un aislamiento deficiente, carpinterías antiguas con importantes pérdidas térmicas y sistemas de climatización poco eficientes. En consecuencia, la demanda energética es mucho mayor de la que tendría un edificio moderno con buenas prestaciones.

A esta situación se suma la escasa tasa de rehabilitación energética. Según datos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO, 2021), solo un pequeño porcentaje del parque edificado se renueva cada año, y en muchos casos las intervenciones no tienen en cuenta criterios de eficiencia energética. Esto genera un círculo vicioso: los edificios antiguos consumen más, pero no se rehabilitan por falta de inversión o concienciación.

Otro problema relevante es la dependencia de fuentes de energía no renovables, especialmente en calefacción y agua caliente sanitaria, donde todavía se utilizan sistemas de gas natural, gasóleo o incluso carbón en algunos casos aislados. Aunque el sector eléctrico ha avanzado en la integración de renovables, el uso de combustibles fósiles en el ámbito residencial sigue siendo elevado, lo que incrementa las emisiones de gases de efecto invernadero.



Ilustración 1 Energías fósiles vs renovables

La pobreza energética también constituye un desafío importante. Se estima que más del 14 % de los hogares en España tienen dificultades para mantener su vivienda a una temperatura adecuada durante el invierno o el verano (Eurostat, 2022). Esto no solo tiene implicaciones sociales y económicas, sino también consecuencias directas en la salud y bienestar de las personas. De acuerdo con el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2020), los edificios consumen alrededor del 30 % de la energía final del país, y una gran parte de este gasto se produce en calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.

Finalmente, otro aspecto problemático es la falta de digitalización y monitorización del consumo en los hogares. La mayoría de las viviendas carece de sistemas inteligentes que permitan medir, controlar y optimizar el uso de la energía en tiempo real. Esto limita la capacidad de las familias para tomar decisiones informadas y reducir su gasto energético.

En conjunto, la problemática del sector residencial español combina factores técnicos (edificios antiguos y poco eficientes), económicos (altos costes de rehabilitación y dependencia de combustibles fósiles) y sociales (pobreza energética y falta de concienciación). Todo esto convierte a la edificación en un campo prioritario dentro de la transición energética, ya que es uno de los ámbitos donde existen más posibilidades de mejorar la eficiencia, reducir emisiones y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

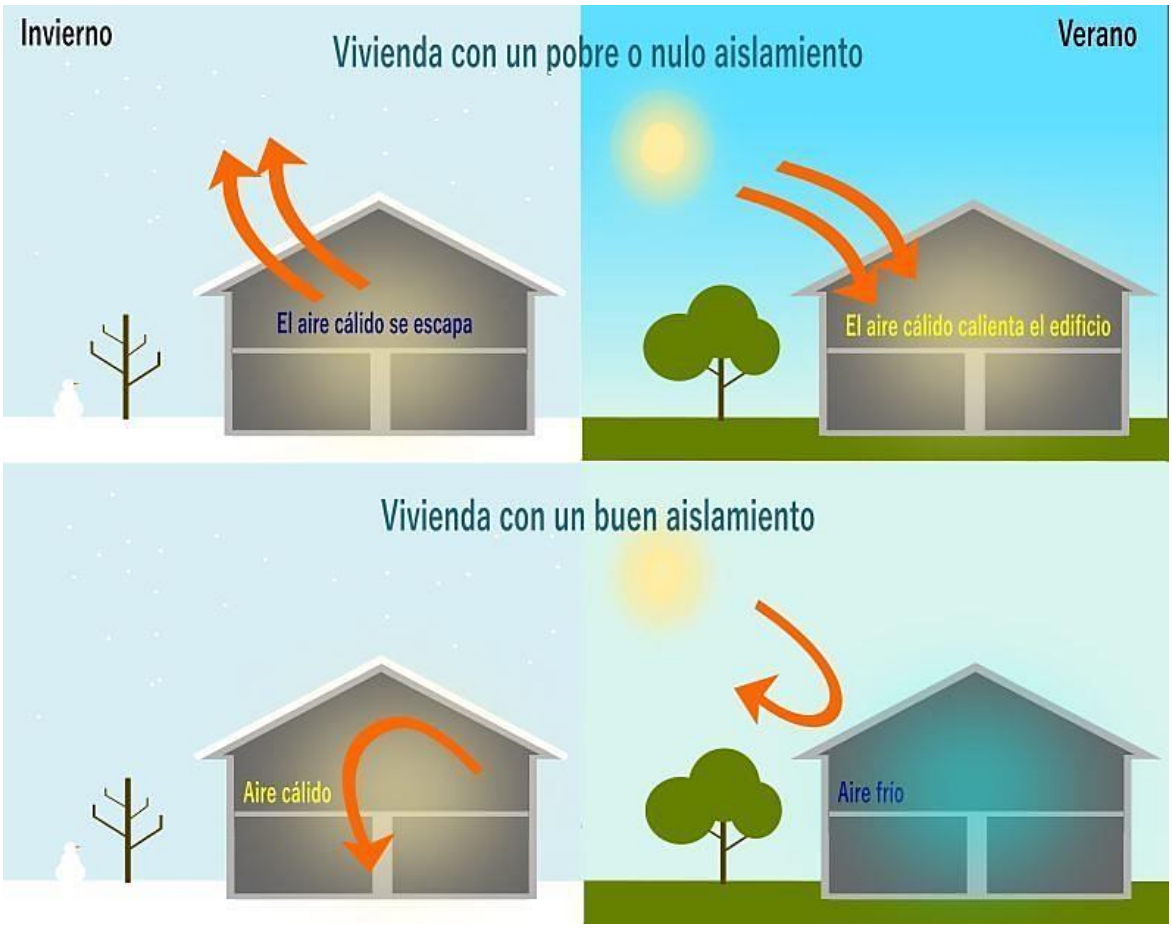


Ilustración 2 Vivienda sin aislamiento térmico vs con aislamiento térmico

El parque edificatorio español se caracteriza por una elevada antigüedad y baja calidad constructiva en términos de aislamiento térmico. Más del 55% de los edificios residenciales fueron construidos antes de 1980, año en que no existía normativa de eficiencia energética obligatoria (Observatorio de la Vivienda y Suelo, 2022). Esto implica consumos energéticos elevados, altos costes para los usuarios y emisiones significativas de CO_2 asociadas.

En zonas climáticas como la Comunidad de Madrid (clasificada como D3 según el Código Técnico de la Edificación), las necesidades de calefacción en invierno son especialmente relevantes, lo que aumenta la vulnerabilidad energética de los hogares y agrava la pobreza energética (García Navarro & Jiménez, 2019).

Provincia	Altitud sobre el nivel del mar (h)																								
	≤ 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	111 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m	301 - 350 m	351 - 400 m	401 - 450 m	451 - 500 m	501 - 550 m	551 - 600 m	601 - 650 m	651 - 700 m	701 - 750 m	751 - 800 m	801 - 850 m	851 - 900 m	901 - 950 m	951 - 1000 m	1001 - 1050 m	1051 - 1250 m	251 - 300 m	≥ 1301 m
Albacete	C3									D3										E1				
Alicante/Alacant	B4					C3									D3									
Almería	A4		B4			B3			C3							D3								
Araba/Alava	D1												E1											
Asturias	C1		D1										E1											
Avila	D2												D1				E1							
Badajoz	C4								C3				D3											
Balears, Illes	B3					C3																		
Barcelona	C2					D2				D1						E1								
Bizkaia	C1					D1																		
Burgos	D1												E1											
Cáceres	C4												D3									E1		
Cádiz	A3			B3					C3				C2				D2							
Cantabria	C1				D1									E1										
Castellón/Castelló	B3			C3						D3			D2								E1			
Ceuta	B3																							
Ciudad Real	C4								C3			D3												
Córdoba	B4				C4							D3												
Coruña, A	C1					D1																		
Cuenca	D3														D2							E1		
Gipuzkoa	D1								E1															
Girona	C2					D2							E1											
Granada	A4		B4					C4				C3				D3								E1
Guadalajara	D3																			D2		E1		
Huelva	A4		B4		B3				C3							D3								
Huesca	C3				D3				D2						E1									
Jaén	B4							C4							D3								E1	
León	E1																							
Lleida	C3				D3								E1											
Lugo	D1										E1													
Madrid	C3										D3									D2		E1		
Málaga	A3		B3					C3							D3									
Melilla	A3																							
Murcia	B3				C3							D3												
Navarra	C2			D2				D1					E1											
Ourense	C3			C2				D2								E1								
Palencia	D1															E1								
Palmas, Las	α3								A2						B2							C2		
Pontevedra	C1								D1															
Rioja, La	C2				D2										E1									
Salamanca	D2																E1							
Santa Cruz de Tenerife	α3								A2						B2							C2		
Segovia	D2																						E1	
Sevilla	B4												C4											
Soria	D2															D1				E1				
Tarragona	B3				C3								D3											
Teruel	C3									C2				D2								E1		
Toledo	C4													D3										
Valencia/València	B3				C3									D2							E1			
Valladolid	D2																			E1				
Zamora	D2																			E1				
Zaragoza	C3					D3										E1								

Ilustración 3 Zonas climáticas en España

1.3. Objetivos del trabajo

El presente trabajo tiene como objetivo principal realizar un análisis detallado de la situación energética de una vivienda representativa dentro de un edificio residencial ubicado en Leganés (Madrid). A partir de este diagnóstico, se busca proponer un conjunto de medidas que permitan mejorar la eficiencia energética de la vivienda, reducir los consumos asociados a climatización, agua caliente sanitaria e iluminación, e integrar fuentes renovables que contribuyan a la descarbonización. Finalmente, los resultados obtenidos a escala de la vivienda se proyectarán al conjunto del edificio, con el fin de estimar el impacto global de la intervención.

Este objetivo central se complementa con una serie de objetivos específicos, que dan estructura al trabajo y permiten avanzar de manera ordenada en cada etapa:

- Diagnosticar el consumo energético estimado de la vivienda tipo a partir de datos oficiales, estadísticas nacionales (como las del IDAE y el MITECO) y registros de consumo eléctrico reales de la vivienda. Esto permitirá establecer una línea base sobre la cual se medirán los efectos de las mejoras propuestas.
- Identificar medidas de mejora en la envolvente, las instalaciones y los sistemas de control, considerando tanto soluciones convencionales (aislamiento, cambio de carpinterías, iluminación eficiente) como medidas innovadoras (domótica, monitorización en tiempo real, optimización mediante inteligencia artificial).
- Estimar el ahorro energético, económico y ambiental derivado de las medidas propuestas. Esto incluye calcular la reducción en kWh de electricidad, el ahorro económico en la factura energética y la disminución de emisiones de CO_2 asociadas.
- Extrapolar los resultados de la vivienda al conjunto del edificio, que cuenta con un total de nueve plantas y varias viviendas por planta. Con ello se busca obtener un valor estimado del ahorro total a nivel de comunidad, lo que aporta mayor relevancia práctica al estudio.
- Evaluar la viabilidad de soluciones innovadoras en la gestión energética residencial, como la aplicación de Internet de las Cosas (IoT) para la monitorización de consumos o el uso de algoritmos de inteligencia artificial para la optimización del confort y la reducción de la demanda energética.



Ilustración 4 Objetivo principal y específicos para el análisis de vivienda tipo en un edifico de Leganés.

Elaboración propia.

En resumen, el trabajo no solo persigue identificar dónde y cómo se consume energía en una vivienda tipo, sino también demostrar que, mediante una combinación de mejoras técnicas y herramientas digitales, es posible alcanzar ahorros significativos en el consumo y las emisiones, al mismo tiempo que se mejora la habitabilidad y se contribuye a los objetivos de sostenibilidad marcados por España y la Unión Europea.

1.4. Justificación académica y práctica

La mejora de la eficiencia energética en el sector residencial responde hoy en día a una doble necesidad. Por un lado, es un requisito para cumplir con los compromisos internacionales asumidos por España en materia de sostenibilidad y descarbonización. Por otro, constituye una respuesta práctica a los problemas cotidianos de los hogares: el elevado consumo de energía, el encarecimiento de las facturas y la dificultad de mantener un nivel adecuado de confort en la vivienda.

Desde el punto de vista académico y técnico, este trabajo aporta un enfoque metodológico útil al analizar una vivienda tipo y extrapolar sus resultados al conjunto de un edificio residencial. Esta estrategia permite entender, de manera sencilla y realista, cómo un caso representativo puede servir de base para estimar ahorros energéticos y económicos a mayor escala. Asimismo, contribuye al conocimiento sobre las posibilidades de integrar tecnologías de eficiencia y energías renovables en edificios residenciales, lo cual es especialmente relevante en un país como España, donde gran parte del parque de viviendas se construyó antes de que existieran normativas de eficiencia energética.

En el plano práctico y social, los resultados de este trabajo pueden servir de orientación tanto para comunidades de vecinos como para las administraciones públicas. Para las comunidades, porque muestra qué medidas son más efectivas para reducir consumos y mejorar el confort en sus hogares; y para las administraciones, porque aporta evidencias que justifican la necesidad de seguir destinando recursos a programas de rehabilitación energética. Este aspecto se conecta directamente con iniciativas como los fondos europeos Next Generation EU, que priorizan la regeneración urbana y la mejora de la eficiencia de edificios, en línea con la Estrategia a Largo Plazo para la Rehabilitación Energética en España (MITECO, 2021).

En definitiva, este estudio tiene un valor académico al generar conocimiento aplicable en el campo de la eficiencia energética y un valor práctico al ofrecer soluciones reales que pueden trasladarse tanto a la escala individual (una vivienda) como a la colectiva (un bloque residencial completo).

1.5. Metodología empleada

Para llevar a cabo este estudio se ha seguido una metodología estructurada en distintas fases, que permiten mantener el rigor académico y, al mismo tiempo, asegurar que los resultados puedan aplicarse de manera práctica. El trabajo se apoya en datos oficiales, bibliografía técnica y valores de referencia representativos del sector residencial en España.

La metodología empleada en este Trabajo de Fin de Máster se basa en un enfoque aplicado que combina datos reales y referencias oficiales. En primer lugar, se caracterizó la vivienda tipo del edificio de Calle Bárdenas 4 en Leganés a partir de información catastral, facturas energéticas y valores de referencia del IDAE y del CTE. A continuación, se estimó el consumo energético actual mediante un reparto por usos (calefacción, ACS, electrodomésticos, iluminación y refrigeración), calibrado con consumos eléctricos reales. Sobre esta base se definieron medidas de mejora en tres bloques: pasivas (aislamiento, ventanas), activas (aerotermia, fotovoltaica) y de gestión digital (IoT e inteligencia artificial). Para cada medida se calcularon los ahorros energéticos, económicos y ambientales utilizando precios de mercado y factores de emisión oficiales, y se determinó el periodo de retorno de la inversión (payback). Finalmente, los resultados obtenidos para la vivienda tipo se extrapolaron al conjunto del edificio (36 viviendas), lo que permitió evaluar el impacto global y contrastarlo con estudios similares en España y Europa.

Las fases de la metodología son las siguientes:

- Caracterización del edificio y de la vivienda tipo.

  Se realiza una descripción general del edificio de la Calle Bárdenas 4 (Leganés), utilizando información procedente del catastro, datos climáticos de la zona (clasificación D3 según el CTE) y valores de referencia publicados por organismos como el IDAE y el propio Código Técnico de la Edificación. Para el análisis se selecciona una vivienda representativa ubicada en planta intermedia, que se considera como modelo de referencia.

- Estimación del consumo actual.

  El consumo energético de la vivienda tipo se calcula a partir de datos estadísticos y estudios representativos sobre el sector residencial en la Comunidad de Madrid. También se tienen en cuenta consumos reales disponibles (por ejemplo, facturas eléctricas) y la distribución típica por usos: calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, electrodomésticos e iluminación.

- Definición de medidas de mejora.

  Se plantean actuaciones tanto pasivas (mejoras en las fachadas: aislamiento, sustitución de carpinterías, reducción de puentes térmicos), como activas (renovación de sistemas de climatización y ACS, iluminación eficiente) y de innovación (digitalización mediante IoT, uso de inteligencia artificial para la gestión energética y propuestas de integración de energías renovables).

- Cálculo del ahorro energético, económico y ambiental.

  A partir de los consumos de referencia, se estiman los ahorros potenciales que supondrían las medidas de mejora, expresados en kWh de energía final, euros de ahorro en la factura y reducción de emisiones de CO_2. Posteriormente, estos resultados se extrapolan al conjunto del edificio, con el fin de dimensionar el impacto global de las medidas en las 38 viviendas.

- Discusión de resultados.

  Se comparan los hallazgos con estudios previos y experiencias similares en rehabilitación energética, identificando las limitaciones del análisis y los posibles márgenes de incertidumbre. Además, se presentan las perspectivas de futuro, considerando la evolución normativa y tecnológica en España y la Unión Europea.

Esta metodología adoptada permite analizar con solidez la situación de una vivienda tipo y, al mismo tiempo, trasladar sus resultados al edificio en su conjunto. Esto garantiza que el trabajo tenga tanto validez académica como aplicabilidad práctica, sirviendo de referencia para futuras actuaciones de eficiencia energética en el sector residencial.

2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1. Sostenibilidad y eficiencia energética en la edificación

La sostenibilidad en el ámbito de la edificación se relaciona directamente con la reducción del consumo de recursos, la eficiencia en el uso de la energía y la disminución de las emisiones contaminantes. El sector de la construcción es responsable de alrededor del 40 % del consumo de energía final y del 36 % de las emisiones de gases de efecto invernadero en Europa (Comisión Europea, 2020). Estas cifras han llevado a tomar como prioridad la rehabilitación energética de edificios existentes como estrategia clave para alcanzar la neutralidad climática en 2050.



Ilustración 5 Neutralidad climática de edificios para el 2050

En el caso español, la política energética ha evolucionado hacia la promoción de edificios de consumo casi nulo (nZEB), así como hacia el cumplimiento de la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios. De este modo, el marco normativo actual promueve no solo la construcción de nuevas edificaciones más eficientes, sino también la rehabilitación de aquellas construidas antes de la entrada en vigor de normativas térmicas exigentes (MITECO, 2021).

Los datos más recientes publicados por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico muestran que el consumo energético en los hogares españoles está muy desequilibrado: la mayor parte se destina a iluminación y electrodomésticos, que en 2023 supusieron alrededor de tres cuartas partes del consumo total. En cambio, la calefacción, el agua caliente sanitaria y la cocina presentan valores mucho más reducidos, aunque no dejan de ser relevantes en términos de confort y emisiones.

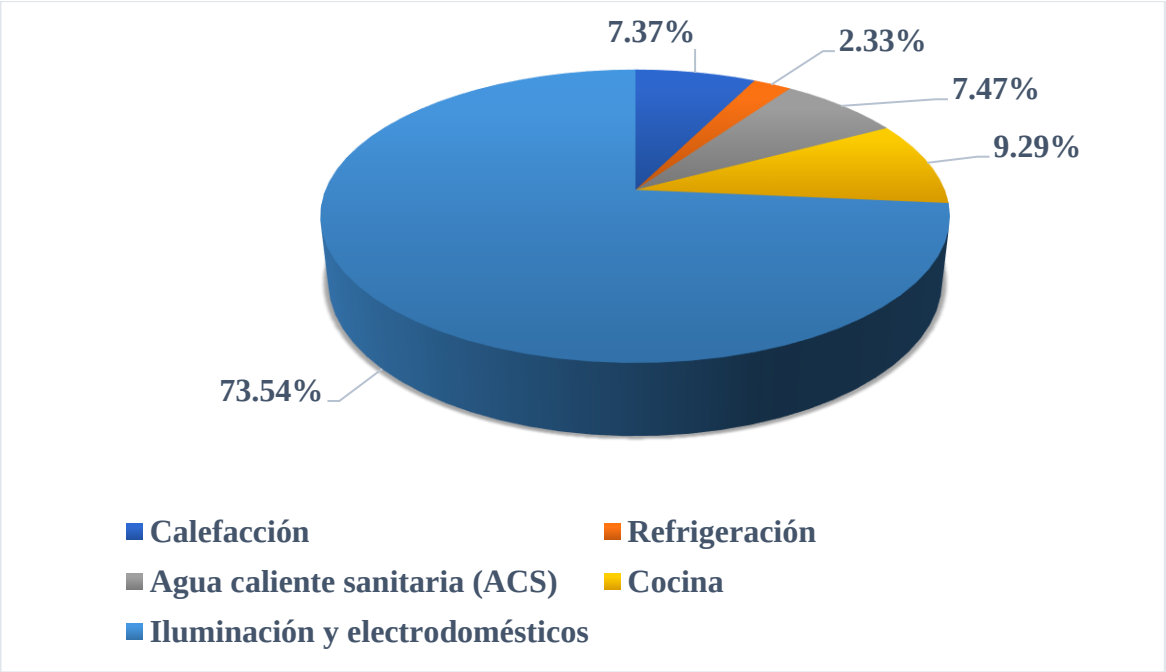


Ilustración 6 Distribución del consumo energético residencial en España (2023).

Elaboración propia a partir de datos de MITECO (2023).

Estos resultados confirman que, si bien los esfuerzos de eficiencia suelen centrarse en climatización y ACS, también es fundamental actuar sobre los equipos eléctricos y los hábitos de consumo diario. Además, al comparar la serie histórica, se observa que mientras los usos ligados a la electricidad se mantienen relativamente estables, el uso de gas natural para calefacción y ACS ha experimentado un descenso en la última década, lo que refleja en parte la transición hacia tecnologías más eficientes y renovables.

2.2. Normativa española y europea

La normativa en materia de eficiencia energética y sostenibilidad ha avanzado mucho en los últimos años, tanto en la Unión Europea como en España. Estos marcos legales son la base que impulsa la transición hacia un modelo energético más limpio y que, en el caso del sector de la edificación, resultan fundamentales para entender la necesidad de rehabilitar viviendas y mejorar su comportamiento energético.

En el ámbito europeo, el principal pilar es la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios (EPBD, por sus siglas en inglés). Esta directiva obliga a los Estados miembros a garantizar que todos los edificios de nueva construcción sean de consumo de energía casi nulo (nZEB) y establece requisitos de certificación energética, inspección periódica de calderas y sistemas de climatización, así como medidas de rehabilitación en el parque inmobiliario existente. La EPBD se ha ido actualizando con el tiempo; su última revisión refuerza la necesidad de reducir las emisiones de los edificios y fomentar tecnologías renovables como la solar, la aerotermia o la biomasa.

Además, la Unión Europea cuenta con el Pacto Verde Europeo (European Green Deal), presentado en 2019, que fija como meta que Europa sea climáticamente neutra en 2050. Este gran plan va acompañado de estrategias específicas como la Oleada de Renovación (Renovation Wave), que busca duplicar la tasa anual de rehabilitación de edificios, ya que actualmente es muy baja y no permite alcanzar los objetivos de descarbonización.

En cuanto al ámbito nacional, España ha adaptado esta normativa europea a través de varios instrumentos. Uno de los más importantes es el Código Técnico de la Edificación (CTE), que establece las exigencias básicas de calidad en los edificios, incluyendo el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE). Este documento regula aspectos como el aislamiento del contorno constructivo, la eficiencia de las instalaciones térmicas y la contribución mínima de energías renovables en los edificios.

Otro marco relevante es el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030, que recoge los compromisos de España con la UE en términos de reducción de emisiones, mayor penetración de renovables y mejora de la eficiencia energética. En paralelo, la Ley de Cambio Climático y Transición Energética (2021) establece un marco jurídico para alcanzar la neutralidad climática en 2050, incluyendo medidas específicas en edificación, transporte e industria.



Ilustración 7 Hoja de Ruta para la descarbonización del Sector de la Edificación en el 2050

Asimismo, el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) define las condiciones de diseño, dimensionado y mantenimiento de los sistemas de climatización y agua caliente sanitaria, con el fin de garantizar tanto la eficiencia energética como la calidad del aire interior (IDAE, 2020). En paralelo, la Estrategia a Largo Plazo para la Rehabilitación Energética del Sector de la Edificación en España (ERESEE 2020) establece una hoja de ruta para alcanzar un parque inmobiliario descarbonizado en 2050 (MITECO, 2020).

A nivel práctico, se han puesto en marcha programas de financiación como el PREE (Programa de Rehabilitación Energética de Edificios) y las ayudas provenientes de los fondos europeos Next Generation EU, que buscan incentivar la rehabilitación integral del parque residencial. Estas medidas no solo promueven un menor consumo energético, sino que también ayudan a las familias a reducir costes y mejoran el confort en el hogar.

En resumen, tanto la normativa europea como la española están alineadas hacia el mismo objetivo: lograr un parque edificatorio más eficiente, menos dependiente de combustibles fósiles y capaz de integrar soluciones renovables y digitales. Para una vivienda como la analizada en este trabajo, estas normativas sirven de guía y también justifican la importancia de aplicar mejoras de eficiencia energética, ya que la legislación actual y futura tenderá a ser cada vez más exigente en esta materia.

2.3. Tecnologías actuales de eficiencia

Las tecnologías aplicadas a la eficiencia energética en viviendas han evolucionado de forma considerable en las últimas décadas. Su aplicación puede agruparse en tres grandes bloques: medidas pasivas, medidas activas y medidas de gestión. Cada una de ellas aborda un aspecto diferente del consumo energético en los hogares, y en conjunto permiten reducir la demanda, optimizar el uso de recursos y mejorar el confort de los residentes.

- Medidas pasivas:
  Las medidas pasivas son aquellas que actúan directamente sobre la envolvente térmica del edificio, es decir, sobre los elementos constructivos que separan el interior del exterior. Estas medidas no dependen del uso de equipos mecánicos, sino de la mejora física de la vivienda para reducir pérdidas y ganancias de calor no deseadas.
  Algunas de las más relevantes son:

  - Refuerzo del aislamiento térmico en fachadas, cubiertas y suelos, mediante sistemas como el SATE (Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior) o el insuflado de lana mineral en cámaras. El aislamiento reduce la demanda de calefacción en invierno y de refrigeración en verano.
  - Sustitución de carpinterías antiguas por nuevas ventanas con rotura de puente térmico. Estas evitan filtraciones de aire frío en invierno y pérdidas de aire acondicionado en verano.
  - Vidrios dobles o triples de baja emisividad, que permiten el paso de la luz, pero minimizan la transferencia de calor. En zonas con mucho sol se pueden incorporar vidrios con control solar.
  - Tratamiento de puentes térmicos, es decir, puntos débiles en la carcasa (como encuentros entre forjados y fachadas) del edificio que generan pérdidas energéticas.

  Se estima que con una combinación adecuada de estas medidas se puede reducir hasta en un 50 % la demanda de calefacción y refrigeración en edificios antiguos, lo que representa un ahorro muy significativo tanto en consumo como en emisiones (Fernández Bandera et al., 2017).

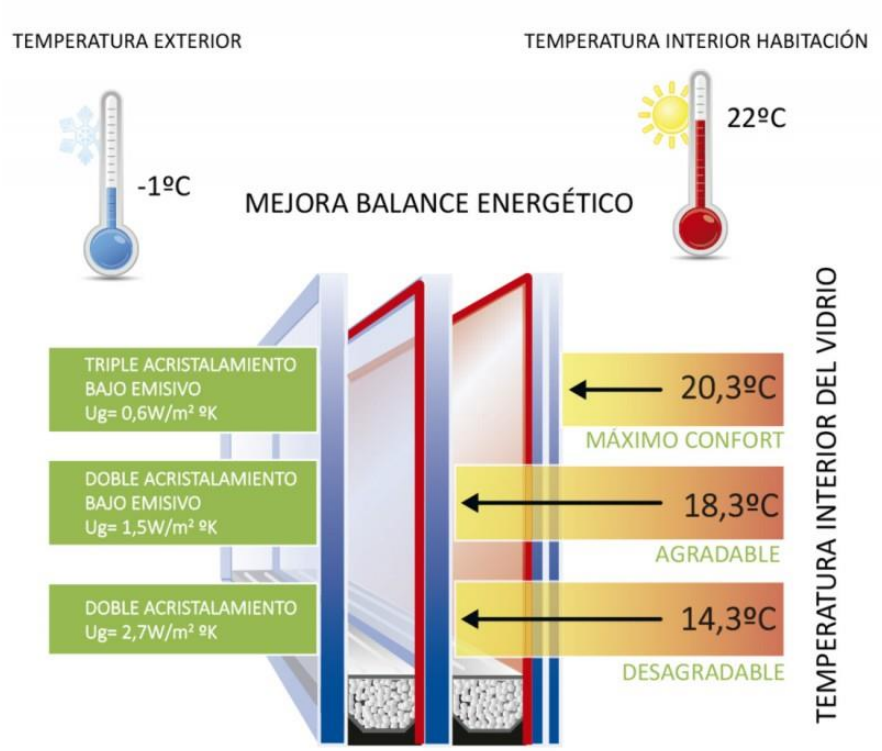


Ilustración 8 Mejora del balance energético en ventanas

- Medidas activas:
  Las medidas activas se refieren a los sistemas e instalaciones que consumen energía en el hogar. Mejorar su eficiencia supone obtener el mismo servicio con menos gasto energético.

  Entre las principales se encuentran:

  - Bombas de calor aerotérmicas:
    Equipos que extraen energía del aire exterior para calefacción, refrigeración y producción de agua caliente sanitaria. Por cada kWh eléctrico consumido pueden generar 3 a 4 kWh térmicos, lo que las convierte en una de las tecnologías más eficientes y con consideración de energía renovable según la UE.
  - Calderas de condensación:
    En viviendas donde todavía se utilizan calderas de gas, estas son mucho más eficientes que las convencionales porque aprovechan el calor latente del vapor de agua en los humos, alcanzando rendimientos superiores al 100 % sobre el poder calorífico inferior.
  - Sistemas de iluminación LED:
    Sustituyen a las bombillas incandescentes y fluorescentes. Además de reducir el consumo en un 70–80 %, tienen una vida útil mucho mayor, lo que disminuye costes de mantenimiento y residuos.
  - Electrodomésticos de alta eficiencia (clase A o superior):
    El consumo de neveras, lavadoras o aires acondicionados eficientes puede reducir en un 20–30 % el gasto eléctrico respecto a modelos convencionales.

El potencial de ahorro de estas medidas es variable, pero en conjunto pueden disminuir el consumo energético de una vivienda en torno a un 20–40 % (Prieto & Zabalza, 2018).

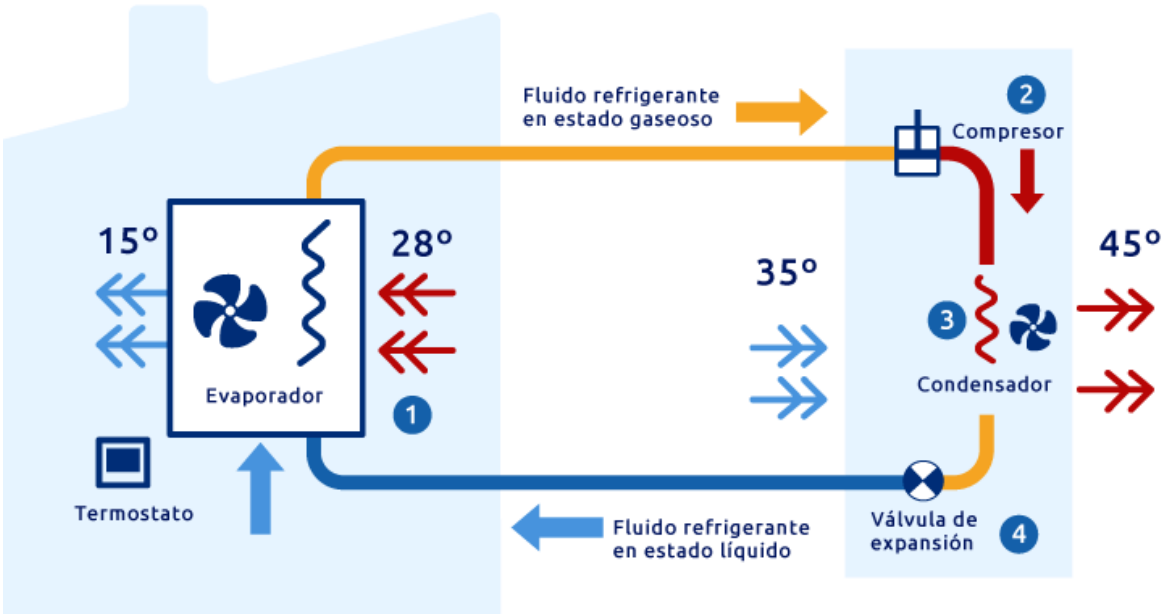


Ilustración 9 Funcionamiento de una bomba de calor

- <u>Medidas de gestión:</u>
  Las medidas de gestión no se centran en cambiar materiales ni equipos, sino en cómo se usan. Gracias a la digitalización y a la incorporación de tecnologías inteligentes, es posible optimizar el consumo adaptándolo a las necesidades reales de los usuarios.

  Algunos ejemplos son:

  - Domótica aplicada a la climatización:
    Termostatos inteligentes que ajustan la temperatura en función de la ocupación y de las condiciones meteorológicas.
  - Sensores de presencia e iluminación natural:
    Regulan la intensidad o el encendido de las luces solo cuando se necesita.
  - Monitorización energética con IoT:
    Permite conocer en tiempo real el consumo de cada aparato y detectar patrones de uso ineficientes.
  - Integración con redes inteligentes (Smart Grids):
    Algunos sistemas permiten programar el funcionamiento de electrodomésticos en las horas de menor coste eléctrico, aprovechando las tarifas horarias o el autoconsumo renovable.

La aplicación de estas soluciones de gestión puede aportar ahorros adicionales de entre 10 y 15 % sin necesidad de grandes inversiones, únicamente optimizando el uso de la energía (Arroyo et al., 2020). Además, la combinación de medidas pasivas, activas y de gestión permite no solo reducir el consumo energético en los hogares, sino también mejorar el confort térmico y la calidad ambiental interior, al tiempo que se disminuyen las emisiones y la factura energética de los usuarios.

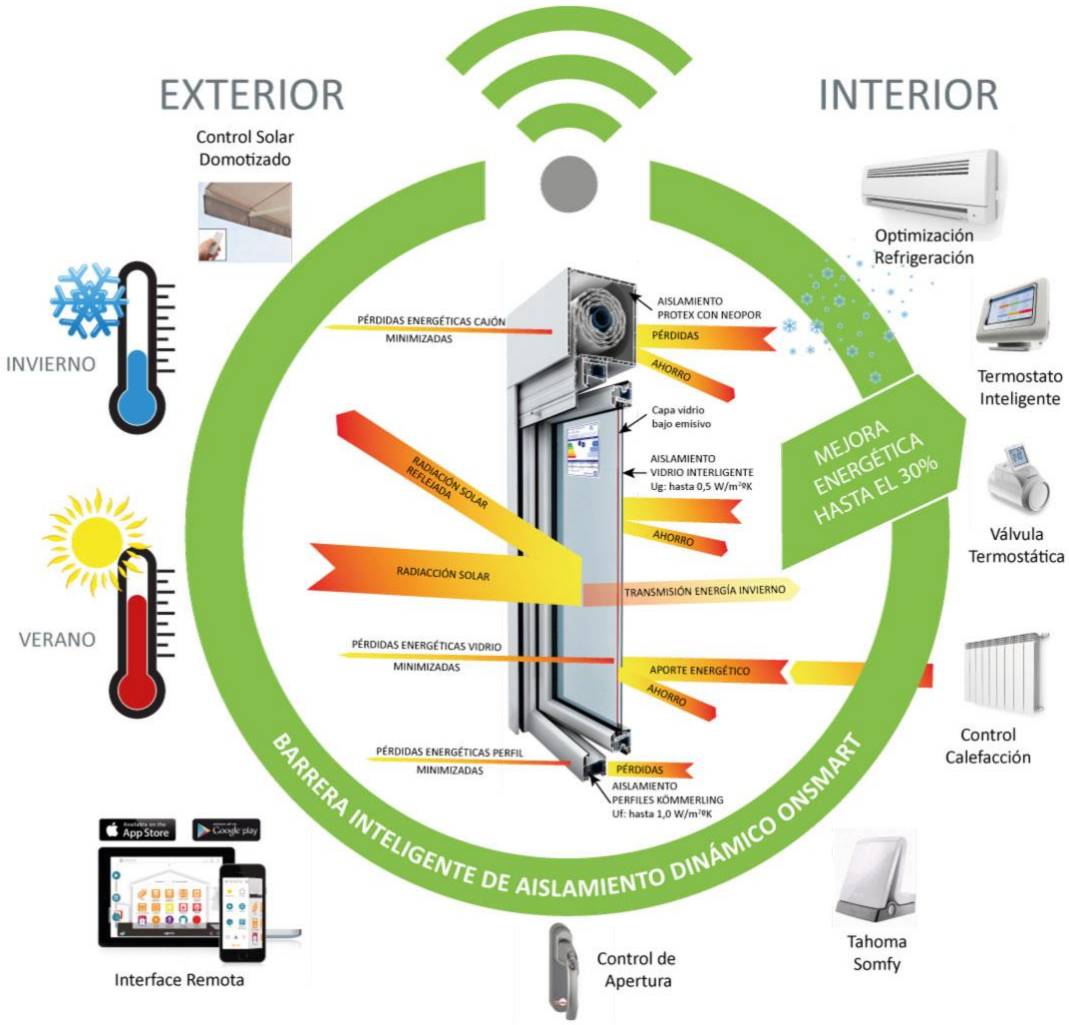


Ilustración 10 Domótica con on smart aplicada a la eficiencia energética

2.4. Energías renovables aplicables a edificios residenciales

En los últimos años, las energías renovables han dejado de ser una opción poco relevante para convertirse en un elemento central de la transición energética en el sector residencial. Su integración en viviendas y bloques de pisos responde no solo a la necesidad de reducir emisiones de gases de efecto invernadero, sino también a la posibilidad de abaratar las facturas energéticas y hacer a los hogares menos dependientes de la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles.

Uno de los ejemplos más utilizados es el autoconsumo fotovoltaico. La aprobación del Real Decreto 244/2019 supuso un cambio radical en España, al simplificar la tramitación y permitir la compensación de excedentes vertidos a la red. Esto significa que la energía que una instalación solar genera y no consume de forma inmediata puede compensarse en la factura eléctrica, lo que ha impulsado la rentabilidad de este tipo de sistemas. Según datos de Red Eléctrica Española (2022), la capacidad de autoconsumo se ha multiplicado en los últimos años y, para 2024, prácticamente se ha duplicado respecto a 2022, consolidándose como una de las tecnologías más instaladas en el sector residencial.

En el caso de los edificios de viviendas, el mayor potencial se encuentra en la instalación comunitaria de paneles solares en cubiertas. Gracias a la normativa actual, es posible repartir la energía generada entre los distintos pisos del bloque mediante fórmulas de autoconsumo colectivo. De esta manera, incluso aquellos vecinos sin acceso directo a la cubierta pueden beneficiarse de la electricidad generada, lo que convierte a esta tecnología en una herramienta clave para reducir costes energéticos de forma comunitaria.

Otra alternativa de gran interés es la aerotermia, reconocida por la Unión Europea como energía renovable porque aprovecha la energía contenida en el aire exterior para calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria. Su eficiencia se mide a través del coeficiente de rendimiento estacional (COP), que en la práctica se sitúa entre 3 y 4. Esto significa que, por cada kWh de electricidad consumido, la bomba de calor aerotérmica entrega entre 3 y 4 kWh de energía útil (IDAE, 2021). Gracias a esta eficiencia, se ha convertido en una de las tecnologías más recomendadas para sustituir calderas de gas en viviendas y bloques residenciales, especialmente cuando se combina con autoconsumo fotovoltaico.

Además de estas dos tecnologías principales, existen otras opciones con aplicaciones puntuales en el sector residencial:

- Solar térmica, que puede cubrir una parte importante de la demanda de agua caliente sanitaria, sobre todo en climas soleados como el de Madrid.
- Biomasa de pequeña escala, en forma de estufas o calderas comunitarias, que aprovechan pellets o astillas de madera para calefacción. Aunque requiere espacio de almacenamiento, sigue siendo una opción interesante en zonas rurales.
- Geotermia somera, que utiliza el subsuelo como fuente o sumidero de calor. Su implantación es menor por los costes iniciales, pero presenta una eficiencia muy elevada y estabilidad a lo largo del año.

En conjunto, la integración de energías renovables en los edificios residenciales no solo reduce la dependencia de combustibles fósiles, sino que también mejora la calidad del aire en las ciudades, disminuye la huella de carbono de los hogares y refuerza la resiliencia energética frente a crisis de suministro o incrementos en los precios de la energía. Además, su desarrollo está fuertemente apoyado por las políticas europeas y nacionales, que han creado marcos regulatorios y programas de financiación específicos para fomentar estas inversiones.

El autoconsumo eléctrico mediante sistemas fotovoltaicos se ha consolidado en España por el Real Decreto 244/2019, que regula el autoconsumo con compensación de excedentes. Según Red Eléctrica Española (2022), la capacidad instalada de autoconsumo se duplicó para el 2024.

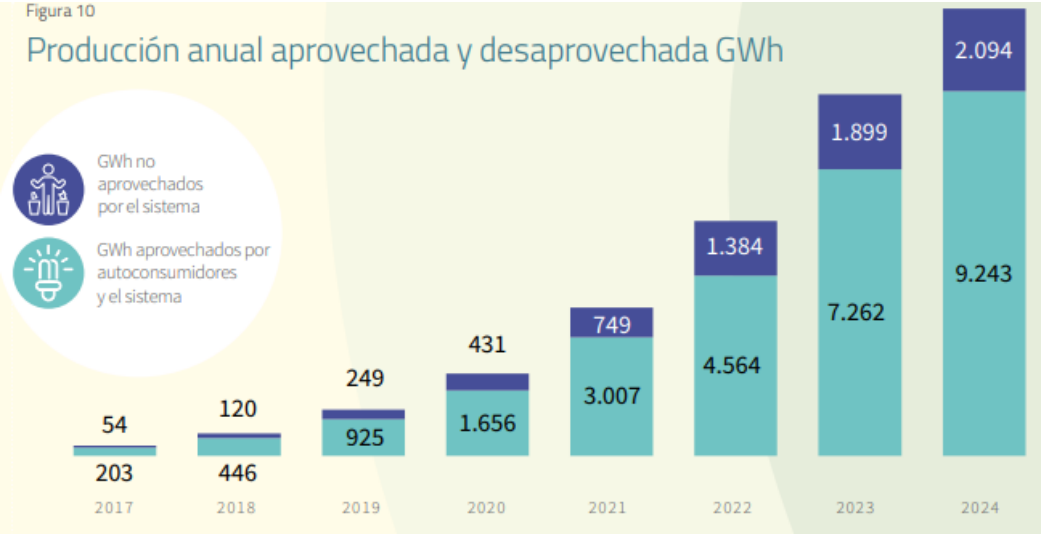


Ilustración 11 Producción anual aprovechada y desaprovechada GWh por autoconsumo

Como se observa en el gráfico anterior, la producción anual de GWh por auto consumidores en 2024 fue casi el doble al 2022. Asimismo, del total de GWh producidos en el 2024 hubo 2.094 GWh que no fueron aprovechados por el sistema.



Ilustración 12 Aerotermia como energía renovable

La integración de estas fuentes renovables en edificios residenciales no solo reduce la dependencia de combustibles fósiles, sino que también disminuye las emisiones de CO_2 y mejora la resiliencia energética de las comunidades.

2.5. Innovación: Inteligencia Artificial e IoT en gestión energética

La digitalización del sector energético se ha convertido en uno de los motores principales de la transición hacia un modelo más sostenible. En el ámbito residencial, el uso combinado de Inteligencia Artificial (IA) y el Internet de las Cosas (IoT) está transformando la manera en que se mide, se controla y se optimiza la energía en los hogares.

La tecnología IoT permite interconectar electrodomésticos, sistemas de climatización, sensores ambientales y contadores inteligentes dentro de un mismo ambiente o ecosistema digital. Estos dispositivos recopilan información en tiempo real sobre consumos eléctricos, temperaturas interiores, niveles de ocupación o incluso condiciones de la red eléctrica. Todos esos datos se convierten en la materia prima que los algoritmos de inteligencia artificial pueden procesar para detectar patrones de uso, anticipar demandas y proponer estrategias de ahorro sin que el usuario tenga que intervenir de manera constante.

La Inteligencia Artificial, por su parte, se aplica en distintos niveles:

- Optimización de la climatización:
  Los algoritmos de aprendizaje automático aprenden de los hábitos de los residentes y ajustan automáticamente los sistemas de calefacción y refrigeración para mantener el confort con el mínimo consumo posible. Diversos estudios muestran que este tipo de soluciones puede reducir la energía usada en climatización entre un 15 % y un 25 % sin sacrificar comodidad (Zhao et al., 2019).

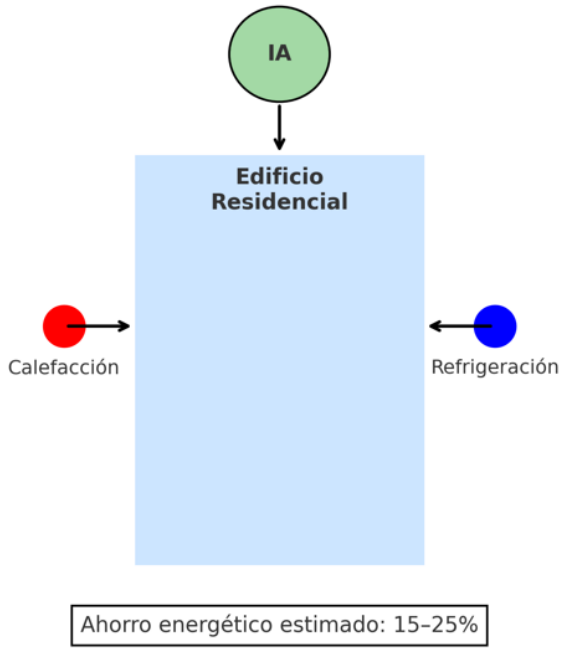


Ilustración 13 Optimización de la climatización

- Predicción de demanda energética:
  Mediante el análisis de datos históricos y predicciones meteorológicas, la IA es capaz de prever la demanda de energía de un hogar y adaptar el funcionamiento de los equipos en consecuencia. Este enfoque resulta especialmente útil cuando se combina con la generación renovable, ya que facilita la sincronización de la producción solar con los momentos de mayor consumo.
- Mantenimiento predictivo:
  Los sensores IoT permiten identificar anomalías en el funcionamiento de electrodomésticos o sistemas de climatización antes de que se produzca una avería. Esto prolonga la vida útil de los equipos y evita gastos innecesarios en reparaciones.
- Gestión de comunidades energéticas:
  A mayor escala, la IA y el IoT también facilitan la organización de autoconsumo colectivo y comunidades energéticas locales, equilibrando la generación renovable y la demanda de los vecinos.

La integración de estas tecnologías está dando fuerza a los llamados hogares inteligentes, en los que la energía se gestiona de forma descentralizada, eficiente y centrada en las necesidades del usuario. Además de los beneficios energéticos y económicos, la digitalización aporta un mayor control y transparencia, permitiendo a las familias tomar decisiones informadas sobre su consumo y contribuir de manera activa a los objetivos de descarbonización.



Ilustración 14 Internet de las cosas para mejora de eficiencia energética en viviendas

En definitiva, la aplicación de IA e IoT no debe entenderse como un complemento, sino como una pieza clave del futuro de la eficiencia energética en el sector residencial. Estas innovaciones no solo ayudan a reducir consumos y emisiones, sino que también aumentan el confort, la seguridad y el valor de las viviendas en un contexto en el que la sostenibilidad es cada vez más prioritaria.

2.6. Casos de referencia

En los últimos años, numerosos estudios han abordado la eficiencia energética en edificios residenciales en España y Europa, destacando la necesidad de rehabilitar un parque inmobiliario caracterizado por altos niveles de ineficiencia y dependencia de combustibles fósiles. Según Pérez-Lombard et al. (2020), el sector residencial representa cerca del 30 % de la demanda final de energía en España, con una fuerte contribución de la calefacción en zonas climáticas como Madrid. Su análisis, basado en simulaciones dinámicas, subraya la urgencia de mejorar la envolvente térmica como primera medida de ahorro. En contraste, este trabajo se centra en un caso real en Leganés, apoyándose en datos de catastro y consumos reales para reflejar la aplicabilidad práctica de dichas mejoras.

Otros estudios, como los de Fernández Bandera et al. (2017), han demostrado que la rehabilitación pasiva mediante aislamiento y ventanas eficientes puede reducir la demanda energética en más de un 40 %. Sin embargo, su investigación se apoyó en edificios piloto con monitorización avanzada. En este TFM, aunque no se dispone de datos de monitorización en tiempo real, se reproduce la lógica de esos trabajos mediante la extrapolación de una vivienda tipo y el uso de valores de referencia del IDAE, lo cual permite obtener resultados comparables y adaptados a la escala comunitaria.

A nivel europeo, BPIE (2017) identificó que la combinación de medidas pasivas y activas, junto con energías renovables, es la estrategia más eficaz para alcanzar edificios de consumo casi nulo (nZEB). Este TFM coincide en esa visión integral al proponer un paquete de actuaciones que incluye aislamiento, fotovoltaica, aerotermia e innovación digital, pero aporta un valor añadido: el análisis económico detallado con paybacks específicos y un escenario de extrapolación a un edificio completo.

Por último, cabe destacar que investigaciones recientes han explorado la digitalización de la gestión energética en el ámbito residencial. Zhao et al. (2019) mostraron que la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático puede reducir el consumo de climatización entre un 15 % y un 25 %. En línea con ello, este TFM integra la propuesta de domótica e inteligencia artificial como elementos innovadores que, aunque no sustituyen las medidas pasivas, refuerzan la eficiencia global del edificio y lo alinean con las tendencias de hogares inteligentes.

3. CARACTERIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

3.1. Descripción del edificio de Calle Bárdenas 4 (Leganés)

El edificio de objeto de estudio se ubica en la Calle Bárdenas número 4, en el municipio de Leganés (Comunidad de Madrid). Se trata de un bloque multifamiliar de uso residencial, con una tipología característica de las promociones de vivienda construidas en la segunda mitad del siglo XX en esta zona, en específico este edificio fue construido en 1974 por lo que tiene aproximadamente 51 años. La información obtenida del catastro permite conocer con mayor precisión las dimensiones y la configuración del inmueble, lo que facilita su caracterización energética.



Ilustración 15 Croquis catastral calle Bárdenas 4

Según el catastro, la parcela sobre la que se levanta el edificio mide 17,5 metros de ancho por 21 metros de fondo, lo que da una superficie de 368 m² y la superficie construida sobre rasante asciende a 2.968 m². El edificio no dispone de superficie bajo rasante, por lo que no cuenta con sótanos ni plantas subterráneas. El total de viviendas es de 38, distribuidas de la siguiente forma: en la planta baja se localizan 2 viviendas, mientras que desde la primera hasta la novena planta se repiten plantas tipo con 4 viviendas cada una.

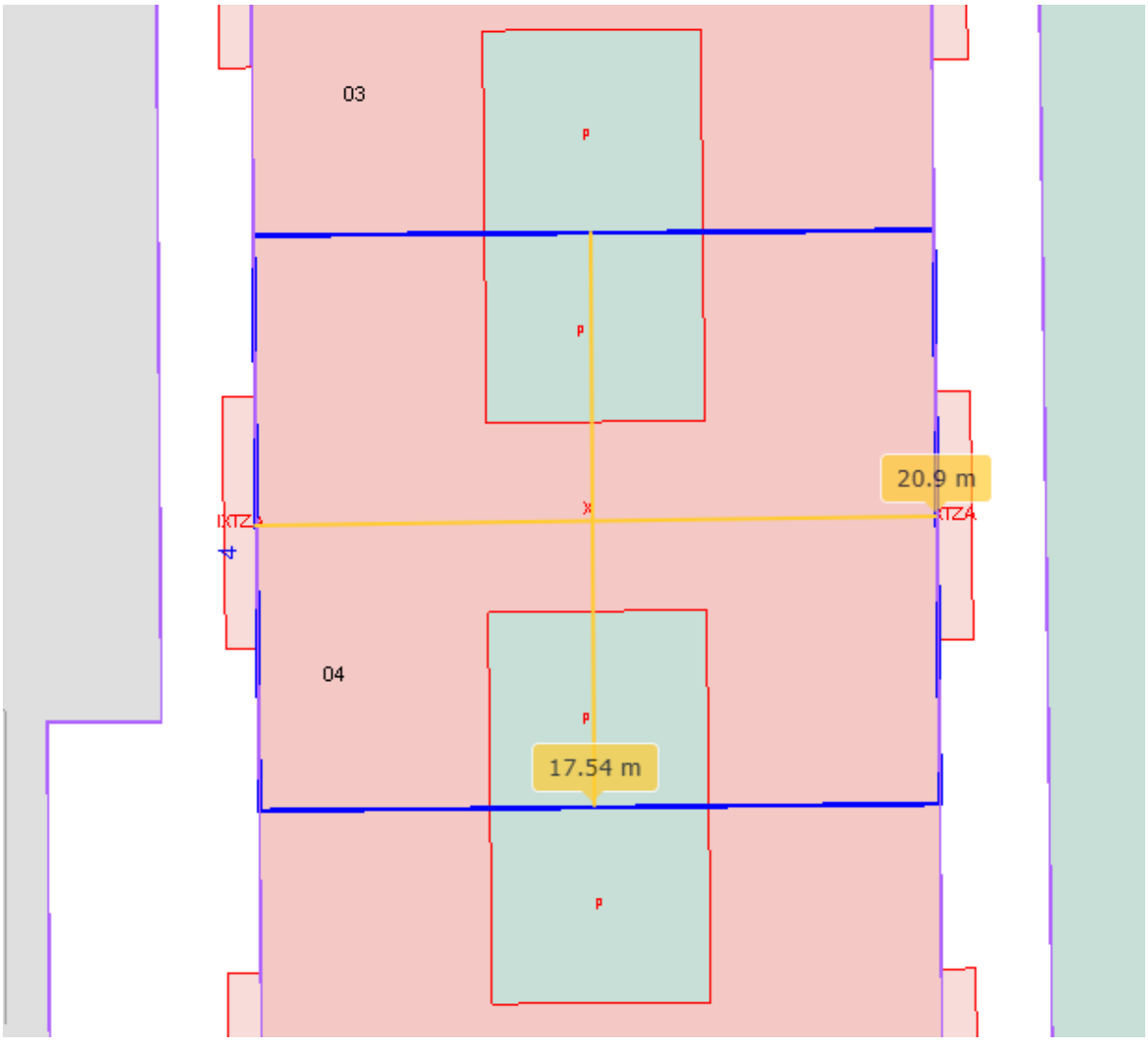


Ilustración 16 Medidas del edificio calle Bárdenas 4 (Catastro)

Cada vivienda tiene una superficie aproximada de 70 m², lo que implica que la superficie útil total del conjunto es de unos 2.660 m² (38 × 70). Al comparar la superficie útil estimada de las viviendas con la superficie construida total, se obtiene un coeficiente de eficiencia útil/construida cercano al 90 %, lo cual es razonable teniendo en cuenta que una parte del área construida se destina a zonas comunes, estructura y elementos de servicios.

El inmueble tiene 10 plantas sobre rasante (planta baja más 9 plantas superiores) y alcanza una altura total de 30 metros. Esto significa que cada planta tiene una altura libre aproximada de 3 metros, valor típico en edificios residenciales de su época.

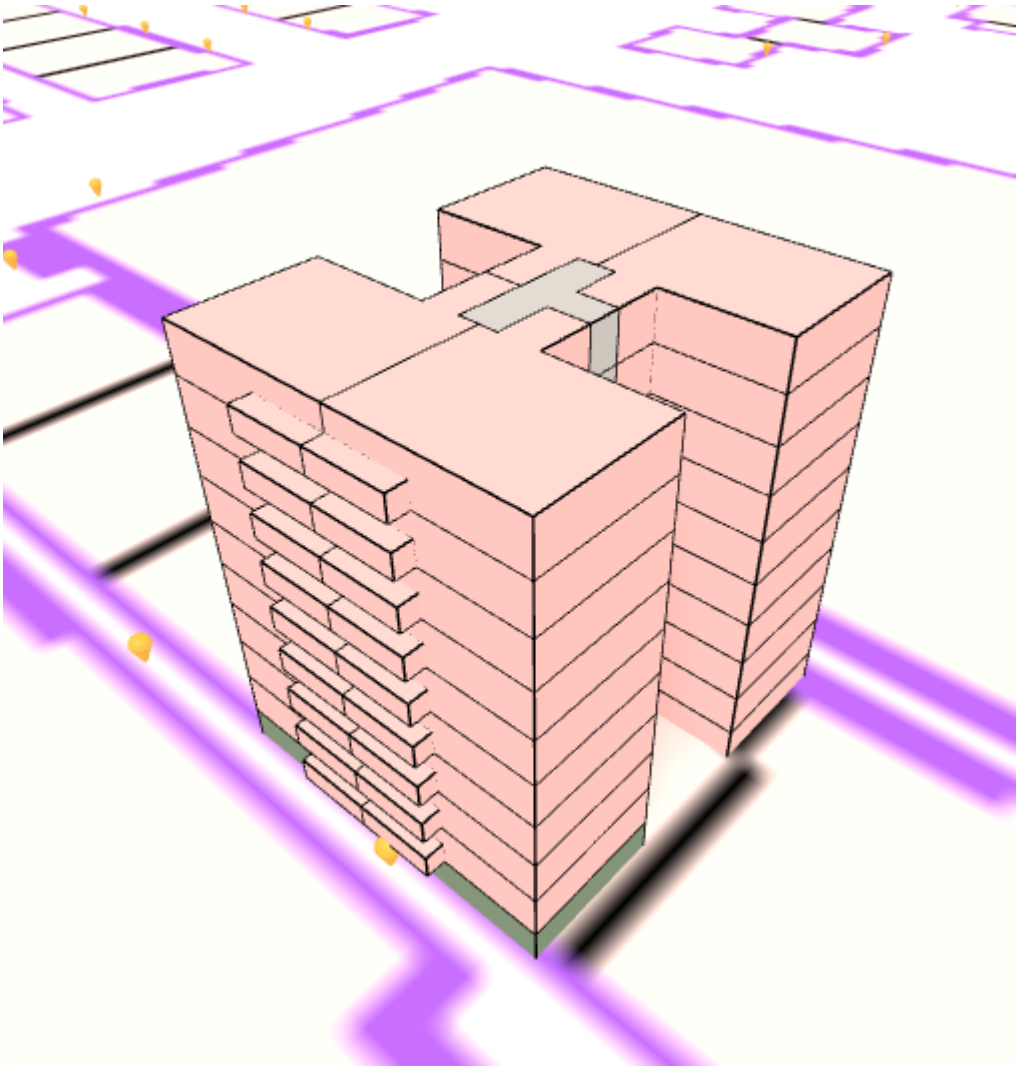


Ilustración 17 Edificio calle Bárdenas 4 en vista isométrica (Catastro)

La superficie construida total sobre rasante es de 2.968 m², mientras que la superficie útil de viviendas es de aproximadamente 2.660 m². La diferencia entre construida y útil (unos 300 m²) corresponde a zonas comunes, muros estructurales, escaleras, portal y ascensor. Este dato es importante porque ayuda a entender qué parte del edificio realmente se usa como espacio habitable y qué parte corresponde a elementos compartidos.

Distribución de viviendas

El edificio tiene un total de 38 viviendas distribuidas de la siguiente manera:

- Planta baja: 2 viviendas de unos 70 m² cada una.

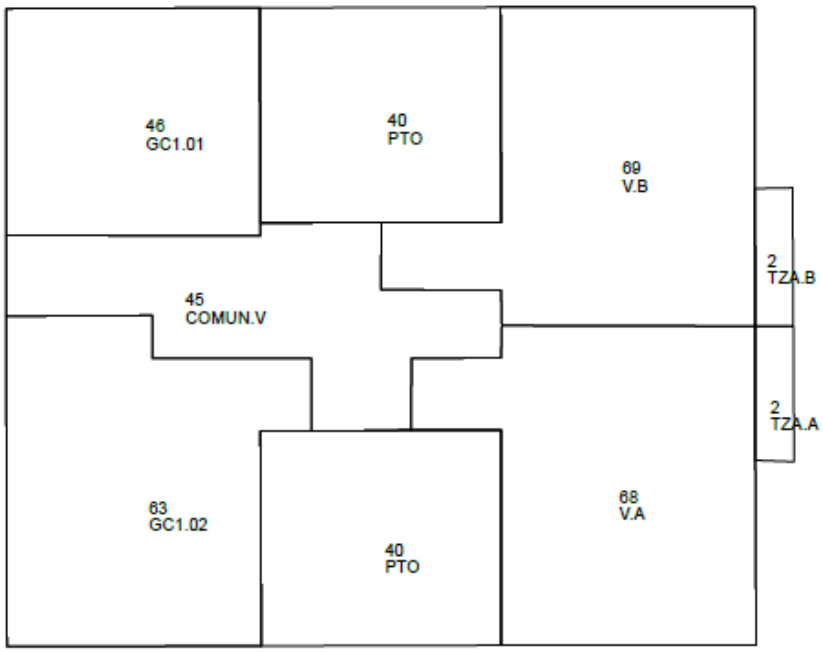


Ilustración 18 Croquis planta baja calle Bárdenas 4 (Catastro)

- Plantas 1 a 9: 4 viviendas por planta, también de unos 70 m² cada una.

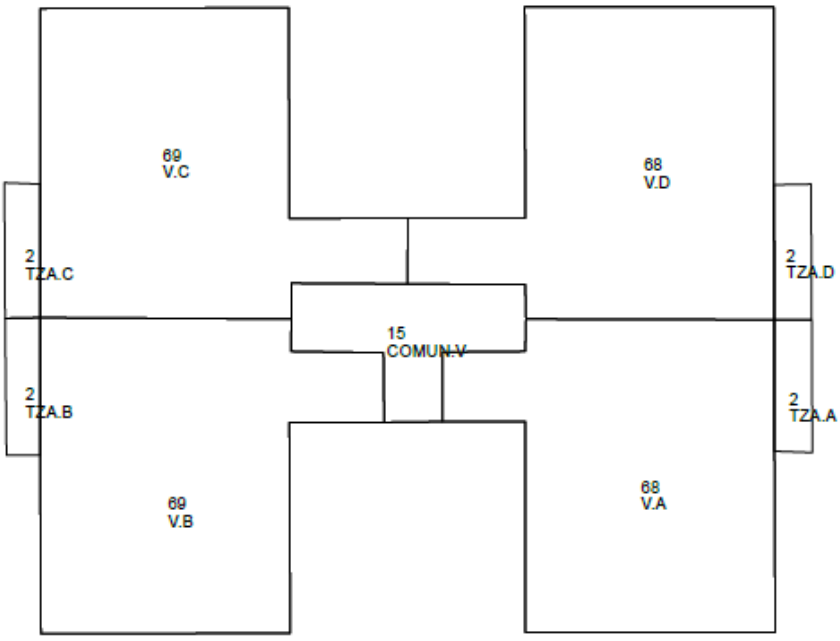


Ilustración 19 Croquis plantas 1 a 9 calle Bárdenas 4 (Catastro)

Cada vivienda, por tanto, cuenta con una superficie media de 70 m², valor que coincide con el uso de vivienda propia en el registro catastral.

Terrazas

Además de la planta rectangular principal, el edificio dispone de dos terrazas lineales: una en la fachada principal (que da a la Calle Bárdenas) y otra en la parte posterior. Cada terraza mide 7,5 metros de ancho por 1 metro de fondo, lo que equivale a 7,5 m². Como ambas se repiten en todas las plantas, representan 15 m² adicionales por planta, que se suman a la superficie expuesta de las fachadas.

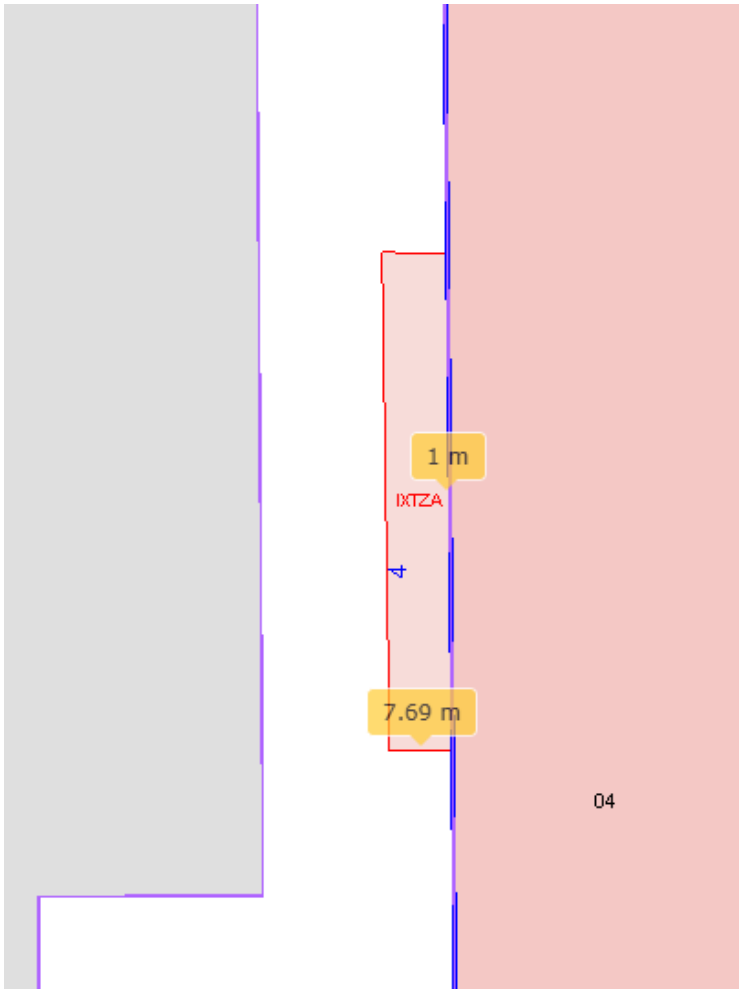


Ilustración 20 Fachada calle Bárdenas (Catastro)

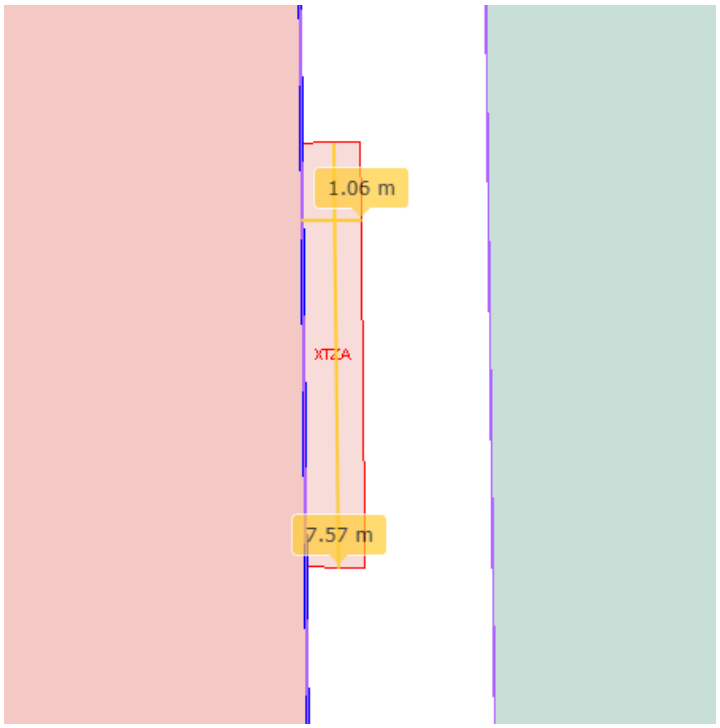


Ilustración 21 Fachada posterior calle Bárdenas (Catastro)

Estas terrazas tienen dos efectos:

- Aumentan la superficie de fachada expuesta al exterior, lo que implica más pérdidas térmicas en invierno y más ganancias de calor en verano.
- Proporcionan sombra parcial a las ventanas de la sala, lo que puede reducir el sobrecalentamiento de calor en esos puntos concretos.

Envolvente y fachadas

La envolvente o cerramiento de un edificio es el conjunto de elementos que lo separan del exterior: fachadas, ventanas, cubiertas y suelos en contacto con el terreno o con espacios no calefactados. La calidad de esta es clave en un análisis energético, ya que determina cuánta energía se pierde en invierno y cuánta entra en verano.

En el caso del edificio de Calle Bárdenas 4, la fachada vertical está formada únicamente por la fachada principal y la fachada posterior, ya que los testeros laterales colindan con los edificios de las calles Bárdenas 2 y 6, lo que los convierte en medianeras sin exposición directa al aire exterior.



Ilustración 22 Vista panorámica calle Bárdenas 2, 4 y 6

Fachada principal: tiene un ancho de 17,5 metros y una altura de 30 metros, lo que da 525 m² de superficie. A esto se suma la terraza frontal, que aporta unos 75 m² adicionales para el conjunto de las 10 plantas. En total, la fachada principal alcanza unos 600 m² expuestos.

Fachada posterior: sus dimensiones son iguales a las de la principal, con 525 m² de muro más 75 m² de terraza, dando también 600 m² expuestos.

En conjunto, las fachadas expuestas del edificio suman aproximadamente 1.200 m², lo que representa la superficie vertical a través de la cual se producen las pérdidas y ganancias de energía.

Huecos y ventanas

Cada vivienda dispone de 7 ventanas, repartidas en las distintas estancias de la siguiente manera:

- 3 en los dormitorios.
- 1 en la cocina.
- 1 en la sala (que conecta con la terraza).
- 1 en la lavandería.
- 1 en el baño (dimensiones aproximadas de 0,60 × 1,00 m, con apertura lateral).

Esto da un total de 7 ventanas por vivienda. Considerando que el edificio cuenta con 38 viviendas, el número total estimado de huecos asciende a 266 ventanas.

En cuanto a la superficie acristalada, se distinguen dos tipos de huecos:

- 6 ventanas de tamaño medio (habitaciones, cocina, sala y lavandería), con una superficie aproximada de 2,4 m² cada una, lo que suma 14,4 m² por vivienda.
- 1 ventana de baño, más pequeña, con una superficie de 0,60 m².

La superficie acristalada total por vivienda es, por tanto, de 15,0 m². Multiplicado por las 38 viviendas, se obtiene un área total acristalada de aproximadamente 570 m².

Este valor implica que casi la mitad de la superficie de fachada expuesta del edificio corresponde a vidrio, lo que resulta especialmente significativo desde el punto de vista energético:

En invierno, se producen grandes pérdidas de calor debido al uso de vidrios simples y carpinterías poco estancas.

En verano, la entrada directa de radiación solar incrementa el riesgo de sobrecalentamiento y el uso intensivo de aire acondicionado.

Implicaciones energéticas

El hecho de que un gran porcentaje de la superficie de fachada corresponda a vidrio sencillo de baja calidad térmica tiene una consecuencia clara:

- En invierno, el calor generado en el interior se pierde fácilmente a través de las ventanas, incrementando la necesidad de calefacción.
- En verano, el vidrio permite la entrada de radiación solar directa, lo que provoca un sobrecalentamiento y aumenta el uso de aire acondicionado.

Este análisis confirma que la sustitución de carpinterías y vidrios es una de las medidas prioritarias de mejora para este edificio, ya que tendría un impacto directo en la reducción de la demanda energética y en el confort de los residentes.

La fachada de un edificio es el conjunto de elementos que lo separan del exterior: fachadas, ventanas, cubiertas y suelos en contacto con el terreno o zonas no calefactadas. Es clave en un análisis energético porque determina cuánto calor se pierde en invierno y cuánto entra en verano.

Características constructivas

Las viviendas de este bloque se construyeron con las técnicas habituales de los años 70:

- Fachadas de doble hoja cerámica con cámara de aire sin aislamiento.
- Cubierta plana con impermeabilización bituminosa, sin aislamiento original.
- Ventanas de aluminio sin rotura de puente térmico y vidrio simple de 4 mm.
- Cajones de persiana empotrados, que suelen ser puntos de infiltración de aire frío o caliente.

Estos elementos explican la baja eficiencia térmica del edificio y justifican la necesidad de una rehabilitación energética.

Instalaciones y consumos

Cada vivienda tiene sistemas individuales de climatización y agua caliente sanitaria:

- Calefacción mediante radiadores eléctricos, calderas de gas natural o, en algunos casos, bombas de calor.
- Agua caliente sanitaria mediante terma eléctrica.
- Refrigeración con splits o conductos en verano.
- Las zonas comunes cuentan con iluminación ya sustituida por LED y ascensor eléctrico.

Potencial de autoconsumo fotovoltaico

La cubierta del edificio, de unos 300 m², representa una oportunidad clara para la integración de energías renovables. Descontando pasillos de mantenimiento y casetones, quedarían disponibles entre 180 y 210 m² para paneles solares.

Esto permitiría instalar unos 32–42 kWp de potencia fotovoltaica, con una producción anual estimada de 45–67 MWh, suficiente para aportar a cada vivienda entre 1.200 y 1.760 kWh/año, lo que cubriría aproximadamente entre un 15 % y un 25 % del consumo eléctrico anual de cada hogar.

En lo que respecta a las instalaciones interiores, es habitual que las viviendas cuenten con sistemas individuales de calefacción y agua caliente sanitaria, bien mediante termos eléctricos, calderas a gas natural o radiadores eléctricos. Para la refrigeración, la mayoría de los hogares disponen de equipos de aire acondicionado tipo split o, en algunos casos, instalaciones por conductos. En las zonas comunes, los consumos corresponden principalmente a la iluminación de escaleras y portales, y al funcionamiento del ascensor.

En conclusión, el edificio de Calle Bárdenas 4 refleja la problemática general del parque residencial español construido en los años 70:

- Ausencia de aislamiento en la piel del edificio.
- Carpinterías poco eficientes.
- Sistemas de climatización antiguos y escasa integración de energías renovables.

Sin embargo, al mismo tiempo ofrece un gran potencial de mejora, tanto a nivel individual de vivienda como a nivel comunitario, especialmente si se aprovechan los programas de rehabilitación energética y de autoconsumo colectivo actualmente en vigor en España.



Ilustración 23 Croquis catastral edificio calle Bárdenas 4

3.2. Tipología constructiva y características generales

El edificio es de estructura portante de hormigón armado, cerramientos exteriores de ladrillo hueco doble enfoscado y cubierta plana transitable con impermeabilización bituminosa. Las fachadas carecen de aislamiento térmico adicional, lo que se traduce en pérdidas energéticas significativas durante los meses de invierno y ganancias térmicas en verano (Prieto & Zabalza, 2018).

El edificio de la Calle Bárdenas 4 responde a la tipología constructiva habitual de los bloques residenciales construidos en España en los años setenta. En aquella época aún no existían normativas específicas de eficiencia energética, por lo que la prioridad se centraba en la rapidez constructiva y en la funcionalidad, dejando de lado la calidad térmica de la fachada. Esto explica que, en la actualidad, este tipo de edificaciones presenten un consumo energético muy elevado y un gran potencial de mejora.

Sistema estructural

La estructura principal está compuesta por pórticos de hormigón armado (pilares y vigas), con forjados unidireccionales de hormigón armado y bovedillas cerámicas. Este sistema estructural es resistente y ha permitido que el edificio se mantenga estable durante décadas, pero desde el punto de vista energético no aporta beneficios, ya que no interviene en la reducción de pérdidas de calor.

Cerramientos y fachadas

Los cerramientos exteriores están formados por fábrica de ladrillo hueco doble enfoscado, con cámara de aire, pero sin aislamiento térmico añadido. Esta configuración era muy común en la época, pero su comportamiento energético es deficiente:

- El coeficiente de transmisión térmica (U) de estos muros se sitúa en valores entre 1,4 y 1,8 W/m²K, lo que significa que permiten un flujo importante de calor a través de ellos.
- En invierno, se producen pérdidas de calor hacia el exterior, lo que obliga a mantener la calefacción encendida durante más tiempo.
- En verano, los muros acumulan calor y lo transmiten al interior, generando disconfort y aumentando la necesidad de usar aire acondicionado.

En resumen, la falta de aislamiento en fachadas es uno de los principales factores que explican la baja eficiencia energética del edificio.

Cubierta

La cubierta es plana y transitable, resuelta con un forjado de hormigón, capa de mortero y lámina impermeabilizante bituminosa. Originalmente no se incluía aislamiento térmico, de modo que el coeficiente U de la cubierta puede estar en torno a 1,3–1,8 W/m²K. Esto se traduce en pérdidas de calor en invierno y ganancias importantes en verano, ya que la cubierta está sometida directamente a la radiación solar durante muchas horas al día.

Huecos y carpinterías

Las ventanas corresponden a carpinterías de aluminio anodizado sin rotura de puente térmico y con vidrio simple de 4 mm. Esta solución presenta muy baja calidad térmica y acústica.

El coeficiente de transmisión térmica (U) de este tipo de carpintería ronda los 5,7 W/m²K, muy superior a los valores que exige la normativa actual.

El Código Técnico de la Edificación (CTE), en el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE), establece para la zona climática D3 (Ministerio de Fomento, 2019), en Madrid con un valor límite de 2,2 W/m²K en huecos. Esto significa que las ventanas actuales del edificio casi triplican el nivel máximo permitido hoy en día.

A esta deficiencia se suma la presencia de cajones de persiana empotrados, que son puntos críticos de infiltración de aire frío en invierno y caliente en verano.

Consecuencias energéticas

El conjunto de estas características constructivas (fachadas sin aislamiento, cubierta sin protección térmica y ventanas de vidrio simple con carpintería metálica básica) provoca que el edificio tenga una carcasa muy permeable a las pérdidas y ganancias de energía. Esto se traduce en:

- Mayor demanda de calefacción en invierno, ya que el calor generado por la caldera centralizada se pierde con rapidez.
- Mayor riesgo de sobrecalentamiento en verano, lo que incrementa el uso de aparatos de aire acondicionado.
- Disconfort térmico para los residentes, ya que la temperatura interior varía mucho con las condiciones exteriores.
- Elevadas emisiones de CO_2, al depender de una caldera de gas natural centralizada y de equipos de refrigeración eléctrica.

3.3. Datos climáticos de Leganés

El municipio de Leganés se encuentra en la zona sur de la Comunidad de Madrid, a unos 11 km de la capital. Su localización geográfica, en la meseta central de la península ibérica, condiciona un clima de tipo mediterráneo continentalizado, caracterizado por inviernos fríos, veranos muy calurosos y una marcada oscilación térmica entre el día y la noche.

Clasificación climática según el CTE

De acuerdo con el Código Técnico de la Edificación (CTE), en el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE), Leganés se sitúa en la zona climática D3:

- La letra D hace referencia a la severidad del invierno (cuanto más avanzada en el alfabeto, más frío). Esto significa que Leganés requiere una demanda alta de calefacción durante los meses de invierno.
- El número 3 indica la severidad del verano en una escala de 1 a 4 (siendo 4 el más caluroso). El valor 3 refleja que los veranos son muy calurosos, con episodios frecuentes de sobrecalentamiento en viviendas que no disponen de sistemas de refrigeración adecuados.

Esta clasificación climática es clave porque determina las exigencias mínimas que deben cumplir los elementos de la superficie exterior (aislamientos, ventanas, cubiertas) en los edificios de nueva construcción o rehabilitación.

Datos de temperatura y precipitaciones

Los registros de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) señalan que la temperatura media anual en Leganés es de 15,5 °C. Sin embargo, la media esconde una gran variabilidad estacional:

- En invierno, las temperaturas mínimas pueden descender hasta los 0 °C, e incluso registrarse heladas nocturnas frecuentes entre diciembre y febrero.
- En verano, las máximas superan con facilidad los 35 °C, especialmente durante olas de calor en julio y agosto.

La amplitud térmica diaria (diferencia entre la temperatura mínima y la máxima en un mismo día) puede superar los 15 °C, lo que implica cambios bruscos que afectan al confort en las viviendas.

En cuanto a las precipitaciones, Leganés presenta una media anual de alrededor de 400–450 mm, concentrada sobre todo en otoño y primavera. La escasez de lluvias en verano, unida a las altas temperaturas, refuerza la necesidad de sistemas de climatización eficientes para mantener unas condiciones interiores de confort.

Demanda energética asociada al clima

Los datos climáticos determinan las necesidades energéticas de los edificios:

- Demanda de calefacción: elevada, debido a las bajas temperaturas invernales y a la ausencia de aislamiento en gran parte del parque residencial.
- Demanda de refrigeración: también significativa en verano, ya que las viviendas con vidrios simples y fachadas sin protección sufren sobrecalentamientos intensos.
- Impacto en la factura energética: en este contexto, los hogares de Leganés suelen gastar más energía en calefacción que en refrigeración, aunque el aire acondicionado se ha vuelto casi imprescindible en los últimos años debido a la frecuencia creciente de olas de calor.

Implicaciones para el edificio de estudio

La ubicación de este edificio en la zona climática D3 confirma que las intervenciones prioritarias deben centrarse en:

- Mejora del recubrimiento térmico, para reducir las pérdidas de calor en invierno y mitigar el sobrecalentamiento en verano.
- Sistemas de climatización más eficientes, que permitan responder a un rango de temperaturas muy amplio sin disparar el consumo energético.
- Protecciones solares pasivas (toldos, lamas, vidrios de control solar), que cobran especial relevancia en las fachadas con mayor exposición a la radiación estival.

3.4. Consumo energético medio en viviendas de la Comunidad de Madrid

El análisis del consumo energético medio en los hogares es fundamental para establecer una referencia sobre la cual comparar los resultados obtenidos en la vivienda tipo de este trabajo. Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2020), el consumo medio anual por hogar en la Comunidad de Madrid se sitúa en torno a los 8.500 kWh. Esta cifra engloba la energía utilizada para climatización, producción de agua caliente sanitaria (ACS), electrodomésticos, iluminación y otros pequeños usos.

Distribución del consumo por usos

El reparto del consumo energético en un hogar madrileño promedio se estructura de la siguiente manera:

- Calefacción (47 %): es la partida más significativa, lo que refleja la dureza de los inviernos en la zona climática D3 y la escasa calidad térmica de la mayoría de los edificios construidos antes de 1980. Este dato pone de relieve la importancia de mejorar la cubierta exterior (fachadas) y optimizar los sistemas de calefacción.
- Agua caliente sanitaria – ACS (20 %): representa el segundo uso más relevante. En la mayoría de los hogares se cubre con calderas de gas natural o termos eléctricos, tecnologías que implican consumos energéticos elevados si no se acompañan de medidas de eficiencia o energías renovables.
- Electrodomésticos (19 %): incluyen nevera, lavadora, lavavajillas, horno, televisión y otros aparatos de uso cotidiano. El consumo depende en gran medida de la eficiencia de cada equipo y de los hábitos de los usuarios.
- Iluminación (7 %): aunque en la última década ha disminuido por la adopción de tecnología LED, sigue representando una parte significativa del gasto eléctrico en los hogares.
- Refrigeración (2 %): en términos porcentuales es bajo, pero está en aumento debido al crecimiento de las olas de calor en verano y la extensión del aire acondicionado en las viviendas madrileñas.
- Otros usos (5 %): abarcan pequeños electrodomésticos, cargadores, equipos de climatización portátiles, etc.

Consumo energético medio y emisiones asociadas

Con este reparto, el consumo medio de 8.500 kWh/año por hogar se traduce en unas 1,7 toneladas de CO_2 anuales. Este cálculo se obtiene considerando:

- El factor de emisión medio del sistema eléctrico español, publicado por Red Eléctrica de España (REE, 2022).
- El uso mayoritario del gas natural en calefacción y ACS que, aunque es más limpio que otros combustibles fósiles (como gasóleo o carbón), sigue siendo una fuente emisora de dióxido de carbono.

La comparación entre consumos y emisiones permite entender la doble dimensión del problema: por un lado, el impacto económico que supone para las familias el pago de facturas energéticas elevadas; por otro, la contribución de los hogares a las emisiones globales de gases de efecto invernadero.

Implicaciones para el edificio de estudio

Estos datos de referencia resultan muy relevantes para la tesis, ya que permiten comparar la situación energética del edificio de Calle Bárdenas 4 con la media regional:

- El hecho de que casi la mitad del consumo en Madrid se destine a calefacción confirma que la prioridad en tu edificio debe ser reducir pérdidas en el cerramiento exterior (carcasa térmica) y mejorar el rendimiento de la caldera centralizada.
- El peso del ACS (20 %) sugiere que la incorporación de tecnologías renovables como la aerotermia o la solar térmica comunitaria tendría un impacto importante en el balance final.
- Aunque la refrigeración es relativamente baja en la media (2 %), en tu edificio con grandes superficies acristaladas el valor real podría ser más alto, debido a los problemas de sobrecalentamiento en verano.

En resumen, el perfil energético de los hogares madrileños confirma que cualquier estrategia de rehabilitación energética debe dar prioridad a la calefacción y al ACS, sin olvidar las oportunidades de ahorro en electrodomésticos, iluminación y refrigeración.

3.5. Hipótesis de trabajo: selección de una vivienda tipo

Dado que el objetivo de este estudio no es realizar un levantamiento completo de las 38 viviendas del edificio, se ha optado por trabajar sobre una vivienda tipo representativa, cuyos resultados podrán extrapolarse posteriormente al conjunto del bloque. Esta estrategia es común en auditorías energéticas, ya que permite reducir la complejidad del análisis sin perder validez técnica.

Criterios de selección de la vivienda tipo

Para definir la vivienda tipo se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

Ubicación intermedia: Se elige una vivienda situada en una planta intermedia (por ejemplo, la cuarta o quinta planta). Esto evita distorsiones que podrían darse en pisos expuestos directamente a cubierta (última planta) o en contacto con el terreno (planta baja).

Superficie útil: Cada vivienda tiene una superficie aproximada de 70 m², con distribución típica de tres dormitorios, sala con salida a terraza, cocina, baño y lavandería.

Número de huecos: La vivienda cuenta con 7 ventanas, lo que supone unos 15 m² de superficie acristalada. La elevada proporción de vidrio es uno de los principales factores de ineficiencia.

Sistema de calefacción: Al igual que el resto del edificio, dispone de radiadores conectados a la caldera centralizada de gas natural, con un total de cinco radiadores (uno en cada dormitorio, uno en la sala y uno en el baño).

Sistema de refrigeración: Se considera el uso de equipos de aire acondicionado tipo split, habituales en este tipo de viviendas.

Agua caliente sanitaria (ACS): También cubierta por la caldera centralizada de gas.

Supuestos de consumo

A partir de los datos medios para la Comunidad de Madrid (IDAE, 2020), se estima que esta vivienda tipo presenta un consumo anual cercano a los 8.500–9.000 kWh, con el siguiente reparto aproximado:

- Calefacción: 47 %
- Agua caliente sanitaria: 20 %
- Electrodomésticos: 19 %
- Iluminación: 7 %
- Refrigeración: 2 %
- Otros usos: 5 %

Este reparto se ajustará en función de las particularidades de la vivienda, especialmente por el alto porcentaje de fachada acristalada y la presencia de terrazas, que aumentan la exposición a pérdidas y ganancias térmicas.

Justificación de la extrapolación

Al tratarse de un bloque con viviendas prácticamente idénticas en distribución, superficie y sistemas, se considera que los resultados obtenidos en la vivienda tipo son representativos para las 38 viviendas del edificio. La extrapolación se realiza multiplicando los valores de consumo, ahorro y emisiones por el número total de viviendas, con lo cual se puede estimar el impacto global de las medidas de eficiencia energética propuestas.

Esta hipótesis metodológica es defendible ante el jurado porque:

- Permite simplificar el análisis sin perder rigor.
- Se basa en un piso intermedio que refleja condiciones promedio.
- Aporta una visión realista de cómo intervenciones a pequeña escala pueden amplificarse a nivel comunitario.

4. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO ACTUAL

4.1. Estimación del consumo eléctrico y térmico de la vivienda.

Este apartado estima el consumo anual de energía final de una vivienda tipo del edificio situado en Calle Bárdenas 4 (Leganés), desglosado por portador (electricidad y gas natural) y por usos finales (calefacción, agua caliente sanitaria, electrodomésticos, iluminación, refrigeración y otros).



Ilustración 24 Vista isométrica vivienda tipo (catastro)

La estimación combina:

a) Referencias oficiales del IDAE para viviendas de la Comunidad de Madrid.

b) La configuración técnica real del inmueble (calefacción central a gas natural con radiadores, ACS mediante termo eléctrico individual, refrigeración por conductos, envolvente sin aislamiento con elevado porcentaje de huecos).

c) Datos reales de consumo eléctrico de un mes representativo sin calefacción (mayo, 247 kWh) que permiten calibrar la parte eléctrica (IDAE, 2020; AEMET, 2021).

Base normativa y climática

Leganés pertenece a la zona climática D3 del CTE-DB-HE, con inviernos fríos y veranos calurosos, lo que incrementa la demanda de calefacción y, en presencia de grandes superficies acristaladas, la carga de refrigeración estival (MITMA, 2019; AEMET, 2021).

Metodología de estimación

Se presentan dos enfoques complementarios:

a) Escenario de referencia (IDAE ajustado al edificio). Se adopta un consumo anual de 9.200 kWh por vivienda, ligeramente superior al promedio regional (≈ 8.500 kWh/año) para reflejar la envolvente poco eficiente y el uso de aire acondicionado por conductos. El reparto por usos parte de las proporciones IDAE y se ajusta al alza la refrigeración dada la elevada superficie acristalada.

b) Escenario calibrado con dato real de mayo. Se parte del reparto anterior, pero se ajustan los usos eléctricos no asociados a refrigeración para que el mes de mayo (sin calefacción y con refrigeración mínima) reproduzca el consumo real observado de 247 kWh. La calefacción en gas natural se mantiene igual que en el escenario de referencia hasta disponer de una factura comunitaria de gas que permita convertir a kWh las “unidades” registradas por los repartidores de costes de los radiadores (UNE-EN 834:2013).

Modelización del ACS eléctrico

La energía para calentar agua se calcula con:

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

Para 1 litro (≈1 kg) y 1 °C: 4,186 kJ; 1 kWh = 3.600 kJ.

Por tanto, 4,186/3.600 = 0,001163 kWh por litro y por grado.

Con agua fría de red 16 °C y termo a 50 °C (ΔT = 34 °C), la energía específica es ≈ 0,0395 kWh/L, con ΔT 35 °C (15→50 °C) resulta ≈ 0,0408 kWh/L.

En el presente trabajo se emplea el rango 0,039–0,041 kWh/L, que se contrasta con el recibo de mayo.

Resultados del escenario de referencia (IDAE ajustado)

Uso	Portador	kWh/año
Calefacción	Gas	4324.00
ACS	Electricidad	1840.00
Electrodomésticos	Electricidad	1748.00
Iluminación	Electricidad	644.00
Refrigeración	Electricidad	368.00
Otros	Electricidad	276.00

Tabla 1 Consumo anual por uso y portador energético (vivienda tipo, 9.200 kWh/año)

De acuerdo a la tabla anterior, la electricidad total del escenario en referencia para el caso de estudio del piso tipo es 4.876 kWh/año y para gas natural es 4.324 kWh/año. En total nos da como resultado 9.200 kWh/año.

Justificación técnica del reparto

Calefacción elevada por clima D3 y ausencia de aislamiento en fachadas y cubierta. ACS coherente con termo eléctrico doméstico para cuatro ocupantes. Refrigeración superior al 2 % medio por la elevada superficie acristalada y el uso de aire por conductos. Electrodomésticos e iluminación en valores típicos de vivienda urbana con parque de equipos no completamente A/A+ (IDAE, 2020).

Resultados del escenario calibrado con dato real de mayo

En mayo, sin calefacción y con uso de refrigeración reducido, el reparto eléctrico “de referencia” sumaría ≈ 341 kWh/mes. Para reproducir el consumo real de 247 kWh/mes, se aplica un factor de ajuste s = 247/341,32 ≈ 0,724 sobre los componentes eléctricos de ACS, electrodomésticos, iluminación y otros a lo largo del año. La refrigeración se mantiene en 368 kWh/año (se concentra en verano). La calefacción en gas permanece como en el escenario de referencia.

Uso	% sobre total	kWh/año
Calefacción	47	4324.00
ACS	20	1332.16
Electrodomésticos	19	1265.55
Iluminación	7	466.26
Refrigeración	4	368.00
Otros	3	199.82

Tabla 2 Consumo anual por uso y portador (vivienda tipo, escenario calibrado)

Para este escenario calibrado se obtiene la electricidad total de 3.630 kWh/año un total de gas natural por 4.324 kWh/año. Finalmente, el total de consumo al año es 7.954 kWh/año.

Perfil mensual razonado (escenario calibrado)

La distribución estacional considera la calefacción concentrada en noviembre–marzo (picos en diciembre–enero), refrigeración en junio, julio y agosto, y el resto de usos eléctricos relativamente uniformes con ligera subida de iluminación en invierno. El resultado se muestra a continuación. Gráficamente se puede observar que el mayor consumo representa a la calefacción con un 47% del total.

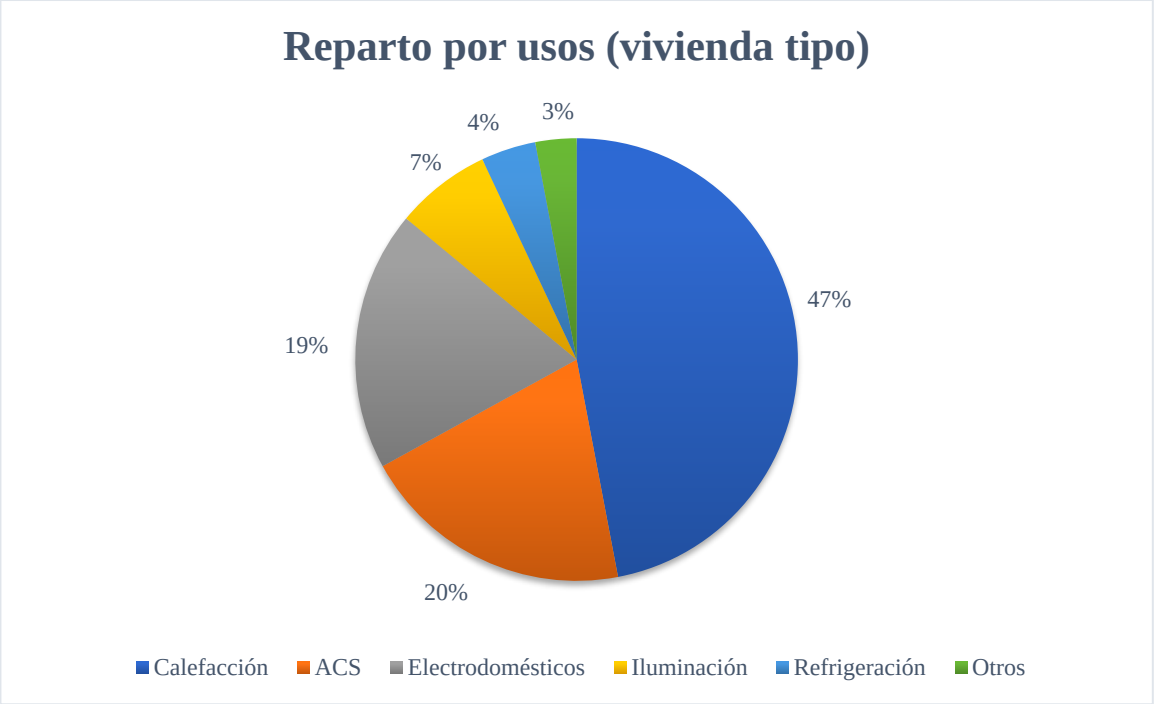


Ilustración 25 Reparto porcentual de consumo en vivienda tipo

Asimismo, se ha desarrollado la siguiente tabla por consumos mensuales:

Mes	Electricidad (kWh)	Calefacción gas (kWh)	Total (kWh)
Enero	302.90	1037.80	1340.70
Febrero	302.90	778.30	1081.20
Marzo	271.90	432.40	704.30
Abril	271.90	86.50	358.30
Mayo	247.00	0.00	247.00
Junio	357.40	0.00	357.40
Julio	375.80	0.00	375.80
Agosto	375.80	0.00	375.80
Septiembre	247.00	0.00	247.00
Octubre	271.90	216.20	488.10
Noviembre	302.90	778.30	1081.20
Diciembre	302.90	994.50	1297.40
Suma anual	3630.30	4324.00	7954.30

Tabla 3 Consumos mensuales de electricidad y gas natural en vivienda tipo

Coherencia y contrastes

El valor de mayo queda exactamente reproducido (247 kWh), lo que valida el ajuste eléctrico. Los meses de verano superan 350 kWh/mes de electricidad, compatible con aire por conductos operando en olas de calor. La calefacción mantiene magnitudes elevadas en invierno, consistentes con el clima D3 y la carcasa del edificio. Este enfoque proporciona una banda realista para el consumo anual por vivienda situada entre 7,9 y 9,2 MWh/año, a refinar con datos térmicos comunitarios.

Supuestos críticos e incertidumbre

El resultado energético es especialmente sensible a los siguientes factores:

- Valor de referencia y horarios de calefacción:
  - Cada grado adicional en la temperatura de consigna puede incrementar la demanda de calefacción entre un 6 % y un 8 % en climas fríos.
  - La programación de horarios influye directamente en el tiempo de funcionamiento de la instalación.
- Caudal y duración de las duchas y uso de agua caliente sanitaria (ACS):
  - Un minuto extra de ducha con un caudal de 6–10 litros por minuto suponen un consumo adicional de varios litros de agua caliente.
  - Cada litro de ACS calentado requiere aproximadamente 0,039–0,041 kWh, lo que multiplica el impacto energético cuanto más largas sean las duchas.

- Valor de referencia de refrigeración y medidas pasivas:
    - Una temperatura de consigna más baja en refrigeración aumenta notablemente la demanda de energía.
    - El uso de estrategias pasivas, como el aprovechamiento de sombras en el exterior o ventilación nocturna, reduce la necesidad de enfriamiento mecánico.
- Eficiencia real de los electrodomésticos predominantes:
    - Aparatos como el frigorífico y el horno concentran buena parte del consumo eléctrico.

Su eficiencia energética real puede marcar diferencias significativas en la demanda total de la vivienda. Estas incertidumbres se han acotado mediante la calibración de mayo y la elección de parámetros conservadores que se fundamentan en literatura técnica y estadísticas oficiales (IDAE, 2020; AEMET, 2021).

Implicaciones para capítulos posteriores

El perfil obtenido servirá de base para:

a) Dimensionar las medidas de rehabilitación de la envolvente y sustitución de carpinterías.

b) Estimar ahorros por modernización del generador de calefacción (caldera de condensación o sistemas alternativos).

c) Evaluar el impacto de la gestión inteligente (IoT).

d) Analizar la contribución potencial del autoconsumo fotovoltaico en cubierta al bloque eléctrico de la vivienda tipo y su extrapolación al conjunto del edificio.

4.2. Reparto por usos: calefacción, ACS, electrodomésticos, iluminación.

En este apartado se dividirá el consumo anual de la energía final para la vivienda tipo en sus principales usos finales, de modo que se identifiquen con claridad las partidas dominantes y se prioricen medidas de mejora en capítulos posteriores. El análisis se centrará en los usos más relevantes en el contexto residencial de la Comunidad de Madrid:

- Calefacción.
- Agua caliente sanitaria (ACS).
- Electrodomésticos.
- Iluminación.
- Refrigeración.
- Otros consumos menores.

La vivienda de referencia dispone de caldera central a gas natural para calefacción con radiadores, termo eléctrico individual para ACS y aire acondicionado por conductos para refrigeración.

En primer lugar, se toman los repartos de consumo por uso reportados por el IDAE para viviendas de la Comunidad de Madrid.

En segundo lugar, se ajustan esos porcentajes al caso de estudio teniendo en cuenta la elevada superficie acristalada, la ausencia de aislamiento en las fachadas y la presencia de aire acondicionado por conductos, factores que incrementan la demanda térmica (calefacción y refrigeración).

Finalmente, se calibra la parte eléctrica con un registro real de consumo de un mes sin calefacción (mayo), de 247 kWh, para alinear los usos eléctricos no estacionales (ACS, electrodomésticos, iluminación y otros). De este modo se obtienen dos marcos de referencia complementarios:

- Un escenario de referencia de 9.200 kWh/año por vivienda (ligeramente superior al promedio regional)
- Un escenario calibrado con las facturas mensuales.

Definiciones operativas de los usos

- Calefacción: Energía final consumida por la instalación central de gas y emitida por radiadores para mantener las condiciones de confort en invierno. Su magnitud depende del clima (zona D3), del horario de funcionamiento, de la inercia térmica del edificio y de las pérdidas de la envolvente.
- Agua caliente sanitaria (ACS): Energía eléctrica consumida por el termo individual para elevar la temperatura del agua de red hasta la consigna de acumulación (50–55 °C). Se estima con la expresión $\mathbf{Q = m \cdot c \cdot \Delta T}$ y se corrobora con el consumo eléctrico mensual observado.
- Electrodomésticos: Consumo de equipos conectados a la red (frigorífico, lavadora, horno, televisión, cocina eléctrica si procede, informática, etc.). Su magnitud depende de la clase energética, del patrón de uso y del número de ocupantes.
- Iluminación: Energía destinada a iluminación interior. Con tecnología LED predominante, su peso disminuye respecto de valores históricos, si bien aumenta el tiempo de encendido en invierno.
- Refrigeración: Electricidad consumida por el sistema de aire acondicionado por conductos, principalmente en junio–agosto, con picos durante episodios de ola de calor.
- Otros: Son los consumos menores (stand by, pequeños aparatos, cargadores).

Se realizan 2 escenarios para los cálculos del consumo en la vivienda tipo:

Escenario sensibilidad	Total kWh/año	Δ vs base (kWh)	Δ vs base (%)	Calefacción	ACS	Electrodomésticos	Iluminación	Refrigeración	Otros
Calefacción +1 ºC	9502.7	302.7	3.290217391	4626.7	1840	1748	644	368	276
Calefacción -1 ºC	8897.3	-302.7	-3.290217391	4021.3	1840	1748	644	368	276
Iluminación LED (-30%)	9006.8	-193.2	-2.1	4324	1840	1748	450.8	368	276
ACS ΔT +5 ºC	9476	276	3	4324	2116	1748	644	368	276
ACS ΔT -5 ºC	8924	-276	-3	4324	1564	1748	644	368	276

Tabla 4 Escenario A con datos de IDAE

Escenario sensibilidad	Total kWh/año	Δ vs base (kWh)	Δ vs base (%)	Calefacción	ACS	Electrodomésticos	Iluminación	Refrigeración	Otros
Calefacción +1 ºC	8256.9	302.7	3.805536698	4626.7	1332	1265	466	368	199.7
Calefacción -1 ºC	7651.5	-302.7	-3.805536698	4021.3	1332	1265	466	368	199.7
Iluminación LED (-30%)	7814.4	-139.8	-1.757562043	4324	1332	1265	326.2	368	199.7
ACS ΔT +5 ºC	8153.9	199.7	2.510623318	4324	1531	1265	466	368	199.7
ACS ΔT -5 ºC	7754.5	-199.7	-2.510623318	4324	1132	1265	466	368	199.7

Tabla 5 Escenario B con datos reales de facturas

De acuerdo a las tablas anteriores, se tiene como resultado lo siguiente por tipo de consumo:

- Calefacción:
  El valor anual adoptado en ambos escenarios (4.324 kWh/año por vivienda) es coherente con edificios de envolvente no aislada en zona D3. Este bloque se recalculará con datos comunitarios de gas tan pronto estén disponibles, asignando a la vivienda una fracción proporcional a las unidades registradas por los repartidores de costes (metodología UNE-EN 834:2013).
- ACS:
  El dimensionamiento parte de cálculos físicos de calentamiento de agua ($Q = m \cdot c \cdot \Delta T$) y se contrasta con el consumo eléctrico real de mayo. Con agua de red 16 °C, acumulación a 50 °C y pérdidas de mantenimiento del termo en el rango 0,5–1,0 kWh/día, los valores anuales de 1.840 kWh (escenario A) y 1.332 kWh (escenario B) son los que resultan para un hogar de cuatro ocupantes.
- Electrodomésticos
  Se consideran magnitudes típicas de un parque de equipos de eficiencia media. La reducción observada en el escenario B sugiere pautas de uso moderadas fuera del verano.
- Iluminación
  La instalación de LED reduce el bloque respecto de valores históricos; el escenario B refleja esa tendencia.
- Refrigeración
  Se mantiene en 368 kWh/año hasta contar con un recibo estival que permita ajustar el uso real del aire por conductos.
- Otros
  Incluye consumos difusos; el ajuste de escenario B reduce esta partida de forma consistente con el menor registro eléctrico de mayo.

Análisis de sensibilidad

Se analiza la respuesta del reparto ante cambios posibles en parámetros críticos. En calefacción, una variación de ±1 °C en el valor de referencia puede modificar la demanda en torno a ±7 %, en ACS, un cambio de ±5 °C en el salto térmico representa alrededor de ±15 % en energía por litro, para iluminación, un paso adicional a LED puede reducir en un 30 % el consumo de esta partida.

4.3. Comparación con consumos promedio en Madrid.

Este apartado contrasta el consumo anual estimado para la vivienda tipo con el valor de referencia disponible para la Comunidad de Madrid. Se han considerado dos estimaciones internas coherentes entre sí: el escenario A, que parte de la media IDAE y se ajusta a las particularidades del edificio hasta 9.200 kWh/año por vivienda, y el escenario B, que calibra la parte eléctrica con un dato real de mayo, resultando en 7.954 kWh/año por vivienda. La comparación se realiza frente al valor de referencia del IDAE para Madrid, de 8.500 kWh/año por vivienda.

La diferencia absoluta y relativa se calculan de forma directa con las fórmulas:

$$\Delta kWh = kWh_escenario - kWh_IDAE$$

$$\Delta\% = \Delta kWh \,/\, kWh_IDAE \times 100$$

Para el escenario A:

$$\Delta kWh = 9.200 - 8.500 = 700\, kWh/año$$

$$\Delta\% = 700/8.500 = 0{,}082 \rightarrow 8{,}2\,\%$$

Para el escenario B:

$$\Delta kWh = 7.954 - 8.500 = -546\, kWh/año$$

$$\Delta\% = -546/8.500 = -0{,}064 \rightarrow -6{,}4\,\%$$

Indicador	kWh/año por vivienda	Diferencia vs IDAE (kWh)	Diferencia vs IDAE (%)
Escenario A (ajustado)	9200.00	700.00	8.24
Escenario B (calibrado)	7954.00	-546.00	-6.42
Media IDAE CM	8500.00	0.00	0.00

Tabla 6 Consumo anual por vivienda y diferencias respecto al IDAE (Comunidad de Madrid)

En la lectura se observa al escenario A, que incorpora el efecto de una envolvente térmicamente débil (fachadas sin aislamiento y elevado porcentaje de huecos con vidrio simple) y el uso de aire acondicionado por conductos, sitúa a la vivienda tipo un 8,2 % por encima del promedio regional. El escenario B, al ajustar los usos eléctricos con un registro real de mayo, muestra una cifra un 6,4 % inferior a la media, lo que sugiere que, fuera de la temporada de calefacción, los consumos eléctricos de ACS y electrodomésticos se mantienen con un consumo estable. Ambos resultados son coherentes con el edificio analizado:

Por un lado, la baja calidad de la envolvente empuja al alza la demanda térmica anual, por otro, los usos eléctricos muestran moderación cuando se contrastan con dato real. En términos de consistencia, la horquilla 7.954–9.200 kWh/año por vivienda encaja con lo esperable para un edificio entre medianeras en zona climática D3, con caldera comunitaria antigua y sin aislamiento en fachadas.

Para una visualización inmediata de la comparación, se acompaña un gráfico de barras con los tres valores.

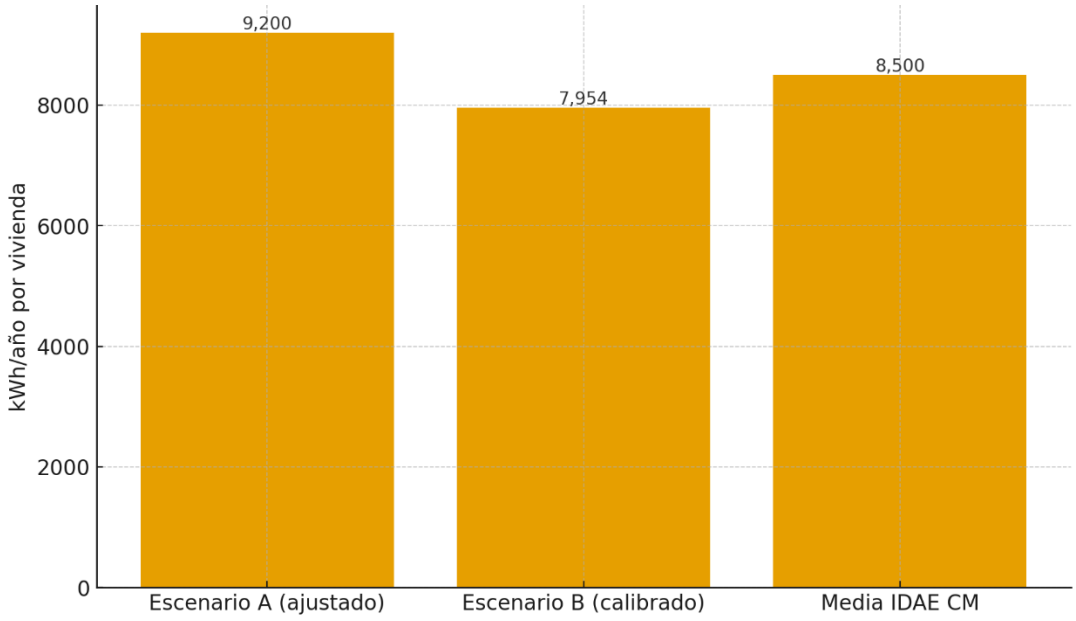


Ilustración 26 Consumo anual por vivienda: escenarios del estudio frente a la media IDAE

4.4. Estimación de emisiones de CO_2.

El cálculo de emisiones de CO_2 se realiza a partir de la energía final consumida por la vivienda tipo y de factores de emisión por portador energético. Para electricidad se adopta 0,20 kg CO_2/kWh y para gas natural 0,204 kg CO_2/kWh, valores medios adecuados para estimaciones comparativas en el contexto español. Se presentan resultados en dos marcos coherentes con el resto del capítulo: el escenario A (9.200 kWh/año por vivienda) y el escenario B (7.954 kWh/año por vivienda calibrado con dato eléctrico real de mayo). En ambos casos, la calefacción corresponde a gas natural y el resto de usos a electricidad.

Cálculo por portador y por uso

La emisión asociada a cada uso se obtiene multiplicando la energía anual de ese uso por el factor de emisión del portador correspondiente.

De forma general:

$$Emisiones\ (kg\ CO_2/año)\ =\ Energía\ (kWh/año)\ \times\ Factor\ (kg\ CO_2/kWh)$$

Aplicando la expresión anterior, los resultados quedan según lo siguiente:

Uso	Portador	kWh/año	Factor (kg CO2/kWh)	Emisiones (kg CO2/año)	Emisiones (t CO2/año)
Calefacción	Gas natural	4324.00	0.20	882.10	0.88
ACS	Electricidad	1840.00	0.20	368.00	0.37
Electrodomésticos	Electricidad	1748.00	0.20	349.60	0.35
Iluminación	Electricidad	644.00	0.20	128.80	0.13
Refrigeración	Electricidad	368.00	0.20	73.60	0.07
Otros	Electricidad	276.00	0.20	55.20	0.06
Total		9200.00		1857.30	1.86

Tabla 7 Emisiones por uso y portador. Escenario A (vivienda tipo)

Uso	Portador	kWh/año	Factor (kg CO2/kWh)	Emisiones (kg CO2/año)	Emisiones (t CO2/año)
Calefacción	Gas natural	4324.00	0.20	882.10	0.88
ACS	Electricidad	1332.00	0.20	266.40	0.27
Electrodomésticos	Electricidad	1265.00	0.20	253.00	0.25
Iluminación	Electricidad	466.00	0.20	93.20	0.09
Refrigeración	Electricidad	368.00	0.20	73.60	0.07
Otros	Electricidad	200.00	0.20	40.00	0.04
Total		7955.00		1608.30	1.61

Tabla 8 Emisiones por uso y portador. Escenario B (vivienda tipo, calibrado)

En ambos escenarios la calefacción a gas natural concentra la mayor parte de las emisiones anuales, pese a que, en términos de energía final, la electricidad pueda representar una fracción comparable (escenario A) o menor (escenario B).

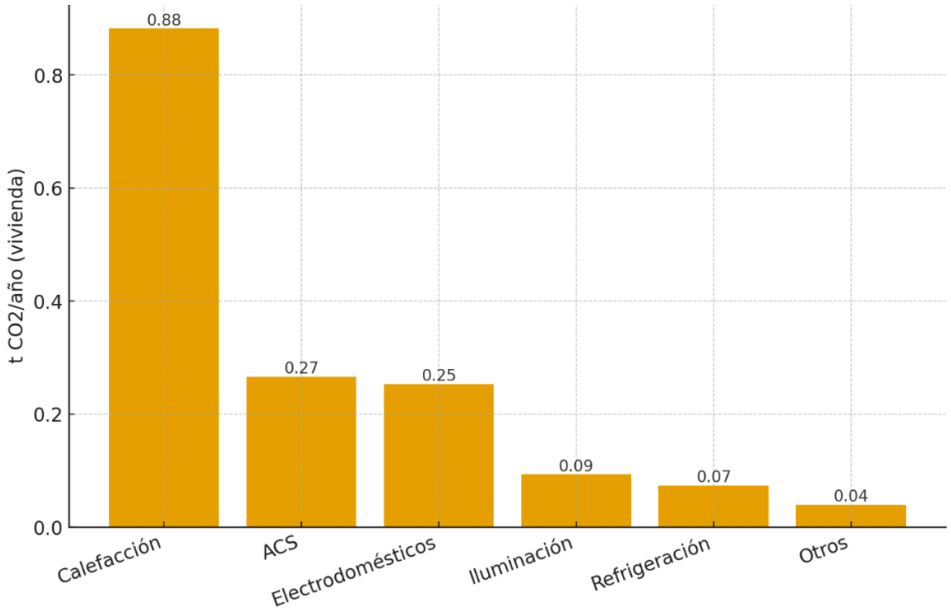


Ilustración 27 Emisiones por uso – Escenario B (porcentaje por vivienda)

Con ello:

- La calefacción integra la mayor demanda de la vivienda (clima D3 y envolvente sin aislamiento).
- La electricidad del sistema español muestra factores de emisión en descenso en los últimos años, mientras que el gas natural mantiene un factor en torno a 0,204 kg CO_2/kWh. En el escenario B, la reducción de las emisiones eléctricas respecto del escenario A refleja la calibración empírica a partir del recibo de mayo y pone de relieve que la principal palanca de mitigación climática reside en disminuir la demanda térmica de calefacción (mejora de envolvente y control) y, en su caso, en sustituir el generador por tecnologías de mayor eficiencia y apoyo renovable.

4.5. Extrapolación al edificio completo (38 viviendas).

La extrapolación al conjunto del edificio se realiza partiendo de que las viviendas comparten configuración constructiva y de instalaciones, así como superficies útiles similares en torno a 70 m². Bajo esta hipótesis de homogeneidad, los consumos y emisiones por vivienda se multiplican por 38. Se presentan dos referencias coherentes con el resto del capítulo, el escenario A (9.200 kWh/año por vivienda) y escenario B (7.954 kWh/año por vivienda calibrado con los registros eléctricos). Se incluyen, además, indicadores normalizados por superficie para facilitar las comparaciones con otros edificios residenciales.

Escenario	Viviendas	Electricidad total (kWh/año)	Gas natural total (kWh/año)	Energía total edificio (kWh/año)
A (ajustado)	38	185288.00	164312.00	349600.00
B (calibrado)	38	137978.00	164312.00	302290.00

Tabla 9 Consumo anual total del edificio (38 viviendas)

Las emisiones se calculan multiplicando la energía final de cada portador por su factor de emisión (electricidad 0,20 kg CO_2/kWh; gas natural 0,204 kg CO_2/kWh) y agregando por edificio.

Escenario	Viviendas	Electricidad total (kWh/año)	Gas natural total (kWh/año)	Energía total edificio (kWh/año)	Emisiones electricidad (t CO2/año)	Emisiones gas (t CO2/año)	Emisiones totales (t CO2/año)
A (ajustado)	38	185288.00	164312.00	349600.00	37.06	33.52	70.58
B (calibrado)	38	137978.00	164312.00	302290.00	27.60	33.52	61.12

Tabla 10 Emisiones anuales del edificio (38 viviendas)

Tomando las proporciones de cada escenario, el reparto por usos a escala de 38 viviendas evidencia el peso mayoritario de la calefacción.

Los resultados confirman que la calefacción a gas concentra la mayor parte de la energía y de las emisiones a escala de comunidad. La diferencia de 44–45 MWh/año entre escenarios se explica por la calibración de los usos eléctricos con dato real, lo que pone de relieve la importancia de disponer de registros empíricos en edificios existentes. Desde el punto de vista de gestión, estas cifras permiten:

- Cuantificar el potencial de ahorro de medidas de la fachada (carpinterías y aislamiento).
- Valorar la modernización del generador de calefacción (caldera de condensación, equilibrado y control por zonas).
- Estimar el impacto de la gestión de ACS y la optimización de caudales y temperaturas.
- Dimensionar opciones de autoconsumo fotovoltaico para reducir la electricidad de la comunidad.

5. PROPUESTAS DE MEJORA

Este capítulo plantea y justifica técnicamente un conjunto de medidas de mejora para la vivienda tipo y el edificio de Calle Bárdenas 4 (Leganés). Se cuantifican los efectos sobre el consumo energético (kWh/año), el ahorro económico (€/año) y la reducción de emisiones (kg CO_2/año).

Se emplearán los siguientes precios de energía:

- Electricidad: 0,19 €/kWh (según los recibos reales del piso tipo).
- Gas natural: 0,08 €/kWh (valor representativo en España).

Asimismo, se usarán los siguientes factores de emisión:

- Electricidad: 0,20 kg CO_2/kWh.
- Gas: 0,204 kg CO_2/kWh.

Consumo anual calculado:

- Calefacción (gas): 4.324 kWh/año
- Electricidad total: 3.630 kWh/año (ACS 1.332, electrodomésticos 1.265, iluminación 466, refrigeración 368, otros 200)

Total, de viviendas a escalar:

- 38 viviendas.

5.1. Aislamiento térmico en cerramientos.

Fundamento técnico

El edificio no dispone de aislamiento en fachadas ni en cubierta. Un SATE (Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior) reduce la transmitancia U de la fábrica de ladrillo (≈1,4–1,8 W/m²K) a valores del entorno 0,30–0,40 W/m²K con fachadas con EPS o lana mineral, 40-80 mm, en acabado mineral o capa fina. En cubierta plana, 8–10 cm de XPS o lana mineral llevan U por debajo de 0,30 W/m²K. Esto nos da una consecuencia directa de menos pérdidas en invierno y menores sobrecalentamientos en verano.

Hipótesis de cálculo y ahorro

Se adopta un ahorro conservador del 35 % sobre la energía final de calefacción a gas de la vivienda tipo.

Ahorro energía:

$$0{,}35 \times 4.324 = 1.513\ kWh/\text{año}\ por\ vivienda$$

Ahorro económico:

$$1.513 \times 0{,}08 = 121\ €/\text{año}$$

Reducción CO_2:

$$1.513 \times 0{,}204 = 309\ kg\ CO_2/\text{año}$$

Coste calculado e implantado a la comunidad de propietarios (CP)

Coste del SATE en el mercado: 66–120 €/m² que varía según el espesor, por lo que tomaremos un estimado de 72 €/m² para un SATE con EPS de 4-6 cm, con acabado estándar y que incluya la mano de obra. La superficie de fachada expuesta del edificio es de 1.200 m² (principal + posterior), entre medianeras.

Inversión edificio:

$$1.200 \times 72 = 86.400\ €$$

Reparto por vivienda:

$$86.400 \div 38 = 2.273{,}68\ €\ por\ vivienda$$

Concepto	Vivienda tipo	Edificio
Ahorro calefacción (kWh/año)	1513.00	57494.00
Ahorro económico (€/año)	121.00	4598.00
Reducción CO_2 (kg/año)	309.00	11742.00
Inversión SATE (€/un)	2273.68	86400.00

Tabla 11 SATE y cubierta: ahorro e inversión

Adicionalmente al SATE, podría añadirse el aislamiento de cubierta (coste 35–50 €/m²), sin embargo, se está considerando solo las fachadas por su magnitud.

5.2.Sustitución de carpinterías y vidrios.

Fundamento técnico

Las ventanas actuales son de aluminio sin RPT (Rotura de puente térmico) y vidrio simple (U ≈ 5,7 W/m²K). Estas pasarían a sustituirse por carpinterías con RPT de PVC o aluminio y doble acristalamiento bajo emisivo con gas argón (U ≤ 1,6 W/m²K, factor solar (g) = 0,5) que disminuye las pérdidas y filtraciones, y mejora el confort higrotérmico y acústico.

Ahorro estimado

Se adopta un ahorro de 15 % para la calefacción de gas.

Ahorro energía:

$$0{,}15 \times 4.324 = 649\ kWh/año\ por\ vivienda$$

Ahorro económico:

$$649 \times 0{,}08 = 52\ €/año$$

Reducción CO_2:

$$649 \times 0{,}204 = 132\ kg\ CO_2/año$$

Coste calculado e implantado a la comunidad de propietarios (CP)

Unidades por vivienda: 7 ventanas (incluyendo baño).

Precio típico por ventana RPT + doble bajo emisivo: Usualmente en un rango entre 450–600 € y para este caso se adoptará 500 €.

Inversión por vivienda:

$$7 \times 500 = 3.500\ €$$

Concepto	Vivienda tipo	Edificio
Ahorro calefacción (kWh/año)	649.00	24662.00
Ahorro económico (€/año)	52.00	1976.00
Reducción CO_2 (kg/año)	132.00	5016.00
Inversión (€/un)	3500.00	133000.00

Tabla 12 Ventanas: ahorro e inversión

En el caso de ejecutar obras en SATE y luego instalar las ventanas, el ahorro marginal de las ventanas podría reducirse ya que no son estrictamente aditivas.

5.3. Sistemas de climatización eficientes (aerotermia).

Fundamento técnico

La bomba de calor aerotérmica transfiere calor del aire exterior al circuito de calefacción. Con SCOP (eficiencia estacional en calefacción) de 3,0–3,5, la electricidad necesaria por kWh térmico útil es mucho menor que la energía de gas de la caldera convencional.

Consistencia energética

$$Caldera\ actual\ con\ rendimiento\ \eta\ =\ 0{,}85$$

$$Calor\ útil\ anual\ (Qútil)\ =\ 0{,}85\ \times\ 4.324\ =\ 3.675\ kWh\ th/año.$$

Considerando un SCOP = 3,2 se calcula la electricidad requerida:

$$Ereq\ =\ 3.675\ /\ 3{,}2\ =\ 1.148\ kWh/año\ por\ vivienda$$

Comparativa de costes y emisiones por vivienda

$$Coste\ con\ gas\ base\text{: } 4.324\ \times\ 0{,}08\ =\ 346\ €/año$$

$$Coste\ con\ aerotermia\text{: } 1.148\ \times\ 0{,}19\ =\ 218\ €/año$$

$$\boldsymbol{Ahorro\ anual\text{: } 346\ -\ 218\ =\ 128\ €/año}$$

$$Emisiones\ gas\ base\text{: } 4.324\ \times\ 0{,}204\ =\ 883\ kg\ CO_2/año$$

$$Emisiones\ con\ aerotermia\text{: } 1.148\ \times\ 0{,}20\ =\ 230\ kg\ CO_2/año$$

$$\boldsymbol{Reducción\ anual\text{: } 883\ -\ 230\ =\ 653\ kg\ CO_2/año}$$

Inversión estimada

La regla de mercado para la centralización de la aerotermia va en un rango de 80–100 €/m² útil de inversión.

En la vivienda tipo se cuenta con 70 m² y se adopta una inversión de 90 €/m²:

$$Inversión\ en\ aerotermia\ de\ vivienda\ tipo\ =\ 70\ m^2\ \times\ 90\ €/m^2$$

$$Inversión\ en\ aerotermia\ de\ vivienda\ tipo\ =\ 6300\ €$$

Extrapolando al edificio de 38 viviendas se obtiene:

$$Inversión\ en\ aerotermia\ en\ la\ CP\ =\ 6.300\ \times\ 38\ €$$

$$Inversión\ en\ aerotermia\ en\ la\ CP\ =\ 239.400\ €$$

Concepto	Vivienda tipo	Edificio
Q útil calefacción (kWh th/año)	3675.00	139650.00
Electricidad anual con aerotermia (kWh/año)	1148.00	43624.00
Ahorro económico (€/año)	128.00	4864.00
Reducción CO_2 (kg/año)	653.00	24814.00
Inversión (€/un)	6300.00	239400.00

Tabla 13 Aerotermia centralizada: balance por vivienda y edificio

En este caso si previamente se ejecuta el SATE y las ventanas, la demanda útil disminuirá, y en ese caso, la aerotermia consumirá aún menos electricidad, por lo que el ahorro económico/CO_2 será mayor frente al estado inicial.

5.4. Producción renovable (placas fotovoltaicas en cubierta).

Fundamento técnico y normativa

El autoconsumo compartido por la producción de energía de placas fotovoltaicas se encuentra regulado por RD 244/2019. La cubierta plana del edificio permite instalar placas fotovoltaicas sin sombreados críticos.

Dimensionamiento y energía anual

Potencia: 34 kWp (ocupación en la cubierta).

Productividad Madrid: 1.300-1.450 kWh/kWp·año.

Con esta información se calcula la producción anual:

$$Producción\ anual\text{: } 34\ \times\ 1.400\ =\ 47.600\ kWh/año.$$

$$Cuota\ por\ vivienda\text{: } 47.600\ /\ 38\ \approx\ 1.252{,}63\ kWh/año.$$

Ahorros y costes

$$Ahorro\ económico\ por\ vivienda: 1.252{,}63\ \times\ 0{,}19\ =\ 238\ €/año.$$

El Capex típico va en un rango de 1.000–1.200 €/kWp donde se adoptará el valor de 1.100 €/kWp, dando como resultado:

$$Capex\ total\ =\ 34\ \times\ 1.100\ =\ 37.400\ €$$

$$Capex\ por\ vivienda\ =\ 37.400\ €\ /\ 38\ viviendas\ =\ 984{,}21\ €/vivienda$$

Concepto	Vivienda tipo	Edificio
Producción anual (kWh/año)	1252.63	45094.74
Ahorro económico (€/año)	238.00	8568.00
Inversión (€/un)	984.21	35431.58

Tabla 14 Fotovoltaica compartida: energía e inversión

La energía efectivamente auto consumida dependerá del reparto horario, si cuenta con baterías o gestión de cargas, la fracción de autoconsumo incrementaría.

5.5. Domótica e IoT para monitorización y control de consumos.

Fundamento técnico

El uso y aplicación de la sensorización (temperatura, humedad, presencia, apertura), válvulas termostáticas en radiadores, medidores de energía, regletas inteligentes, y pasarelas (Zigbee/Tuya/Shelly) permiten ajustar consignas, horarios, detectar consumos anómalos, y desplazar los usos eléctricos a horas favorables.

Ahorro estimado

Se adopta el 10 % de la electricidad anual de la vivienda.

$$Ahorro: 0{,}10\ \times\ 3.630\ =\ 363\ kWh/año$$

$$Ahorro\ económico: 363\ \times\ 0{,}19\ =\ 69\ €/año$$

$$Reducción\ CO_2: 363\ \times\ 0{,}20\ =\ 73\ kg\ CO_2/año$$

La inversión sería de alrededor de 900 € por vivienda que incluiría el paquete de termostato inteligente, las válvulas, pasarela y 3-4 medidores.

Concepto	Vivienda tipo	Edificio
Ahorro eléctrico (kWh/año)	363.00	13794.00
Ahorro económico (€/año)	69.00	2622.00
Reducción CO_2 (kg/año)	73.00	2774.00
Inversión (€/un)	900.00	34200.00

Tabla 15 Domótica/IoT: ahorro e inversión

5.6. Inteligencia Artificial para optimización de la climatización.

Fundamento técnico

Los modelos predictivos y de control adaptativo como el aprendizaje de hábitos, el clima futuro, la inercia térmica o los precios horarios permiten modular el punto de ajuste (setpoint) y los horarios, reduciendo los consumos sin perder el confort.

Ahorro estimado

Se adopta un ahorro adicional de 8 % sobre la energía de calefacción a gas (aplicable con sensores/actuadores ya instalados):

Ahorro: 0,08 × 4.324 = 346 kWh/año

Ahorro económico: 346 × 0,08 = 28 €/año

Reducción CO_2: 346 × 0,204 = 71 kg CO_2/año

La inversión sería de 600 € por vivienda e incluiría la licencia o servicio, junto a la integración básica de IA.

Concepto	Vivienda tipo	Edificio
Ahorro calefacción (kWh/año)	346.00	13148.00
Ahorro económico (€/año)	28.00	1064.00
Reducción CO_2 (kg/año)	71.00	2698.00
Inversión (€/un)	600.00	22800.00

Tabla 16 IA de optimización: ahorro e inversión

6. ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL

Este capítulo analiza la viabilidad económica y el impacto ambiental de las medidas propuestas en el Capítulo 5. El cálculo se realiza a partir de los precios unitarios de energía definidos (electricidad 0,19 €/kWh y gas 0,08 €/kWh), junto con factores de emisión de 0,20 kg CO_2/kWh para electricidad y 0,204 kg CO_2/kWh para gas natural. Las inversiones consideradas corresponden a valores medios de mercado en España.

6.1. Coste de las medidas propuestas.

Los costes unitarios de cada medida se resumen en la siguiente tabla, considerando vivienda tipo y edificio completo.

Medida	Inversion viv	Inversion edif
SATE	2273.68	86400.00
Ventanas	3500.00	133000.00
Aerotermia	6300.00	239400.00
Fotovoltaica	984.21	37400.00
Domótica/IoT	900.00	34200.00
IA	600.00	22800.00

Tabla 17 Coste de las medidas propuestas (38 viviendas)

6.2.Estimación de ahorro energético (kWh/año).

Los ahorros energéticos estimados se presentan en la siguiente tabla.

Medida	Ahorro kWh viv	Ahorro kWh edif
SATE	1513.00	57494.00
Ventanas	649.00	24662.00
Aerotermia	3176.00	120688.00
Fotovoltaica	1252.63	47600.00
Domótica/IoT	363.00	13794.00
IA	346.00	13148.00

Tabla 18 Estimación de ahorro energético (kWh/año) para 38 viviendas

6.3. Ahorro económico (€/año).

El ahorro económico anual se calcula multiplicando los ahorros energéticos por los precios unitarios de la energía.

Medida	Ahorro eur viv	Ahorro eur edif
SATE	121.00	4598.00
Ventanas	52.00	1976.00
Aerotermia	128.00	4864.00
Fotovoltaica	238.00	9044.00
Domótica/IoT	69.00	2622.00
IA	28.00	1064.00

Tabla 19 Ahorro económico (€/año) para 38 viviendas

6.4. Reducción de emisiones de CO_2 (kg/año).

Las reducciones de emisiones de CO_2 se calculan aplicando factores de emisión de 0,20 kg/kWh para electricidad y 0,204 kg/kWh para gas.

Medida	Reduccion CO2 viv	Reduccion CO2 edif
SATE	309.00	11742.00
Ventanas	132.00	5016.00
Aerotermia	653.00	24814.00
Fotovoltaica	250.53	9520.14
Domótica/IoT	73.00	2774.00
IA	71.00	2698.00

Tabla 20 Reducción de emisiones de CO_2 (kg/año) para 38 viviendas

6.5. Período de retorno de inversión (Payback).

Se aplicará el payback donde se estima el número de años necesarios para recuperar la inversión mediante el ahorro económico anual.

A continuación, se calcula el payback:

Fórmula general del payback

$$Payback\ (años) = Inversión\ inicial\ (€)\ /\ Ahorro\ económico\ anual\ (€/año)$$

$$Ahorro\ anual\ (€) = (Ahorro\ energ\ porta \times precio\ porta) - (Costes\ energ\ adicion)$$

Para medidas que ahorran gas (SATE, ventanas, IA)

$$Ahorro\ económico\ =\ kWh\ gas\ ahorrados\ \times\ 0{,}08\ €/kWh.$$

Parámetro	Valor	Unidad
Inversión por vivienda	2273.68	€
Ahorro energía (gas) por vivienda	1513	kWh/año
Ahorro económico anual	121.04	€/año
Reducción de emisiones	308.65	kg CO2/año
Payback simple	18.8	años

Tabla 21 Payback SATE

Parámetro	Valor	Unidad
Inversión por vivienda	3500.00	€
Ahorro energía (gas) por vivienda	649	kWh/año
Ahorro económico anual	51.92	€/año
Reducción de emisiones	132.40	kg CO2/año
Payback simple	67.4	años

Tabla 22 Payback ventanas

Parámetro	Valor	Unidad
Inversión por vivienda	600.00	€
Ahorro energía (gas)	346	kWh/año
Ahorro económico anual	27.68	€/año
Reducción de emisiones	70.58	kg CO2/año
Payback simple	21.7	años

Tabla 23 Payback IA

Para medidas que ahorran electricidad (IoT) o generan electricidad (FV)

$$Ahorro\ económico\ =\ kWh\ eléctricos\ evitados\ \times\ 0{,}19\ €/kWh.$$

Parámetro	Valor	Unidad
Inversión por vivienda	900.00	€
Ahorro energía (electricidad)	363	kWh/año
Ahorro económico anual	68.97	€/año
Reducción de emisiones	72.60	kg CO2/año
Payback simple	13.0	años

Tabla 24 Payback IoT

Parámetro	Valor	Unidad
Inversión por vivienda	984.21	€
Producción anual por vivienda	1253	kWh/año
Ahorro económico anual	238.00	€/año
Emisiones evitadas	250.53	kg CO2/año
Payback simple	4.1	años

Tabla 25 Payback fotovoltaica

Para aerotermia (sustitución de caldera)

Primero se calcula el coste base con gas y el coste nuevo con electricidad, y el ahorro es la diferencia:

$$Coste\ base\ =\ 4.324\ kWh\ gas\ \times\ 0{,}08\ €/kWh$$

$$Demanda\ útil\ =\ 0{,}85\ \times\ 4.324\ =\ 3.675\ kWh\ th$$

$$Electricidad\ con\ aerotermia\ =\ 3.675\ /\ 3{,}2\ =\ 1.148\ kWh\ elec$$

$$Coste\ nuevo\ =\ 1.148\ \times\ 0{,}19\ €/kWh$$

$$Ahorro\ =\ Coste\ base\ -\ Coste\ nuevo$$

$$Payback\ =\ 6.300\ €\ /\ Ahorro$$

Parámetro	Valor	Unidad
Inversión por vivienda	6300.00	€
Consumo base calefacción (gas)	4324	kWh/año
Rendimiento caldera (η)	0.85	
Demanda útil calefacción (kWh_th/año)	3675	kWh_th/año
SCOP bomba de calor	3.20	
Electricidad con aerotermia	1148.56	kWh/año
Coste anual base (gas)	345.92	€/año
Coste anual con aerotermia (electricidad)	218.23	€/año
Ahorro económico anual	127.69	€/año
Emisiones base (gas)	882.10	kg CO2/año
Emisiones con aerotermia (electricidad)	229.71	kg CO2/año
Reducción de emisiones	652.38	kg CO2/año
Payback simple	49.34	años

Tabla 26 Payback aerotermia

El resumen del retorno de la inversión por cada medida sería el siguiente:

Medida	Inversión €/viv	Ahorro €/año	Payback (años)	Emisiones evitadas (kg/año)
SATE	2273.68	121.04	18.8	308.65
Ventanas	3500.00	51.92	67.4	132.40
Aerotermia	6300.00	127.69	49.3	652.38
Fotovoltaica	984.21	238.00	4.1	250.53
Domótica/IoT	900.00	68.97	13.0	72.60
IA Climatización	600.00	27.68	21.7	70.58
	14557.89	**635.30**		**1487.14**

Tabla 27 Período de retorno de inversión (Payback)

6.6. Escalado al edificio completo (impacto global).

Al extrapolar las medidas al conjunto del edificio se observa el elevado impacto global en términos de energía, economía y emisiones.

Cuadro resumen comparativo

La siguiente tabla resume todas las variables clave de las medidas propuestas.

Medida	Inversion viv	Inversion edif	Ahorro kWh viv	Ahorro kWh edif	Ahorro eur viv	Ahorro eur edif	Reduccion CO2 viv	Reduccion CO2 edif	Payback
SATE	2273.68	86400.00	1513.00	57494.00	121.00	4598.00	309.00	11742.00	18.78
Ventanas	3500.00	133000.00	649.00	24662.00	52.00	1976.00	132.00	5016.00	67.41
Aerotermia	6300.00	239400.00	3176.00	120688.00	128.00	4864.00	653.00	24814.00	49.34
Fotovoltaica	984.21	37400.00	1252.63	47600.00	238.00	9044.00	250.53	9520.14	4.14
Domótica/IoT	900.00	34200.00	363.00	13794.00	69.00	2622.00	73.00	2774.00	13.05
IA	600.00	22800.00	346.00	13148.00	28.00	1064.00	71.00	2698.00	21.68

Tabla 28 Escalado al edificio completo (impacto global de ahorro energético)

El análisis revela que las medidas con mejor relación coste/beneficio son la fotovoltaica, la domótica/IoT y la inteligencia artificial, con periodos de retorno entre los 4 y 22 años. Por el contrario, las intervenciones de la superficie exterior (SATE y ventanas) y la aerotermia presentan paybacks más largos que van desde los 18 años y llegando hasta los 68 años inclusive. Asimismo, su viabilidad económica depende de las subvenciones que se puedan conceder a la comunidad de propietarios o de un enfoque integral de rehabilitación. El impacto ambiental, sin embargo, justifica estas actuaciones dado que concentran las mayores reducciones de emisiones de CO_2.

7. GESTIÓN DE RESIDUOS

La incorporación de medidas de rehabilitación energética en el edificio de Calle Bárdenas 4 no solo implica la instalación de nuevos sistemas, sino también la retirada y eventual sustitución de elementos antiguos como carpinterías, vidrios, equipos de climatización y acabados de fachada. La correcta gestión de estos residuos es un aspecto clave para garantizar la sostenibilidad integral de la intervención.

- En el caso de las carpinterías y vidrios antiguos, se prevé su entrega a gestores autorizados para el reciclaje de aluminio y vidrio, materiales con altas tasas de recuperación en España (ECOEMBES, 2022). De igual manera, el aislamiento retirado o los revestimientos obsoletos deberán gestionarse como residuos de construcción y demolición (RCD), cumpliendo con el Real Decreto 105/2008, que regula la producción y gestión de este tipo de residuos en obras.
- Respecto a los equipos sustituidos, como la caldera de gas, la normativa RAEE (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, Real Decreto 110/2015) establece su recogida selectiva para la correcta descontaminación de componentes y el reciclaje de metales y plásticos.
- Por otra parte, los nuevos elementos instalados (paneles fotovoltaicos, sistemas de aerotermia, vidrios bajo emisivos, dispositivos IoT) cuentan con una vida útil estimada de 15–25 años. Para su fin de vida, deberán ser gestionados dentro de las cadenas de reciclaje específicas:
- Los paneles fotovoltaicos ya cuentan con sistemas de recogida a través de entidades como PV Cycle, que reciclan hasta el 96 % de sus componentes (Vidrio, silicio y aluminio).
- Los equipos de climatización entran también en la categoría RAEE, lo que garantiza su tratamiento en plantas especializadas.
- Los sensores y equipos IoT forman parte de la fracción electrónica y deberán recogerse por canales autorizados, evitando que acaben en vertederos.

Finalmente, se recomienda incluir en el plan de rehabilitación un protocolo de mantenimiento preventivo y de sustitución programada, de manera que la comunidad de propietarios pueda prever no solo la inversión inicial, sino también los costes y la logística asociados al final de la vida útil de cada medida implementada.

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

8.1. Comparación con estudios similares en España y Europa.

El consumo energético estimado para la vivienda tipo (7.954–9.200 kWh/año) se encuentra dentro del rango identificado en informes del IDAE (2020) para la Comunidad de Madrid, aunque ligeramente superior debido a la ausencia de aislamiento en la envolvente y al uso de sistemas convencionales. Estudios europeos como BPIE (2017) confirman que este patrón es común en edificios residenciales construidos antes de 1980, con pérdidas térmicas elevadas y sistemas de calefacción centralizados poco eficientes. Las medidas propuestas coinciden con las estrategias de rehabilitación energética recomendadas en la Directiva Europea de Eficiencia Energética de Edificios (EPBD, 2018/844/UE). En particular, la integración de energías renovables y tecnologías digitales refleja la tendencia hacia edificios inteligentes y descarbonizados.

De manera más local, los estudios de rehabilitación energética desarrollados en barrios como San Nicasio y Zarzaquemada, también en Leganés, o en Carabanchel (Madrid), muestran patrones de consumo muy similares: demandas anuales entre 8.000 y 10.500 kWh por vivienda en bloques de los años 60 y 70, caracterizados por cerramientos de ladrillo sin aislamiento y sistemas centralizados de calefacción a gasóleo o gas natural (García-Navarro et al., 2019). En estos casos, la incorporación de SATE y ventanas con doble acristalamiento permitió reducir hasta un 45 % la demanda de calefacción, mientras que la instalación de fotovoltaica en cubierta aportó entre un 25 % y un 35 % de la electricidad consumida. Estas cifras refuerzan la validez de los resultados obtenidos en el edificio de Calle Bárdenas 4, mostrando que el caso estudiado no es aislado, sino representativo de una problemática común en el parque edificatorio madrileño.

8.2. Beneficios sociales y ambientales de aplicar mejoras.

La aplicación de estas medidas presenta beneficios que trascienden lo puramente energético:

- Reducción de la pobreza energética.
- Mejora del confort térmico y acústico.
- Contribución a la sostenibilidad urbana al reducir las emisiones de CO_2 del edificio en hasta un 40–50 % respecto al escenario actual.
- Revalorización del inmueble gracias a una mejor calificación energética.

8.3. Limitaciones del estudio (falta de datos de envolvente, uso de valores de referencia).

El análisis se ha basado en datos de catastro, referencias del IDAE y facturas de electricidad y calefacción, sin disponer de información detallada de la envolvente (espesores exactos, conductividad de materiales). Ello ha requerido el uso de hipótesis simplificadas y valores medios de mercado. Asimismo, la aditividad de las medidas no es total: la combinación de aislamiento, ventanas y aerotermia genera sinergias, pero los ahorros no se suman linealmente. La estimación de paybacks debe interpretarse con cautela en este contexto.

8.4. Proyección futura con tecnologías emergentes.

Las tendencias actuales apuntan a la integración masiva de energías renovables, la electrificación de la climatización mediante bombas de calor, y la gestión digital avanzada con inteligencia artificial y blockchain para comunidades energéticas. La adopción de estas tecnologías permitiría que edificios residenciales como el de Calle Bárdenas 4 alcancen la categoría de nZEB (edificio de consumo casi nulo) en la próxima década.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. Conclusiones vinculadas a los objetivos del trabajo

- Diagnóstico del consumo energético de la vivienda tipo

  El análisis permitió establecer una línea base de consumo para la vivienda tipo de 70 m², con un rango de 7.954–9.200 kWh/año. La calefacción mediante caldera centralizada de gas natural representa el mayor uso energético (≈55 %), seguida por ACS, electrodomésticos e iluminación. La incorporación de facturas eléctricas reales validó las estimaciones derivadas de las estadísticas del IDAE y el MITECO, garantizando coherencia entre los datos de referencia y el caso de estudio.

- Identificación de medidas de mejora

  Se definió un conjunto de actuaciones que abarca tanto soluciones pasivas (SATE en fachada, sustitución de carpinterías) como medidas activas (aerotermia, autoconsumo fotovoltaico) y de gestión digital (domótica, IoT e inteligencia artificial). Esta combinación permite actuar de manera integral sobre la demanda, la generación y el control del consumo, alineando el caso práctico con las recomendaciones de la normativa nacional y europea sobre rehabilitación energética.

- Estimación del ahorro energético, económico y ambiental

  Los cálculos muestran que la aplicación de las medidas propuestas puede reducir la demanda energética de la vivienda entre un 35 % y un 45 %, con un ahorro económico anual estimado de 650 €, en función de los precios de la energía. A nivel ambiental, las emisiones de CO_2 reducen hasta 1500 kg/año por vivienda. Estos resultados confirman la relevancia de la rehabilitación como herramienta para cumplir los objetivos de descarbonización y eficiencia.

- Extrapolación de resultados al edificio completo

  La extensión de los resultados a las 38 viviendas del bloque refleja un impacto global altamente significativo: una reducción del consumo anual superior a 70 MWh, un ahorro económico conjunto de más de 20.000 € y la evitación de aproximadamente 50 toneladas de CO_2 al año. Esto demuestra que la rehabilitación energética, aun cuando se inicia desde la escala de una vivienda tipo, tiene un efecto multiplicador a nivel comunitario.

- Viabilidad de soluciones innovadoras en la gestión energética

  La aplicación de tecnologías digitales como IoT e inteligencia artificial en el caso de estudio resulta técnicamente viable y complementaria a las medidas convencionales. Aunque los ahorros unitarios de energía son más modestos en comparación con el aislamiento o la aerotermia, su bajo coste relativo y su capacidad para optimizar la gestión de los sistemas existentes hacen de estas tecnologías una herramienta clave para mejorar el confort, reducir consumos y favorecer la transición hacia edificios inteligentes y conectados.

9.2. Recomendaciones para el edificio y sus residentes.

Se recomienda priorizar las medidas con retorno rápido (fotovoltaica, IoT) como primer paso, planificar la rehabilitación de la envolvente (SATE y ventanas) en fases con ayudas públicas, y considerar la sustitución de la caldera por aerotermia centralizada una vez se haya reducido la demanda con mejoras pasivas. Además, es fundamental fomentar la concienciación de los residentes para optimizar hábitos de consumo mediante el uso de sistemas domóticos de bajo coste.

9.3. Relevancia académica del trabajo.

Este estudio contribuye a la literatura sobre eficiencia energética residencial en España, mostrando cómo es posible utilizar una vivienda tipo como caso representativo y extrapolar los resultados al conjunto del edificio. La combinación de métodos estadísticos, facturas reales y tecnologías emergentes aporta una visión innovadora y aplicada a la transición energética.

9.4. Posibles líneas de investigación futura.

Las líneas de investigación futura pueden incluir el modelado energético detallado mediante herramientas dinámicas (Energy Plus, Design Builder, etc.) con datos de la envolvente obtenidos in situ, análisis económico con escenarios de precios futuros de la energía, evaluación del impacto social y de salud de la rehabilitación energética, y la implementación piloto de IoT e IA en comunidades energéticas locales con seguimiento real de resultados.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Estatal de Meteorología. (2021). Datos climatológicos de Madrid. AEMET. https://www.aemet.es
- Arroyo, J., López, J., & Martín, F. (2020). Aplicación de la domótica y el IoT a la eficiencia energética en edificios residenciales. Revista de Energía y Edificación, 15(2), 33–45.
- Building Performance Institute Europe (BPIE). (2017). Energy renovation: It's time for ambitious action. BPIE. https://www.bpie.eu
- Comisión Europea. (2019). The European Green Deal. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640
- Comisión Europea. (2020). A Renovation Wave for Europe. https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en
- Comisión Europea. (2020). Renovation Wave: The European Green Deal. Brussels. https://ec.europa.eu
- Comisión Europea. (2022). NextGenerationEU: reconstruir una Europa más ecológica, digital y resiliente. https://commission.europa.eu
- Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. (2022). Informe de supervisión del mercado minorista de electricidad y gas. CNMC. https://www.cnmc.es
- ECOEMBES. (2022). Informe anual de reciclaje en España. ECOEMBES. https://www.ecoembes.com
- European Union. (2018). Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency. Official Journal of the European Union.
- Eurostat. (2021). Household energy consumption statistics. European Commission. https://ec.europa.eu/eurostat
- Eurostat. (2022). Energy poverty statistics. Oficina Estadística de la Unión Europea. https://ec.europa.eu/eurostat
- Fernández Bandera, C., Pérez-Fargallo, A., & Suárez, R. (2017). Impact of building envelope improvements on energy demand in Spanish dwellings. Energy and Buildings, 149, 488–498. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.009
- Fernández Bandera, C., Ruiz, G., & López-Mesa, B. (2017). Medidas pasivas de eficiencia energética en la rehabilitación de edificios en clima mediterráneo. Informes de la Construcción, 69(548), 1–11.
- García Navarro, J., & Jiménez, R. (2019). La rehabilitación energética en edificios residenciales: retos y oportunidades. Revista de Arquitectura y Energía, 12(3), 45–60.
- García-Navarro, J., Gallego, J., & Romero, R. (2019). Rehabilitación energética de edificios residenciales en la Comunidad de Madrid: estudios de casos y resultados. Universidad Politécnica de Madrid.
- García-Navarro, J., Jiménez, R., & Esquinas, A. (2018). La rehabilitación energética del parque residencial en España: diagnóstico y estrategias. Revista Hábitat y Sociedad, 11, 55–74.

- Gobierno de España. (2008). Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. BOE.
- Gobierno de España. (2015). Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). BOE.
- Gobierno de España. (2021). Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. https://miteco.gob.es
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2020). Consumos del sector residencial en España. IDAE. https://www.idae.es/publicaciones
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2020). Informe anual de consumos energéticos en España. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. https://www.idae.es
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2020). Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2021). Guía de la aerotermia en el sector residencial. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Ministerio de Fomento. (2019). Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE). Gobierno de España.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA). (2019). Código Técnico de la Edificación (CTE). https://www.codigotecnico.org
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA). (2019). Código Técnico de la Edificación. Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE). Gobierno de España. https://www.codigotecnico.org
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2021). Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030. Gobierno de España. https://miteco.gob.es
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2023). Estadística anual de consumo energético residencial 2023. Gobierno de España. https://www.miteco.gob.es
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2021). Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España. Gobierno de España. https://miteco.gob.es
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España (ERESEE 2020).
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). Factores de emisión de CO_2 para la elaboración de inventarios. MITECO. https://miteco.gob.es
- Observatorio de la Vivienda y Suelo. (2022). Informe sobre el parque edificatorio en España. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Maestre, I. (2020). Big data and artificial intelligence for building energy use prediction: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 137, 110612.

- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Maestre, I. R. (2020). The map of energy flow in Spain's residential sector. Energy Policy, 138, 111217. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111217
- Prieto, J., & Zabalza, I. (2018). Tecnologías activas de eficiencia energética en la vivienda social en España. Informes de la Construcción, 70(552), 1–12.
- PV Cycle. (2021). Annual report on photovoltaic waste management in Europe. PV Cycle. https://www.pvcycle.org
- Red Eléctrica de España (REE). (2023). El sistema eléctrico español 2023. REE. https://www.ree.es
- Red Eléctrica Española. (2022). Informe del sistema eléctrico español. REE. https://ree.es
- Zhao, H., Magoulès, F., & El Mankibi, M. (2019). Machine learning approaches for energy consumption prediction in buildings: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 109, 244–254. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.024

11. ANEXOS

CONSUMO ENERGÉTICO RESIDENCIAL POR USOS

PRODUCTO ENERGÉTICO		UNIDADES	TOTAL RESIDENCIAL	CALEFACCIÓN	REFRIGERACIÓN	AGUA CALIENTE SANITARIA	COCINA	ILUMINACIÓN Y ELECTRODOMÉSTICOS	OTROS USOS	PODERES CALORÍFICOS
ELECTRICIDAD		GWh	**73.151,194**	5.387,814	1.707,569	5.463,011	6.795,369	53.797,431		
CALOR DERIVADO		TJ								
GAS		TJ (GCV)	**136.023,000**	62.999,101		58.197,338	14.826,560		0,000	
COMBUSTIBLES FÓSILES SÓLIDOS		kt		0,000		0,000	0,000			26.275
PRODUCTOS PETROLÍFEROS		kt	**2.133,843**	1.545,838		451,776	136,204		0,025	44.534
De los cuales:	*GLP*	kt	**761,156**	286,287		338,665	136,204			47.300
	Otro queroseno	kt								
	Gasóleo	kt	**1.372,662**	1.259,551		113,111				43.000
RENOVABLES Y RESIDUOS		TJ	**99.629,125**	82.674,361		16.140,898	813,866			
De los cuales:	*Solar térmica*	TJ	**12.295,717**	909,842		11.385,875				
	Biomasa (excluído carbón vegetal)	TJ	**77.137,000**	74.741,859		1.581,275	813,866			
	Biogases	TJ								
	Calor ambiente	TJ	**9.760,417**	6.587,770		3.172,647				

EVOLUCIÓN ANUAL

CALEFACCIÓN

Unidades	Producto energético	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
GWh	ELECTRICIDAD	5.573,96	5.605,49	5.530,44	5.233,76	5.207,98	5.160,77	5.129,76	5.258,29	5.524,40	5.375,25	5.393,15	5.387,62	5.373,63	5.387,81
TJ (NCV)	CALOR DERIVADO														
TJ (GCV)	GAS	91.674,34	73.512,61	75.613,37	68.807,85	66.670,02	71.489,24	71.856,52	71.607,54	78.725,37	74.485,69	74.858,27	78.309,46	67.191,54	62.999,10
kt	COMBUSTIBLES FÓSILES SÓLIDOS	220,51	163,34	142,92	122,50	118,42	114,34	102,09	102,09	88,20	85,75	61,25	1,63	1,63	-
kt	PRODUCTOS PETROLÍFEROS	2.146,53	1.833,60	1.708,75	1.782,41	1.801,80	2.092,70	1.852,56	1.792,29	1.889,70	1.633,04	1.719,92	1.696,51	1.642,30	1.545,84
kt	GLP	474,67	420,50	410,35	390,41	364,84	358,44	369,73	343,40	357,32	299,77	280,21	298,30	336,28	286,29
kt	Otro queroseno														
kt	Gasóleo	1.671,86	1.413,10	1.298,40	1.391,99	1.436,96	1.734,26	1.482,84	1.448,89	1.532,39	1.333,27	1.439,71	1.398,21	1.306,02	1.259,55
TJ (NCV)	RENOVABLES Y RESIDUOS	100.411,51	100.770,53	102.387,19	102.833,91	105.711,34	105.408,77	77.426,95	78.233,09	78.974,43	79.769,46	80.409,26	81.104,23	81.696,27	82.674,36
TJ (NCV)	Solar térmica	434,00	438,38	482,43	530,92	569,40	612,27	660,77	701,18	745,14	787,39	828,20	860,89	886,93	909,84
TJ (NCV)	Biomasa (excluído carbón vegetal)	98.866,76	99.221,40	100.794,00	101.192,24	101.838,53	101.005,24	73.290,37	73.518,08	73.712,83	73.986,08	74.110,10	74.336,84	74.435,67	74.741,86
TJ (NCV)	Biogases														
TJ (NCV)	Calor ambiente					2.192,66	2.680,52	3.040,92	3.578,94	4.081,56	4.561,10	5.036,06	5.471,61	5.938,78	6.587,77

REFRIGERACIÓN

Unidades	Producto energético	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
GWh	ELECTRICIDAD	1.766,57	1.776,56	1.752,77	1.658,75	1.650,58	1.635,61	1.625,78	1.666,52	1.750,86	1.703,59	1.709,26	1.707,51	1.703,07	1.707,57
TJ (NCV)	CALOR DERIVADO														
TJ (GCV)	GAS														
kt	COMBUSTIBLES FÓSILES SÓLIDOS														
kt	PRODUCTOS PETROLÍFEROS														
kt	GLP														
kt	Otro queroseno														
kt	Gasóleo														
TJ (NCV)	RENOVABLES Y RESIDUOS														
TJ (NCV)	Solar térmica														
TJ (NCV)	Biomasa (excluído carbón vegetal)														
TJ (NCV)	Biogases														
TJ (NCV)	Calor ambiente														

AGUA CALIENTE SANITARIA

Unidades	Producto energético	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
GWh	ELECTRICIDAD	5.651,76	5.683,72	5.607,62	5.306,81	5.280,67	5.232,80	5.201,36	5.331,68	5.601,50	5.450,27	5.468,42	5.462,82	5.448,63	5.463,01
TJ (NCV)	CALOR DERIVADO														
TJ (GCV)	GAS	84.686,96	67.909,52	69.850,15	63.563,34	61.588,46	66.040,36	66.379,65	66.149,64	72.724,96	68.808,43	69.152,61	72.340,75	62.070,23	58.197,34
kt	COMBUSTIBLES FÓSILES SÓLIDOS	17,16	12,71	11,12	9,53	9,21	8,90	7,94	7,94	6,86	6,67	4,77	0,13	0,13	-
kt	PRODUCTOS PETROLÍFEROS	711,65	624,34	602,02	586,85	560,63	579,76	570,53	536,34	560,30	474,34	460,77	478,43	515,09	451,78
kt	GLP	561,51	497,44	485,42	461,84	431,59	424,02	437,37	406,23	422,69	354,61	331,48	352,87	397,80	338,66
kt	Otro queroseno														
kt	Gasóleo	150,14	126,90	116,60	125,01	129,04	155,74	133,16	130,11	137,61	119,73	129,29	125,56	117,28	113,11
TJ (NCV)	RENOVABLES Y RESIDUOS	7.523,91	7.586,23	8.170,80	8.785,91	10.192,59	10.900,74	11.267,70	12.037,40	12.880,81	13.650,02	14.361,91	15.055,39	15.596,77	16.140,90
TJ (NCV)	Solar térmica	5.431,14	5.485,96	6.037,25	6.643,94	7.125,50	7.661,99	8.268,96	8.774,66	9.324,78	9.853,48	10.364,16	10.773,31	11.099,10	11.385,88
TJ (NCV)	Biomasa (excluído carbón vegetal)	2.091,67	2.099,18	2.132,45	2.140,87	2.154,55	2.136,92	1.550,57	1.555,38	1.559,50	1.565,29	1.567,91	1.572,71	1.574,80	1.581,28
TJ (NCV)	Biogases														
TJ (NCV)	Calor ambiente					911,44	1.100,73	1.447,07	1.706,26	1.995,43	2.230,15	2.428,74	2.708,28	2.921,77	3.172,65

COCINA

Unidades	Producto energético	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
GWh	ELECTRICIDAD	7.030,15	7.069,91	6.975,25	6.601,07	6.568,56	6.509,01	6.469,90	6.632,01	6.967,63	6.779,52	6.802,09	6.795,13	6.777,48	6.795,37
TJ (NCV)	CALOR DERIVADO														
TJ (GCV)	GAS	21.575,15	17.300,87	17.795,27	16.193,62	15.690,49	16.824,68	16.911,11	16.852,52	18.527,67	17.529,88	17.617,56	18.429,79	15.813,23	14.826,56
kt	COMBUSTIBLES FÓSILES SÓLIDOS	32,34	23,95	20,96	17,96	17,37	16,77	14,97	14,97	12,93	12,58	8,98	0,24	0,24	-
kt	PRODUCTOS PETROLÍFEROS	225,83	200,06	195,23	185,74	173,58	170,53	175,90	163,38	170,00	142,62	133,31	141,92	159,99	136,20
kt	GLP	225,83	200,06	195,23	185,74	173,58	170,53	175,90	163,38	170,00	142,62	133,31	141,92	159,99	136,20
kt	Otro queroseno														
kt	Gasóleo														
TJ (NCV)	RENOVABLES Y RESIDUOS	1.076,56	1.080,42	1.097,55	1.101,88	1.108,92	1.099,85	798,06	800,54	802,66	805,64	806,99	809,46	810,53	813,87
TJ (NCV)	Solar térmica														
TJ (NCV)	Biomasa (excluído carbón vegetal)	1.076,56	1.080,42	1.097,55	1.101,88	1.108,92	1.099,85	798,06	800,54	802,66	805,64	806,99	809,46	810,53	813,87
TJ (NCV)	Biogases														
TJ (NCV)	Calor ambiente														

ILUMINACIÓN Y ELECTRODOMÉSTICOS

Unidades	Producto energético	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
GWh	ELECTRICIDAD	55.656,14	55.970,90	55.221,51	52.259,22	52.001,82	51.530,41	51.220,80	52.504,11	55.161,20	53.671,97	53.850,68	53.795,52	53.655,79	53.797,43
TJ (NCV)	CALOR DERIVADO														
TJ (GCV)	GAS														
kt	COMBUSTIBLES FÓSILES SÓLIDOS														
kt	PRODUCTOS PETROLÍFEROS														
kt	GLP														
kt	Otro queroseno														
kt	Gasóleo														
TJ (NCV)	RENOVABLES Y RESIDUOS														
TJ (NCV)	Solar térmica														
TJ (NCV)	Biomasa (excluído carbón vegetal)														
TJ (NCV)	Biogases														
TJ (NCV)	Calor ambiente														

OTROS USOS

Unidades	Producto energético	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
GWh	ELECTRICIDAD														
TJ (NCV)	CALOR DERIVADO														
TJ (GCV)	GAS	137,00	6,30	5,40											
kt	COMBUSTIBLES FÓSILES SÓLIDOS														
kt	PRODUCTOS PETROLÍFEROS	117,22	100,80	106,00	69,00	22,00	16,00	21,00	22,00	5,00	5,00	3,00	3,08	0,02	0,02
kt	GLP														
kt	Otro queroseno														
kt	Gasóleo														
TJ (NCV)	RENOVABLES Y RESIDUOS				0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04					
TJ (NCV)	Solar térmica														
TJ (NCV)	Biomasa (excluído carbón vegetal)														
TJ (NCV)	Biogases														
TJ (NCV)	Calor ambiente														



1. Revalorización de la vivienda

Los SATE pueden aportar a tu hogar un cambio de imagen completo, lo que te hará sentir orgulloso de tu hogar, además de que en términos económicos, es una propuesta que se revaloriza la vivienda.



2. Atmósfera saludable interior

Sin la instalación de un SATE, la temperatura de las paredes interiores pueden ser lo suficientemente frías como para favorecer la *condensación* de la humedad de la atmósfera interior. Esta *condensación* estimula el crecimiento de mohos y demás microorganismos.



3. Confort acústico

El aislamiento acústico es especialmente importante en el caso de las viviendas. El hogar es un espacio de descanso y nadie quiere verse perturbado por el ruido. Los sistemas **webertherm acustic** y **webertherm mineral** soluciona el déficit en acondicionamiento acústico de los hogares.



4. Confort térmico

Al reducir drásticamente la cantidad de calor que se pierde a través de la fachada, no experimentarás el ciclo regular de calentamiento y enfriamiento que se produce en el hogar cuando las paredes exteriores no poseen aislamiento.

Disfrutarás de una temperatura más estable en tu vivienda.



5. Medio ambiente

Los SATE ocupan un papel fundamental a la hora de optimizar el consumo energético de los edificios. El uso racional de la energía para disminuir los impactos negativos sobre el medioambiente ya es una necesidad para nuestro futuro.

REDArt™. La solución completa desde el aislamiento al revestimiento

Servicio integral

ROCKWOOL es ahora proveedor de sistemas completos, lo que nos permite ofrecer a los arquitectos soluciones integrales con las especificaciones técnicas del sistema constructivo. Una solución cómoda y práctica para nuestros clientes con un extraordinario valor añadido. Ya había muchos motivos para prescribir ROCKWOOL, convertirnos en proveedores de sistemas es una nueva razón para añadir a la lista.

Gracias a las altas prestaciones de los productos, los sistemas REDArt ofrecen un excelente rendimiento y resistencia al impacto solar y a los cambios de temperatura. Por eso, los colores se mantienen inalterables durante más tiempo y se consigue un ambiente confortable en el interior de los edificios, haga el tiempo que haga.

Rehabilitación y obra nueva

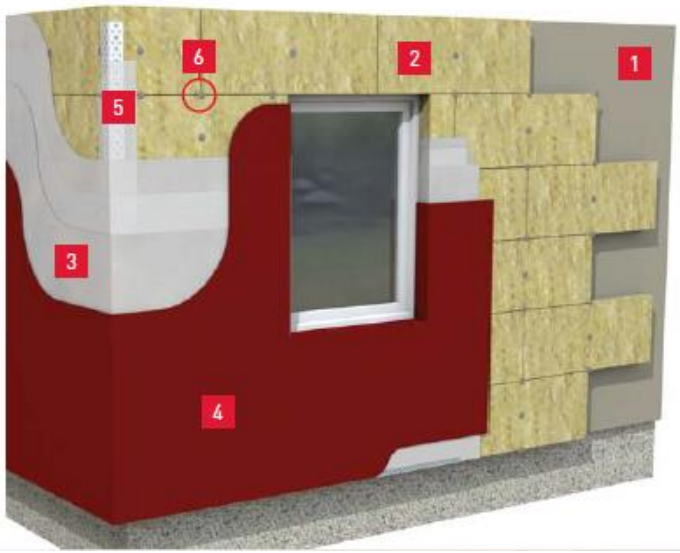
Por su versatilidad y amplia gama de colores y acabados, REDArt es ideal para proyectos de rehabilitación o de obra nueva. Con REDArt se consiguen fachadas estéticas y con un alto rendimiento en casas unifamiliares, grandes edificios comerciales o complejos residenciales.

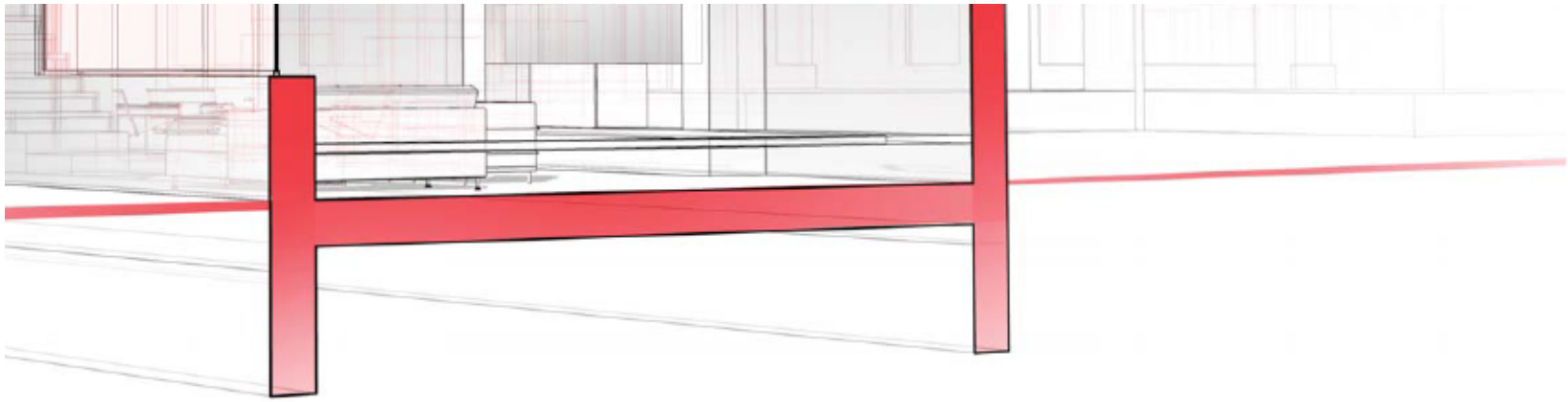
Los paneles aislantes ROCKWOOL, gracias a la Doble Densidad, son un excelente soporte mecánico, lo que permite la adaptabilidad al soporte y la mejora del aislamiento acústico.

Prestaciones ROCKWOOL®

El corazón de REDArt es la lana de roca ROCKWOOL, la única que ofrece 4 ventajas en 1 solo producto; seguridad contra incendios, confort acústico, durabilidad y sostenibilidad.

1. Mortero Adhesivo
2. Lana de roca ROCKWOOL
3. Mortero Capa Base
4. Acabado de Silicato o Silicona
5. Perfilería con malla de fibra de vidrio
6. Fijación mecánica





Materiales sostenibles

La lana de roca ROCKWOOL está hecha a partir de roca volcánica, un recurso natural inagotable en nuestro planeta. Eso significa que en la fabricación de REDArt se utiliza un material natural, sostenible y reciclable.

Protección contra el fuego

¿Alguna vez ha visto arder una roca? REDArt está fabricado con lana de roca, un material aislante no combustible y no propagador del incendio. Con REDArt, su edificio y las personas que lo habitan estarán seguros.

Confort acústico

La lana de roca ROCKWOOL es excelente para el acondicionamiento acústico y reduce el ruido y las vibraciones. Protege los edificios y a sus ocupantes del ruido del tráfico y otras fuentes exteriores de sonido.

Durabilidad

Nada resiste el paso del tiempo como la piedra. Los sistemas REDArt han demostrado ser una solución duradera y estable que mantiene sus propiedades a lo largo de toda la vida útil del edificio. REDArt combina la lana de roca ROCKWOOL con unas excelentes capas de mortero base y de acabado final para conseguir fachadas resistentes y extraordinariamente duraderas.

Fachadas transpirables

Los sistemas REDArt son sistemas que poseen un alto valor de transpirabilidad por lo que permiten el paso del vapor de agua, ayudando a evitar la formación de moho y a proteger la fachada y otros elementos constructivos de los daños causados por la humedad.

El Grupo ROCKWOOL

ROCKWOOL es líder mundial en el sector del aislamiento con una amplia línea de productos aptos para todo tipo de aplicaciones para la construcción y el acondicionamiento de viviendas y edificios no residenciales. Además de otros productos relacionados con la construcción, como techos acústicos o paneles de revestimiento, el Grupo trabaja para contribuir al desarrollo de edificios energéticamente más eficientes y a prueba de incendios, con una buena acústica y un ambiente interior confortable.

ROCKWOOL en el mundo

El Grupo ROCKWOOL se fundó en 1937 y cuenta con más de 9.700 empleados en más de 40 países que prestan servicio a clientes de todo el mundo. Las oficinas centrales del Grupo están cerca de Copenhague y estamos presentes en muchos países de Europa. Actualmente, estamos expandiendo nuestras actividades de producción, venta y servicios a Rusia, Norteamérica, India y Extremo Oriente. Asimismo, contamos con una amplia red de socios que garantiza la comercialización de nuestros productos y servicios a escala global.

ROCKWOOL y el medio ambiente

Con nuestro material aislante se consigue un ahorro de energía equivalente a 100 veces la energía que utilizamos para su fabricación. Además, ayuda a preservar recursos energéticos escasos y a reducir los niveles de contaminación atmosférica y las emisiones de CO_2 minimizando la combustión de carburantes. De este modo, contribuimos a aliviar problemas medioambientales como el efecto invernadero, la contaminación y la lluvia ácida.

Protección contra el fuego

El aislamiento ROCKWOOL es un material no combustible. Una de sus características más importantes es que tiene un punto de fusión superior a los 1000ºC.

Confort inigualable y excelente clima interior

Con el aislamiento ROCKWOOL, el frío y el calor se quedan fuera para poder disfrutar de un ambiente confortable. En climas cálidos, la lana de roca ayuda a mantener fresca la temperatura interior de los edificios y nuestras soluciones de aislamiento acústico ayudan a mejorar el ambiente de escuelas, hospitales, oficinas e instalaciones deportivas.

Ref: REDArtArq.03.2014



Lana de vidrio

Nuestra lana mineral de vidrio con nuestro ligante ETechnology, sin formaldehídos ni fenoles, tiene unas excelentes propiedades térmicas y acústicas; además de cumplir los más exigentes certificados a la Calidad de Aire Interior.

Para ver más →



Lana insuflada

La gama de lana mineral de vidrio insuflada tiene su propia marca: SUPAFIL. Lana mineral virgen sin ligante con una conductividad térmica muy baja. Para muros y bajo cubierta, la instalación de Supafil es rápida, limpia y económica.

Para ver más →



Lana de roca

Nuestra lana mineral de roca pose unas características químicas y físicas excepcionales: material incombustible, excelentes propiedades térmicas y acústicas y una elevada resistencia a la compresión.

Para ver más →



Aislar del calor y el frío

El aislamiento térmico y el vidrio de control solar pueden ayudar a proteger su hogar del calor y el frío externos, manteniendo los interiores a una temperatura más cómoda.

VER MÁS



Reducir el consumo de energía

Puede reducir el consumo de energía y los costes al sustituir el vidrio de ventanas antiguo por un vidrio de bajo consumo.

VER MÁS



Proteger de la luz solar

El vidrio puede aportar tanto vistas como luz natural a su hogar, a la vez que ayuda a limitar el sobrecalentamiento en los hogares. También puede ayudar a reducir la pérdida de color de su interior.

VER MÁS



Reducir el ruido exterior

El vidrio de control de sonido le ayuda a mantener el ruido fuera para crear entornos de vida y trabajo más cómodos. Explore algunos ejemplos de vidrios de reducción de ruido y vea cómo funcionan.

VER MÁS



Mejore la seguridad

Con el vidrio adecuado, las ventanas ayudarán a mejorar la seguridad y le permitirán disfrutar de unas vistas magníficas y de luz natural. Eche un vistazo a algunas opciones que podrían aportarle tranquilidad.

VER MÁS



Mejore la belleza y la privacidad

Cree espacios llenos de luz utilizando tabiques interiores de vidrio, barandillas o unidades de almacenamiento transparentes, translúcidas o coloreadas.

VER MÁS

DAIKIN Productos y consejos Inspiración Servicios / Asistencia Showrooms Llámanos: 900324546



Descubre el sistema perfecto para calentar tu casa con energías renovables



Disfruta de un importante ahorro en los costes de funcionamiento, sea cual sea la estación del año



Calefacción, aire acondicionado y agua caliente eficientes todo el año



Ideal para viviendas de cualquier forma y tamaño, ya sean nuevas o antiguas.