



Oikos

Sostenibilidad
responsable

Descarbonización de edificios

Informe #Oikos. Marzo 2025

Luis Quiroga
Cofundador de Oikos
Jorge Alarcón
Gestor de programas de Oikos

Colaboradores:
Juan Jaqueto



OIKOS

Política y Medio Ambiente

DESCARBONIZACIÓN DE EDIFICIOS

Informe #OIKOS - Marzo/ 2025

RESUMEN EJECUTIVO

El sector de los edificios en España representa el 30% del consumo energético final y el 25% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), lo que lo convierte en un área prioritaria para la transición energética. Sin embargo, los avances en la descarbonización de los edificios existentes han sido insuficientes, con una reducción de emisiones inferior al promedio europeo y por debajo de los objetivos del país. Este informe analiza los problemas del sector y propone soluciones prácticas basadas en principios innovadores.

El punto de partida es una fuerte dependencia de los combustibles fósiles para los sistemas de calefacción y agua caliente y sanitaria, junto a un parque inmobiliario altamente emisor además de envejecido y poco eficiente energéticamente. Las políticas para el sector han priorizado la rehabilitación energética y el aislamiento en los edificios multifamiliares, y han establecido objetivos ambiciosos que por su coste fiscal asociado no parecen económicamente alcanzables, ya que no existe un criterio claro de eficiencia fiscal en la concesión de las subvenciones para el sector. En cualquier caso, el avance hacia el cumplimiento de los objetivos es insuficiente, debido a una combinación de barreras sociales, económicas y físicas.

En este informe, aplicando un análisis coste-beneficio identificamos un segmento de viviendas intensivas en consumo de energía cuya descarbonización puede ser económicamente viable a un coste fiscal eficiente, ya sea mediante medidas pasivas (aislamiento de alta eficiencia) y activas (p. ej., aerotermia). Para estas viviendas proponemos medidas para aflorar e incentivar su descarbonización, que desde nuestro reconocimiento de la intrínseca heterogeneidad de cada edificio, pasan por maximizar la autonomía de los usuarios en la decisión de la opción de descarbonización óptima para cada caso.

También analizamos el potencial de las redes de calor, y a partir de ejemplos internacionales concluimos que son pueden ser una opción descarbonizadora viable en entornos urbanos de alta densidad de demanda energética y con fuentes de calor residual. Y en general, para apoyar la electrificación del calor, tanto distribuida como centralizada, abogamos por mejorar la competitividad en coste del uso de electricidad en edificios, frente al del gas.

Las propuestas consideradas, arrojan un potencial de descarbonización de hasta c. 4 millones de viviendas y evitando hasta 3,9 millones tCO₂e anuales a un coste fiscal eficiente y asumible. Este impacto estimado es superior a los objetivos del PNIEC para el 2030, si bien es esperable que requiera plazos sensiblemente mayores para el despliegue completo de sus efectos.

AUTORES

Luis Quiroga
Cofundador de OIKOS

Jorge Alarcón
Gestor de Programas de OIKOS

COLABORADORES

Juan Jaquete
Colaborador de investigación de OIKOS

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que, con su generosidad y disposición, contribuyeron de manera significativa al desarrollo de este informe. Su tiempo, conocimientos y experiencias han sido fundamentales para el análisis y las recomendaciones aquí presentadas. En especial, queremos agradecer a:

- **Juan Manuel Arnal** – Coordinador de la Agenda 2030 en CEAV
- **Peter Sweatman** – CEO y fundador de Climate Strategy
- **Alfonso Aycart & Sergio Solares** – Responsable de desarrollo de negocio y responsable de Comercial & Industrial (respectivamente) en SotySolar
- **Cecilia Foronda** – Directora de Energía y Personas en ECODES
- **Jorge Sanz** – Director en NERA Consulting
- **Eduardo Brunet** – Director para España del Green Finance Institute
- **Fernando García Moxos** – Jefe de departamento en IDAE
- **Ben McWilliams, Simone Tagliapietra & Giovanni Sgaravatti** – Affiliate Fellow, Senior Fellow y Energy and climate research analyst (respectivamente) en Bruegel
- **Raquel Paule, Juan Fer Martín e Ismael Morales** – Directora general, Responsable de ciudades sostenibles y Responsable de políticas climáticas (respectivamente) de Fundación Renovables
- **Toni Jaume** – Administrador de fincas en Fincas Jaume y miembro del Colegio Oficial de Administradores de fincas de Baleares
- **Jaime Ferrer Fores** – Empresario, ex socio de Accenture, profesor universitario y experto en economía circular, Supply Chain, construcción e industria
- **Elvira López** – Coordinadora de las oficinas de rehabilitación en el CSCAE
- **Dolores Huerta y Miguel Segovia** – Directora General y Responsable de desarrollo y contenidos en Green Building Council España
- **Joaquín Arcas** – Cofundador de Cíclica

A todos ellos, nuestro más sincero reconocimiento por su colaboración y su valiosa aportación a este informe.

Nota metodológica: La elaboración de este informe ha incluido el uso de herramientas avanzadas de IA para mejorar la eficiencia en la recopilación y estructuración de datos. Aunque estas herramientas han contribuido al proceso, todos los resultados y conclusiones presentados han sido revisados, interpretados y validados por los autores.

Índice de contenidos

Agradecimientos.....	2
Índice de contenidos	3
Índice de figuras.....	4
Índice de tablas.....	4
Índice de casos de estudio	4
Lista de acrónimos	5
Nota metodológica.....	6
1. Resumen de análisis y recomendaciones.....	7
1.1. <i>Análisis.....</i>	7
1.2. <i>Recomendaciones.....</i>	9
2. Introducción a la descarbonización de edificios en España y Europa	11
2.1. <i>Contexto del sector de la edificación y la transición energética justa</i>	11
2.2. <i>Los motivos para la descarbonización de los edificios: emisiones, importaciones energéticas y la calidad del aire</i>	12
2.3. <i>Calefacción, refrigeración y emisiones en España</i>	16
3. La descarbonización de edificios: diagnóstico de una asignatura pendiente	21
3.1. <i>Análisis de las herramientas disponibles.....</i>	21
3.2. <i>Facilitadores y barreras en la descarbonización de edificios</i>	37
4. Eficiencia y electrificación.....	47
4.1. <i>“Eficiencia primero” como principio rector histórico</i>	47
4.2. <i>Cambio de paradigma: cuando electrificar es lo más eficiente</i>	48
4.3. <i>¿Eficiencia en el coste social o eficiencia energética?.....</i>	48
5. Un cambio de enfoque: priorizar la descarbonización, optimizar el coste social e incentivar al propietario	51
5.1. <i>P1: De “eficiencia primero” a “descarbonización primero”</i>	51
5.2. <i>P2: Ayudas públicas que prioricen el menor coste social.....</i>	52
5.3. <i>P3: Descarbonizar los “usuarios intensivos”</i>	52
5.4. <i>P4: Plurifamiliares: “que los vecinos se informen, y decidan”</i>	53
5.5. <i>P4: Requilibrio de los precios relativos de gas y electricidad</i>	55
5.6. <i>P5: Fomentar las redes de calor</i>	58
6. Impactos y Conclusiones	61
6.1. <i>Estimación de Impactos.....</i>	61
6.2. <i>Conclusiones</i>	66
7. Bibliografía	67

Índice de figuras

FIGURA 1. BALANZA COMERCIAL DE PRODUCTOS ENERGÉTICOS DE ESPAÑA (EN % SOBRE EL PIB)	14
FIGURA 2. CAMBIO PORCENTUAL DE EMISIONES POR CONSUMO DE HIDROCARBUROS EN LA CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN DE EDIFICIOS EN EUROPA	17
FIGURA 3. FUENTES DE ENERGÍA EMPLEADA PARA CALENTAMIENTO DE HOGARES Y AGUA CALIENTE Y SANITARIA EN ESPAÑA, 2014-2021	18
FIGURA 4. DESAGREGACIÓN DE CONSUMOS POR FUENTE ENERGÉTICA PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES FRENTE A PLURIFAMILIARES	20
FIGURA 5. COSTE TOTAL DE PROPIEDAD (TCO) DE UN CALENTADOR DE GAS, UNA BOMBA AIRE-AGUA Y UNA BOMBA AIRE-AIRE (CON UN CALENTADOR DE AGUA ELÉCTRICO Y UN CALENTADOR DE AGUA POR BOMBA DE CALOR)	24
FIGURA 6. COSTE TOTAL DE PROPIEDAD (TCO) DE UNA BOMBA DE CALOR AIRE-AGUA CON ENERGÍA TERMOSOLAR Y CON SOLAR FOTOVOLTAICA, DE UNA BOMBA AIRE-AIRE CON SOLAR FOTOVOLTAICA Y DE UN CALENTADOR DE GAS	25
FIGURA 7. AHORRO ACUMULADO (€) AL REEMPLAZAR UNA CALEFACCIÓN INDIVIDUAL POR AEROTERMIA DURANTE UNA VIDA ÚTIL DE 15 AÑOS	26
FIGURA 8. ANÁLISIS DE COMPETITIVIDAD DE UNA RED DE CALOR EN IRLANDA (USUARIO RESIDENCIAL Y COSTES VARIABLES)	28
FIGURA 9. TABLA A.13 DEL PNIEC CON EL CONSUMO DE ENERGÍAS RENOVABLES DEL SECTOR RESIDENCIAL Y LA APORTACIÓN DE BOMBAS DE CALOR	31
FIGURA 10. SUMA DE LAS REHABILITACIONES DE EDIFICIOS PREVISTAS EN LA ERESEE 2014 FRENTE A LAS REALES.....	35
FIGURA 11. VIVIENDAS ACUMULADAS POR RENTABILIDAD DE LA INVERSIÓN EN REHABILITACIÓN ENERGÉTICA (A 30 AÑOS)	40
FIGURA 12. PORCENTAJE DE INVERSIÓN (PROMEDIO PARA LA CATEGORÍA) REQUERIDA EN SUBVENCIONES PARA ALCANZAR RENTABILIDAD DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA	41
FIGURA 13. COSTE PÚBLICO POR TCO ₂ E EVITADA (EUR, PROMEDIO PARA LA CATEGORÍA DE EDIFICIOS) PARA ALCANZAR UNA DETERMINADA RENTABILIDAD DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA	42
FIGURA 14. PLAZO DE AMORTIZACIÓN (AÑOS) PARA INTERVENCIONES DE AEROTERMIA CON SATE PREVIO VS SATE CON AEROTERMIA PREVIA	44
FIGURA 15. EVOLUCIÓN DEL USO DE DIFERENTES FUENTES DE ENERGÍA EN ESPAÑA SEGÚN ERESEE.....	47
FIGURA 16. MAPA DE LA RATIO DE PRECIOS ELECTRICIDAD A GAS EN EUROPA	56
FIGURA 17. EVOLUCIÓN DE LA RATIO DE PRECIOS DE GAS / ELECTRICIDAD EN PAÍSES BAJOS.....	58
FIGURA 18. INGRESOS ESTIMADOS PARA CADA PAÍS DEL ETS-2, EN MILES DE MILLONES DE EUROS ENTRE 2026 Y 2032 Y PARA UN PRECIO MEDIO AL CARBONO DE 60 EUR.....	65

Índice de tablas

TABLA 1. CONCENTRACIONES DE PARTÍCULAS CONTAMINANTES E ÍNDICES DE CALIDAD DEL AIRE PARA UNA SELECCIÓN DE CIUDADES	15
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE MEDIDAS ACTIVAS Y PASIVAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	21
TABLA 3. TIPOS DE BOMBAS DE CALOR Y CORRESPONDENCIA ENTRE LAS CLASIFICACIONES	23
TABLA 4. RESUMEN COMPARATIVO DE LAS AYUDAS DISPONIBLES PARA EFICIENCIA Y REHABILITACIÓN ENERGÉTICAS DE EDIFICIOS.....	32
TABLA 5. MEDIDAS FACILITADORAS Y BARRERAS EN LA DESCARBONIZACIÓN DE EDIFICIOS	37
TABLA 6. LIMITACIONES FÍSICAS A LA EXPANSIÓN DE LAS BOMBAS DE CALOR EN VIVIENDAS PLURIFAMILIARES	37
TABLA 7. CLASIFICACIÓN DE ACTUACIONES Y REDUCCIONES DE EMISIONES RESPECTO A LÍNEA DE BASE	43
TABLA 8. HIPÓTESIS Y RESULTADOS DEL CÁLCULO DE CONSOLIDACIÓN AEROTERMIA VS AISLAMIENTO (SATE).....	44
TABLA 9. PROPUESTA DE PRINCIPIOS PARA LA DESCARBONIZACIÓN DE LOS EDIFICIOS EN ESPAÑA	51
TABLA 10. ESTIMACIÓN DE IMPACTOS DE LAS MEDIDAS	62
TABLA 11. COMPARACIÓN ESTIMACIÓN DE IMPACTO POTENCIAL OIKOS VS. OBJETIVOS PNIEC.....	64

Índice de casos de estudio

CASO DE ESTUDIO 1. DISTRICLIMA: LA RED DE CALOR Y FRÍO DE BARCELONA	29
CASO DE ESTUDIO 2. DESCARBONIZACIÓN DE EDIFICIOS DEL SECTOR PÚBLICO	36
CASO DE ESTUDIO 3. EL SUPERBONUS ITALIANO	50

Lista de acrónimos

ACS	Agua caliente y sanitaria
AEAT	Agencia Estatal de Administración Tributaria
BC3-OTEA	<i>Basque Centre for Climate Change</i> – Observatorio de la Transición Ecológica y la Acción Climática
CAE	Certificado de Ahorro Energético
CC. AA.	Comunidades Autónomas
CEAV	Confederación Española de Asociaciones de Vecinos
EEA	<i>European Environmental Agency</i> , Agencia Ambiental Europea
EHPA	<i>European Heat Pump Association</i> , Asociación Europea de Bombas de Calor
EPBD	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i> , directiva europea de eficiencia energética en edificios
EPC	<i>Energy Performance Contracting</i> , contratos de eficiencia energética
ERESEE	Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España
ETS	<i>Emissions Trading System</i> en inglés, Sistema de comercio de emisiones
ETS-2	<i>Emissions Trading System 2</i> , o Segundo régimen de comercio de derechos de emisión para edificios, transporte por carretera y otros sectores
FEDEA	Fundación de Estudios de Economía Aplicada
FSC	Fondo Social para el Clima (SCF o <i>Social Climate Fund</i> en inglés)
FMI	Fondo Monetario Internacional (FMI o <i>International Monetary Fund</i> en inglés)
GBCE	<i>Green Building Council España</i>
GEI	Gases de efecto invernadero
ICO	Instituto de Crédito Oficial
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
IRPF	Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas
LPH	Ley de Propiedad Horizontal
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
MITECO	Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
MITMA	Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (anteriormente Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana)
PNIEC	Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2020-2030
PREE	Programa de Rehabilitación Energética de Edificios
PREE 5000	Programa de Rehabilitación Energética para edificios existentes en municipios de reto demográfico
RAP	<i>Regulatory Assistance Project</i>
SCOP	Coefficiente de rendimiento estacional (<i>Seasonal Coefficient of Performance</i> en inglés)
SEDIGAS	Asociación española del gas
SATE	Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior
TCO	<i>Total Cost of Ownership</i> , coste total de la propiedad
UE	Unión Europea
UK	<i>United Kingdom</i> , Reino Unido

Nota metodológica

Este informe se apoya principalmente en datos recabados de la Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España (ERESEE) en su versión más reciente de 2020. Algunos de los datos incluidos en ERESEE constituyen estimaciones, no observaciones reales, por lo que cabe introducir un matiz en la robustez de los datos que fundamentan las premisas de ERESEE, y, por ende, de este informe. Esta limitación es común a los datos existentes del sector de la edificación, dada la dificultad intrínseca a la recolección de datos detallados del perfil de consumo energético de cada edificio, habida cuenta del gran número de inmuebles y su alta heterogeneidad. Es por ello que la mayor parte de estudios disponibles se fundamentan sobre estimaciones acerca del consumo energético total, las fuentes de energía utilizadas, la infraestructura existente en el edificio, etc. En tanto que estimaciones, es evidente que están condicionadas a las inevitables variaciones derivadas de su nivel de ocupación, el patrón de comportamiento de sus usuarios, etc.

En respuesta a este desafío han surgido múltiples intentos de complementar las carencias de los datos existentes, con la incorporación de datos basados en observaciones directas. Si bien esto posibilita el uso de múltiples fuentes, introduce un riesgo de falta de consistencia entre los diferentes datos. Es por ello que, en este informe, hemos optado por asegurar la consistencia en los datos manejados (a sabiendas de que estén basados en estimaciones) frente a una posible mayor precisión en algunos indicadores. Así, en este estudio se utilizará ERESEE como fuente principal, salvo que se indique lo contrario.

Específicamente, los datos de ERESEE sobre consumos energéticos y costes y ahorros asociados con la rehabilitación de diferentes tipos de edificios (y en particular edificios unifamiliares frente a plurifamiliares), constituyen una aproximación teórica que conviene matizar a la hora de extraer conclusiones, incluyendo las del presente informe. Es por ello que nuestras recomendaciones, sustentadas por el análisis a partir de los datos disponibles, están sujetas a una revisión ulterior, por ejemplo, incluyendo validación de sus premisas a partir de observaciones directas.

1. Resumen de análisis y recomendaciones

Con un **30% del consumo energético final** y el **25% de las emisiones** de gases de efecto invernadero en España, el sector de los edificios resulta crítico para la transición ecológica. en la Unión Europea (UE). Este sector consume cerca del 40% de la energía y es responsable del 36% de las emisiones de CO₂. Y, sin embargo, la brecha entre los objetivos planteados para los próximos años y la realidad del sector dista mucho de salvarse.

Tanto el Pacto Verde Europeo como el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima en España (PNIEC) tienen objetivos claros de reducción de emisiones. En el marco de la obligada neutralidad climática para todos los edificios en 2050, los edificios existentes deben alcanzar la clase energética F para 2030 y la E para 2033. La nueva construcción ya está obligada a ser neutral climáticamente. Además, la EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*, Directiva de eficiencia energética en edificios) establece metas como la renovación del 16% de los edificios menos eficientes para 2030 y del 26% para 2033. Estas metas están acompañadas por iniciativas específicas como la *Renovation Wave*, que busca rehabilitar 35 millones de edificios en Europa para 2030, con una reducción del consumo energético del 60% y de las emisiones de GEI del 55%.

1.1. Análisis

Un parque de viviendas altamente emisor y anticuado

El parque de viviendas en España presenta una distribución heterogénea que influye directamente en los patrones de consumo energético y las emisiones:

- **Por tipología de edificios de viviendas:**
 - **Plurifamiliares:** Constituyen el 67% de las viviendas en España, concentradas mayoritariamente en entornos urbanos. Al compartir paredes laterales, estas edificaciones tienen un aislamiento natural superior, lo que resulta en términos relativos, en una menor intensidad energética y de emisiones por unidad.
 - **Unifamiliares:** Representan el 33% restante, predominando en áreas rurales. Estas viviendas, al tener tamaños medios superiores a las plurifamiliares, y carecer de las ventajas térmicas de las plurifamiliares, se considera que tienen un consumo energético medio superior. Esto, combinado con que suelen tener una mayor dependencia de los combustibles fósiles más contaminantes, las hace más intensivas en emisiones. (no obstante, habrá situaciones en las que este patrón puede quedar matizado por comportamientos de “ahorro” o de menor ocupación p.ej. en segundas viviendas).
- **Por antigüedad del parque inmobiliario:**
 - Más del 55% de las viviendas españolas se construyeron antes de 1980, antes de la entrada en vigor de normativas de eficiencia energética. Como resultado, una gran parte del parque tiene calificaciones energéticas bajas (E, F o G), con solo el 1% alcanzando una calificación A, mientras que el 80% está clasificado como E, F o G.
- **Por distribución de emisiones:**
 - El **sector residencial** genera entre el 70% y el 75% de las emisiones de edificios en España. Según las estimaciones (no observaciones reales) de la ERESEE y el IDAE, las viviendas unifamiliares supondrían el c. 40% de las emisiones asociadas a las viviendas principales.

Mejoras potenciales en la factura energética, la calidad del aire y la soberanía geopolítica

En España, un estudio de ESADE EcPol estimaba que 20.000 personas mueren prematuramente por enfermedades respiratorias o cardiovasculares asociadas a la contaminación, y en concreto, según un estudio de la Universitat Jaume I, 2.602 personas mueren prematuramente cada año debido a la contaminación generada por cocinas de gas. A nivel europeo, esta cifra asciende a casi 40.000 muertes. Alternativas como **las bombas de calor** para suplantar calderas de gas dentro de las casas **pueden reducir las emisiones** de CO₂ hasta en un 60% en comparación con las calderas de gas tradicionales, mejorando de forma sustancial la calidad del aire.

Además, la transición hacia fuentes renovables locales fortalecería la soberanía energética de España y reduciría la exposición a la volatilidad de precios internacionales. En 2022, el déficit energético español alcanzó cifras récord debido al encarecimiento del gas, con un impacto de 22.200 millones de euros en el saldo comercial.

Un suministro energético dominado por los combustibles fósiles

El consumo energético en los edificios españoles está dominado por combustibles fósiles, en particular para calefacción y agua caliente sanitaria. Las energías limpias, como las bombas de calor y **la electricidad renovable, tienen una adopción limitada**, constituyendo solo el 14% del total de la energía utilizada para calefacción. Las viviendas unifamiliares son grandes consumidores de gasóleo, mientras que en las plurifamiliares en edificios predomina el gas natural.

El impacto del ETS-2 incrementará las facturas energéticas contaminantes

El ETS-2 (Segundo Régimen de Comercio de Emisiones de la UE), establece un precio al carbono para las emisiones de sectores difusos, inclusive edificios, a partir del 2027. Los precios del carbono bajo el ETS-2 están diseñados para oscilar entre 45 y 60 euros por tonelada de CO₂ en los años iniciales, con medidas para evitar volatilidad excesiva. Se espera que esta política recaude entre 50.000 y 260.000 millones de euros anuales, dependiendo del precio del carbono. Sin embargo, el impacto será regresivo, afectando más a los hogares vulnerables.

Para mitigar este efecto, se ha creado el Fondo Social para el Clima (FSC), con una dotación de 86.700 millones de euros para el período 2026-2032. Este fondo, que se nutre del 25% de la recaudación del ETS-2 financiará inversiones en eficiencia energética y renovables, además de proporcionar asistencia directa a los hogares más afectados. **Utilizar el remanente de la recaudación del ETS-2 para financiar políticas de descarbonización**, inclusive las subvenciones a la rehabilitación energética de edificios, será clave en este sentido.

4 tipos de barreras al despliegue de tecnologías de descarbonización de la climatización de edificios

La rehabilitación energética mediante mejora de la envolvente y refuerzo del aislamiento, así como el despliegue de bombas de calor o la implantación en núcleos urbanos de redes de calor, son alternativas tecnológicas para descarbonizar la climatización de edificios. Este tipo de medidas enfrenta un conjunto de desafíos similares a la hora de reemplazar los sistemas tradicionales de calefacción, desde la perspectiva del consumidor o propietario que se plantea la obra de rehabilitación. Identificamos diferentes tipos de barreras:

- **Baja rentabilidad, en muchos casos, para actuaciones de eficiencia energética:** a partir de datos disponibles, estimamos que la rehabilitación energética de edificios con aislamiento de envolvente es insuficientemente atractiva en la mayoría de los casos.
- **Limitaciones físicas:** Espacios reducidos en edificios plurifamiliares (falta de superficie útil en fachadas etc.), y requisitos adicionales de almacenamiento de agua para ACS (IDAE, 2011) dificultan la implementación de tecnologías limpias y en particular la instalación de bombas de calor.

- **Pobreza energética:** El 17% de los hogares españoles (aproximadamente 8 millones de personas) enfrentan dificultades para cubrir sus necesidades energéticas, lo que complica la implementación de inversiones en tecnologías limpias.

1.2. Recomendaciones

Presentamos 6 principios que apuntalan un cambio de paradigma en la forma de abordar la descarbonización de los edificios desde una perspectiva realista y pragmática, en aras de una descarbonización al mínimo coste posible, de forma inclusiva y desde un enfoque de Transición Justa.

1. De “eficiencia primero” a “descarbonización primero”

Históricamente, las estrategias para abordar la transición energética en edificios han priorizado la eficiencia energética definida en sentido estricto (reducción de demanda energética total) por encima de la descarbonización directa. Proponemos un cambio de paradigma, priorizando la opción con mayor potencial de reducción de emisiones, aunque ello no implique maximizar la reducción de la demanda energética total.

Un ejemplo práctico de la aplicación de este principio corresponde al papel de la tecnología de las bombas de calor, que permite electrificar las necesidades de climatización de un edificio. Además de un efecto de eficiencia (alcanzando a menudo niveles de eficiencia energética del 300%), el efecto descarbonizador es claro: el 46% de la generación eléctrica ya es renovable, proyectándose un 81% para 2030 y 100% para 2050.

2. Ayudas públicas al menor coste social

El diseño de subvenciones debe **priorizar tecnologías con el menor impacto social y ambiental**. Esto implica enfocarse en medidas costo-efectivas que maximicen el beneficio social. Por ello, las subvenciones deben adjudicarse de modo que se incorpore el criterio de emisiones evitadas al menor coste posible (toneladas de CO2 por euro de inversión pública).

3. Priorizar la descarbonización de usuarios intensivos

Los usuarios intensivos, o edificios que más energía consumen, son generalmente aquellos en los que a través de una actuación de eficiencia energética se pueden conseguir ahorros que maximicen la rentabilidad de la inversión en eficiencia, llegando al caso que sea “autofinanciable”, es decir, que los ahorros sean suficientes para la financiación la inversión por un tercero, evitando el desembolso al propietario. Es por ello que proponemos actuaciones enfocadas a que afloren estos casos, con medidas específicas para los diferentes segmentos, tanto plurifamiliares (como se expone a continuación) como unifamiliares, p.ej., a través de medidas que aseguren el progresivo reemplazo de sistemas de climatización a partir de combustibles fósiles al final de su vida útil, en los casos que sean autofinanciables.

4. Empoderar los edificios plurifamiliares para crear su propio plan de descarbonización

De modo similar, proponemos para las comunidades de vecinos la obligatoriedad de elaborar (con apoyo de los administradores y agentes rehabilitadores) **un plan de descarbonización específico para cada edificio**, que permita aflorar las actuaciones de eficiencia que sean económicamente más atractivas, y empoderar a las comunidades de vecinos para que puedan decidir de forma autónoma cual es la solución de descarbonización óptima para su caso específico, teniendo en cuenta las circunstancias del edificio, sus capacidades económicas y preferencias particulares. Con el beneficio añadido, de que podría ayudar a superar las barreras sociales y la complejidad intrínseca de un proyecto de descarbonización en un edificio plurifamiliar.

5. Reequilibrio de precios entre gas y electricidad

La diferente fiscalidad sobre el gas y la electricidad produce un desincentivo a la electrificación. **Actualmente, el precio del gas es 3-4 veces más barato que la electricidad** en términos de energía útil. Este principio aboga por ajustes fiscales que alteren la relación entre precios de gas y electricidad y de este modo puedan favorecer la electricidad como vector energético limpio. Siguiendo las buenas prácticas de países como Países Bajos detalladas como ejemplos en el informe, se propone reequilibrar esta diferencia para incentivar una transición más rápida hacia soluciones electrificadas en España.

6. Fomentar las redes de calor y frío

Las redes de calor y frío son una solución estructural para áreas urbanas densas, permitiendo una descarbonización eficiente al utilizar fuentes renovables y calor residual. Estas redes **pueden reducir costes del sistema energético en un 17-20% al aprovechar el calor residual** de procesos industriales, plantas de tratamiento de residuos y otras actividades que de otro modo se desperdiciaría. En España, aunque son escasos, existen algunos proyectos de referencia. La comparativa internacional, incluso ajustando las condiciones climáticas, sugiere que, en las zonas más frías de España, las redes de calor con aprovechamiento del calor residual serán competitivas con la calefacción de combustibles fósiles. Para su despliegue, será crítico fomentar su conocimiento y superar barreras culturales y administrativas a su adopción.

2. Introducción a la descarbonización de edificios en España y Europa

2.1. Contexto del sector de la edificación y la transición energética justa

Los edificios, tanto residenciales como de otros usos, son responsables de una gran parte de la demanda de energía, especialmente en calefacción y refrigeración. En España, esta demanda se satisface principalmente mediante combustibles fósiles, lo que contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero, y a su vez explica que el sector de la construcción y la operación de edificios represente aproximadamente el 40% del consumo energético y un 36% de las emisiones de CO₂ en la Unión Europea.¹ En España, este sector supone el 30% del consumo energético y casi el 30% de las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero (GEI).² Además, los edificios suponen uno de los sectores de mayor crecimiento emisor. En España, se han incrementado en un 15% desde 1990 hasta 2020.

Por ello, la descarbonización de los edificios es un pilar esencial para la transición energética en Europa y España. Esta realidad ha llevado a que tanto el Pacto Verde Europeo como el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) en España establezcan objetivos ambiciosos de reducción de emisiones en el sector, con un enfoque en la eficiencia energética y la adopción de energías renovables.

En aras de estos objetivos, durante las últimas décadas, el sector de los edificios ha sido objeto de diversas estrategias orientadas a abordar sus retos energéticos. Tradicionalmente, estas medidas han priorizado la reducción del consumo energético frente a la descarbonización directa (probablemente por la ausencia, inicialmente, de alternativas). Estas estrategias se han traducido en mejoras regulatorias dirigidas a eliminar barreras estructurales para inversiones en eficiencia, así como importantes recursos públicos en forma de subvenciones para incentivar las inversiones necesarias. No obstante, como se analizará en este informe, los resultados alcanzados han estado lejos de las expectativas.

El limitado éxito de estas iniciativas puede atribuirse a una combinación de factores sociales, económicos y técnicos, que reflejan la complejidad y diversidad del sector de los edificios. Es por ello por lo que, cualquier análisis en este ámbito, exige un enfoque integral que contemple no solo la dimensión técnica, sino también las implicaciones sociales y económicas de las políticas propuestas.

La aceptación social es, en efecto, un pilar fundamental para el éxito de la descarbonización de edificios, especialmente en un contexto donde el escrutinio sobre los costes de la transición energética es cada vez mayor. En relación con los costes, es necesario tener en cuenta a los sectores más vulnerables de la población. La pobreza energética concierne en la Unión Europea a cerca del 8% de la población; en España, esta cifra asciende al 17%, aproximadamente 8 millones de personas en 2022, con una tendencia al alza desde 2020.³ En paralelo, resulta crucial garantizar la sostenibilidad fiscal de las políticas implementadas. Los objetivos de descarbonización deben ser coherentes con las capacidades humanas, financieras y los recursos (tanto privados como públicos) disponibles, evitando comprometer la viabilidad a largo plazo de las iniciativas.

El presente informe pretende, inicialmente, proporcionar un análisis detallado de los objetivos, la situación actual y las principales barreras en el proceso de descarbonización del sector de los edificios. Para ello, se recurrirá a una revisión de los estudios más relevantes en este ámbito, complementándolos con análisis propios que permitan extraer conclusiones sólidas. Más allá del diagnóstico, este trabajo busca ofrecer una contribución significativa mediante una evaluación crítica (*sense-checking*) de los objetivos, políticas y prioridades desarrollados hasta la fecha. Finalmente, se avanzarán recomendaciones concretas destinadas a maximizar las probabilidades de éxito en la descarbonización de edificios, integrando una perspectiva inclusiva, sostenible y económicamente viable.

¹ (EEA, 2024)

² (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2024)

³ (BC3-OTEA, 2022) (Eurostat, 2021)

2.2. Los motivos para la descarbonización de los edificios: emisiones, importaciones energéticas y la calidad del aire

2.2.1. Objetivos de emisiones del sector de edificios

La calefacción y refrigeración de edificios mediante combustibles fósiles es responsable del 13% de las emisiones de la Unión Europea, mientras que el uso de electricidad en los edificios representa otro 14%.⁴ Aunque los edificios de nueva construcción están diseñados para ser de bajas emisiones, tres cuartas partes del parque inmobiliario existente en la UE es ineficiente en términos energéticos.

En este contexto, se han introducido objetivos de eficiencia energética y consumo para edificios primeramente a través de la directiva de rendimiento energético de edificios de la UE (EPBD o *Energy Performance of Buildings Directive* en inglés, EU/2024/1275). Actualizada en 2023, la EPBD establece los siguientes objetivos:

- Descarbonización del parque inmobiliario para 2050: establece como meta que todos los edificios de la UE sean climáticamente neutros en 2050. Esto implica un nivel casi nulo de emisiones y un suministro energético basado en fuentes renovables.
- Rendimiento energético mínimo: Se deja a los Estados Miembros la libertad de definir estándares mínimos de eficiencia energética y plazos para su cumplimiento para los edificios existentes residenciales (dentro del objetivo principal de reducir el consumo de energía primaria en 16% en 2030 y 20-22% en 2035), mientras que, para los edificios no residenciales, es la directiva la que establece los estándares mínimos.
- Nueva construcción cero emisiones: Desde 2030, todos los edificios nuevos deben ser de emisiones cero, y para los edificios públicos, esta obligación se adelanta a 2027. Esto incluye una dependencia mínima o nula de combustibles fósiles y el uso de energías renovables in situ o a través de redes eficientes.
- Renovación y rehabilitación acelerada: Los Estados miembros deberán desarrollar planes nacionales de renovación con hitos intermedios claros para 2030, 2040 y 2050. En los edificios residenciales, se establece la obligación de que el 55% del objetivo de reducción de energía primaria se consiga mediante rehabilitación de los inmuebles con peor desempeño. Para edificios no residenciales, se establecen objetivos directos de rehabilitación de los inmuebles más ineficientes (16% en 2030, 26% en 2033).

Entre las medidas propuestas, la EPBD incluye:

- Prohibición progresiva de calderas de combustibles fósiles: Si bien no se establece una prohibición uniforme para la instalación de calderas de combustibles fósiles antes del 2040, se permite a los Estados miembros su prohibición progresiva.
- Fomentar energías renovables: Impulso a la integración de sistemas como paneles solares, bombas de calor y comunidades energéticas.
- Financiación e incentivos. Acceso a fondos europeos, como el programa *NextGenerationEU*, para apoyar renovaciones y facilitar inversiones.

Existe también la iniciativa *Renovation Wave*, lanzada en 2020 por la Comisión Europea como parte de los compromisos del Pacto Verde Europeo para impulsar la renovación de edificios y reducir el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en toda la UE. *Renovation Wave* se financia principalmente mediante el Fondo de Recuperación y Resiliencia y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), y sus principales objetivos para 2030 son:⁵

- Rehabilitación energética de al menos 35 millones de edificios en la UE.
- Reducción del consumo energético en un 60% y de las emisiones de GEI en un 55%.

⁴ (EEA, 2024)

⁵ (European Commission, n.d.)

- Dentro de estos, las prioridades de renovación implican:
 - La descarbonización de la calefacción y refrigeración promoviendo el uso de energías renovables.
 - La renovación de edificios públicos y sociales.
 - El foco en la eficiencia energética en hogares de bajos ingresos abordando cuestiones de pobreza energética y vivienda digna.
 - La creación de empleo verde y la resiliencia económica.

2.2.2. Consumo energético de edificios y soberanía energética

En España, el sector de la edificación es responsable del 30,1% del consumo de energía final y del 25,1% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). De estas emisiones, el 8,2% del total nacional son emisiones directas, asociadas al consumo de combustibles fósiles en los sectores residencial, comercial e institucional.⁶ Dado que la práctica totalidad de los combustibles fósiles son importados, y que la descarbonización permite evitarlos o su reemplazo por fuentes autóctonas, descarbonizar el sector de los edificios constituye una oportunidad brillante para reducir la dependencia energética española.

En 2022 (últimos datos disponibles para el conjunto), España importó hidrocarburos del orden de 63,6 millones de toneladas de crudo y 24,5 millones de gas natural, en toneladas equivalentes de petróleo o Mtep, arrojando un total de 88,1 Mtep.⁷ Dado que el consumo total de combustibles fósiles del sector edificios en España ascendió a 8.383 ktep en 2021, con 6.000 ktep del sector residencial y el resto del sector terciario (comercial e institucional)⁸, la descarbonización total del sector de los edificios supondría un ahorro del 9,5% en la factura anual de importación de hidrocarburos. Otros estudios cifran el importe en 50.000 millones de euros en costes energéticos evitados en un horizonte de 20 años, gracias principalmente a la eliminación gradual de los combustibles fósiles en los sistemas de calefacción.⁹

También mitigaría los riesgos asociados con la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles. Por ejemplo, en 2022 el déficit energético español empeoró al encarecerse el gas natural. El volumen de compra creció un 17% respecto a 2021, generando el mayor déficit de la serie histórica en un período enero-noviembre al alcanzar los 22.200 millones de euros en noviembre de 2022.¹⁰ La **Figura 1. Balanza comercial de productos energéticos de España (en % sobre el PIB)** captura esta evolución en los últimos años.

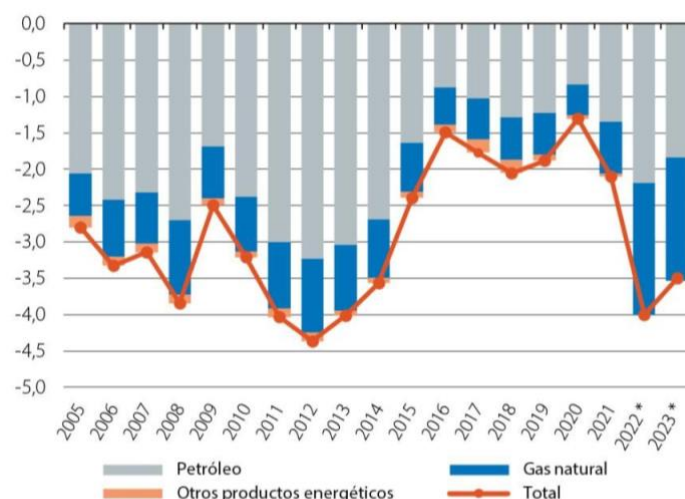
⁶ (GBCE, 2022)

⁷ (Sedigas, 2022) (Statista, 2023)

⁸ (Secretaría de Estado de Energía, 2023)

⁹ (Gallego, 2023)

¹⁰ (Caixabank research, 2022)

Figura 1. Balanza comercial de productos energéticos de España (en % sobre el PIB)

Nota: * Datos estimados para 2022 y previsión para 2023, siguiendo la clasificación CUCI.
Fuente: CaixaBank Research, a partir de datos de DataComex.

El beneficio de la descarbonización para la balanza comercial de la descarbonización quedó patente en 2022, cuando la generación de electricidad renovable evitó importaciones fósiles, implicando unos ahorros que pasaron de 8.613 millones de euros en 2021 a 15.230 millones de euros en 2022.¹¹ Para un país como España de fuerte tendencia a una balanza de pagos deficitaria e importador neto de energía, la transición hacia fuentes no emisoras producidas en terreno nacional supone un refuerzo notable de la soberanía energética y la independencia geopolítica.

2.2.3. Impactos de la descarbonización de edificios sobre la calidad del aire

La descarbonización como proceso supone una oportunidad no solo energética sino también ambiental. Y la mejora de la calidad del aire constituye una de sus consecuencias más evidentes. Naturalmente, al rehabilitar energéticamente los edificios, la desaparición de la quema de combustibles fósiles reduce la emisión de contaminantes atmosféricos como el dióxido de nitrógeno y las partículas en suspensión, mejorando así la calidad del aire.

Las muertes prematuras en nuestro país debido a enfermedades cardiovasculares o respiratorias que pueden vincularse a la contaminación atmosférica ascendieron a 20.900 solo en 2021.¹² Siendo las calderas de gas un agravante importante de esta contaminación atmosférica, se ha estimado que un total de 2.602 españoles fallecen de forma prematura cada año por la contaminación de cocinas de gas. Para el conjunto de la UE y Reino Unido, la cifra asciende hasta las 39.959 muertes.¹³ Además, las calderas de gas emiten NO₂ durante la combustión. Según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), el sector residencial fue responsable de aproximadamente el 5% de las emisiones de NO₂ en España en 2019.¹⁴

La calidad del aire en las ciudades españolas, como en el resto del mundo, está seriamente afectadas por la quema de combustibles fósiles. Existe un vínculo causal ampliamente probado entre la quema de combustibles fósiles, en particular para la climatización de edificios en entornos urbanos, y las concentraciones nocivas de partículas PM2.5 (partículas finas con diámetro máximo de 2,5 micrómetros) y PM10 (partículas con diámetros entre 2,5 y 10 micrómetros).¹⁵

¹¹ (APPA Renovables, 2022)

¹² (Mejino & Oliu-Barton, 2024)

¹³ (Gómez, 2024)

¹⁴ (MITECO, 2022)

¹⁵ (IRENA, 2021) (Querol Carceller, 2019) (OMS, 2024)

Como se aprecia en la **Tabla 1. Concentraciones de partículas contaminantes e índices de calidad del aire para una selección de ciudades** debajo, aunque Barcelona y Madrid tienen concentraciones menores a otras urbes en su entorno, se trata de valores promedio que implican que en muchos casos se rebasan los límites recomendados por la OMS (15 µg/m³ anualmente, tanto para PM2.5 como para PM10), lo cual se descartaría en caso de contar con sistemas de climatización plenamente descarbonizados. Tanto Madrid como Barcelona rebasan ampliamente estos límites, según datos de IQAir.¹⁶

Tabla 1. Concentraciones de partículas contaminantes e índices de calidad del aire para una selección de ciudades¹⁷

Ciudad	País	PM2.5 (µg/m³)	PM10 (µg/m³)	ICA (Promedio Anual)
París	Francia	15	28	55
Berlín	Alemania	14	26	53
Londres	Reino Unido	13	22	52
Barcelona	España	14	22	52
Los Ángeles	Estados Unidos	12	25	50
Madrid	España	12	20	50
Toronto	Canadá	10	18	45
Sídney	Australia	8	15	42

Se ha estimado asimismo un impacto sobre el crecimiento del PIB del 5% para el período analizado si España hubiera logrado los niveles máximos de contaminación marcados como recomendables por la OMS (5 mg/m3 de aire).¹⁸

Frente a todo ello, alternativas de descarbonización de la climatización de edificios pueden reducir las emisiones de CO₂ en un 60% en comparación con las calderas de gas tradicionales, como se expone en este trabajo.

2.2.4. El impacto del ETS-2 y el Fondo Social para el Clima

Los mercados de emisiones constituyen un instrumento extendido y probado en la descarbonización de la economía. En los mercados de carbono regulados o sistemas de comercio de emisiones (ETS o *Emissions Trading Systems* en inglés), una autoridad central impone una obligación de pagar por emitir gases de efecto invernadero a través de un tope o límite global a las emisiones dentro del ETS, y sobre este tope los derechos de emisión se distribuyen e intercambian entre los sectores de actividad cubiertos, ya sea de forma gratuita o mediante subastas. Por eso los ETS se denominan sistemas “*cap-and-trade*”.

En la UE existe ya un primer ETS que cubre sectores energéticos y de industria pesada. En mayo de 2023, los países de la Unión Europea acordaron introducir un segundo esquema de comercio de emisiones (ETS-2), centrado en los llamados sectores difusos, principalmente edificios, transporte y residuos, poniendo así un precio a las emisiones provenientes de la combustión directa de combustibles, incluyendo calderas de gas y petróleo en hogares privados, así como el transporte por carretera. A partir de 2027, el ETS-2 exigirá a los suministradores de combustibles fósiles que entreguen certificados de carbono equivalentes a las emisiones generadas por los consumidores de esos combustibles. Se espera que aquellos transfieran el coste de estos certificados a los consumidores mediante un aumento en los precios del combustible. Como se expone más adelante, el hecho de que el ETS-2 será introducido de forma progresiva, es probablemente conducente a que los usuarios no hayan internalizado su impacto en sus decisiones económicas de opciones de climatización.

¹⁶ (IQAir, 2024)
¹⁷ Elaboración propia a partir de (IQAir, 2024)
¹⁸ (Mejino & Oliu-Barton, 2024)

La introducción del ETS-2 está destinada a estimular las inversiones necesarias en los edificios al alinear las señales de precios con el impacto ambiental y económico de las emisiones.¹⁹ En efecto, el impacto de la introducción (y el subsiguiente aumento esperado) de un precio al carbono sobre las facturas energéticas será significativo. La magnitud de este impacto dependerá del precio prevalente de los permisos de carbono, que a su vez estará influido por las dinámicas de oferta y demanda. La Comisión Europea ha indicado que entre 2027 y 2030 se intentará mantener el precio del ETS-2 por debajo de los 45 euros por tonelada de CO₂ (tCO₂e) a precios de 2020, o 60 euros en 2027. Si bien el mercado determinará los precios, se creará una reserva para gestionar la volatilidad de los precios, liberando más permisos de carbono si los precios suben demasiado rápido o demasiado alto. Esta reserva tendrá 600 millones de permisos, o el 18% del límite de emisiones del ETS-2 entre 2027 y 2030.²⁰

Según estimaciones de la Comisión Europea (2021), los precios del carbono podrían oscilar entre 48 y 80 euros por tonelada si se implementa plenamente el plan de la UE para reducir las emisiones en un 55% para 2030 en comparación con los niveles de 1990. Sin embargo, si los países no actúan rápidamente para descarbonizar los sectores cubiertos por ETS-2, los precios podrían dispararse, alcanzando entre 200 y 300 euros. A través del ETS-2 se espera generar una recaudación adicional de entre 50-260 mil millones de euros anualmente en función del precio de carbono (asumiendo oscilaciones de 45 y hasta 200 EUR/tCO₂e).²¹

Por otro lado, el impacto sobre las facturas energéticas será *a priori* regresivo, por ser los hogares de menor renta los que más destinan proporcionalmente al consumo energético. Para mitigar este efecto se ha introducido el Fondo Social para el Clima (FSC o *Social Climate Fund* en inglés). Dotado con aproximadamente 86.700 millones de euros para el período 2026-2032, el FSC busca facilitar inversiones en eficiencia energética y energías renovables, así como garantizar financiación para los programas de asistencia directa a hogares y sectores vulnerables y así amortiguar los costos del ETS-2.²²

2.3. Calefacción, refrigeración y emisiones en España

Comparado con otros países de la UE, el ritmo de la reducción de emisiones de edificios en España ha sido inferior a la media. La **Figura 2. Cambio porcentual de emisiones por consumo de hidrocarburos en la calefacción y refrigeración de edificios en Europa** muestra la evolución de las emisiones de GEI provenientes del uso de combustibles fósiles en la calefacción y refrigeración de edificios entre 2005 y 2021 en distintos países de la Unión Europea. Los países están representados con círculos de diferente tamaño, indicando su participación en las emisiones totales de edificios dentro de la UE, mientras que el color del círculo refleja la intensidad de las emisiones por metro cuadrado. Aunque la tendencia general acusa una caída clara de las emisiones España con una reducción de aproximadamente el 15%, la reducción española se encuentra por debajo del promedio del 22% de la UE.

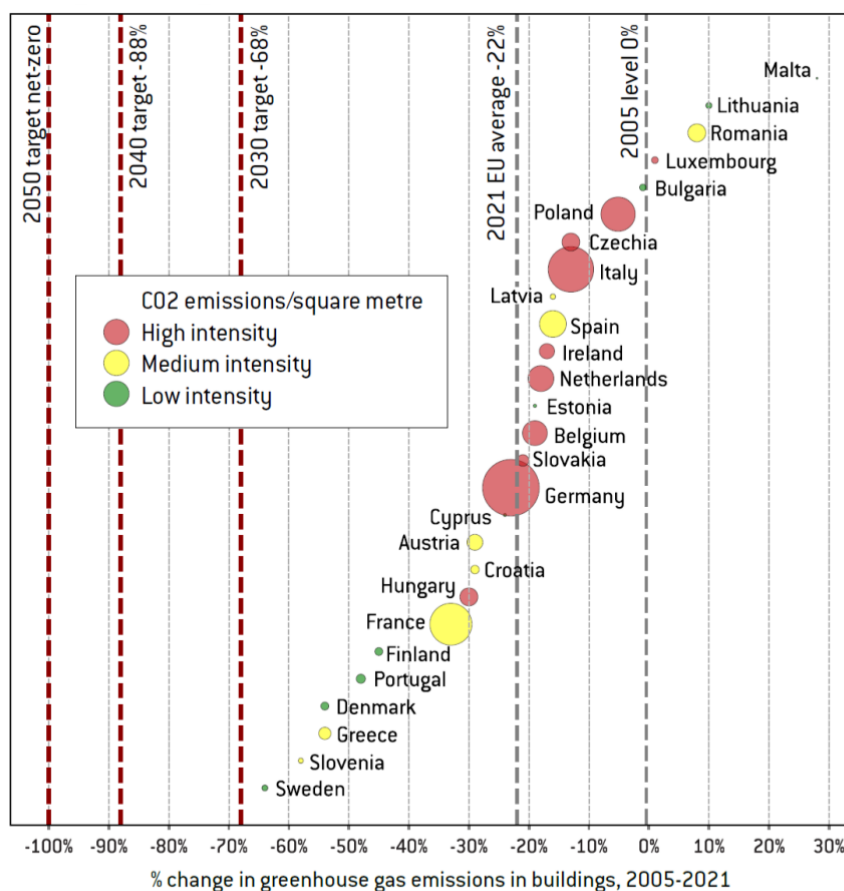
¹⁹ Para un análisis en profundidad del impacto del ETS II, en particular de la recaudación fiscal y la implantación de dividendos climáticos en clave social, considerar el informe de OIKOS sobre dividendos climáticos, disponible aquí: <https://www.oikos.eco/publicaciones>

²⁰ (European Commission, 2024)

²¹ (Keliauskaitė, McWilliams, Sgaravatti, & Tagliapietra, 2024)

²² (Consejo de la Unión Europea, 2024)

Figura 2. Cambio porcentual de emisiones por consumo de hidrocarburos en la calefacción y refrigeración de edificios en Europa²³



Source: Bruegel based on UNFCCC and EU Buildings Stock Observatory. Note: The 2030 milestone of -68 percent compared to 2005 corresponds to the -60 percent compared to the 2015 level set in the PRIMES model's MIX scenario, the leading model employed by the European Commission for energy policy assessment. The size of the circle in the figure represents that country's share of total EU emissions associated with buildings, ranging from 0.02 percent (Malta) to 26 percent (Germany).

La comparación europea revela algunos resultados reseñables:

- Un bloque crítico compuesto por Alemania, Italia, Polonia, Países Bajos y Bélgica concentra el 60% de las emisiones del sector de edificación europeo, además de tener una alta intensidad por unidad de superficie.
- Por otro lado, países como Suecia, Eslovenia, Dinamarca y Grecia han logrado reducciones significativas, superiores al 60%, acercándose al objetivo de reducción del 68% para 2030. Estos países han implementado políticas más agresivas en la eficiencia energética de los edificios.
- Francia, Portugal y Finlandia también han logrado reducciones importantes, aunque no tan pronunciadas como las de los países nórdicos, pero están en mejor posición que España.
- España muestra una intensidad de emisiones por unidad de superficie media en línea con la media de la UE, que se explica en gran parte por las diferencias climatológicas: España tiene un 44% menos de días de calefacción ("heating degree days") y un 146% más de días de refrigeración ("cooling degree days") en comparación con la media de la UE.²⁴ Dado que la calefacción tiende a estar basada actualmente en la combustión de combustibles, y la refrigeración es de alimentación eléctrica, esto lleva a una menor intensidad de emisiones.

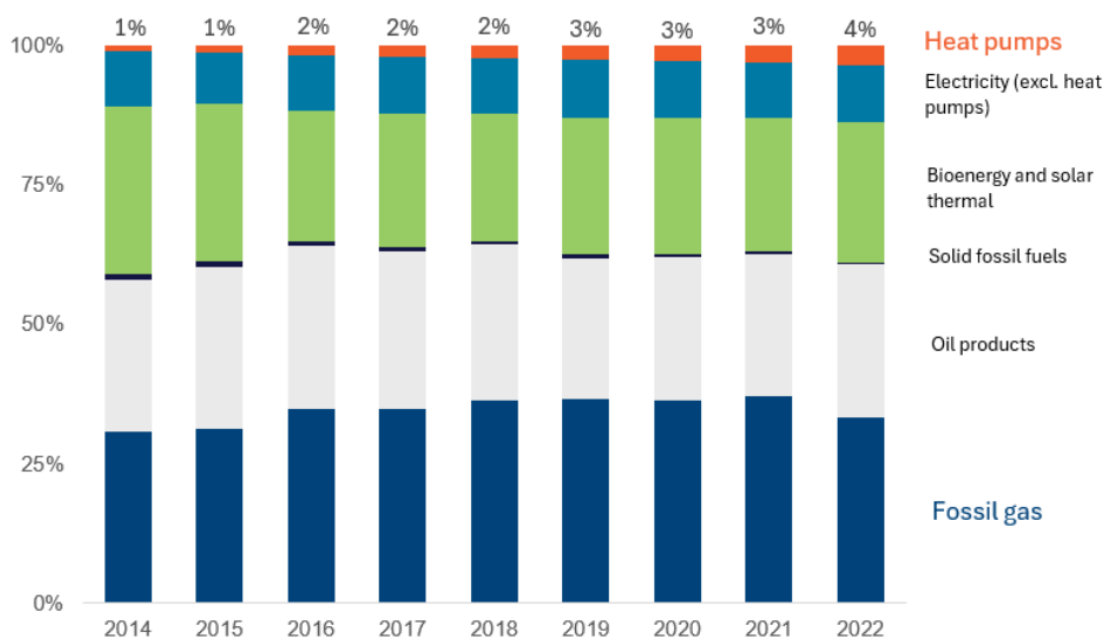
²³ (Keliauskaitė, McWilliams, Sgaravatti, & Tagliapietra, 2024)

²⁴ (Eurostat, 2024)

2.3.1. Fuentes de emisiones de la climatización de edificios en España

Del consumo energético global en un hogar promedio, el 47% es para calefacción, el 20% para electrodomésticos, el 19% para agua caliente y sanitaria (ACS), y el resto para cocina, luz, etc.²⁵ La refrigeración supone apenas un 1%, un valor relativamente bajo que se explica por la combinación de la mayor eficiencia energética de este tipo de equipos, con la menor prevalencia de sistemas de refrigeración en los hogares.²⁶ Dentro de la calefacción y el ACS, los combustibles fósiles concentran la mayoría de las fuentes energéticas empleadas. Entre 2014 y 2021, el uso de gas fósil aumentó del 31% al 37% en la calefacción, mientras que los productos derivados del petróleo representan alrededor del 25%, como muestra la **Figura 3. Fuentes de energía empleada para calentamiento de hogares y agua caliente y sanitaria en España, 2014-2021**.

Figura 3. Fuentes de energía empleada para calentamiento de hogares y agua caliente y sanitaria en España, 2014-2021²⁷



Source: Eurostat, nrg_d_hqq.

**District heating energy is absent from this graph.*

Dentro de las fuentes no fósiles, la bioenergía también representó una proporción considerable, con un 24% en 2021, un valor relativamente alto que se explica en gran parte porque los equipos de biomasa (estufas, chimeneas, etc.) consumen relativamente mucha más energía de la que producen. También se observa que la electricidad y las bombas de calor constituyen conjuntamente solo el 14% del total de la energía utilizada para la calefacción en España (y 3% para las bombas de calor).

Dado que el origen de la electricidad ya es hoy principalmente renovable, y se espera que aumente al 81% en 2030 y al 100% en 2050, la calefacción electrificada, y las bombas de calor en particular, son una opción muy limpia, generando cinco veces menos emisiones que las calderas de gas en la red eléctrica actual. España cuenta con los ingredientes adecuados para lograr un sistema de climatización limpio y electrificado: una gran capacidad de generación renovable y un clima caluroso, moderado en las zonas costeras, con inviernos cortos en muchas regiones y menores necesidades de calefacción que el resto de Europa.²⁸

²⁵ (Fundación Renovables, 2023)

²⁶ (Fundación Renovables, 2023)

²⁷ (Lowes & Gibb, 2024)

²⁸ (Lowes & Gibb, 2024)

2.3.2. Segmentación del parque de viviendas en España

En España, según la Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España (ERESEE) y los datos proporcionados por el INE, ambos para el año 2020, aproximadamente el 67% de las viviendas son plurifamiliares, aunque esta distribución está muy relacionada con el tamaño del municipio, de forma que en los municipios rurales predominan las viviendas unifamiliares, un 62%, y en los urbanos las viviendas plurifamiliares con un 81%.²⁹

Entre las viviendas plurifamiliares predominan las que están situadas entre medianeras, es decir, los edificios comparten paredes laterales con las edificaciones contiguas a los lados al estar adosados. Se trata de un dato relevante para el consumo energético, pues, al carecer de huecos en las fachadas tangentes a las otras edificaciones, las propiedades de aislamiento térmico son mayores, actuando las medianeras adyacentes como una especie de aislamiento natural y facilitando una menor exposición a condiciones climáticas como el viento, las precipitaciones o la radiación solar.

En términos de antigüedad, la mayoría de las viviendas fueron construidas en la década de 1960 debido al éxodo rural y al desarrollo del país durante estos años. Así, identificamos el periodo entre 1940-1960 como el primer ciclo de la expansión urbana y el de 1960-1980 el segundo. En torno al 55% del parque edificado en España es anterior a 1980, y el 21% cuenta con más de 50 años. Es decir, casi el 58% de nuestros edificios se construyó con anterioridad a la entrada en vigor de la primera normativa de eficiencia energética en España en 2006.³⁰ Esta edad promedio de los edificios relativamente avanzada condiciona en parte una pobre eficiencia energética: entre las viviendas en España que tienen una certificación energética, el 80% tienen la calificación de E, F o G, las tres más bajas en cuanto a eficiencia en el consumo energético, mientras que solo el 1% de las viviendas tienen una calificación A, la más elevada.³¹

En cuanto al tamaño de los hogares el 47% de las viviendas españolas dispone de una superficie útil entre los 60 m² y los 90 m² y otro 40% son viviendas de más de 90 m².³²

2.3.3. Segmentación de las fuentes de emisiones en España

En España, las emisiones de CO₂ del sector de edificios presentan una distribución similar a la media europea, donde el sector residencial destaca como el mayor emisor, representando el 60-75% de las emisiones de todos los edificios en España, según la fuente. De este modo, y sin menoscabo de las iniciativas para la descarbonización de otros sectores como programas específicos para el sector público, los datos ponen de relieve la importancia de priorizar del sector residencial, que constituye, con sus contextos particulares, el foco del presente trabajo.

El reparto de emisiones entre viviendas unifamiliares y plurifamiliares no ha sido cuantificado con un alto grado de fiabilidad a partir de observaciones reales. Existen, no obstante, algunas fuentes que aportan estimaciones y aproximaciones teóricas que, con las limitaciones propias, aportan un punto de partida razonable, sujeto a la necesaria validación ulterior. Por ejemplo, los datos del ERESSE 2020 (y del IDAE, que es una de sus fuentes principales) aportan estimaciones de diferentes fuentes de energía entre las viviendas unifamiliares y plurifamiliares. Como se aprecia en la **Figura 4**, las viviendas plurifamiliares tienen prevalencia en su consumo de energía de combustibles fósiles intensivos en emisiones como el gasóleo.

Figura 4. Desagregación de consumos por fuente energética para viviendas unifamiliares frente a plurifamiliares

²⁹ (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020)

³⁰ (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2024)

³¹ (Fundación Renovables, 2023)

³² (Fundación Renovables, 2023)

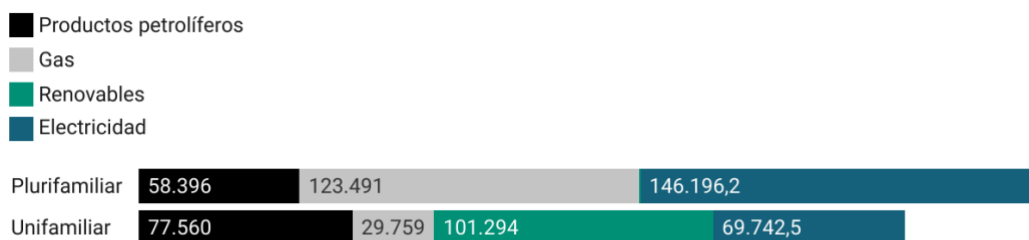


Gráfico: OIKOS • Fuente: IDAE • Creado con Datawrapper

Es importante subrayar que estos datos suponen estimaciones teóricas, no basadas en observaciones reales, por lo que están sujetos a error y variaciones que puedan derivarse de, por ejemplo, diferentes patrones de consumo, que pueden no observarse en la práctica (i.e., al incorporar diferencias de consumo entre viviendas principales y secundarias). Con estas salvedades, aplicando factores estándares de intensidad de carbono para diferentes tecnologías, obtenemos, que las viviendas unifamiliares serían responsables del c. 40% de las emisiones. Se trata de un valor del que se han hecho eco otras fuentes, por ejemplo el informe #BuildingLife del Green Building Council, que a partir de esos mismos datos del ERESEE, estima emisiones totales de las viviendas principales de 40 MtCO₂/año (2020), de las cuales 38,9% corresponderían aproximadamente a viviendas unifamiliares.³³ A esta cifra habría que añadir las emisiones de las segundas viviendas unifamiliares, pero es evidente que, dada la heterogeneidad de su uso, en la práctica es de muy difícil cuantificación. Por ello, parece razonable concluir que, desde el punto de vista teórico, las viviendas unifamiliares podrían constituir una porción cercana al 40% de las emisiones residenciales, si bien esta afirmación debe validarse a partir de observaciones reales.

³³ (GBCe, 2022)

3. La descarbonización de edificios: diagnóstico de una asignatura pendiente

3.1. Análisis de las herramientas disponibles

La caja de herramientas disponibles para regular la demanda energética de los edificios para calefacción, refrigeración y ACS, y con ello incidir en las emisiones, se pueden clasificar en función de medidas pasivas y activas. La **Tabla 2. Clasificación de medidas activas y pasivas de eficiencia energética** resume esta clasificación:

Tabla 2. Clasificación de medidas activas y pasivas de eficiencia energética³⁴

Clasificación	Objetivo	Ejemplos de mecanismos
Medidas pasivas	Reducción de la demanda energética, principalmente mediante mejoras en el aislamiento térmico	Fachadas SATE
		Sustitución de ventanas
		Fachadas ventiladas
		Trasdosado interior
		Ruptura de puentes térmicos
		Revoco de mortero y cal
Medidas activas	Aprovechamiento de la energía térmica del exterior para transformarla en calor o frío utilizando una pequeña dosis de energía eléctrica. Puede ser combinada con medidas de producción eléctrica doméstica a través de fuentes renovables (autoconsumo)	Bombas de calor
		Autoconsumo fotovoltaico

3.1.1. Medidas pasivas: eficiencia energética y reducción de la demanda

Las medidas de arquitectura pasiva disminuyen la demanda energética del edificio, mediante el aislamiento térmico con el fin de preservar su temperatura y la protección frente a la intemperie, lo que permite alcanzar una mejora en las condiciones de habitabilidad y confort de sus ocupantes.

Para los edificios existentes, las medidas pasivas se centran por tanto en la rehabilitación de la envolvente del edificio, es decir, los elementos constructivos que separan el interior del edificio del exterior y lo aíslan de las influencias climáticas externas, como el calor, el frío, el viento o la humedad. La envolvente es el determinante clave de la eficiencia energética, por lo que las medidas pasivas actúan sobre ésta, y más específicamente sobre las fachadas. Como ya hemos comentado anteriormente, los edificios plurifamiliares, mayoritarios en centros urbanos, son verticales y en consecuencia, la mayor superficie de la envolvente térmica (y por tanto la posibilidad de pérdida/ganancia de calor) en estos se localiza en las fachadas y no en las cubiertas, a diferencia de las viviendas unifamiliares, si bien existen algunos enfoques defienden una priorización del aislamiento en cubiertas, tejados y áticos, en particular en viviendas unifamiliares y los edificios menos eficientes energéticamente.³⁵ En nuestro análisis, este es un punto diferencial clave a la hora de tratar las rehabilitaciones energéticas en España respecto a la mayoría de los países de la UE.

Aunque existen muchos tipos de medidas pasivas, las más utilizadas son las fachadas SATE, o Sistemas de Aislamiento Térmico por el Exterior, que consisten en aplicar una capa aislante por encima de la estructura externa del edificio. Esta medida maximiza el aislamiento térmico (y también acústico), además de demostrar versatilidad y flexibilidad para aplicarse en cualquier edificio sin reducir su superficie útil. El material por excelencia es lana mineral con un espesor estándar de 12 cm.³⁶

³⁴ Elaboración propia a partir de (Fundación Renovables, 2023)
³⁵ (BPIE, 2022)
³⁶ (Fundación Renovables, 2023)

Las estimaciones de ahorro energético de intervenciones SATE difieren considerablemente según la fuente. Por ejemplo, el IDAE estimaba ahorros energéticos de entre el 20 y el 40% para edificios residenciales³⁷, mientras que la Fundación Renovables³⁸ estima ahorros del 23,5% (en global, incluyendo ACS). En cuanto a la ERESEE 2020, estimaba ahorros considerablemente superiores, del 70% en promedio para viviendas en edificios plurifamiliares.³⁹ Para asegurar la consistencia de nuestro análisis, utilizaremos los datos de ERESEE, si bien es importante señalar que se tratan de hipótesis comparativamente optimistas, y que en caso de resultar los ahorros menores en la práctica, el potencial descarbonizador total de estas actuaciones deberá ser correspondientemente ajustado.

3.1.2. Medidas activas: bombas de calor

Las medidas activas implican el reemplazo de fuentes energéticas contaminantes por otras de origen (total o predominante) renovable. Además de fuentes evidentemente renovables como la solar térmica o la fotovoltaica (en modalidad de autoconsumo), es posible el aprovechamiento de la energía térmica disponible del exterior para transformarla en calor o frío mediante la tecnología de las bombas de calor, alimentadas por energía eléctrica, que puede ser combinada con el autoconsumo fotovoltaico.

Las bombas de calor son sistemas de climatización (calefacción y refrigeración) que durante el invierno extraen calor del aire, agua o suelo y lo transfieren al interior. Por el contrario, en verano, extraen calor del interior y lo expulsan al exterior para enfriar el ambiente. De este modo, las bombas de calor constituyen en general una solución tecnológica integrada y polivalente que (cuando son usadas en circuitos aire-aire o en circuitos aire-agua con *fancoils*, explicados más abajo) permite satisfacer con un único dispositivo las necesidades tanto de calefacción como de refrigeración.

El funcionamiento de las bombas de calor consiste en un sistema de “compresión” de la energía contenida en el medio del que la extraen, que permite alcanzar altas cotas de eficiencia: una bomba de calor genera una cantidad de calor y frío que es un múltiplo de la energía que consume (electricidad). Esta eficiencia, medida mediante el coeficiente estacional de desempeño (SCOP), puede llegar hasta un factor de 4-5x para los nuevos equipos domésticos, y según el IDAE para equipos residenciales existentes funciona en promedio en torno al 3.5x. Gracias a esta alta eficiencia técnica, las bombas de calor se erigen en una alternativa altamente costo-efectiva. Además, al funcionar con electricidad permiten la descarbonización de los sistemas de calefacción y con ello una reducción drástica de las emisiones de GEI y otros contaminantes atmosféricos.

Las bombas de calor se pueden clasificar atendiendo a dos criterios: el tipo de circuito o sistema que emplean, y el origen de la energía térmica que la bomba de calor extrae. Existe una correspondencia entre ambas clasificaciones, ilustrada en la **Tabla 3. Tipos de bombas de calor y correspondencia entre las clasificaciones**, donde se aprecia que un sistema de aerotermia puede estar compuesto de bombas aire-aire y/o bombas aire-agua; mientras que las bombas agua-agua pueden emplear hidrotermia si el calor se extrae de una masa de agua, y geotermia si el calor se extrae de la energía calorífica almacenada en la corteza terrestre.

³⁷ (IDAE, 2008)

³⁸ (Fundación Renovables, 2023)

³⁹ (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020, p. 231)

Tabla 3. Tipos de bombas de calor y correspondencia entre las clasificaciones⁴⁰

Por tipo de circuito	Definición	Por origen de la energía térmica	Definición
Bombas aire-aire	El calor se extrae de la energía térmica en el aire y se transfiere directamente al aire a calentar		
Bombas aire-agua	El calor se extrae del aire y se transfiere a un circuito de agua (p.ej., suelo radiante, radiadores o fancoils) que abastece el sistema de difusión de calor	Aerothermia	Extracción del calor del aire
		Hidrothermia	Extracción del calor de una masa de agua, normalmente aguas freáticas y subterráneas
Bombas agua-agua	El calor se extrae de un circuito de agua en contacto con un elemento calorífico y se transfiere a otro circuito de agua (p.ej., suelo radiante, radiadores o fancoils)	Geothermia	Extracción del calor de la energía almacenada en la corteza terrestre, transportado mediante un fluido caloportador

Históricamente, las bombas de calor con transmisión del calor por agua han operado a temperaturas relativamente bajas, generalmente alrededor de 35-45 °C, lo que obligaba a su uso en sistemas de calefacción de baja temperatura como el suelo radiante o *fancoils* (o ventiloconvectores, dispositivos que sirven para calentar o enfriar un espacio interior mediante el intercambio de calor entre el aire ambiental y un fluido -agua- que circula por su interior), con la desventaja que a menudo implican reformas extensivas en los edificios para su instalación. Sin embargo, las bombas de calor modernas han evolucionado significativamente y ahora pueden operar con eficiencias aceptables a temperaturas de hasta 60-70 °C, lo que las hace compatibles con radiadores tradicionales existentes en muchos edificios. Esto permite evitar reformas costosas, facilitando la integración de estas tecnologías en edificios más antiguos.

Las bombas de calor se encuentran con dos dificultades principales. La primera, es que requieren una serie de condiciones físicas del edificio que, como se describe más adelante, no permiten su despliegue en la totalidad del parque edificado. La segunda, es la alta inversión inicial que demanda su instalación, que para un equipo doméstico suele implicar desembolsos en torno a de 10.000 euros (y sensiblemente superiores cuando se acometen reformas en el circuito de calefacción, tales como la instalación de suelo radiante), mientras que el coste de instalación de una caldera de gas es una fracción de ese valor. Este alto coste inicial relativo al gas es compensado a lo largo del tiempo gracias a un coste operativo mucho menor, permitiendo recuperar la inversión adicional mediante los ahorros futuros. No obstante, es conveniente precisar que esta inversión no es necesariamente superior a la correspondiente a una actuación de aislamiento, que según las características de la vivienda puede llegar a exceder las cifras mencionadas.

Si bien las bombas de calor han sido adoptadas con éxito en países con climas más extremos como el norte de Europa, su eficiencia es mayor en entornos con climas moderados como es el caso de España. Por ello, además de sus ventajas de ahorro energético, transición hacia fuentes de energía renovable y reducir la dependencia de combustibles fósiles, desde el punto de vista económico las bombas de calor en España pueden llegar a ser más atractivas en términos de coste total (inversión inicial y coste de operación) que una caldera de gas convencional, como se explica en el siguiente análisis.

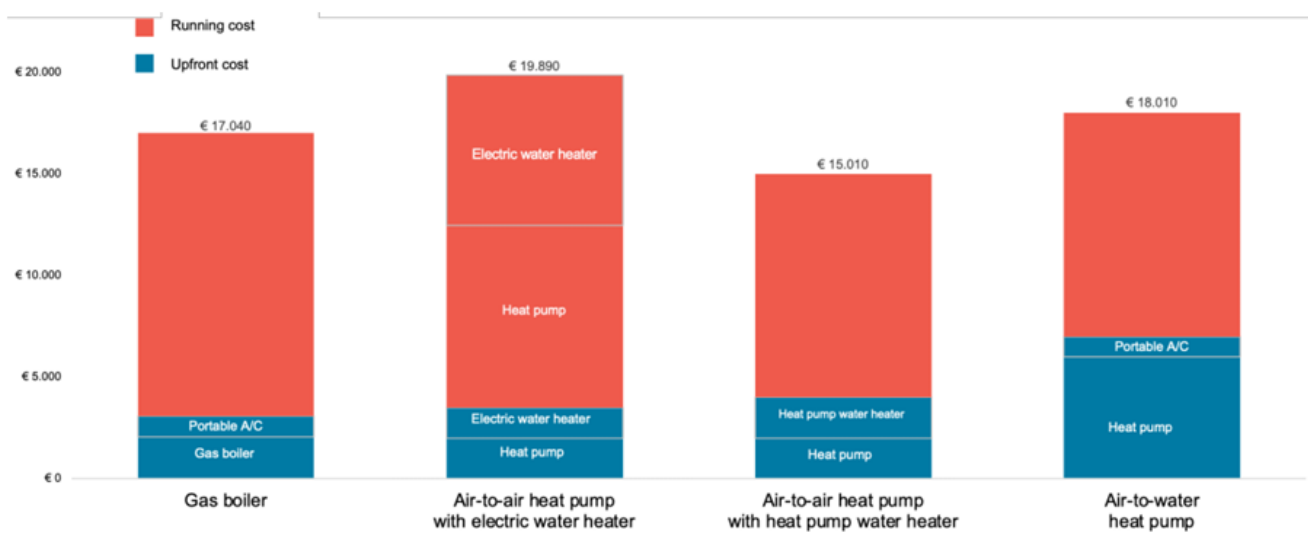
Competitividad de costes de bombas de calor frente a alternativas de generación de calor/frío

⁴⁰ Elaboración propia a partir de (Iturbe, Mikel, 2022)

Para analizar y comparar la competitividad de costes de diferentes opciones de climatización, el coste de propiedad ("TCO" o *total cost of ownership*, en inglés) es una medida adecuada porque evalúa no solo el costo inicial de adquisición, sino también los costos operativos y de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida del sistema. Esto incluye factores como el consumo energético, las reparaciones, el mantenimiento regular y la vida útil del equipo. Al considerar todos estos aspectos, el TCO proporciona una visión integral del costo real, permitiendo una comparación más precisa entre opciones que pueden diferir significativamente en sus costos iniciales y operativos. de diversas opciones de calefacción, refrigeración y ACS.

Un trabajo reciente realizado por *Regulatory Assistance Project* desarrolla este análisis TCO para el caso español, cuyas conclusiones y análisis principales resumimos a continuación (con aportaciones propias para complementar el análisis en los supuestos así señalados). Los resultados se aprecian en la **Figura 5. Coste total de propiedad (TCO) de un calentador de gas, una bomba aire-agua y una bomba aire-aire (con un calentador de agua eléctrico y un calentador de agua por bomba de calor)**, que compara cuatro configuraciones de calefacción y refrigeración en casos donde se necesita refrigeración además de calefacción. Queda patente cómo combinar una bomba aire-aire con una bomba de agua caliente resulta la mejor opción, inclusive por debajo de las calderas de gas y sin subvención.⁴¹

Figura 5. Coste total de propiedad (TCO) de un calentador de gas, una bomba aire-agua y una bomba aire-aire (con un calentador de agua eléctrico y un calentador de agua por bomba de calor)



Source: RAP analysis. Please see Annex for full list of data sources.

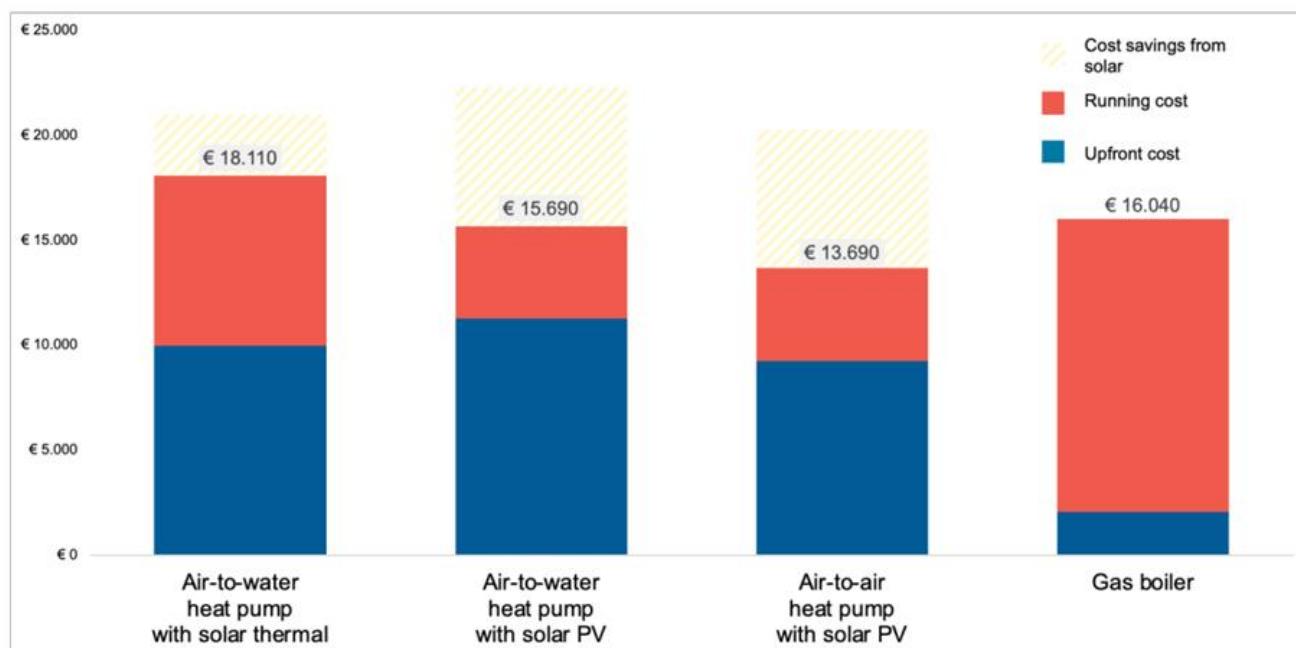
The upfront costs include a €3,000 subsidy for air-to-water heat pumps. The running cost of cooling is not considered and would be uniform across systems where cooling is possible.

El análisis de RAP también se amplía para incluir la tecnología solar (termosolar y fotovoltaica) en combinación con bombas de calor para entender cómo un refuerzo de generación doméstica de energías renovables puede impactar la competitividad relativa de las diferentes tecnologías. Como ilustra la **Figura 6. Coste total de propiedad (TCO) de una bomba de calor aire-agua con energía termosolar y con solar fotovoltaica, de una bomba aire-aire con solar fotovoltaica y de un calentador de gas**, la inclusión solar reduce costes en todos los casos, pero particularmente si se trata de fotovoltaica combinada con aerotermia.⁴²

⁴¹ (Lowes & Gibb, 2024)

⁴² (Lowes & Gibb, 2024)

Figura 6. Coste total de propiedad (TCO) de una bomba de calor aire-agua con energía termosolar y con solar fotovoltaica, de una bomba aire-aire con solar fotovoltaica y de un calentador de gas⁴³



Source: RAP analysis. Please see Annex for a full list of data sources.

Note: The air-to-air heat pump also includes a heat pump water heater. The air-to-air heat pump also provides cooling, a significant value which is not represented here.

En suma, el análisis de RAP arroja el resultado de una competitividad mayor, pero matizada, de las bombas de calor:

- La opción de bomba aire-aire (con efecto de calefacción y refrigeración) combinada con una bomba aire-agua para el ACS: es la más competitiva de todas, con un TCO de 15.010 euros, gracias a tener los menores costes operativos de todas las configuraciones, que compensan con creces una mayor inversión inicial. No obstante, se trata de un sistema de calefacción por aire, que es diferente al que la mayoría de los hogares españoles están acostumbrados.
- Dentro de los sistemas de calefacción basados en agua, la configuración de la bomba aire-agua combinada con autoconsumo fotovoltaico es la más competitiva, que llega a igualar en costes a la caldera de gas.
- El autoconsumo solar abarata significativamente las configuraciones, en particular en el caso de la fotovoltaica.

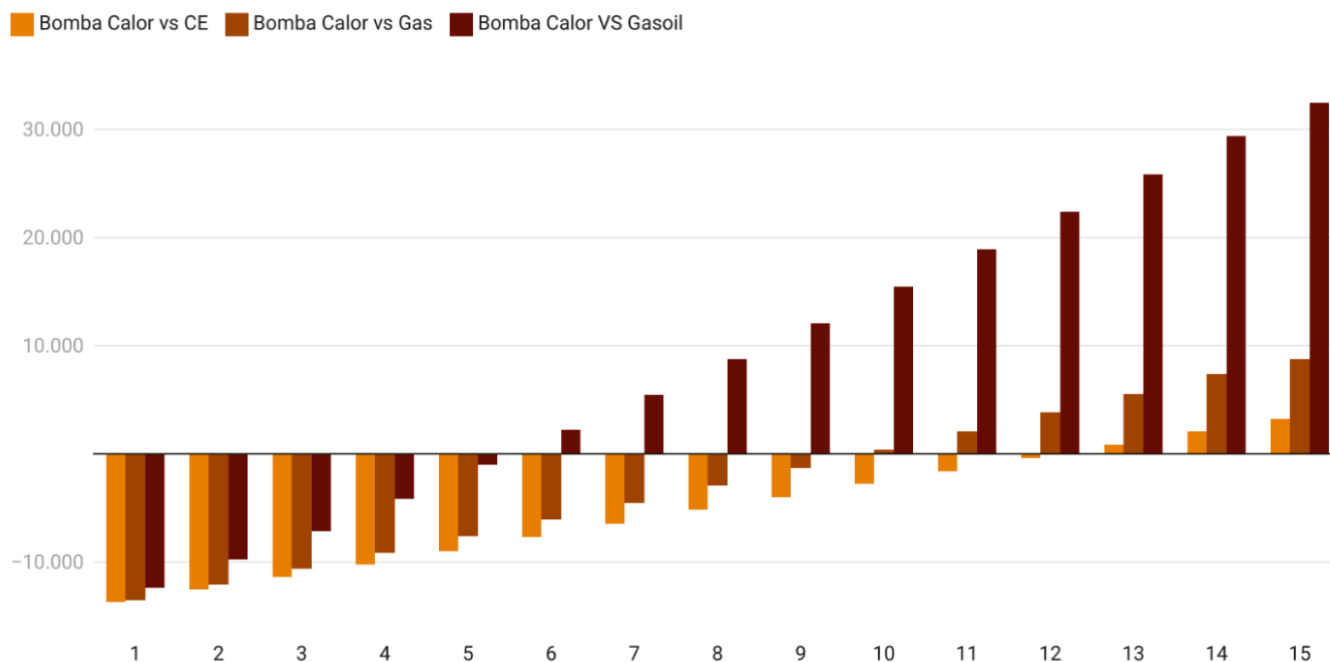
Dado el peso (estimado, como se ha indicado) de las viviendas unifamiliares en las emisiones totales, hemos considerado oportuno complementar el análisis de RAP a los efectos de este informe, incorporando criterios adicionales (como la introducción del ETS-2 y su efecto sobre los precios de combustible)⁴⁴ y añadiendo una comparación con la tecnología fósil prevalente en las viviendas unifamiliares, la caldera de gasóleo. Nuestro análisis elimina cualquier subvención (inclusive el subsidio a la aerotermia contemplado en el análisis de RAP) y desarrolla una comparación de las bombas de calor con sus principales sustitutivos actuales, como son las calderas de gas y las calderas de gasóleo en las viviendas. El ahorro derivado de sustituir estas por una bomba de calor aire-aire, ilustrado en la **Figura 7. Ahorro acumulado (€) al reemplazar una calefacción individual por aerotermia durante una vida útil de 15 años**, para un ejemplo de una vivienda unifamiliar en clima continental

⁴³ (Lowes & Gibb, 2024)

⁴⁴ El impacto del ETS-2 en nuestro modelo estima unos incrementos constantes de la factura energética, que crecen desde 145 EUR/KWh en 2028 y hasta 390 EUR/KWh en 2040 para calderas de gas, y desde 168 EUR/KWh en 2028 hasta 450 EUR/KWh en 2040 para calderas de gasoil.

con un coste de inversión de €15,000, resulta significativo en todos los casos y es mucho mayor para el reemplazo frente a la caldera de gasoil. En contraste, el reemplazo por calefacción eléctrica arroja las tasas de ahorro más bajas.

Figura 7. Ahorro acumulado (€) al reemplazar una calefacción individual por aerotermia durante una vida útil de 15 años



Se asume una vivienda unifamiliar en clima continental

Gráfico: OIKOS • Fuente: OIKOS • Creado con Datawrapper

Los principales resultados de nuestra modelización refuerzan la tesis de la competitividad de la bomba de calor frente a sus alternativas, si consideramos los ahorros totales durante la vida útil de la tecnología y la inversión inicial requerida:

- La caldera de gasóleo, prevalente en vivienda unifamiliar, es la alternativa más contaminante y cara cuya sustitución por una bomba de calor genera, por tanto, el mayor ahorro monetario, incluso en un escenario sin subvenciones. En concreto, para los climas continentales y atlánticos se observan tasas de retorno superiores al 10% y periodos de amortización (*payback*) inferiores a 10 años.
- La caldera de gas en una vivienda unifamiliar resulta más barata en sus costes totales que la de gasóleo, pero sigue siendo más cara que una calefacción eléctrica y que una bomba de calor.

Otra opción sustitutiva de las calderas de gas (no incluida en la modelización más arriba) concierne el biometano. Diferentes informes cifran el coste de producción del biometano en rangos de 55-65 euros (PwC)⁴⁵ y hasta 70-80 euros por MWh (Fundación Naturgy).⁴⁶ El biometano representa una alternativa renovable al gas natural, dado que se obtiene purificando el biogás generado por la digestión anaeróbica de residuos orgánicos (agrícolas, ganaderos, lodos de depuradoras o residuos orgánicos municipales e industriales).

Aunque el biometano es casi neutro en emisiones de CO₂ y refuerza la economía circular al aprovechar residuos para generar energía, resulta una alternativa menos eficiente frente a las bombas de calor y la electrificación de la climatización al incurrir en un coste superior por cada unidad de energía calorífica generada. La eficiencia energética de una caldera de biometano se sitúa en aproximadamente un 90%, mientras que la bomba de calor de aerotermia alcanza factores de eficiencia de 2-5x (correspondiendo el límite

⁴⁵ (Ojea, 2023)

⁴⁶ (Feliu Jofre & Flotats Ripoll, 2019)

inferior del rango a su utilización a altas temperaturas para circuitos aire-agua). El coste por energía útil se situaría en 60-75 EUR/MWh para una caldera de biometano, frente a un promedio de 15-35 EUR/MWh para una bomba de calor (aeroterminia), en valores promedio.⁴⁷

Tampoco hay un consenso en cuanto a la capacidad del biometano de experimentar una curva de aprendizaje de costes semejante a la de la energía fotovoltaica o eólica. Además, existen otros usos para el biometano en aplicaciones industriales (industria química, procesos industriales de altas temperaturas, etc.) sin alternativa a menor coste como es el caso en las viviendas. Por ello, no consideramos que en la actualidad el biometano sea una opción viable para la descarbonización a escala de la calefacción de las viviendas.

No obstante, es necesario formular dos consideraciones importantes para las conclusiones: por un lado, diferentes hipótesis de los precios de gas y electricidad impactarán significativamente la competitividad relativa de la aeroterminia. Por el otro, las bombas de calor adolecen en muchos casos de importantes limitaciones físicas para su despliegue en edificios plurifamiliares.

El diferencial de coste entre electricidad y gas tiene un impacto inevitable en la competitividad de las bombas de calor frente a las calderas de gas. En la actualidad, el gas es relativamente barato frente a la electricidad en España, lo cual lógicamente reduce el incentivo económico para alternativas descarbonizadoras electrificadas. Esto es algo que se está abordando en otros países y que incluimos dentro del catálogo de propuestas de este informe. Esto será mitigado en parte con la introducción del ETS-2, que como se ha expuesto encarecerá el gas, si bien este incremento todavía no se ha efectuado y por tanto no es generalmente percibido como tal por los consumidores.

Por otro lado, la instalación de bombas de calor específicamente en edificios plurifamiliares en España presenta varias limitaciones físicas significativas que dificultan su implementación generalizada. En la sección ulterior de barreras físicas, se incluye un análisis detallado.

3.1.3. Las redes de calor / frío

Las redes de calor y frío (o *district heating & cooling*, o calefacción distrital) son una solución eficiente para descarbonizar el sector de edificios al proporcionar calefacción, agua caliente y en algunos casos, también refrigeración, mediante sistemas centralizados de alta eficiencia que distribuyen energía térmica a múltiples edificios desde una fuente común. Una de sus ventajas principales es que permiten el aprovechamiento de fuentes de energía renovable o de baja emisión, como biomasa, energía geotérmica; y/o el calor residual de procesos industriales (p.ej., fábricas con alto consumo energético y fuentes de menor temperatura, plantas de tratamiento de agua, estaciones de metro y centros de datos) que los sistemas descentralizados de climatización no pueden aprovechar. Esto permite, por un lado, incorporar fuentes de energía renovables que reducen la dependencia de combustibles fósiles y minimizan las emisiones de carbono, y por otro lado aprovechar fuentes de calor residual para producir la energía térmica con ahorros significativos por cada unidad energética generada (se estima un potencial de ahorros del 17-20% del coste del sistema energético si las redes de calor cubrieran en torno a la mitad de las demandas de calefacción europeas, utilizando un calor sobrante de otros procesos que de otro modo se desecharía).⁴⁸

En Europa, la calefacción distrital actualmente representa el 12% del consumo final de energía para la calefacción de espacios y agua, con un 27% proveniente de biomasa, biocombustibles y residuos renovables. Este tipo de calefacción es especialmente común en los países escandinavos y bálticos, cubriendo el 50% de la demanda de calefacción en Suecia, mientras que en países como Bélgica, Irlanda y España, es casi inexistente.⁴⁹ No obstante, las políticas de descarbonización recientes han reconocido su potencial y se estima que la calefacción distrital podría satisfacer más de la mitad de la demanda de calefacción de la UE, lo que llevaría a una reducción del 17% al 20% en el costo total del sistema energético.⁵⁰ Por consiguiente, se están

⁴⁷ (Ojea, 2023) (EHPA, 2024)

⁴⁸ (Keliauskaitė, McWilliams, Sgaravatti, & Tagliapietra, 2024)

⁴⁹ (European Commission, 2021)

⁵⁰ (Jiménez Navarro, Kavvadias, & Thomassen, 2019)

introduciendo ambiciosos objetivos de despliegue de las redes de calor en países como Países Bajos, Reino Unido o Alemania, entre otros, si bien actualmente no existen objetivos específicos a nivel de la UE para la calefacción distrital.

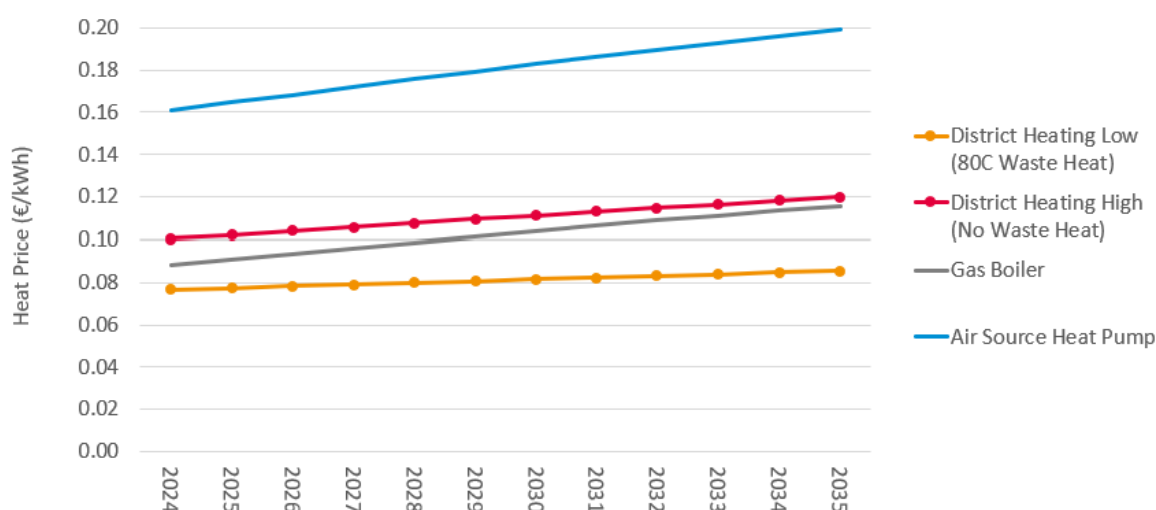
En España, aunque es una modalidad prácticamente desconocida, existen varios precedentes de climatización mediante redes de calor, e incluso redes de frío (*district cooling*), ya sea en grandes ciudades como Barcelona, medianas como Móstoles, o pequeñas como Palencia. Su diseño y fuente de energía están adaptados al entorno local: por ejemplo, la red de Palencia utiliza eminentemente biomasa (de origen forestal residual, es decir, renovable sin impacto negativo sobre la cadena agroalimentaria y los ecosistemas), mientras que la de Barcelona aprovecha el calor residual de plantas de tratamientos de residuos junto con generación renovable (ver más en el **Error! Reference source not found.** debajo).

Se trata de una alternativa generalmente sustitutiva y excluyente con respecto a las soluciones descentralizadas (como las bombas de calor domesticas), que cobra sentido (desde un punto de vista de viabilidad económica) en núcleos urbanos con alta densidad de población y gran concentración de edificios en poco espacio, además de un clima relativamente frío que implica una demanda de calefacción suficiente para amortizar los costes de inversión en la red.

En estos casos, las redes de calor no solo pueden proporcionar un suministro de calor con un coste recurrente menor que el de una bomba de calor descentralizada, sino que, gracias al aprovechamiento del calor residual, pueden superar en competitividad de costes a las calderas de gas. Esta afirmación se basa en la observación de casos concretos en otros países europeos.

A modo de ejemplo demostrativo, en la **figura inferior** se presenta el análisis de competitividad una red e calor en una ciudad de tamaño medio en Irlanda, con ciertas características (precio del gas doméstico y costes de construcción entre un 20 y 30 % superiores a los de España, y días-grado de calefacción anuales un 10 - 20 % más elevados que en el norte de España), que la hacen comparable, a grandes rasgos, con proyectos equivalentes en España en la cordillera Cantábrica y el norte de la meseta. No obstante, la viabilidad de cada proyecto de red de calor deberá examinarse de manera individual.

Figura 8. Análisis de competitividad de una red de calor en Irlanda (usuario residencial y costes variables)⁵¹



el ejemplo se deduce que el proyecto de red de calor en el ejemplo es ligeramente más caro que una caldera de gas (diferencial que se reduce a lo largo el tiempo al considerar los costes del carbono del ETS- 2), pero con

⁵¹ (HeatGrid Ireland, 2025)

la incorporación de calor residual (que reduce notablemente el coste operativo de la red), el coste de calefacción distrital llega a ser inferior al coste operativo de una caldera de gas desde el primer momento.

Además, gracias a su flexibilidad en el perfil de operación (la inercia térmica de la red permite un cierto grado de operación intermitente sin dejar de ofrecer un confort térmico constante), el uso de calefacción distrital descarbonizada en áreas urbanas densas puede ayudar a proporcionar mayor flexibilidad a las redes eléctricas.⁵²

Pese a sus ventajas, las redes de calor presentan un escaso nivel de implantación debido a diversos factores. En primer lugar, requieren inversiones elevadas que están fuera del alcance de pequeñas empresas o administraciones locales con recursos limitados. Además, como se ha demostrado, su rentabilidad no está garantizada en todos los casos, especialmente en ciudades con climas moderados donde la demanda de calefacción o refrigeración es menor. Del mismo modo, para competir con el coste operativo de la calefacción basada en combustibles fósiles, suelen ser necesarias fuentes de calor residual (energía gratuita) o subvenciones. Por último, incluso cuando son rentables y ofrecen calefacción a un coste atractivo, enfrentan barreras sustanciales en el desconocimiento y la desconfianza tanto de las administraciones locales como de los vecinos.

Caso de estudio 1. Districlima: la red de calor y frío de Barcelona⁵³

Características

La red de calor y frío de Barcelona, conocida como Districlima, distribuye energía térmica para climatización (tanto calor como frío) mediante una red de tuberías subterráneas que discurren por la ciudad y transportan ACS (frío si se trata de refrigerar). Districlima es una sociedad privada con participación pública creada en 2002 para desarrollar la primera red urbana de distribución de calor y frío en España por parte de cuatro socios: ENGIE, TERSA, AGBAR y el IDAE. Hasta la fecha, Districlima ha conectado 180 edificios con una red de tuberías de más de 20 kilómetros en extensión y tres plantas diferentes de frío y calor, con una cuarta planificada en los próximos años. La inversión realizada ascendía en 2020 a 71 millones de euros.

Energía y emisiones

Districtlima utiliza calor residual procedente de las plantas de valorización energética de residuos de la Zona Franca de Barcelona y en menor medida (principalmente para las plantas de producción de frío como la del Fórum), fuentes renovables como solar y biomasa. La red ha logrado un ahorro de emisiones de 32.533 toneladas según datos de 2023, reduciendo el consumo de energías fósiles en un 97% con una potencia instalada de 46,8 MW en calor y 69 MW en frío.

Lecciones aprendidas

La colaboración público-privada entre el IDAE, las empresas energéticas y promotoras y sobre todo, la apuesta decidida del Ayuntamiento de Barcelona, han sido factores clave. Districlima tiene un modelo de financiación mixto, donde el capital público moviliza una inversión superior del sector privado. Teniendo en cuenta la variabilidad climática de Barcelona, existe demanda tanto de calor como de frío. Las dificultades urbanas asociadas a una ciudad densamente poblada con muchos edificios antiguos con poca superficie disponible, así como la competencia por espacio subterráneo en una ciudad altamente soterrada, también han sido desafíos específicos que Districlima ha logrado superar.

⁵² (Brugger, Ragwitz, & Popovski, 2023)

⁵³ (Districlima, 2024) (Districtalor Engie, 2022)

3.1.4. Objetivos de descarbonización de edificios en España

El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2023-2030 es el documento fundamental que marca la hoja de ruta para la descarbonización de la economía española, incluyendo el sector de edificios. Los objetivos generales incluyen tres ejes: reducción de emisiones, mejora de la eficiencia energética y uso de energías renovables.⁵⁴

- Una disminución de emisiones de un 32% para 2030 respecto a los niveles de 1990.
- Una mejora del 43% en la eficiencia energética en términos de energía final para 2030.
- La consecución de un 48% de energías renovables sobre el uso final de la energía para 2030.

De modo específico para edificios, el PNIEC establece los siguientes objetivos:

- **Rehabilitaciones:** rehabilitar energéticamente 1,2 millones de viviendas para 2030, sobre una tasa de rehabilitación anual del 2%, para lo cual se provee ayudas públicas al aislamiento térmico entre 2020 y 2030 (Medida 2.6 del PNIEC).⁵⁵ Esta cifra representa la contribución del aislamiento térmico de edificios a la cartera inicial de instrumentos de eficiencia energética.
- **Bombas de calor:** en el escenario objetivo para 2030, las bombas de calor aportarán 3.523 ktep/año de energía renovable, en comparación con los 629 ktep/años registrados en 2020 (ver **Figura 9. Tabla A.13 del PNIEC con el consumo de energías renovables del sector residencial y la aportación de bombas de calor**). Cabe destacar que el PNIEC señala un escenario objetivo de bombas de calor sin precisar si corresponde solo al sector residencial, dado que el objetivo marca la “energía renovable” suministrada por bombas de calor. Su completa aplicación al sector residencial implica un aumento de >500% en el despliegue de bombas de calor, si bien como se ha expuesto el punto de partida es relativamente bajo (5% del total de la demanda de calefacción y ACS en 2020). Aproximadamente, este objetivo equivaldría al equipamiento de 200.000 viviendas de tamaño medio (90 m²), cada una equipada con cuatro unidades (*splits*) de bomba de calor.⁵⁶ Este análisis, sin embargo, se centra exclusivamente en el sector residencial.

⁵⁴ (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023)

⁵⁵ (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023)

⁵⁶ (Álvarez, Ardenillo, Rodríguez, & Sanz, 2022)

Figura 9. Tabla A.13 del PNIEC con el consumo de energías renovables del sector residencial y la aportación de bombas de calor⁵⁷

Tabla A.13. Porcentaje de energías renovables sobre consumo energía final en Escenario Objetivo

Porcentaje de energías renovables sobre consumo de energía final en el Escenario Objetivo							
Años		2015*	2020	2022	2025	2027	2030
Consumo de EERR de uso final (excluyendo el consumo eléctrico renovable)	Agricultura (ktep)	4.310	119	148	192	203	220
	Industria (ktep)		1.596	1.624	1.667	1.711	1.779
	Residencial (ktep)		2.640	2.623	2.598	2.709	2.876
	Servicios y otros (ktep)		241	279	337	376	435
	Transporte (ktep)	176	2.348	2.369	2.401	2.285	2.111
Energía suministrada por bombas de calor (ktep)		353	629	1.339	2.404	2.851	3.523
Generación renovable eléctrica (ktep)		8.642	10.208	12.438	15.784	18.187	21.792
Energía renovable total (ktep)		13.481	17.780	20.821	25.383	28.324	32.736
Energía final corregida con las pérdidas del sistema eléctrico, los consumos en aviación y la energía suministrada por las bombas de calor (ktep)		83.361	88.548	86.081	85.023	82.050	77.589
Porcentaje de energías renovables sobre consumo de energía final		16%	20%	24%	30%	34%	42%

* Los datos del año 2015 son reales, el resto son proyecciones realizadas por el MITECO

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019

3.1.5. Instrumentos para la descarbonización de edificios en España

Existen varios esquemas de ayudas disponibles para los hogares, esquemas que financian tanto la rehabilitación como las bombas de calor, es decir, calefacción basada en energía solar o en biomasa. Los principales esquemas de apoyo público a la eficiencia y rehabilitación energéticas se resumen debajo en la **Tabla 4. Resumen comparativo de las ayudas disponibles para eficiencia y rehabilitación energéticas de edificios**: Cabe destacar que algunas Comunidades Autónomas tienen sus propios programas de rehabilitación, diferenciados de los programas a nivel nacional detallados en la tabla inferior, como serían el Programa Renove de subvenciones del País Vasco, el PREE Catalunya, existiendo incluso esquemas municipales como el Plan Rehabilita de la Madrid que cubre entre el 40% y 80% del coste de la intervención, según el ahorro energético conseguido.

⁵⁷ Elaboración propia a partir de (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023, p. 236)

Tabla 4. Resumen comparativo de las ayudas disponibles para eficiencia y rehabilitación energéticas de edificios⁵⁸

Programa	Regulado por	Administraciones competentes	Enfoque	Beneficiarios	Ayuda específica para eficiencia y aerotermia
Programas PREE y PREE 5000	Real Decreto 737/2020 (PREE) Real Decreto 691/2021 (PREE 5000)	IDAE (MITECO) Comunidades Autónomas (CC. AA.) gestionan y conceden ayudas	Rehabilitación energética integral de edificios completos	Propietarios de edificios residenciales/ no residenciales, ya sean particulares, comunidades de propietarios o empresas (*exclusivamente en municipios de menos de 5.000 habitantes para el PREE 5000)	Para PREE: 35% del coste elegible para mejora de la envolvente + 35% para mejora de las instalaciones térmicas (inclusive bombas de calor) Para PREE 5000: 50% del coste elegible para mejora de la envolvente + 40% para mejora de las instalaciones térmicas (inclusive bombas de calor) En ambos casos, ayudas adicionales por actuaciones integradas y otras excepciones
Programa de incentivos 6: Realización de Instalaciones de Energías Renovables Térmicas en el Sector residencial	Real Decreto 477/2021	IDAE (MITECO) CC. AA. gestionan y conceden ayudas	Fomento del despliegue de energías renovables térmicas (biomasa, geotermia, aeriothermia) en ámbito residencial, sin necesidad de rehabilitación integral ni exigencias de mejora de la eficiencia energética	Propietarios de viviendas y comunidades de propietarios residenciales	Aerotermia: 450-600 EUR/Kw Geotermia & hidrotermia: 1.500-2.250 EUR/kW Biomasa: 150-200 EUR/kW Solar térmica: 600/900 EUR/m2 5% extra para municipios de reto demográfico y ayuda máxima del 80% subvencionable
Programa de Ayuda a las Actuaciones de Rehabilitación a Nivel de Edificio	Real Decreto 853/2021	MITMA CC. AA. gestionan y conceden ayudas	Rehabilitación integral de edificios completos	Comunidades de propietarios y propietarios de edificios completos	25-45%, 45%-60% y 60-80% de la actuación en tres tramos diferentes según la eficiencia energética alcanzada, con un mínimo de reducción del 30% de energía primaria no renovable o una mejora de la calificación energética del edificio (alcanzar la B o subir dos escalones)
Programa de Ayuda a las Actuaciones de Mejora de la Eficiencia Energética en Viviendas		MITMA CC. AA. gestionan y conceden ayudas	Mejoras puntuales en viviendas inviduales, no de edificios completos	Propietarios individuales de viviendas	40% del coste de la actuación (tanto bombas como otras medidas de mejora de la eficiencia energética), siempre que se ahorren al menos 7% de la demanda energética o se reduzca el consumo primario de energía no renovable en un 30%
Deducciones temporales del Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas (IRPF), hasta diciembre de 2024	Ley 10/2022 de medidas urgentes para impulsar la rehabilitación	Agencia Estatal de Administración Tributaria (AEAT)	Mejora de la eficiencia energética de una vivienda	Propietarios individuales de viviendas	20% del importe para obras que reduzcan al menos un 7% la demanda anual de calefacción y refrigeración en una vivienda, 40% del importe para obras que logren una reducción del 30% del consumo de energía primaria no renovable en una vivienda 60% del importe para obras que logren una reducción del 30% del consumo de energía primaria no renovable en todo un edificio y mejoren la calificación energética del edificio

⁵⁸ Elaboración propia a partir de: (IDAE, 2020) (IDAE, 2021) (Agencia Tributaria, 2023) (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020) (Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana, 2024)

Además, el Instituto de Crédito Oficial (ICO), ofrece préstamos para cubrir los costos subvencionados antes del pago de la ayuda, lo que puede ser beneficioso para los hogares con menos recursos que pueden tener dificultades para gestionar estos costos antes de que se pague la subvención. En concreto, existen dos líneas, en ambos casos canalizadas a través de cada entidad financiera colaboradora, que es quien aprueba la solicitud:

- La Línea ICO-MIVAU, que financia hasta 30.000 euros por vivienda para propietarios o comunidades de propietario que ya hayan sido concedida la ayuda de rehabilitación. Además, las operaciones contarán con un aval del Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana (MIVAU) del 50% del importe del préstamo.⁵⁹
- La Línea ICO-Vivienda, dotada con 4.000 millones de euros y dirigida específicamente a vivienda social o a precio asequible, financia hasta el 100% de la inversión elegible para promotores públicos y privados ya sea nueva construcción o rehabilitaciones de edificios existentes⁶⁰

También cabe mencionar el sistema CAE (Certificados de Ahorro Energético). Regulado por el Real Decreto 36/2023 y desarrollado en 2023, constituye un nuevo marco para promover la eficiencia energética. Este esquema es muy apropiado para tecnologías de alta eficiencia, como por ejemplo las bombas de calor.⁶¹ Este mecanismo se basa en la emisión de certificados por parte de los agentes que acometen inversiones que resulten en ahorros energéticos. Los certificados pueden ser adquiridos por sujetos obligados para cumplir con sus compromisos de ahorro, como comercializadoras energéticas.

El efecto es de generar un incentivo económico: los usuarios que por ejemplo instalen sistemas de aerotermia pueden generar CAE, obteniendo una compensación económica por los ahorros certificados, lo cual mejora el retorno de inversión de la tecnología frente a alternativas tradicionales como las calderas de gas. lo que genera un ingreso para los emisores que se puede utilizar para financiar sus inversiones en eficiencia. Desde 2024, el sistema CAE flexibiliza las obligaciones de eficiencia energética que vinculan a las empresas energéticas (comercializadoras de gas y electricidad, operadores petrolíferos), dado que ahora estas empresas obligadas pueden sustituir las aportaciones dinerarias obligatorias al Fondo Nacional de Eficiencia Energética por inversiones en eficiencia energética que generen CAE y de este modo demostrar un ahorro energético real.⁶²

Francia, pionera en la implementación de un sistema similar en 2006, ha demostrado el impacto positivo de los certificados en el impulso de tecnologías limpias como la aerotermia. El sistema de certificados y el programa "MaPrimeRénov" crearon un mercado de certificados que permitió a los consumidores recuperar una parte significativa del coste inicial de instalación, incentivando la transición, y resultando en un crecimiento en el parque de bombas de calor del **54% entre 2017 y 2022**.⁶³

Por tanto, el sistema CAE alberga un interesante potencial para acelerar el despliegue de aerotermia en España, si bien su éxito dependerá de factores clave como la complejidad del proceso, la estabilidad del mercado de certificados y el compromiso de los actores involucrados.

⁵⁹ (ICO, 2022)

⁶⁰ (ICO, 2024)

⁶¹ (Secretaría de Estado de Energía, 2023) [file:///C:/Users/jorge/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/IFAL3WA5/20230807_Presentacion-Sistema-CAE-web\[1\].pdf](file:///C:/Users/jorge/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/IFAL3WA5/20230807_Presentacion-Sistema-CAE-web[1].pdf) (Cleanworld, 2023)

⁶² Ver más en la Orden TED/268/2024 aquí: <https://www.boe.es/boe/dias/2024/03/23/pdfs/BOE-A-2024-5841.pdf>

⁶³ (EHPA, 2024)

3.1.6. Objetivos y realidad en descarbonización y rehabilitación de edificios

Mientras que el PNIEC 2021-2030 contemplaba el objetivo de la rehabilitación de 1,2 millones de viviendas para 2030, lo cierto es que en los tres primeros años que van 2021 a 2023, apenas se ha logrado alcanzar un 10% de esa cifra.⁶⁴ Aunque las rehabilitaciones se incrementaron en un 9% en 2023 respecto a 2022, en 2023 se rehabilitaron algo menos de 38.000 viviendas. Entre 2021 y 2023, se rehabilitaron en España cumulativamente un total cercano a 103.000 viviendas. Si bien durante 2024 se ha apreciado un aumento en el número de rehabilitaciones, de aproximadamente 30.080 viviendas a fecha de noviembre de 2024, y teniendo en cuenta la meta de rehabilitar 1,38 millones de viviendas para 2030, la brecha de rehabilitación restante ascendería a en torno a 1,247 millones viviendas, lo cual implicaría un ritmo constante de 200.000 viviendas rehabilitadas al año, cuya consecución resulta muy difícil de imaginar teniendo en cuenta que el mayor ritmo anual alcanzado fue de 38.000 en el 2023.⁶⁵ Por tanto es lógico concluir que, al ritmo actual, España quedará muy lejos de los objetivos que marca el PNIEC y se acordaron con Bruselas.⁶⁶

Esta falta de consecución de objetivos de rehabilitación no es algo nuevo: históricamente España no ha conseguido el cumplimiento de los tres planes (en 2014, 2017 y finalmente la ERESEE de 2020) de rehabilitación de edificios a largo plazo presentados a la Comisión Europea. Desde 2014, el índice real de rehabilitación ha disminuido hasta situarse en un 0,08%, colocándose muy por detrás de otros países de la UE, como Francia (1,75%) e Italia (0,77%), si bien ninguno de los cuales alcanza el objetivo del 3% requerido por la Ola de Renovación de la UE.⁶⁷ Además, dentro de las rehabilitaciones realizadas en España, predominan, en comparación con otros países europeos, las reformas superficiales, que generan ahorros energéticos inferiores (<30%) y que no cumplen con la clasificación de "verdes" según la taxonomía de la UE.

Este incumplimiento crónico se aprecia en la **Figura 10. Suma de las rehabilitaciones de edificios previstas en la ERESEE 2014 frente a las reales**, el desajuste entre las rehabilitaciones previstas por el PNIEC y las rehabilitaciones realmente efectuadas en los últimos años es significativo. La evolución temporal entre las proyecciones del PNIEC y la realidad no han hecho sino ampliar esta brecha. Para el sector residencial, la ERESEE 2014 esperaba en 2020 alcanzar la rehabilitación de 2 millones de viviendas, mientras que realmente se alcanzaron menos de 250.000. Para el sector no residencial, se proyectaban 700.000 edificios en 2020 no residenciales renovados, quedando también muy por debajo de objetivos (200.000 renovaciones), si bien con un desempeño relativamente mejor que el sector residencial.⁶⁸

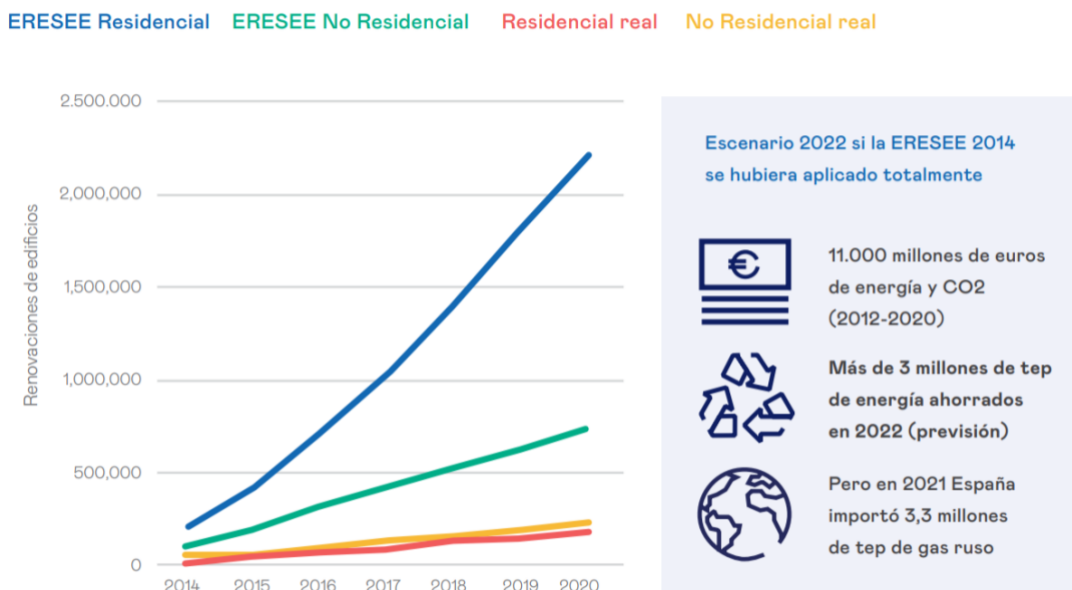
⁶⁴ (Aranda, 2024)

⁶⁵ (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023) (Colegio Oficial de Arquitectos de Castilla La Mancha, 2024)

⁶⁶ (Aranda, 2024)

⁶⁷ (Sweatman, 2022)

⁶⁸ (Sweatman, 2022)

Figura 10. Suma de las rehabilitaciones de edificios previstas en la ERESEE 2014 frente a las reales⁶⁹

Este mejor desempeño del sector no residencial podría estar relacionado con factores como mayor disponibilidad de recursos, menor fragmentación de la propiedad y una capacidad de gestión más centralizada en comparación con el sector residencial, así como con una mayor dotación de recursos, como se plantea a continuación. Además, la enorme brecha en el sector residencial sugiere que los objetivos definidos en la ERESEE 2014 pueden haber sido excesivamente ambiciosos en relación con sus barreras estructurales.

En particular, los edificios del sector público han mostrado tasas de rehabilitación superiores al segmento residencial, razón por la cual este informe se centra prioritariamente en el segundo. El ilustra algunas de las razones para este progreso relativo de rehabilitaciones del sector público.

⁶⁹ (Sweatman, 2022)

Caso de estudio 2. Descarbonización de edificios del sector público

Dentro del segmento no residencial, el PNIEC, establece como uno de sus objetivos clave la reducción del 39,5% del consumo de energía primaria en el sector de la edificación pública en el 2030 en comparación con 2007, y una descarbonización total de los edificios públicos para 2050.

- El Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) ha asignado más de 6.820 millones de euros para la rehabilitación de edificios (incluyendo los sectores privado y público) y dentro de este, el Componente 2 del PRTR, específico para la mejora de la eficiencia energética y la reducción de emisiones en infraestructuras estatales, autonómicas y locales de edificios públicos, ha recibido 1.080 millones de euros.
- PREE (Programa de Rehabilitación Energética de Edificios Públicos): Con una asignación de más de 1.000 millones de euros y financiando con fondos Next Generation EU.
- PREE 5000: Este programa, dotado de 300 millones de euros, surgió después del PREE como una versión enfocada exclusivamente para municipios con menos de 5.000 habitantes. Los informes de seguimiento de las inversiones y del nivel de implementación de los programas sugieren que solo el 38% de los fondos asignados al PREE 5000 han sido ejecutados. Estos niveles reflejan una ejecución desigual en diferentes comunidades autónomas, algunas de las cuales han avanzado más rápidamente en la utilización de los recursos disponibles.
- Programas bajo el Real Decreto 477/2021: para la financiación de instalaciones renovables en edificios públicos. Se estima que el 60% de los fondos dotados.
- Contratos de rendimiento energético (EPCs o *Energy Performance Contracting* en inglés): Estos contratos permiten que las administraciones públicas financien la rehabilitación energética sin incurrir en grandes costos iniciales. Las empresas privadas invierten en la mejora de la eficiencia energética y recuperan su inversión a través de los ahorros energéticos generados en el tiempo. Este mecanismo ha comenzado a implementarse en diversas áreas del país, aunque su adopción sigue siendo limitada debido a la complejidad de los procesos administrativos.
- Fondos europeos de eficiencia energética: A través del Plan Next Generation EU, los fondos europeos han sido una fuente crucial para apoyar la descarbonización de los edificios públicos. Estos fondos, junto con las líneas de crédito del Instituto de Crédito Oficial (ICO), ofrecen un apoyo financiero importante, permitiendo que las instituciones públicas lleven a cabo proyectos ambiciosos de modernización.

Los resultados para los edificios públicos parecen más positivos que los alcanzados en los edificios residenciales: más de 1.000 edificios públicos han sido rehabilitados energéticamente, y datos recientes del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) arrojan una disminución de las emisiones de un 15% desde 2015, lo que equivale a una disminución de aproximadamente 1,2 millones de toneladas de CO₂ equivalente (MtCO₂e) en comparación con los niveles anteriores a las intervenciones. Se estima que, de alcanzarse la plena implementación de los programas en curso, junto con las inversiones adicionales previstas, permitirá según el PNIEC evitar al menos 3 MtCO₂e al año para 2030, equivalente a alcanzar el objetivo de c. 39% de reducción de emisiones para esa fecha. Si bien ambicioso, este resultado sigue siendo teóricamente alcanzable.

En cualquier caso, las cifras de rehabilitaciones ponen de manifiesto la dificultad de alcanzar los objetivos existentes, como también lo demuestra el bajo nivel de ejecución presupuestaria de los fondos disponibles. Las estadísticas oficiales y actualizadas muestran que los fondos ya distribuidos por las comunidades autónomas ascienden al 38% (para el PREE 5000) y al 60% (para el esquema regulado por el Real Decreto 477/2021) del total asignado a las comunidades autónomas bajo los esquemas nacionales.

3.2. Facilitadores y barreras en la descarbonización de edificios

El diagnóstico de la descarbonización de edificios permite identificar una serie de medidas facilitadoras, así como barreras persistentes, en el camino hacia la consecución de los objetivos marcados en el PNIEC y la legislación europea, como resume la **Tabla 5. Medidas facilitadoras y barreras en la descarbonización de edificios** y se explica en los siguientes apartados.

Tabla 5. Medidas facilitadoras y barreras en la descarbonización de edificios

Barreras	Ejemplos concretos de barreras	Medidas facilitadoras existentes
Físicas	Falta de espacio, distribución sobrecargada.	
De acceso al capital	Alta inversión inicial, ausencia de personalidad jurídica en comunidades de propietarios	Modificación de la Ley de Propiedad Horizontal (LPH)
Económicas	Largos períodos de amortización, inviabilidad del volumen necesario de subvenciones públicas.	Subvenciones
Sociales	Toma de decisiones colectivas, desconocimiento de la ciudadanía, desalineamiento entre propietarios e inquilinos.	Introducción del agente rehabilitador

3.2.1. Barreras físicas

En primer lugar, las **limitaciones físicas** representan un obstáculo importante para la adopción de tecnologías de descarbonización en edificios. Mientras que el aislamiento de la envolvente del edificio es, con diferentes modalidades, posible en la práctica totalidad de los edificios plurifamiliares (la excepción principal consiste en los edificios con fachadas protegidas por motivos de patrimonio etc.), la instalación de bombas de calor se enfrenta a varios obstáculos de índole física, como se indica en la siguiente **Tabla 6. Limitaciones físicas a la expansión de las bombas de calor en viviendas plurifamiliares**:

Tabla 6. Limitaciones físicas a la expansión de las bombas de calor en viviendas plurifamiliares

1	Espacio insuficiente para unidades exteriores
2	Requisitos de cubiertas planas y acceso a ventilación
3	Capacidad limitada de la red eléctrica en determinados casos
4	Impacto en la eficiencia acústica y visual
5	Dificultades vinculadas con los espacios de almacenamiento de agua caliente

- **Ocupación de espacios exteriores:** las bombas de calor requieren unidades exteriores que suelen instalarse en cubiertas, patios o fachadas. En edificios plurifamiliares, el espacio en las cubiertas o áreas comunes es limitado y debe compartirse entre numerosos vecinos, lo que complica la instalación de suficientes unidades para cubrir la demanda de calefacción y agua caliente de todos los residentes. Además, en edificios antiguos o de gran altura, la instalación en las fachadas puede estar restringida por regulaciones estéticas o de protección patrimonial.
- **Requisitos de cubiertas planas y acceso a ventilación:** La instalación de bombas de calor de tipo aire-agua o aire-aire suele ser más eficiente en cubiertas planas que permitan un acceso fácil para mantenimiento y ventilación adecuada. Sin embargo, muchos edificios plurifamiliares tienen cubiertas inclinadas o de difícil acceso, lo que limita el espacio para las unidades exteriores y complica las tareas de mantenimiento. Además, la falta de ventilación adecuada puede afectar la eficiencia de las bombas de calor, ya que estas unidades requieren un flujo constante de aire para operar correctamente. Si bien no existen datos contrastados sobre el porcentaje de viviendas que carecen de cubiertas planas, se estima que es considerable, ya que estas eran infrecuentes en los edificios anteriores a 1940, los cuales suponen un 20% del total de viviendas existentes, según ERESEE.

- **Capacidad limitada de la red eléctrica.** La instalación de bombas de calor en edificios plurifamiliares incrementa la demanda de electricidad, lo que puede sobrecargar la red de distribución local, especialmente en áreas urbanas con infraestructuras eléctricas antiguas que impliquen restricciones en la capacidad para nueva demanda. Por ello, además de poder requerir mejoras significativas en el propio sistema eléctrico del edificio (tableros, cableado y fusibles), pueden ser necesarias inversiones adicionales en la red de distribución, lo que aumenta los costes y la complejidad del proyecto. Por ello, la electrificación de los edificios es un desafío que requiere un ingente esfuerzo de planificación de la red de distribución. Se trata de una barrera análoga a la que se presenta en el sector del transporte para el despliegue de infraestructura de recarga. Existen no obstante ciertas ventajas en la electrificación de los edificios: en los casos donde existe el espacio en el inmueble (p.ej., viviendas multifamiliares con una instalación de calefacción comunitarias, viviendas unifamiliares) es posible combinar la bomba de calor con equipos de almacenamiento térmico que doten a la bomba de calor de flexibilidad en sus tiempos de funcionamiento. En general la inversión en mejora de infraestructura de redes es una necesidad de la transición energética (tanto la red de transmisión para asegurar la interconexión entre regiones, como la de media alta tensión para la generación renovable, y también la de distribución como se ha expuesto), y es esperable que en los próximos años se haga un importante esfuerzo de inversión, como el reciente anuncio del “*Clean Industrial Act*” de la Unión Europea ha confirmado.
- **Impacto acústico y visual:** La operación de las bombas de calor genera sonido que si bien suele ser leve (generalmente entre 40-60 db, es decir, comparable a un lavavajillas funcionando, a veces puede ser amplificado por el entorno en el que se encuentran ubicadas (p. ej., patios o áreas comunes). Además, las unidades exteriores en fachadas o terrazas pueden impactar negativamente la estética del edificio, lo que podría resultar en objeciones de los vecinos o de las regulaciones locales, particularmente en áreas protegidas o en edificios de interés histórico.
- **Dificultades vinculadas con los espacios de almacenamiento de agua caliente** Las bombas de calor aire-agua suelen requerir tanques de almacenamiento para el agua caliente, lo cual puede resultar problemático en apartamentos de dimensiones reducidas o donde no existen suficientes espacios comunes. La falta de espacio en el interior de las viviendas o en áreas comunes complica la instalación de estos sistemas, especialmente si se requiere almacenar agua caliente para satisfacer las demandas de múltiples unidades residenciales. Si bien tampoco es posible cuantificar con fiabilidad las viviendas que disponen de espacio interior suficiente, se podría extrapolar de los datos de edificios con sistemas comunitarios de calefacción (asumiendo que los depósitos de combustibles fósiles serían reemplazados por los equipos internos para el sistema de aerotermia), que vienen a ser en torno a un 20% del total. Por tanto, una hipótesis prudente, concluiría que de entre todos los edificios plurifamiliares, una quinta parte del total podría ser susceptible para sistemas de aerotermia con un nivel de facilidad técnica razonable (i.e., sin modificaciones adicionales a la estructura del edificio).

3.2.2. Barreras de acceso al capital

En segundo lugar, **el acceso al capital** es una de las barreras más significativas para la descarbonización de edificios, ya que las inversiones iniciales para adoptar tecnologías sostenibles suelen ser elevadas y no están al alcance de muchas familias. Las tecnologías como la aerotermia, la instalación de sistemas de aislamiento avanzados o la integración de energía solar requieren desembolsos importantes (frecuentemente superiores a 10.000 euros por vivienda) que no todos los propietarios pueden asumir. En teoría estas mejoras aumentan el valor de la vivienda, pero este incremento de valor no se traduce directamente en una fuente adicional de financiación con la que afrontar las inversiones requeridas.

Existen productos financieros destinados a este tipo de proyectos, que permiten sufragar hasta el 100% de los gastos totales en los que se incurre al emprender una obra de rehabilitación energética⁷⁰, si bien están lejos del nivel de adopción necesario para superar esta barrera. El problema no parece consistir en una posible percepción de riesgo de crédito de la contrapartida que condicione un alto tipo de interés para la financiación

⁷⁰ (BBVA, 2024) (Banco Santander, 2024)

de la adquisición de la tecnología en cuestión (a diferencia de otras tecnologías de transición energética como serían los vehículos eléctricos). En el sector de las rehabilitaciones, las entidades bancarias tienden a aplicar unos tipos de interés medios del 5% (ostensiblemente menores que, por ejemplo, para los vehículos eléctricos), que con un diferencial de alrededor del 2-3% sobre la tasa libre de riesgo (rentabilidad promedio para un bono español a 10 años del 3% aproximadamente), y del 1-2% sobre los préstamos hipotecarios, parece razonable.⁷¹

Ello implica que los instrumentos de política pública a desplegar no deberán enfocarse prioritariamente sobre el coste de la financiación (sin óbice para posibles políticas de fomento de acceso a la inversión para sectores de la población con menores capacidades de autofinanciación). Tampoco parece que existan obstáculos legales insalvables para la financiación. Si bien existe cierta complejidad inherente a la figura jurídica de las comunidades de propietarios, recientemente se han adoptado algunas medidas para facilitar el acceso a la financiación bancaria para proyectos en edificios plurifamiliares, en respuesta a la demanda del sector financiero para mejorar la capacidad de préstamo de las comunidades de propietarios. Pese a carecer de personalidad jurídica con carácter general, la **modificación de la Ley de Propiedad Horizontal (LOPH)** del 20 de marzo de 2024, representa un avance significativo, ya que aclara que a efectos de obligaciones de crédito las comunidades de propietarios pueden ser sujetos jurídicos. Si bien sería conveniente una aclaración adicional del procedimiento de apremio de deudas pendientes, el nivel de impago de este tipo de créditos parece ser suficientemente bajo de modo que no dificulta la concesión de préstamos por parte de entidades financieras para este tipo de proyectos.

De hecho, de acuerdo con las indagaciones realizadas por OIKOS en el curso de la investigación para este trabajo, parece que existe capacidad adicional entre las entidades financieras para la financiación de proyectos adicionales, capacidad que no está siendo satisfecha por una oferta de proyectos de calidad insuficiente. Esto apuntaría, más que a una barrera de financiación, a una barrera de viabilidad económica, categoría que es desarrollada a continuación.

3.2.3. Barreras económicas

En tercer lugar, los **obstáculos económicos** también desempeñan un papel crucial en la limitación de las inversiones en descarbonización de edificios. El análisis del coste de inversión requerido para la descarbonización de edificios plurifamiliares, en particular, y de los ahorros asociados esperables, arrojan, en muchos casos, bajas o muy bajas rentabilidades de esas inversiones, que requieren periodos de amortización elevados (generalmente superiores a 20 años, un hecho documentado también por parte de la Administración⁷²). Esto, además de dificultar su financiación mediante créditos (ya que el ahorro frecuentemente no compensará el pago del crédito), las hacen poco atractivas para los propietarios.

El análisis de una inversión, para que sea realista, debe considerar no solo la recuperación de lo invertido, sino que debe obtenerse una rentabilidad tal que compense los riesgos asociados y la rentabilidad de inversiones alternativas desde una perspectiva de coste de oportunidad. Por ejemplo, para que una inversión a 30 años produzca una rentabilidad del 2% nominal (un retorno considerado muy bajo, ya que apenas alcanzaría a compensar la inflación, y estaría por debajo de la rentabilidad de opciones de inversión alternativas a menor riesgo, como la deuda pública), deben obtenerse unos ahorros equivalentes al 180% de la inversión. Por ello, se puede concluir que en la inmensa mayoría de los casos la rehabilitación de los edificios no es económicamente atractiva para la gran mayoría de los propietarios.

A partir de los datos de ERESEE hemos realizado el análisis que ilustra la Error! Reference source not found., el número acumulado de viviendas plurifamiliares (la categoría B en ERESEE) en función de la rentabilidad de la inversión en rehabilitación energética a un horizonte de 30 años. Como se puede apreciar, existen c. 6 millones de viviendas donde la rentabilidad está por debajo del 2% real (que podemos considerar como el mínimo a alcanzar tanto desde el punto de vista de un mínimo atractivo económico como en tanto que umbral mínimo

⁷¹ (BBVA, 2024) (Banco Santander, 2024)

⁷² (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020, p. 250)

para la de la financiabilidad), y dentro de estas, 2 millones de viviendas donde la rehabilitación arroja una rentabilidad negativa.

Figura 11. Viviendas acumuladas por rentabilidad de la inversión en rehabilitación energética (a 30 años)

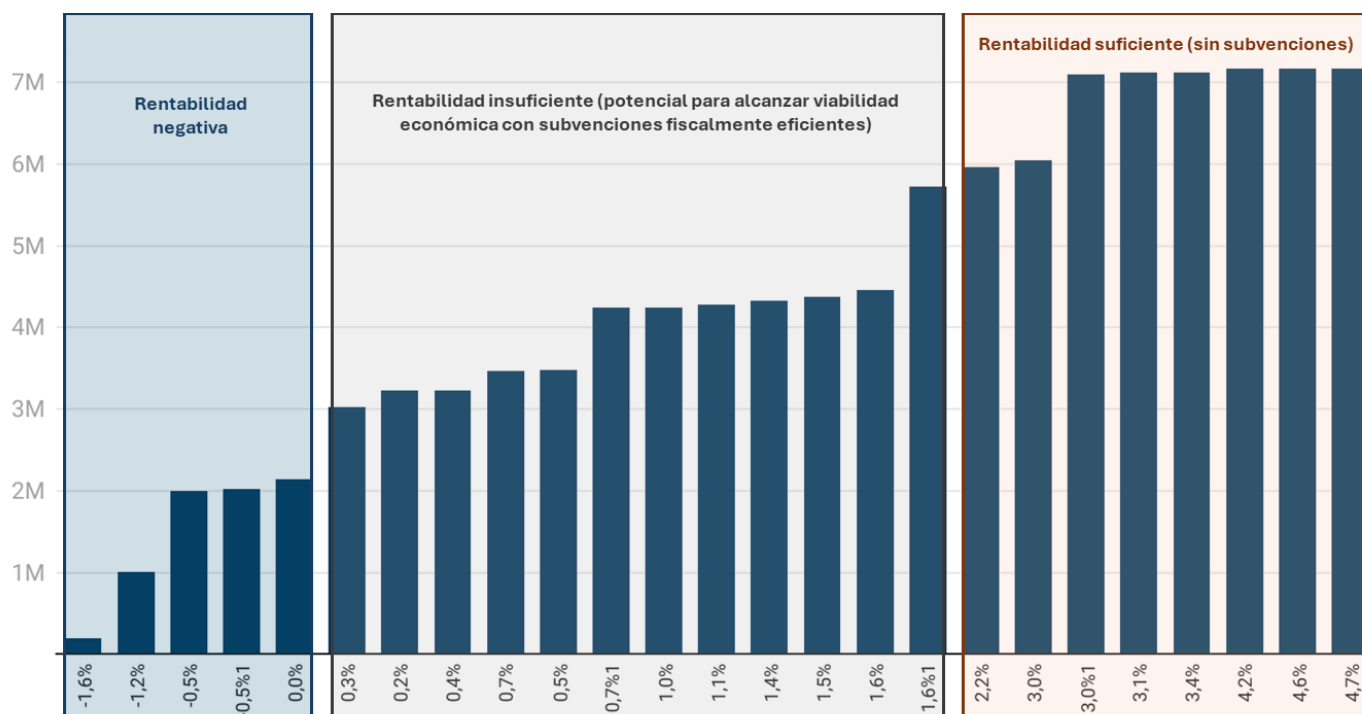


Chart: OIKOS • Source: OIKOS • Created with Datawrapper

Aunque existen subvenciones públicas para facilitar la adopción de estas medidas, en la mayoría de los casos la rentabilidad de la rehabilitación es tan baja que la magnitud de las ayudas necesarias para hacer que la rehabilitación de todo el parque de viviendas en España sea económicamente atractiva, no es financieramente viable. Esto se aprecia en la **figura siguiente**, que a partir de los datos ERESEE, muestra la proporción de la inversión que debería ser financiada mediante subvenciones para alcanzar una determinada rentabilidad. En este análisis utilizamos rentabilidades reales (incrementales a la inflación). Como se aprecia, para alcanzar una rentabilidad del 2% (real) las subvenciones necesarias oscilan entre el 8% (para una vivienda unifamiliar con calefacción de gasóleo) y el 31% (para un edificio de bloque de viviendas con calefacción de gas) de la inversión total en rehabilitación. Si los propietarios demandasen una rentabilidad más atractiva (p. ej., 5% real) la necesidad de subvención se dispararía, hasta el 73-43%, en el mismo rango.

Figura 12. Porcentaje de inversión (promedio para la categoría) requerida en subvenciones para alcanzar rentabilidad de rehabilitación energética

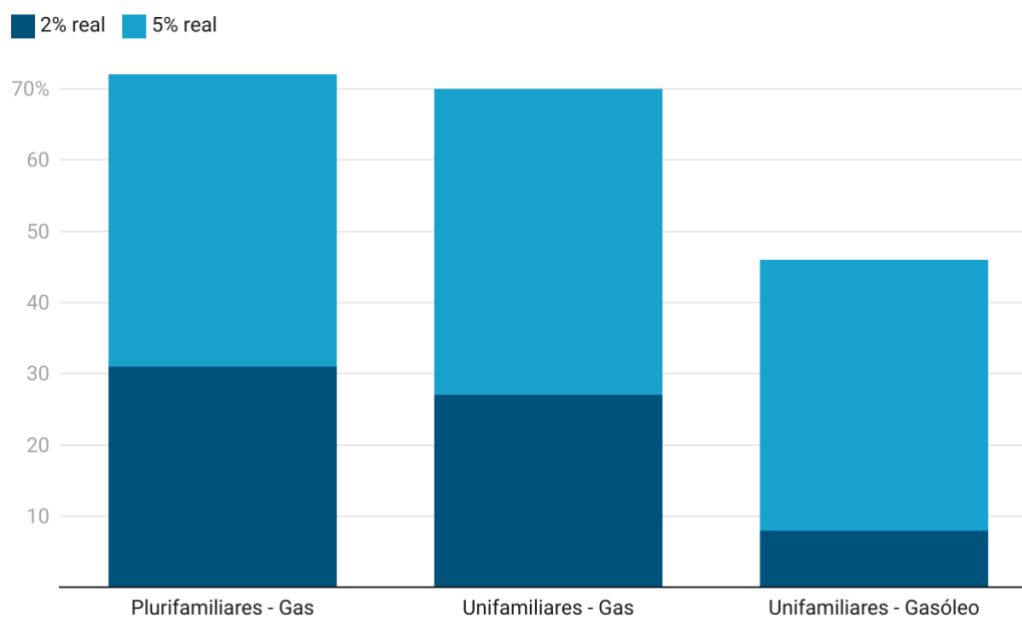


Chart: OIKOS • Created with Datawrapper

Si bien ayudas en el rango del ~30% de la inversión no son inusuales en el contexto de subvenciones, esta cifra es amplificada por la cuantía de la inversión y los millones de viviendas existentes, lo que arroja sumas que no son financieramente viables: descarbonizar la totalidad del parque de viviendas mediante aislamiento, según los datos de ERESEE, arroja una necesidad total de subvenciones de ~50.000 millones de euros, con hipótesis favorables (que una rentabilidad real del 2% a 30 años sea suficiente incentivo, ahorros energéticos del 70% tras la rehabilitación, ahorros de ETS2 incluidos), equivalente al ~8% del gasto público anual de España, y por tanto no practicable.

Tampoco sería el uso más eficiente de los fondos públicos. En la **siguiente figura** mostramos el cálculo del coste implícito, por tonelada de CO2 evitada, de las subvenciones necesarias para alcanzar un determinado umbral de rentabilidad en una rehabilitación con aislamiento (a partir de datos de ERESEE). Frente a un coste actual de CO2 de aproximadamente €85/Tm, para alcanzar un 5% de rentabilidad real serían necesarias subvenciones que superarían los €100 en todos los casos. Solo en los casos de rentabilidad real del 2% en viviendas unifamiliares (por su mayor intensidad energética), se obtiene un coste de tonelada evitada por debajo del precio actual.

Es importante resaltar que este análisis está basado en los valores promedio para cada categoría de edificios. Eso quiere decir que, dentro de cada categoría, existirán casos de edificios que ofrezcan rentabilidades atractivas a diferentes actuaciones de eficiencia. Dado que los costes de actuación suelen ser constantes, independientemente del consumo, es en los edificios que suelen ser más intensivos en consumo energético donde se consiguen rentabilidades por encima del promedio. A estos edificios los denominamos “usuarios intensivos”, una categoría para la que hemos desarrollado recomendaciones específicas, como se expone más adelante.

Figura 13. Coste público por tCO2e evitada (EUR, promedio para la categoría de edificios) para alcanzar una determinada rentabilidad de rehabilitación energética

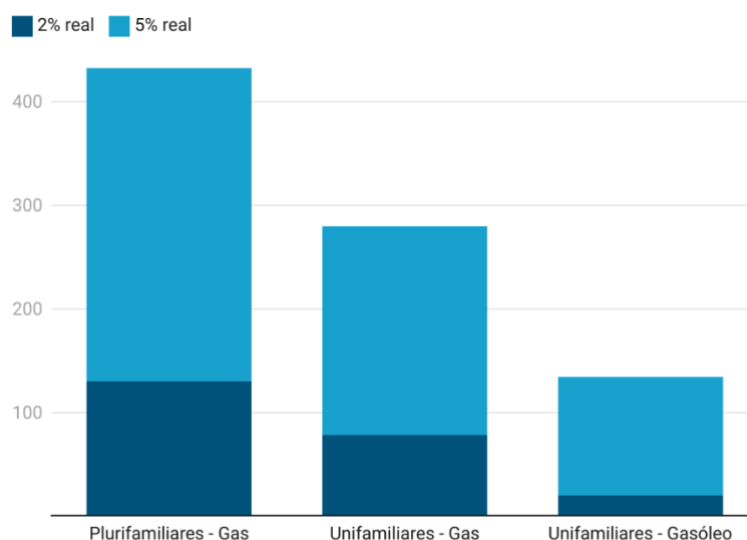


Chart: OIKOS • Source: OIKOS • Created with Datawrapper

En todo análisis de programas de subvenciones es necesario tener en cuenta posibles casos de regresividad. Existe evidencia de otros países de nuestro entorno de cómo estos programas de ayudas a menudo son copados por los hogares más acomodados. Véase el ejemplo de Francia, con sus créditos blandos para la rehabilitación energética EPTZ (*Éco-Prêt à Taux Zéro*), que si bien contribuyó a aumentos interanuales del 20-22% durante los primeros años, está documentado su carácter regresivo ya que fueron los hogares de mayor renta quienes más se beneficiaron, pese a una intencionalidad clara de facilitar el acceso a financiación para los hogares más vulnerables.⁷³

Por otro lado, es importante resaltar que estos análisis se han realizado teniendo en cuenta el precio del carbono que será aplicado a los costes de calefacción por combustibles fósiles (ETS2). Es una variable que, al encarecer el combustible fósil, mejora el atractivo económico de medidas descarbonizadoras, como se aprecia del análisis inferior. No obstante, es importante tener en cuenta que para que los agentes económicos respondan al ETS2 como señal de precios, deben de ser conscientes de su existencia y de su evolución futura esperada. Es cuestionable, puesto que el ETS2 no se aplicará hasta el 2027 (e inicialmente se aplicarán precios más bajos que los previstos en años sucesivos), que actualmente los propietarios estén teniendo en cuenta los costes de ETS2 en sus decisiones de descarbonización.

Por último, existe una complicación práctica asociada con cualquier medida de eficiencia energética: a medida que se reduce el consumo energético inicial, también se reduce la rentabilidad de cualquier actuación ulterior para reducir el consumo. Esto se puede apreciar en el ejemplo hipotético de una inversión en aislamiento térmico seguida unos años después por una inversión en bomba de calor, y viceversa, desarrollado en el siguiente apartado de la página posterior.

Este análisis (ilustrativo para un edificio residencial con las hipótesis expuestas, no se debe considerar necesariamente representativo del parque de inmuebles), mide la rentabilidad en plazos de amortización de la inversión (a menor plazo, en años, mayor rentabilidad) y la reducción de emisiones de diferentes combinaciones de actuaciones. Como se puede apreciar, en el ejemplo se consiguen reducciones de emisiones en torno al 70-80% con la primera medida (según sea aislamiento o aerotermia), y como es lógico, cercanas al 100% con la combinación de ambas medidas. Sin embargo, la combinación de medidas incrementa lógicamente la inversión y se obtienen menos ahorros en la segunda medida.

⁷³ (Wryzhenskiy, Giraudet, & Segù, 2023)

Es por ello por lo que, desde un punto de vista medioambiental, son preferibles las actuaciones integrales que eviten situaciones de emisiones “ancladas” al hacer actuaciones posteriores poco atractivas. Para ello es necesario adoptar una perspectiva dinámica, pues a medida que avance la descarbonización del sistema eléctrico, las emisiones de una actuación de aerotermia decrecerán, mientras que las emisiones residuales de combustibles fósiles tras una actuación de aislamiento permanecerán estables. Es por ello por lo que, en igualdad de condiciones de viabilidad técnica y de eficiencia económica y medioambiental, la electrificación es preferible a una actuación que reduce la demanda, pero mantiene el sistema de calefacción a partir de combustible fósil.

Además, es necesario resaltar que el atractivo del aislamiento es dependiente de alcanzar niveles de reducción de consumo de energía elevados (~70%), algo que no está garantizado. Si bien a efectos de asegurar la consistencia analítica en este informe utilizamos los valores del ERESSE (con un 70% de promedio), en la práctica existe alta variabilidad en la eficiencia alcanzable con el aislamiento. Es evidente que, en caso de eficiencias moderadas del aislamiento o de alta incertidumbre, se amplifica el efecto de emisiones consolidadas.

A continuación, consolidamos los cálculos mediante un análisis comparativo de aerotermia y aislamiento (SATE) en rentabilidad de la inversión:

3.2.3.1. Consolidación diferentes actuaciones de eficiencia energética en la rentabilidad de cada inversión

El análisis considera distintos escenarios de descarbonización en un bloque de viviendas, comparando la rentabilidad y ahorros de emisiones en actuaciones de aislamiento SATE y la instalación de aerotermia comunitaria en secuencia. La tabla inferior presenta un menú de posibles actuaciones de eficiencia energética dependiendo del punto de partida del edificio al considerar una actuación dada. Es decir, dependiendo de si el edificio contaba inicialmente con una calefacción de gas o una tecnología de aerotermia, y/o si ya contaba con aislamiento, los resultados serán diferentes. Y lo serán también dependiendo de si se emprende una actuación de aerotermia en solitario, SATE en solitario, o bien una combinación de ambas. Es importante puntualizar que una descarbonización total implicaría combinar la aerotermia con el SATE, si bien las actuaciones en solitario de tanto aerotermia como SATE también permiten alcanzar valores de reducción de emisiones altos (asumiendo una eficiencia energética alta para las intervenciones SATE).

Tabla 7. Clasificación de actuaciones y reducciones de emisiones respecto a línea de base

CLASIFICACION DE ACTUACIONES				
Situacion inicial edificio	Sin aislamiento			Con aislamiento
Calefaccion gas	Aerotermia	SATE	SATE+Aerotermia	Aerotermia
Calefaccion aerotermia	SATE			
REDUCCION DE EMISIONES VS. SITUACION INICIAL				
Situacion inicial edificio	Sin aislamiento			Con aislamiento
Calefaccion gas	81%	70%	94%	81%
Calefaccion aerotermia	70%			

Una vez expuesto el menú de opciones y cómo, en sus diferentes puntos de partida y combinaciones posibles, aportamos un análisis de rentabilidad económica. En la **Figura 14. Plazo de amortización (años) para intervenciones de aerotermia con SATE previo vs SATE con aerotermia previa**, se muestran dos escenarios, para los cuales se calculan valores de los plazos de amortización considerando intervenciones SATE tanto de alta eficiencia (70%) como de eficiencia moderada (40%). Se identifica un *trade-off* entre ahorro de emisiones y rentabilidad pues si bien la combinación de SATE + aerotermia maximiza la reducción de emisiones, arroja rentabilidades bajas (como se ve en los largos plazos de amortización de la Figura inferior). También cabe resaltar cómo, cuando la eficiencia del SATE es alta, no resulta económicamente atractivo descarbonizar el consumo de gas restante, por el efecto de consolidación de las emisiones residuales. De

modo análogo, aplicar aislamiento a un edificio que no usa combustibles fósiles solo cobra sentido económico para niveles de eficiencia del aislamiento muy altos.⁷⁴

Figura 14. Plazo de amortización (años) para intervenciones de aerotermia con SATE previo vs SATE con aerotermia previa

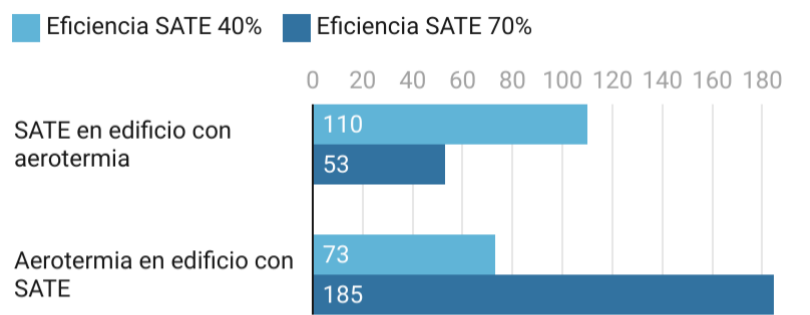


Chart: OIKOS • Source: OIKOS • Created with Datawrapper

Si bien nuestro análisis es primordialmente económico, es necesario recordar que la rentabilidad no siempre será el criterio rector de las decisiones de descarbonización de edificios. Existirán casos en los que responda a otros motivos, como por ejemplo una decisión personal de mejorar la estética de la vivienda, o la expectativa de su revalorización, para acometer reformas amplias que incluyan la rehabilitación energética. Reconocemos esta diversidad de motivos más allá del puro enfoque economicista.

3.2.4. Barreras Sociales

Las **barreras sociales** incluyen aquellos factores que dificultan la adopción de medidas de descarbonización en edificios debido a factores de comportamiento, desconocimiento y la estructura de toma de decisiones. En concreto:

- La **complejidad** (administrativa y del proceso). Uno de los desafíos para la descarbonización de edificios, y en particular para los proyectos de rehabilitación, es la complejidad del proceso. Su proceso de implementación requiere un alto grado de esfuerzo y conocimiento especializado durante un periodo sostenido, tanto para la selección de la medida descarbonizadora idónea, la obtención de financiación bancaria o la solicitud de una subvención. Resulta difícil para el residente promedio navegar este proceso sin apoyo especializado. Es por ello que se han introducido dos importantes puntos de apoyo para solventar estas barreras administrativas:

⁷⁴ Las hipótesis que fundamentan los cálculos de este ejercicio de consolidación se resumen en la **tabla inferior**:

Tabla 8. Hipótesis y resultados del cálculo de consolidación aerotermia vs aislamiento (SATE)

HIPÓTESIS		RESULTADOS	
Nº viviendas	15	Ahorro SATE en gas (% sobre inversión inicial)	70%
Consumo gas (kw / vivienda p.a.)	4000	Inversión SATE (EUR)	140,000
Coste gas (EUR/kWh)	0.087	Inversión aerotermia (EUR)	100,000
Coste elec (EUR/kwh)	0.17	ETS2	Incluido (precios promedio 20 años)
Eficiencia HP (%)	2.5	Intensidad CO2 gas (g/MWh)	202
Eficiencia caldera gas (%)	0.9	Intensidad CO2 electricidad (g/MWh)	109

- Con fecha de 2021 se introdujo la figura del “**agente rehabilitador**”. Este agente actúa como un consultor técnico y financiero que guía a los propietarios en el proceso de rehabilitación energética, asegurando que las mejoras implementadas sean efectivas en términos de ahorro energético y reducción de emisiones. La introducción de este rol es un avance positivo, si bien su despliegue no está generalizado, probablemente por su reciente introducción y una demanda (e incentivo económico) por desarrollar (si bien existen ejemplos de remuneración adecuada para compensar el esfuerzo asociado, como por ejemplo en Baleares, donde se establece una directriz no vinculante de honorarios en torno al 3% del coste total del proyecto). Es también importante que se establezcan procedimientos para asegurar la adecuación sus capacidades, como se realiza en Alemania con la figura análoga de los *Effizienzexperte*, cuya habilitación está reconocida administrativamente. Existen también las **oficinas de rehabilitación**, que funcionan como **ventanillas únicas** para facilitar un acceso unificado y centralizado a información, pero también a servicios de asesoramiento y tramitación de las ayudas. Financiadas con fondos *Next Generation* de la Unión Europea a través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. Estas oficinas se han desplegado en diversas comunidades autónomas (p. ej., la Comunidad de Madrid) y se gestionan desde el nivel administrativo autonómico. Las oficinas parecen haber tenido buena acogida y en general se consideran un factor importante para el impulso de la rehabilitación energética en clave local y municipal, si bien existen diferencias importantes en su despliegue y efectividad entre comunidades autónomas y municipios. Destaca su capacidad para salvar barreras como en particular la asimetría informativa y la fragmentación administrativa, así como facilitando la agregación de la demanda que permite generar economías de escala y con ello reforzar la asequibilidad de las rehabilitaciones.⁷⁵
- La **toma de decisiones colectivas**. En edificios multifamiliares, la instalación de sistemas de eficiencia energética o de energías renovables requiere la toma de una decisión por parte de la comunidad de vecinos correspondiente, que inevitablemente incluirá diferentes pareceres y preferencias. La legislación actual ha relajado las mayorías necesarias y establece la mayoría simple para la instalación de equipos de eficiencia energética cuando son de uso común (para uso privativo difiere según la tecnología: por ejemplo el autoconsumo fotovoltaico, basta con la notificación sin que la comunidad pueda negarse, salvo demostración de perjuicio para el edificio), mientras que para las bombas de calor se debe obtener una autorización de la comunidad, lo que puede constituir un obstáculo importante para el despliegue de la aerotermia cuando una solución comunitaria no es posible o aceptada por la mayoría).⁷⁶ En cualquier caso, incluso el lograr una mayoría simple puede tratarse de un obstáculo significativo en un contexto en el que muchos vecinos no tienen la información o la capacidad técnica para tomar estas decisiones y pueden ser influidos por posibles focos de resistencia al cambio).
- El **desconocimiento de la ciudadanía**. Las actuaciones de eficiencia tienen una complejidad técnica y económica inherente, agravada por una falta de información y comprensión entre los ciudadanos acerca de las características, ventajas e inconvenientes de estas actuaciones.
- La **desalineación entre propietarios e inquilinos**. En situaciones de alquiler, surge una barrera adicional debido a la falta de alineamiento de incentivos entre propietarios e inquilinos. Los propietarios, que son quienes deben financiar las inversiones en mejoras energéticas, no suelen beneficiarse directamente de los ahorros en las facturas de energía, que son disfrutados por los inquilinos. Este desajuste entre incentivos reduce la motivación de los propietarios para invertir en eficiencia energética, ya que no perciben un retorno económico inmediato. Se crea así una situación en la que tanto propietarios como inquilinos ven menos incentivos para avanzar en la descarbonización del hogar.

⁷⁵ (Marmolejo Duarte, Biere Arenas, Spairani Berrio, & Crespo Sánchez, 2022)

⁷⁶ (Coladas Rivas Arnaiz Abogados, 2021)

En suma, las barreras físicas, económicas, de acceso al capital y sociales obstaculizan significativamente las inversiones en la descarbonización de edificios en España. En las secciones siguientes introduciremos una serie de propuestas para abordar y superar estas barreras.

4. Eficiencia y electrificación

4.1. “Eficiencia primero” como principio rector histórico

La política energética de la Unión Europea basada en el principio de "eficiencia primero" tiene sus raíces en los esfuerzos de la década de 1990 y principios de los 2000 por reducir la dependencia de los combustibles fósiles, mejorar la seguridad energética y cumplir los objetivos climáticos internacionales, como el Protocolo de Kioto y, posteriormente, el Acuerdo de París. **En ese contexto, la eficiencia energética se centraba en reducir el consumo** mediante medidas como el aislamiento térmico de los edificios, siendo esta una de las pocas herramientas entonces disponibles para alcanzar los objetivos climáticos. Sin embargo, en la actualidad, los avances tecnológicos y la creciente descarbonización de los sistemas eléctricos abren nuevas posibilidades.

En España, los objetivos del gobierno incluyen una combinación de mejoras de eficiencia y electrificación. Como muestra la **Figura 15. Evolución del uso de diferentes fuentes de energía en España según ERESEE**, las proyecciones apuntan a una reducción de combustibles fósiles y un aumento sostenido de reducciones de demanda gracias a la eficiencia energética. Los primeros disminuyen desde representar la mitad de la energía utilizada en 2020 a desaparecer después de 2040. La electricidad y las energías renovables alcanzan casi el 100% del suministro en 2040. Además, el consumo total disminuye paulatinamente al conseguirse estos ahorros energéticos, con 26.394 unidades ahorradas (GWh) en 2030, 48.247 en 2040 y hasta 64.514 unidades ahorradas en 2050, es decir, consiguiendo reducciones del consumo energético del 13-15% cada diez años.⁷⁷

Figura 15. Evolución del uso de diferentes fuentes de energía en España según ERESEE⁷⁸

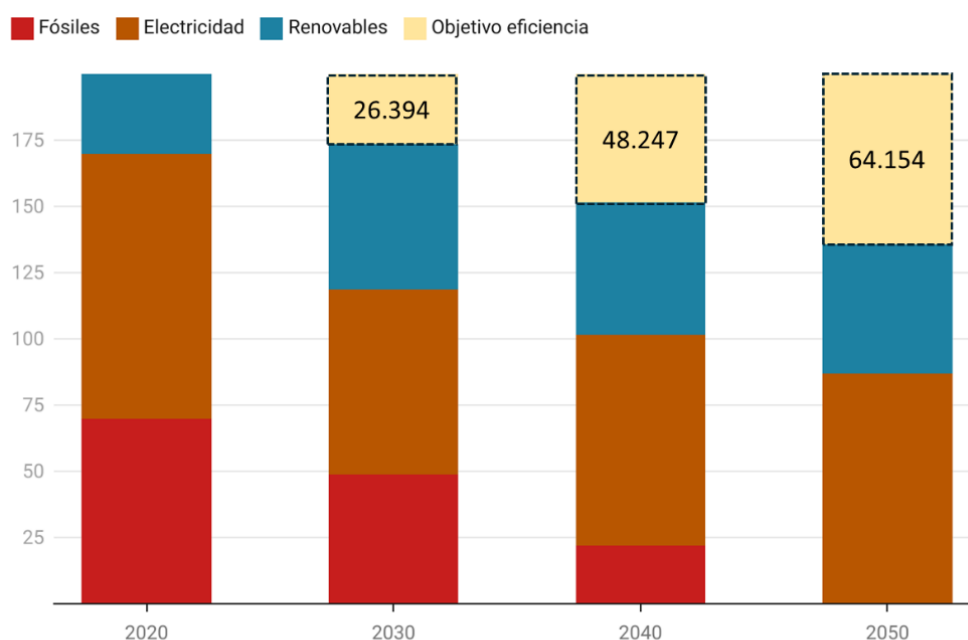


Chart: OIKOS • Source: ERESEE 2020 • Created with Datawrapper

⁷⁷ (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020, p. 202)

⁷⁸ Elaboración propia a partir de (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020)

4.2. Cambio de paradigma: cuando electrificar es lo más eficiente

La **electrificación de la climatización** (como se ha expuesto impulsada por tecnologías como las bombas de calor y la generación descentralizada de energías renovables), permite no solo descarbonizar el consumo energético de los edificios, sino también lograr **altos niveles de eficiencia sin necesidad de reducir obligatoriamente la demanda energética total**. Las bombas de calor, al generar una cantidad de energía térmica que es un múltiplo de la energía eléctrica consumida, pueden ofrecer, como se ha expuesto, un efecto de eficiencia energética comparable al del aislamiento profundo, pero sin depender exclusivamente de la reducción de la demanda. Aunque el aislamiento sigue siendo una herramienta valiosa para reducir aún más el consumo energético las medidas activas pueden ofrecer soluciones más eficientes económicamente (particularmente en el caso de las viviendas más intensivas en consumo energético). Es por ello por lo que abogamos por adaptar y modernizar el principio de "eficiencia primero", expandiéndolo para responder a los avances tecnológicos y la progresiva electrificación del sistema eléctrico.

Los criterios geográficos también jugarán un papel importante: por ejemplo, es esperable que una actuación de coste fijo como el aislamiento térmico sea (asumiendo un coste de inversión comparable en diferentes países) sea más rentable en los climas más fríos (p. ej., norte de Europa, donde el consumo de calefacción es más elevado, lo que amplifica el ahorro energético) que, en países del sur de Europa, en los que las medidas activas podrán a menudo combinarse con autoconsumo fotovoltaico⁷⁹. Una dinámica similar se aprecia en aquellas zonas donde las necesidades de refrigeración coincidan con las de calefacción por una fuerte variedad climática interestacional (como en muchas zonas de España), en las que tecnologías que permitan satisfacer ambas demandas, como es el caso de las bombas de calor, tendrán una ventaja.

Esta disyuntiva teórica entre eficiencia y electrificación también se reconoce en la política energética de la UE: la revisión de la directiva EBPD combina objetivos de renovación de edificios con políticas para eliminar el uso de energías fósiles en la calefacción y refrigeración en los edificios residenciales.⁸⁰ Nuestra visión es que **no se debe tratar de competencia entre medidas, sino de complementariedad**, ya que habrá situaciones en las que una no sea técnicamente viable, o que **dadas las circunstancias del edificio** y de su localización la otra sea preferible.

4.3. ¿Eficiencia en el coste social o eficiencia energética?

La afirmación de que toda política pública debe seguir un **principio de optimización de los recursos públicos** para la minimización del coste social no debe ser controvertida. En el caso de la descarbonización de edificios, al tratarse de un contexto en el que los recursos son limitados, es necesario analizar las medidas en clave de costes ambientales, económicos y sociales para lograr el máximo efecto perseguido en descarbonización al mínimo coste, privativo y social, posible.

Sin embargo, como se ha ido exponiendo a lo largo de este informe, encontramos que algunas de las principales líneas de actuación tales como aislamiento de los edificios plurifamiliares (i) han sido sensiblemente menos eficaces de lo esperado, (ii) no son un fin en sí mismo, sino un medio para el fin de la descarbonización de la economía en su conjunto,; y (iii) existen estrategias de descarbonización alternativas que pueden conseguir un mayor impacto de reducción de emisiones a un coste público inferior.

Sobre este tercer aspecto es reseñable un informe realizado por FEDEA en el 2022, que planteó un ejercicio econométrico de alcanzar los objetivos climáticos para el parque residencial español con el menor coste posible. Sus conclusiones son consistentes con algunas de las conclusiones expuestas: las medidas activas, pueden ser en muchos casos más eficientes que las pasivas en términos de reducción de emisiones por euro invertido, minimizando el coste social. El informe de FEDEA concluye que el punto óptimo de cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones se alcanzaba con la instalación de bombas de calor en más de un

⁷⁹ (Solar Power Europe, 2023)

⁸⁰ (Álvarez, Ardenillo, Rodríguez, & Sanz, 2022)

millón de hogares (en lugar de los 200.000 propuestos inicialmente en el PNIEC) y un nivel de renovación de edificios prácticamente nulo.⁸¹

Se trata evidentemente de un ejercicio teórico, con abstracción de restricciones reales (tales como las diferentes barreras físicas ya descritas) y de motivaciones no economicistas (es perfectamente legítimo que unos propietarios opten por el aislamiento térmico de su edificio, pese a su baja rentabilidad, en aras de otro tipo de ventajas como el confort, la revalorización o por hacerse en el contexto de una renovación que abarca otros elementos del edificio). FEDEA también emplea hipótesis diferentes, p. ej., asumen eficiencia de las bombas de calor aire-aire del 370-450% (en nuestro informe asumimos 250% para una bomba de calor aire-agua) y eficiencia del aislamiento SATE del ~50% (nosotros empleamos la hipótesis del 70%). Pero la mayor aportación de su análisis es como recordatorio de la necesidad de diseñar políticas que incluyan mecanismos para minimizar el coste social en la medida de lo posible.

Un ejemplo reciente de la importancia de la integración del criterio coste-beneficio social, y de sus riesgos cuando se abandona, es el del esquema italiano de rehabilitación de edificios conocido como “Superbonus”, que (si bien superó las barreras administrativas y de comunicación que encontramos en España) llevó a un crecimiento descontrolado de las rehabilitaciones a un coste fiscal difícilmente asumible para el Estado, como se expone en el **Caso de estudio 3. El Superbonus italiano** en la página siguiente.

⁸¹ (Álvarez, Ardenillo, Rodríguez, & Sanz, 2022)

Caso de estudio 3. El Superbonus italiano⁸²**Características**

El Superbonus fue un programa de incentivo de la renovación de viviendas implantado por el Gobierno italiano de la Administración Conte en 2020. El esquema inicial consistía en subvenciones directas a propietarios de vivienda del 110% del importe de obras de rehabilitación energética, o bien del 90% del coste de renovación de la fachada, siempre que se pudiera probar un aumento de al menos dos letras en la clasificación de rendimiento energético del edificio o una clase en riesgo sísmico. Los beneficiarios, por tanto, no eran empresas o entidades financieras, sino propietarios tanto particulares como comunidades, cooperativas de vivienda y otras entidades sociales y de ocio. Existían 3 modalidades fiscales para recibir el subsidio, que en la práctica generaban un crédito fiscal y un mercado alternativo para intercambiarlos:

1. Deducción directa del impuesto de la renta sobre personas físicas italiano
2. Descuento directo en las facturas: lo obtiene el constructor, que de este modo adquiere propiedad sobre un crédito fiscal que pueden cobrar ellos mismos o transferirlo a las entidades financieras.
3. Transferencia del crédito fiscal, pensada inicialmente para facilitar la inversión a hogares vulnerables con mayores restricciones de liquidez y menor capacidad inversora. En la práctica, emergió un mercado secundario que experimentó un crecimiento notable a medida que se intercambiaban los créditos entre constructoras, entidades financieras y personas físicas. Las entidades financieras fueron participantes muy activos en el esquema al absorber la demanda de comercialización de los créditos fiscales por parte de los beneficiarios del subsidio.

Problemática

Al **bonificar por encima del coste de la obra**, el Superbonus generó un incentivo para el propietario de maximizar costes (a mayor coste, mayor beneficio) que condujo a un **desalineamiento entre los objetivos habituales de los propietarios y los del gobierno** (rehabilitar al menor coste fiscal posible). En consecuencia, las solicitudes se dispararon rápidamente a medida que el agujero de recaudación fiscal del Gobierno se ampliaba, muy por encima del plan inicial: mientras que las predicciones gubernamentales estimaban un presupuesto de 35 mil millones de euros en 15 años en 2024 el coste del programa se inflaba hasta los 220 mil millones de euros (12% del PIB italiano).

Además, los ahorros energéticos reales fueron muy limitados, puesto que la motivación descarbonizadora se diluyó frente al afán de beneficio, y la transferencia de rentas hacia propietarios con una o varias propiedades tuvo un impacto regresivo en muchos casos. De hecho, se renovaron algo menos de 500.000 viviendas, con un coste medio por vivienda de 320.000 euros, a un coste por tonelada de carbono evitada de más de 1,000 €/tCO₂e (en comparación con un precio del carbono de aproximadamente 85 €/tCO₂e).

El Superbonus demuestra que subsidios por encima del coste de la obra de rehabilitación nunca son una buena idea, como tampoco el carácter generalista y abierto de la ayuda:

- El exceso de generosidad del subsidio distorsionó el mercado al motivar a los propietarios a no negociar con las constructoras. Como a costes más altos, más dinero para el propietario, tanto constructores como propietarios tenían un incentivo de colusión para inflar el coste de la obra, dejando la puerta abierta al fraude.
- La falta de vigilancia sobre los créditos fiscales generados y el mercado secundario abrió la puerta al fraude, en el que los propietarios contrataban obras sin nunca pagar por ellas. En 2023, se estimaron más de 16 mil millones de euros en coste fiscal de las actividades fraudulentas.
- La extensión indefinida del programa y el amplio plazo para solicitarlo, así como la uniformidad y eficacia administrativa en la concesión de la ayuda, facilitaron un despliegue altamente eficaz de los subsidios, lo que a la larga sostuvo, reforzó y amplificó estos efectos perversos en el tiempo. Sucesivos Gobiernos italianos se mostraron reticentes a poner límites al programa, ante la oposición de grupos industriales, grupos políticos en las coaliciones en el poder en Italia, o los propietarios de viviendas que salían altamente beneficiados. Ni la Comisión Europea en sus diferentes funciones de supervisión fiscal, ni el Banco Central Europeo preservando el necesario incentivo a la disciplina fiscal, limitaron lo que a todas luces se había convertido en un vehículo desenfrenado de fraude y malgasto de dinero público.

Lecciones aprendidas

El consenso económico coincide en señalar que los programas de estímulo económico como los subsidios del Superbonus deben ser temporales (dirigidos a una problemática muy específica y retirarse con rapidez), además de incluir criterios de eficiencia del gasto social, todo lo contrario del Superbonus. Además de la grave distorsión macroeconómica causada, incluyendo inflación de precios y “crowding out” de inversiones en sectores más productivos frente a la construcción, el Superbonus demuestra los graves peligros de un esquema de subsidios excesivamente generoso. La otra cara de la moneda muestra cómo se puede maximizar el impacto de un programa gracias a (i) una población bien informada e incentivada, (ii) un sector financiero altamente motivado y (iii) las facilidades administrativas y la mínima burocracia.

⁸² Elaboración propia a partir de (Gotta, Mecca, & Rebaudengo, 2023) (IMF, 2022) (Balmer & Fonte, 2024) (Huerto-Cardenas, et al., 2024) (Garicano, 2025)

5. Un cambio de enfoque: priorizar la descarbonización, optimizar el coste social e incentivar al propietario

Como se ha expuesto, la descarbonización de los edificios es una meta de alta complejidad, que implica inevitablemente conceder la existencia de *trade-offs* (dado que no todas las medidas son posibles a la vez, ni necesarias ni complementarias en todos los casos), limitaciones físicas, económicas, y diferentes preferencias sociales. La consecuencia natural de todo ello es una necesaria jerarquía y priorización de medidas.

Por todo lo anterior, proponemos seis principios para guiar la acción pública en descarbonización de edificios desde una perspectiva pragmática y realista, según la Tabla inferior:

Tabla 8. Propuesta de principios para la descarbonización de los edificios en España

1	De “eficiencia primero” a descarbonización primero”
2	Ayudas públicas que prioricen el menor coste social
3	Descarbonizar los “usuarios intensivos”:
4	Plurifamiliares: un plan de descarbonización para cada edificio (“que los vecinos decidan”), con apoyo externo
5	Reequilibrio relativo de los precios de gas y electricidad
6	Fomentar las redes de calor

En los apartados siguientes, desarrollamos esta propuesta principio por principio y también aportamos claridad sobre los mecanismos de financiación de las políticas propuestas.

5.1. P1: De “eficiencia primero” a “descarbonización primero”

El principio de “eficiencia primero”, definida como reducción del consumo energético, ha sido central en muchas políticas de descarbonización de edificios, bajo la premisa de que es el paso inicial y fundamental para disminuir las emisiones. Sin embargo, una revisión crítica de este axioma sugiere que, en algunos casos, priorizar la eficiencia energética definida estrictamente como reducción del consumo, no es la estrategia óptima para completar el proceso de descarbonización al menor coste posible. Existen varias razones por las que este enfoque podría estar limitando el impacto de las políticas de descarbonización, especialmente cuando hay alternativas que permiten alcanzar ahorros de emisiones equivalentes o superiores a un coste menor.

- Soluciones de descarbonización alternativas de alta eficiencia.** Las bombas de calor y otras tecnologías de electrificación permiten reducir significativamente las emisiones de los edificios sin tener que reducir la demanda final, y (generalizando) en las viviendas más intensivas en consumo de energía, con un coste social y económico inferior al de las medidas pasivas.
- Efectividad climática variable de algunas actuaciones de eficiencia energética.** El principio de “eficiencia primero” se basa en la suposición de que las medidas de eficiencia energética, como el aislamiento, siempre aportan un valor significativo en términos de ahorro de energía. Y aunque toda reducción del consumo energético que permita ahorros en la factura para los hogares es *a priori* positiva, estudios y experiencias en programas de eficiencia energética sugieren que los ahorros energéticos proyectados suelen ser menores en la práctica, a veces hasta un 50% inferiores a lo estimado inicialmente.⁸³

⁸³ (Correia & Fazion, 2023)

3. **Problema de las emisiones consolidadas.** Como se ha expuesto, el aislamiento térmico y otras medidas pasivas no consiguen la descarbonización completa de un edificio, creando la necesidad de invertir en tecnologías de electrificación a rentabilidades de menor atractivo, dificultando la reducción completa de emisiones.

Por lo tanto, adoptar un enfoque de “descarbonización primero” permitiría priorizar aquellas medidas que maximicen la reducción de emisiones al menor coste, con una perspectiva temporal dinámica, que incorpore no solo la reducción de emisiones inmediata sino también las implicaciones para lograr una descarbonización total.

5.2. P2: Ayudas públicas que prioricen el menor coste social

La asignación de las ayudas públicas puede beneficiarse de una mayor optimización si se enfoca específicamente en el criterio de coste-beneficio social, priorizando las soluciones que maximicen el impacto de cada euro invertido en términos de reducción de emisiones. Por ello, proponemos elevar el coste/beneficio social como el primer criterio en la jerarquía de soluciones.

Este enfoque se fundamenta en identificar, para cada proyecto, la tecnología o combinación de tecnologías que permita lograr la mayor reducción de emisiones por cada euro invertido. Dado que las condiciones técnicas y estructurales de los edificios pueden variar significativamente, la selección de tecnologías debe ser flexible, permitiendo que el criterio de coste-beneficio social priorice las subvenciones entre las opciones viables.

- Los fondos disponibles deberán ser asignados en orden de prioridad según su **eficiencia social** (emisiones evitadas por euro invertido), hasta completar el cupo de fondos públicos asignados para el periodo correspondiente. En la definición de los fondos disponibles para las políticas de descarbonización, además de las restricciones presupuestarias relevantes, se deberá tener en cuenta el coste de oportunidad para la inversión pública. Por ejemplo, en nuestras propuestas, como se expondrá más adelante, cuantificamos el impacto asociado asumiendo que se financiaran actuaciones con un coste de hasta €100/tCo₂, una cifra que seleccionamos por encontrarse en el mismo orden de magnitud que el precio actual del carbono bajo el ETS (~€85/tCO₂).
- Las ayudas deben diseñarse de manera que no se destinen a situaciones en las que no son necesarias. Por ejemplo, en el caso de las viviendas unifamiliares, nuestro análisis cuantitativo sugiere que la casi totalidad de los sistemas de calefacción por gasóleo pueden ser sustituidos por sistemas de aerotermia a rentabilidades autofinanciables, y que muchos sistemas de calefacción por gas también son sustituibles por aerotermia con subvenciones reducidas. En estos casos es necesario que la necesidad y cuantía de la subvención sea acreditada mediante un estudio de eficiencia, realizado por un profesional acreditado.
- Este enfoque permitirá alcanzar un **mayor nivel de emisiones evitadas** en comparación con la ausencia de este criterio de eficiencia social o, alternativamente, lograr el mismo nivel de emisiones evitadas con un coste menor para el contribuyente. En este último caso, el remanente podría destinarse a complementar otros objetivos, como en particular la **lucha contra la pobreza energética**.

5.3. P3: Descarbonizar los “usuarios intensivos”

En línea con nuestra propuesta de “descarbonización primero”, este informe defiende una priorización de los usuarios más intensivos en emisiones. En este sentido, las estimaciones de demanda teórica de la ERESEE apuntan a un peso importante de las viviendas unifamiliares dentro del segmento de usuarios intensivos, si bien como ya hemos señalado, conviene validar esta conclusión con observaciones reales. Nuestro análisis cuantitativo (a partir de datos de ERESSE) ha constatado que en este segmento las actuaciones (tanto activas como pasivas) son económicamente viables con mayor frecuencia, y en otra proporción importante también lo son mediante subvenciones fiscalmente eficientes. Además, las viviendas unifamiliares carecen de los problemas de la toma de decisiones en comunidades de vecinos propios de viviendas plurifamiliares, lo cual

agiliza significativamente la puesta en marcha de las actuaciones. También tienen la ventaja, por sus habituales condiciones espaciales, de una mayor superficie o espacio físico para desplegar bombas de calor frente a las limitaciones de superficie física de instalación en bloques de viviendas plurifamiliares.

Para asegurar que la intervención ocurre sobre usuarios intensivos en la práctica, se establecerán criterios de consumo energético anual o de vivienda habitual. La transición comenzará aprovechando el ciclo natural de renovación de equipos, con un enfoque prioritario en la sustitución de calderas de gasóleo y gas al alcanzar la obsolescencia. Esto se logrará impidiendo, (con un preaviso suficiente ((por ejemplo, mínimo 3 años para que los hogares y los agentes del sector puedan adaptarse a los cambios) su renovación o reparación al final de su vida útil siempre y cuando la alternativa sea técnicamente viable y financieramente autofinanciable.

Para la definición de la autofinanciabilidad, nos referimos a cuando los ahorros generados por la mejora en eficiencia energética son suficientes para cubrir los costos de amortización del préstamo, haciendo la inversión económicamente asumible para los propietarios con independencia de sus recursos y eliminando la barrera del acceso a la financiación (recomendamos no obstante que la financiación bancaria no alcance el 100% de la inversión, para mantener el conflicto de intereses entre el propietario y el instalador y evitar inflación de costes como con el *Superbonus* italiano). Asumimos que a partir de rentabilidades reales del 2% (o 4.8% nominal en 2024) se puede obtener, en condiciones de tipos de interés actuales o más favorables y con una aportación de recursos propios mínima del 10%, la financiación bancaria a un plazo consistente con la vida útil de los equipos. La autofinanciabilidad deberá ser calculada (a partir de datos de consumo históricos y normalizados para las variaciones climáticas o modificaciones en los edificios) por instaladores acreditados. Estos análisis incluirán necesariamente la futura evolución de los costes energéticos, lo que permitirá visualizar el coste del carbono derivado del ETS-2, que de otro modo difícilmente sería visible para el usuario.

Existirá un sistema de subvenciones de hasta €100/tCO₂ de emisiones evitadas en la vida útil para ayudar a conseguir la autofinanciabilidad en aquellos casos marginales, y un programa de avales públicos a la financiación para asegurar el acceso al crédito (a un coste financiero asumible y uniforme) a todos los usuarios relevantes (sistema de avales análogo a la propuesta de OIKOS para superar barreras de financiación en el sector de la movilidad eléctrica).

5.4. P4: Plurifamiliares: “que los vecinos se informen, y decidan”

La descarbonización de un edificio es un proceso complejo que requiere un enfoque multidisciplinario, combinando conocimientos financieros, energéticos y arquitectónicos para evaluar las diferentes opciones disponibles. Desde la mejora de la envolvente térmica hasta la instalación de sistemas de energía renovable o la electrificación de los sistemas de climatización, cada alternativa implica un análisis detallado de costes, beneficios y viabilidad técnica. Además, más allá de estos aspectos técnicos y económicos, la toma de decisiones en comunidades de propietarios añade una capa adicional de dificultad, ya que es necesario alinear intereses diversos, superar resistencias al cambio y alcanzar consensos. Por último, cada edificio presenta características únicas, y cada comunidad de propietarios tiene circunstancias, capacidades y preferencias diferentes, lo que hace imposible imponer una solución uniforme para todos los casos; en su lugar, es fundamental adaptar las estrategias a las necesidades específicas de cada situación.

Por consiguiente, proponemos cuatro medidas complementarias:

1. Plan de descarbonización de cada edificio, de elaboración obligatoria
2. Refuerzo de los roles facilitadores del administrador de fincas y del agente rehabilitador
3. Aprobación automática de proyectos de descarbonización autofinanciables
4. Mejora del alineamiento entre propietarios e inquilinos

5.4.1. Plan de descarbonización del edificio

En primer lugar, cada comunidad de propietarios deberá desarrollar un plan de descarbonización, que establezca un conjunto de acciones concretas destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del edificio. Este plan es por tanto en un instrumento análogo al Pasaporte de Renovación

de Edificios que ya contemplaba la directiva EPBD desde 2018 y que proporciona una hoja de ruta personalizada para cada edificio, detallando las intervenciones necesarias para mejorar su eficiencia energética, inclusive planificación por etapas y estimaciones de costes y tiempos. Cabe destacar que existe obligación para los Estados Miembros de implantar el sistema, pero la adopción por parte de los propietarios es voluntaria. En España, se ha desarrollado mediante el PAS-E (Pasaporte del Edificio).⁸⁴

Nuestra propuesta de un plan de descarbonización para cada edificio contemplaría las diferentes medidas posibles, y un análisis coste-beneficio contrastado para cada una de ellas. El objetivo principal, además de informar a los habitantes del menú de opciones posibles, es de hacer aflorar aquellas actuaciones en aquellos edificios que, por sus características técnicas, son rentables al menor coste social posible.

Como en el caso anterior, introducimos el criterio de autofinanciabilidad (también definido en nuestros cálculos por una rentabilidad real del 2%) y un sistema de subvenciones (de hasta €100/tCo2) y de avales públicos a la financiación (si bien en el caso de las comunidades de propietarios, gracias a su diversificación intrínseca del riesgo de contrapartida, es esperable que sean innecesarios en la mayoría de los casos).

El plan sería elaborado por empresas especializadas del sector o por un agente rehabilitador, bajo la coordinación del administrador de la comunidad. El coste de su elaboración, significativamente inferior al de la ejecución de las medidas propuestas, podría ser cubierto fácilmente mediante derramas comunitarias. Además, en caso de que se llevaran a cabo proyectos posteriores, el coste del plan podría integrarse en el presupuesto total y ser considerado elegible para financiación y ayudas públicas. Por su coste fácilmente asumible y su importancia para la toma de decisiones, consideramos justificable que la elaboración del plan de descarbonización sea eventualmente obligatoria, tras una fase voluntaria (con posibles incentivos fiscales etc.) transitoria de una duración que permita el establecimiento de las cadenas de valor que intervienen en su elaboración.

Este enfoque presenta varias ventajas importantes. En primer lugar, permite soluciones locales y personalizadas, ya que las comunidades de propietarios, con el apoyo de especialistas, están en la mejor posición para identificar las particularidades técnicas y estructurales de cada edificio, así como las tecnologías más adecuadas para cada caso. Además, facilita significativamente la toma de decisiones, al incluir en el proceso de elaboración del plan un mecanismo de comunicación efectivo sobre las alternativas de descarbonización disponibles, generando así un documento de referencia claro y accesible para todos los involucrados, que agiliza y consensúa las decisiones futuras. Por último, este modelo contribuye a reducir el rechazo social hacia la transición energética, ya que la obligatoriedad se limita únicamente a la elaboración del plan y no a la inversión inmediata en las medidas propuestas. No obstante, es previsible que la inversión se materialice en una etapa posterior, especialmente en aquellos casos en los que el plan contemple medidas autofinanciables, como se ha expuesto.

5.4.2. Involucrar a los administradores de fincas

Para llevar a cabo esta iniciativa de manera efectiva, resulta fundamental involucrar a los administradores de fincas, o una figura análoga, en el proceso. Dada la complejidad inherente a este tipo de proyectos, se ha destacado la necesidad de contar con una figura de coordinación que facilite la implementación de las medidas propuestas. Los administradores de fincas están particularmente bien posicionados para asumir este rol, ya que poseen un conocimiento profundo de las comunidades que gestionan y desempeñan funciones clave en su operativa diaria.

Proponemos por ello ampliar las responsabilidades de los administradores de fincas, asignándoles un rol central en la coordinación de los planes de descarbonización de los edificios. Este rol incluiría tareas como la coordinación con agentes rehabilitadores, empresas especializadas, administraciones públicas y entidades financieras. Estas labores adicionales deberían ser debidamente remuneradas, ya sea con cargo al plan de descarbonización o al proyecto específico en cuestión, garantizando así la motivación y la capacidad operativa necesarias para abordar los desafíos asociados. Cuando fuese necesario, por no contar el administrador

⁸⁴ (Cíclica, GBCe, 2018)

correspondiente con las capacidades necesarias, podrían delegar esta función, y su contraprestación, a un agente especializado (p.ej. el agente rehabilitador).

Entre las tareas específicas que les corresponderían se encuentran: la gestión de subvenciones disponibles y de los trámites administrativos requeridos; la coordinación con proveedores y contratistas para la ejecución de obras en el edificio; la solicitud y gestión de créditos en representación de la comunidad; y la presentación a los propietarios de propuestas de proyectos alineados con el plan de descarbonización previamente establecido.

5.4.3. Aprobación automática de proyectos autofinanciables

Una barrera histórica para la implementación de proyectos en edificios residenciales plurifamiliares ha sido la necesidad de altos niveles de consenso en las votaciones. Si bien la reciente modificación de la Ley de Propiedad Horizontal (Real Decreto-ley 19/2021, de 5 de octubre) ha reducido el umbral de aprobación a una mayoría simple, el proceso de toma de decisiones sigue representando un obstáculo significativo en la práctica.

Se ha expuesto la casuística de proyectos autofinanciables, donde los ahorros futuros exceden la inversión requerida hasta el punto de que es posible repagar la inversión (o el crédito asociado) mediante estos. Siempre y cuando las proyecciones de ahorro han sido elaboradas con rigor por profesionales cualificados, no existe una objeción económica justificada a la inversión. Por ello, consideramos adecuado implementar un mecanismo de aprobación automática para estos proyectos, con excepciones limitadas a situaciones justificadas, como proyectos con altos niveles de incertidumbre o aquellos que puedan generar perjuicios a personas en situación de vulnerabilidad.

5.4.4. Mejora del alineamiento entre propietarios e inquilinos

Existe una barrera importante para el despliegue de las tecnologías de descarbonización mencionadas en el desalineamiento de incentivos entre propietarios e inquilinos. Por un lado, el propietario no percibe un incentivo económico suficiente para emprender una inversión en rehabilitación energética, ya que no espera beneficiarse de los ahorros de consumo energético, si bien es cierto que conceptualmente puede esperar un incremento de valor a largo plazo del inmueble. Por el contrario, al inquilino sí le compensa cualquier medida de ahorro energético al reducir la factura energética que recae sobre éste.

Esta problemática afecta especialmente a los contratos de alquiler ya en curso, pues existe la posibilidad de ajustar precios cuando se hayan hecho mejoras, pero no antes de los 5 primeros años del contrato. También tiene particular incidencia en nuevos contratos, por ejemplo, en zonas tensionadas como el centro de Barcelona. Por ello, nuestra propuesta, considerando el tensionamiento de la demanda en ciertos puntos de conflicto y la dificultad de acceso a la vivienda (en particular para segmentos vulnerables como jóvenes), radica en permitir a los propietarios que realicen inversiones en eficiencia, ajustar precios por una suma correspondiente a los ahorros esperados (revisable en plazos razonables, según la evolución de los precios de la energía que determinan los ahorros).

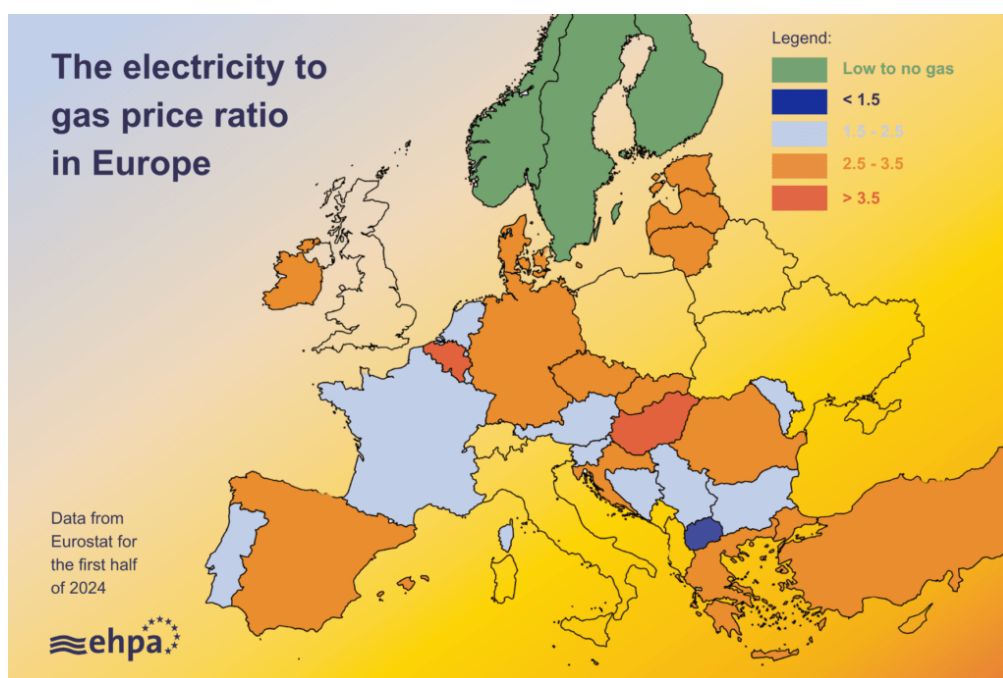
5.5. P4: Requilibrio de los precios relativos de gas y electricidad

Como se ha expuesto, la sustitución de tecnologías de climatización basadas en combustibles fósiles por soluciones electrificadas es una estrategia probada y eficiente para la descarbonización de los edificios en la mayoría de los casos. Si bien ya existen escenarios en los que la electrificación es económicamente más atractiva, hay otros, particularmente en el caso de las calderas de gas, donde el incentivo económico sigue siendo insuficiente. En esta comparativa entre tecnologías basadas en gas y soluciones electrificadas, la relación de precios entre el gas y la electricidad juega un papel determinante en la transición hacia la descarbonización de la calefacción.

Es lógico anticipar que la velocidad de electrificación del sistema energético, impulsada por el despliegue de energías no emisoras, dependerá en gran medida de la competitividad relativa de la electricidad frente a las alternativas de combustión de hidrocarburos. Esto aplica igualmente al suministro de energía para la climatización de edificios y viviendas. En otras palabras, un precio del gas superior al de la electricidad puede acelerar esta transición, al hacer que las tecnologías de calefacción eléctrica resulten económicamente más atractivas que las calderas de gas convencionales.

En este contexto, la política de precios y los impuestos sobre el gas en comparación con la electricidad son herramientas clave. La **Figura 15. Mapa de la ratio de precios electricidad a gas en Europa**, creada por la Asociación Europea de Bombas de Calor (EHPA, *European Heat Pump Association*) utilizando datos de Eurostat de la primera mitad de 2024 muestra la relación de precios entre la electricidad y el gas en varios países europeos.⁸⁵ El mapa utiliza colores para representar diferentes rangos de esta relación, destacando el costo relativo de la electricidad frente al gas en cada país. Por ello, los países con menor índice (color verde) como Suecia o Finlandia, son aquellos donde la electricidad es relativamente más competitiva respecto al gas, lo que favorece la adopción de soluciones de calefacción eléctrica. Cabe destacar cómo España continúa siendo uno de los países donde el gas sigue siendo una alternativa barata, una barrera evidente para electrificar la calefacción y refrigeración del parque edificado.

Figura 15. Mapa de la ratio de precios electricidad a gas en Europa



En los siguientes apartados, destacamos dos ejemplos nacionales (Reino Unido y Países Bajos) que, ajustando la fiscalidad de gas y electricidad, impulsan la competitividad de la calefacción electrificada.

5.5.1. El ejemplo del Reino Unido: ritmo y magnitud del reequilibrio fiscal en calefacción

En el Reino Unido, la estrategia de reequilibrio fiscal para hacer más competitivas las soluciones de calefacción descarbonizadas se enmarca en la *"Heat and Buildings Strategy"*, publicada en 2021 y parte del objetivo nacional de la neutralidad en carbono para 2050 de conformidad con la *"Net Zero Strategy"*.⁸⁶ Actualmente, en el Reino Unido, el gas natural es considerablemente más barato que la electricidad para los consumidores domésticos, principalmente debido a los impuestos y cargos asociados a la electricidad. La propuesta de reequilibrio fiscal busca corregir esta disparidad, lo que podría traducirse en un incremento del precio del gas

⁸⁵ (EHPA, 2024)

⁸⁶ (Government of the UK, 2023)

natural de entre el 30% y el 50% para 2030, dependiendo del impacto de otras políticas energéticas y la evolución del mercado global del gas.⁸⁷

Propone un ritmo del ajuste de competitividad precio entre electricidad y gas gradual y acompasado con la capacidad de adaptación de los consumidores. La propuesta establece un enfoque escalonado para reducir la carga fiscal sobre la electricidad y aumentar gradualmente los impuestos sobre el gas natural, con el fin de evitar impactos bruscos sobre los consumidores y la industria. Así, los impuestos sobre el gas natural, que hasta ahora han sido comparativamente bajos, se incrementarán paulatinamente. El gobierno ha propuesto introducir un aumento inicial de entre el 5% y el 10% en los gravámenes sobre el gas natural en los primeros años, con el objetivo de que para 2030 la diferencia de precio entre electricidad y gas se reduzca significativamente. El ritmo exacto de este reequilibrio fiscal está sujeto a las condiciones del mercado energético y las tendencias en los precios internacionales del gas, pero se ha planteado una meta clara de que las soluciones basadas en electricidad sean más competitivas que las basadas en gas para la próxima década. De modo alternativo, el gobierno británico está considerando exenciones a los equipos de calefacción electrificada de determinados cargos y peajes de la factura eléctrica, que tiene un efecto análogo.

El gobierno también ha indicado que, a medio plazo, el objetivo es que los costos del gas natural reflejen mejor su impacto ambiental, con la posibilidad de introducir un impuesto al carbono específico para este combustible (de modo análogo al ETS-2 de la UE). Esto aumentaría la presión sobre los usuarios para cambiar a soluciones más limpias y eficientes, facilitando que el gas natural sea menos atractivo desde un punto de vista económico y ambiental.

Por otro lado, se espera que la electricidad vea una reducción de sus costos entre un 10% y un 15%, como resultado de la eliminación de los subsidios a las renovables y otros gravámenes específicos. Esto hará que soluciones como las bombas de calor sean significativamente más baratas en comparación con las calderas de gas, fomentando así su adopción en masa.⁸⁸ En el marco de estos objetivos, el estado actual de este conjunto de políticas y medidas aún se encuentra en fase de consulta pública.⁸⁹

5.5.2. El ejemplo de los Países Bajos: revertir la fiscalidad del gas y la electricidad

En los últimos años, los Países Bajos han implementado una serie de reformas fiscales para reequilibrar los costos de calefacción. A medida que crece la proporción de renovables en su suministro eléctrico, el país ha comenzado a desacoplar los precios de la electricidad y el gas. Este proceso se ha combinado con importantes aumentos de impuestos al gas doméstico, haciendo que las opciones de calefacción eléctrica, como las bombas de calor, resulten más atractivas frente a las calderas de gas tradicionales.

Históricamente, el gas costaba a los consumidores holandeses alrededor de 0,70 a 0,80 euros por metro cúbico. Considerando una eficiencia típica de las calderas de gas del 90%, esto equivalía aproximadamente a 0,078 a 0,089 euros por kWh de calor útil. Para 2024, el precio del gas ha aumentado a aproximadamente 1,10 a 1,20 euros por metro cúbico, o aproximadamente 0,12 a 0,13 euros por kWh de calor utilizable, en gran parte debido a los aumentos de impuestos.⁹⁰ Entre 2010 y 2024, el impuesto sobre el gas aumentó en un 250%, pasando de 0,01629 a 0,0417 euros por metro cúbico.

Por otro lado, los precios de la electricidad han resultado ser más accesibles en comparación, en parte, gracias a una reducción del 38% en el impuesto sobre la electricidad (de 0,1114 a 0,0423 euros por kWh) en el mismo periodo.⁹¹ Este reequilibrio ha reducido la diferencia de costos entre gas y electricidad, pasando de una relación de precios de 2.5 veces hace cuatro años a una más equilibrada de 1.4, incentivando así la transición hacia la calefacción eléctrica. La **Figura 16. Evolución de la ratio de precios de gas / electricidad en Países Bajos** ilustra esta evolución histórica.

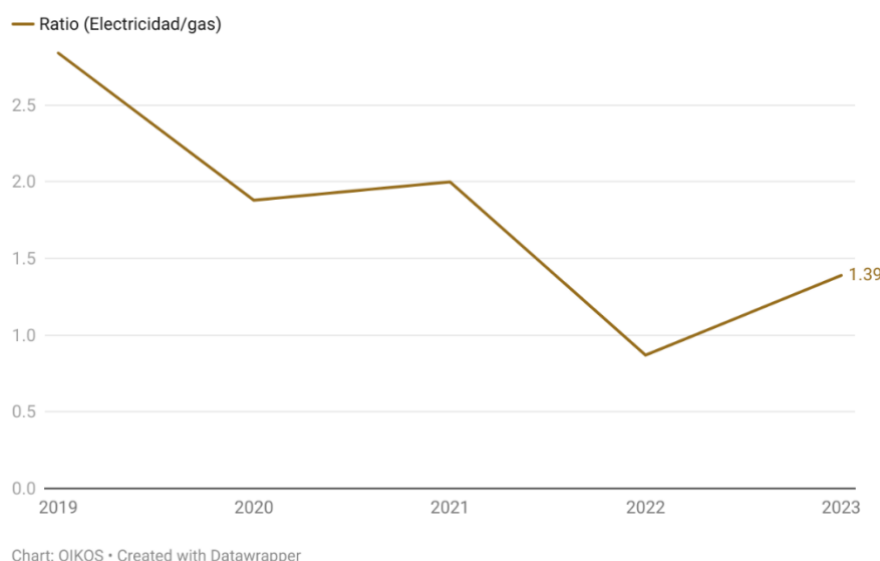
⁸⁷ (Climate Change Committee, 2020)

⁸⁸ (Government of the UK, 2023)

⁸⁹ (Government of the UK, 2024)

⁹⁰ (Eurostat, 2024)

⁹¹ (Energie Nederland, 2023)

Figura 16. Evolución de la ratio de precios de gas / electricidad en Países Bajos

En España, una aplicación de medidas análogas consistiría en un reequilibrio fiscal, que contemple, en un primer lugar, la exención del IVA y de los impuestos especiales aplicados a la electricidad. Esto, por sí solo, permitiría una reducción del coste variable (excluyendo por tanto posibles costes del incremento del término de potencia) la electrificación de los edificios en un c. 25%. Nuestro análisis cuantitativo sugiere que una reducción de esa magnitud no es suficiente para asegurar la viabilidad económica (con subvenciones asumibles) de un gran volumen de edificios.

Para un mayor impacto sería necesario un esfuerzo adicional en el ajuste de precios de gas/electricidad. Por ejemplo, mediante la eliminación de los peajes y cargos asociados al consumo eléctrico cuando se utilicen bombas de calor (siguiendo el modelo ya aplicado al autoconsumo), que podría reducir en torno a la mitad la factura eléctrica para los usuarios relevantes. Asimismo, es importante considerar que el coste de la electricidad se prevé que disminuya de aquí a 2030, impulsado por factores como el aumento de la penetración de la energía solar, la reducción de los costes del sistema eléctrico (incluyendo el repago del déficit tarifario) y la disminución de las primas asociadas a las renovables. El informe de OIKOS sobre el sector eléctrico, publicado en noviembre de 2023, incluye proyecciones detalladas al respecto. A mayores, un aumento en los impuestos sobre el gas tendría un efecto acelerador de la transición, si bien es de compleja implementación por el previsible impacto de rechazo social (más aún, en el contexto en el que ETS2 incrementara la factura del gas notablemente).

5.6. P5: Fomentar las redes de calor

Las redes de calor y frío ("*district heating/ cooling*", denominadas a veces calefacción o refrigeración distrital) son un elemento clave para la descarbonización del sector de la calefacción, especialmente en áreas urbanas con alta densidad de demanda y en zonas climáticas frías. Como se ha descrito, estas redes permiten distribuir calor (o frío) desde una fuente central (ya sea una planta de cogeneración, una instalación geotérmica, biomasa o calor residual de procesos industriales) a múltiples edificios, optimizando el uso de recursos energéticos a gran escala y reduciendo la dependencia de sistemas individuales de calefacción basados en combustibles fósiles. A pesar de los beneficios ambientales y económicos que estas redes pueden ofrecer, en España su desarrollo sigue siendo limitado en comparación con otros países europeos.

Para fomentar su adopción, es necesario implementar medidas regulatorias y de incentivo adecuadas, enfocadas en las áreas donde las redes de calor tienen mayor viabilidad y eficiencia: las zonas urbanas de alta densidad poblacional y con climas fríos, donde la demanda de calefacción es significativa.

En España tienen poca implantación, pese a esfuerzos positivos que incluyen:

- ✓ Mapa del calor del IDAE (<https://mapadecolor.idae.es/>)
- ✓ Existencia de concesiones administrativa (Soria, Palencia)
- ✓ Existencia de empresas públicas especializadas (Somacyl, en Castilla y León)

Podemos mejorar el contexto para estas inversiones con mejores prácticas de países del entorno, como:

1. Obligación de puesta a disposición del calor residual para redes de calor
2. Planeamiento municipal de la climatización
3. Zonificación, sujeta a controles de precios

La primera propuesta plantea la **obligación de poner a disposición el calor residual** para su integración en redes de calor. Una de las mayores oportunidades para optimizar la eficiencia energética de estas redes radica en aprovechar el calor residual generado por procesos industriales, plantas de incineración de residuos y otras fuentes energéticas. Actualmente, gran parte de este calor se desperdicia, lo que constituye una pérdida energética significativa. Su incorporación a las redes de calor permitiría reducir el consumo de combustibles primarios y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente en zonas urbanas con alta densidad de demanda de calefacción.

Un ejemplo internacional de esta medida es el **proyecto de legislación WarmteWet 2.0** en los Países Bajos, actualmente en trámite parlamentario. Esta normativa obliga a las industrias y otras fuentes de calor residual a “poner a disposición su calor para las redes de calor” locales, siempre que sea técnica y económicamente viable. El objetivo es maximizar el uso del calor residual como parte de la estrategia holandesa para reducir las emisiones de CO₂ y promover la eficiencia energética.

En el caso de **España**, podría implementarse una legislación similar que requiera a las industrias y productores de calor residual evaluar y poner a disposición su excedente de calor para redes de calor existentes o futuras. Esto sería particularmente relevante en zonas urbanas densamente pobladas y con climas más fríos, donde la demanda de calefacción justifica el desarrollo de estas infraestructuras. No obstante, esta regulación debería extenderse no solo a fuentes de calor de gran volumen (como las identificadas en el mapa de calor del IDAE, >20 MW), sino también a fuentes de menor tamaño y a temperaturas medias, que pueden ser integradas en redes de calor con apoyo de tecnologías como la aerotermia. Un ejemplo de este enfoque es el **Bradford Energy Network** desarrollado por **1Energy** en el Reino Unido, donde se aprovecha el calor residual de un centro de datos de 4MW (suministrado a 30-50°C) en combinación con tecnologías renovables para cubrir las necesidades de calefacción local.⁹²

Nuestra siguiente propuesta consiste en establecer planes de frío y calor para los 162 municipios españoles con más de 45.000 habitantes. El primer paso sería dotar de un marco jurídico y pautas adecuadas a los municipios, en línea con la guía práctica desarrollada por la Fundación Renovables.⁹³ Los planes de calor y frío son cruciales para catalizar los proyectos de redes de calor al permitir esta necesaria planificación sobre las necesidades e infraestructura de climatización de forma centralizada y aprovechar el calor residual de los procesos industriales.

Cabe destacar que la Directiva de Eficiencia Energética (EED) de 2023 la UE (EU/2012/1791) ya establecía una obligación para los Estados Miembros de establecer **planes de frío y calor para municipios de más de 45.000 habitantes**.⁹⁴ En España estos planes están por desarrollar, frente a ejemplos internacionales donde ya existen (o están en proceso de elaborarse):

⁹² Para más información sobre la red de calor de Bradford, consultar aquí: <https://deepgreen.energy/data-centre-locations/bradford-energy-network/>

⁹³ (Fundación Renovables, 2024)

⁹⁴ (Fundación Renovables, 2024)

1. Transitievisie Warmte (Países Bajos):

En los Países Bajos, la "Transitievisie Warmte" es una estrategia local que cada municipio debe desarrollar como parte de la transición energética nacional. Aunque no tiene carácter vinculante, esta visión proporciona información detallada sobre las mejores soluciones para reemplazar el gas natural en distintas áreas urbanas. Este enfoque ofrece a los agentes privados (promotores, inversores y empresas de servicios energéticos) un marco claro para evaluar oportunidades de inversión y proyectos viables. Su efecto, aunque no coercitivo, ha fomentado una mayor alineación entre los objetivos públicos y privados.

2. Kommunale Wärmeplanung (Alemania):

En Alemania, la "Kommunale Wärmeplanung" (Planificación de Calor Municipal) es una herramienta más avanzada, introducida inicialmente en los estados federados de Baden-Württemberg y Schleswig-Holstein. En este modelo, los municipios están obligados a elaborar planes que definan cómo optimizar las soluciones de calefacción locales. La planificación incluye análisis detallados de la demanda térmica, la disponibilidad de recursos energéticos locales (como biomasa o calor residual), y la viabilidad técnica y económica de las soluciones propuestas. Estos planes tienen un carácter vinculante y establecen directrices claras para la implementación de redes de calor y otras tecnologías, facilitando la transición energética en áreas urbanas. La implementación de los planes corresponde generalmente a empresas públicas locales ("Stadtwerke").

La tercera propuesta plantea la implementación de una **zonificación**, consistente en designar áreas específicas donde la conexión a redes de calor sea prioritaria o incluso obligatoria (generalmente acompañada de un régimen concesional con mecanismos de control de precios en respuesta a la situación monopolística). Este enfoque permite planificar de manera eficiente el desarrollo de infraestructuras de calefacción, optimizando la utilización de recursos locales y garantizando una demanda estable que justifique la inversión inicial y reduzca los costes de capital.

Un ejemplo destacado es el modelo propuesto en el Reino Unido, denominado **"Heat Network Zoning"**, actualmente en fase de consulta pública (2023). Este modelo busca identificar **las áreas donde las redes de calor representan la opción más económica y eficiente para la calefacción de edificios**. En dichas zonas, los nuevos desarrollos o renovaciones importantes de edificios estarían obligados a conectarse a la red de calor, lo que asegura una base de demanda suficiente para hacer viable el sistema.

Dado que esta medida establece una obligatoriedad para los consumidores y una situación de monopolio para los operadores de las redes, es fundamental **garantizar que sea una opción económicamente atractiva**. En el caso del Reino Unido, la propuesta incluye la supervisión por parte de un **organismo regulador** encargado de supervisar las tarifas, asegurándose de que reflejen los costos reales de producción y distribución de calor. Este organismo también tiene la responsabilidad de mantener precios asequibles para los usuarios, protegiendo así sus intereses y promoviendo la aceptación de estas infraestructuras, y tornándolas viables para los operadores.

6. Impactos y Conclusiones

6.1. Estimación de Impactos

La tabla de la página siguiente resume los impactos económicos y de reducción de emisiones de las diferentes medidas propuestas en este informe. Cabe aclarar algunos puntos:

- En cuanto a la metodología, que las emisiones evitadas en vida útil se han calculado en relación con la duración esperada de las actuaciones (40 años para aislamiento y redes de calor, 20 años para aerotermia).

Todas las medidas se han cuantificado fiscalmente, es decir, se ha calculado el coste para el erario de implementar las subvenciones u otros instrumentos de apoyo para lograr la ejecución plena de la medida propuesta. Ese coste público luego se ha enfrentado con las emisiones evitadas, con objeto de entender qué políticas públicas logran la mayor eficiencia descarbonizadora, esto es, maximizan la reducción de emisiones al menor coste público posible. Es esta la medida de coste público por emisiones evitadas.

Tabla 9. Estimación de impactos de las medidas⁹⁵

PROPUESTA	DESCRIPCION	IMPACTO AHORROS ENERGIA (GWH)	# DE VIVIENDAS DESCARBONIZADAS	IMPACTO REDUCCION EMISIONES (MTCO2e VIDA ÚTIL)	IMPACTO REDUCCIÓN EMISIONES (MTCO2e ANUALES)	IMPACTO FISCAL (M EUR)	COSTE FISCAL PROGRAMA / EMISIONES EVITADAS (EUR/TCO2)
1) AJUSTE PRECIOS ELECTRICIDAD/GAS	Exención IVA / Impuesto generación eléctrica para consumo por aerotermia (reducción de aprox. 25% precio energía consumida). Apoya a las medidas 2, 3, 4. Impacto no cuantificado	NA	NA	NA	NA	Neutro (exenciones sobre consumo adicional, por tanto no tiene impacto sobre recaudación actual)	NA
2) EDIFICIOS PLURIFAMILIARES: PLAN DE DESCARBONIZACION	Afloración, a través del estudio de descarbonización del edificio, de las actuaciones de descarbonización más rentables. Obligación de realizarlas si autofinanciables (r real>2). Línea de subvenciones de máx. €100/tCO2e. Para los edificios con calefacción colectiva (c. 20% del total) se asume que la aerotermia es técnicamente viable. En los restantes casos, se asume aislamiento SATE como intervención	7.9	2.8	68	1.9	1,284	19
3) EDIFICIOS PLURIFAMILIARES/OTROS : FOMENTO DE REDES DE CALOR	Promoción de las redes de calor en las zonas climáticas frías (zonas D1, D2, E) en combinación con calor residual. Asume penetración del 20% de demanda total. No se considera demanda no residencial	1.8	0.3	20	0.5	Neutro (se asume competitividad en costes con el gas natural en climas fríos y con aprovechamiento de calor residual)	-
4) CONSUMIDORES INTENSIVOS: REEMPLAZO DE SISTEMAS FÓSILES AL FINAL DE SU VIDA UTIL	Reemplazo de las calderas de gasoil/LPG/gas en viviendas unifamiliares, sujeto a autofinanciabilidad (se asume para r>2% real) incluyendo programa de subvenciones de hasta máx. €100/ton CO2. Se asume 50% de renovación del segmento relevante hasta 2035. Programa de garantías (avales) públicos al crédito para garantizar autofinanciabilidad.	2.6	0.9	28	1.4	890	31
TOTAL		12.3	3.9	116	3.9	2,174	19

⁹⁵ Es importante puntualizar que los datos que alimentan esta modelización de impactos proceden principalmente de estimaciones de demanda teórica de la ERESEE 2020, lo que matiza la robustez de los datos y refuerza la necesidad de desplegar observaciones empíricas que puedan validar estas estimaciones.

Merece la pena destacar algunos casos concretos:

- P4 – Plurifamiliares: un plan de descarbonización para cada edificio. El cálculo de impacto está basado en una combinación de aerotermia comunitaria para los edificios con sistemas de calefacción central por gasóleo/LGP, y del aislamiento SATE para el resto. Asumimos las hipótesis del ERESEE de eficiencia y costes del SATE. Como se aprecia, se puede alcanzar una rentabilidad mínima del 2% real con subvenciones por segmento <€100/tCO₂ para aproximadamente el ~40% de las viviendas de plurifamiliares (de la categoría B en ERESEE). La porción restante de este tipo de viviendas es por tanto la asignatura pendiente, tanto por restricciones técnicas (habrá edificios en los que una solución, p. ej. aerotermia desplazando a calefacción por gasoil, es económicamente viable pero no técnicamente al carecer de espacio etc.) como económicas.
- P3 – Descarbonizar los usuarios intensivos: los usuarios intensivos suelen tener la mayor viabilidad económica a un coste fiscal eficiente. A los efectos de simulación de impacto, hemos modelizado la categoría de viviendas unifamiliares a partir de los datos de ERESEE. Asumimos que el volumen de sistemas reemplazados viene determinado por el ritmo a la que los equipos de combustibles fósiles alcanzan la obsolescencia. En la estimación asumimos que el 50% son sustituidos en el plazo de referencia, por tanto, al extenderlo se doblaría el impacto. Se trata de un impacto que se extenderá en el futuro a medida que más equipos de calefacción a partir de combustibles fósiles alcancen la obsolescencia y sean sustituidos por alternativas no emisoras.
- P6 – Fomentar las redes de calor: las redes de calor demuestran un impacto relativamente limitado dado que las zonas climáticas en las que se asumen viables agrupan a cantidades menores de población. En este caso también es importante reconocer que puede existir un efecto de solapamiento en la estimación de impactos con la propuesta de foco en viviendas plurifamiliares.

Finalmente, cabe apuntar que estas medidas necesitarán varios años para desplegar sus efectos y es un reflejo de un potencial al que aspirar más que una hoja de ruta. A estos efectos, puede ser útil poner la estimación de impactos en el contexto de los objetivos del PNIEC para 2030. En concreto, el PNIEC, en su última actualización para 2024, establece una meta de 1,38 millones de viviendas rehabilitadas para 2030.⁹⁶

En línea con nuestro análisis, identificamos un potencial de descarbonización notablemente mayor: la estimación de impacto sugiere un potencial de descarbonización de viviendas plurifamiliares del doble del PNIEC, y de unifamiliares 6x veces superior. No obstante, hay que recordar que este análisis está basado en hipótesis de costes y de eficiencias procedentes de las fuentes mencionadas, y que bajo otras hipótesis más conservadoras el impacto (notablemente en el sector plurifamiliar) será correspondientemente menor.

En cualquier caso, es importante subrayar que consideramos que nuestras propuestas necesitarán de un horizonte temporal superior para permitir la creación de las cadenas de valor y de suministros, etc. Por ejemplo, para P3 – Descarbonizar los usuarios intensivos (asumiendo unifamiliares), se estiman un mínimo de 10 años, dado que estas nuevas actividades económicas implican la formación de mano de obra para hacer estos trabajos, la aparición de empresas especializadas, etc., todo lo cual conlleva mayores plazos de ejecución. Como se ha expuesto, el punto de partida es tan bajo que es posible que en la realidad los plazos para la implementación completa de las medidas propuestas sean muy superiores: ya se expuso que entre 2021 y 2023, en España se rehabilitaron aproximadamente 103.000 viviendas (apenas un 7,5% de la meta del PNIEC), lo que arroja un promedio aproximado de 34.333 viviendas/año, muy lejos tanto del ritmo necesario para cumplir los objetivos del PNIEC como del potencial que estimamos.⁹⁷

⁹⁶ (MITECO, 2024)

⁹⁷ (irehabita, 2025)

Tabla 11. Comparación estimación de impacto potencial OIKOS vs. Objetivos PNIEC

# VIVIENDAS DESCARBONIZADAS A TRAVÉS DE ...	OBJETIVOS PNIEC PARA 2030 (MILLONES DE VIVIENDAS)	ESTIMACIÓN DE POTENCIAL DESCARBONIZADOR SEGÚN OIKOS (MILLONES DE VIVIENDAS)	COMENTARIO
Actuaciones de Aislamiento	1,20	2,4	La estimación de OIKOS asume eficiencias de aislamiento ~70%, costes según ERESEE
Aeroterminia	0,2	1,2	La estimación de OIKOS de c. 25% corresponde a sistemas comunitarios en edificios plurifamiliares, 75% a viviendas unifamiliares
Redes de calor	NA	0.3	No está recogido explícitamente en el PNIEC. La hipótesis constituye una estimación de OIKOS según la tabla de impactos desarrollada más arriba en el presente informe
Total	1.40	3.9	

6.1.1. Financiación del coste fiscal

Es importante aportar también una valoración del coste de las medidas propuestas y las vías de financiación de estas. Estimamos una necesidad de financiación de unos 2.2 miles de millones de euros en subvenciones. Si bien las actuaciones se despliegan durante un periodo de 5-10 años (y probablemente superior) lo cual reduce su coste anual, es importante identificar fuentes para su financiación, máxime en el contexto actual de demandas presupuestarias de múltiples otras áreas de la política de transición energética (p.ej., electrificación del transporte, infraestructuras de redes, etc.) y de otras prioridades políticas (p.ej., promoción de vivienda, seguridad y defensa, política industrial, etc.).

El ETS, o sistema de precios del carbono de la UE, genera unos ingresos derivados de la subasta de derechos de emisión. Estos ascendieron a 22 mil millones de euros en 2022, ingresos que son destinados a diferentes usos.⁹⁸ En la última década, los países de la UE han informado que han asignado el 76% de estos ingresos a iniciativas relacionadas con el clima, la energía renovable y la eficiencia energética, si bien hay cierta controversia sobre el uso de estos ingresos.⁹⁹

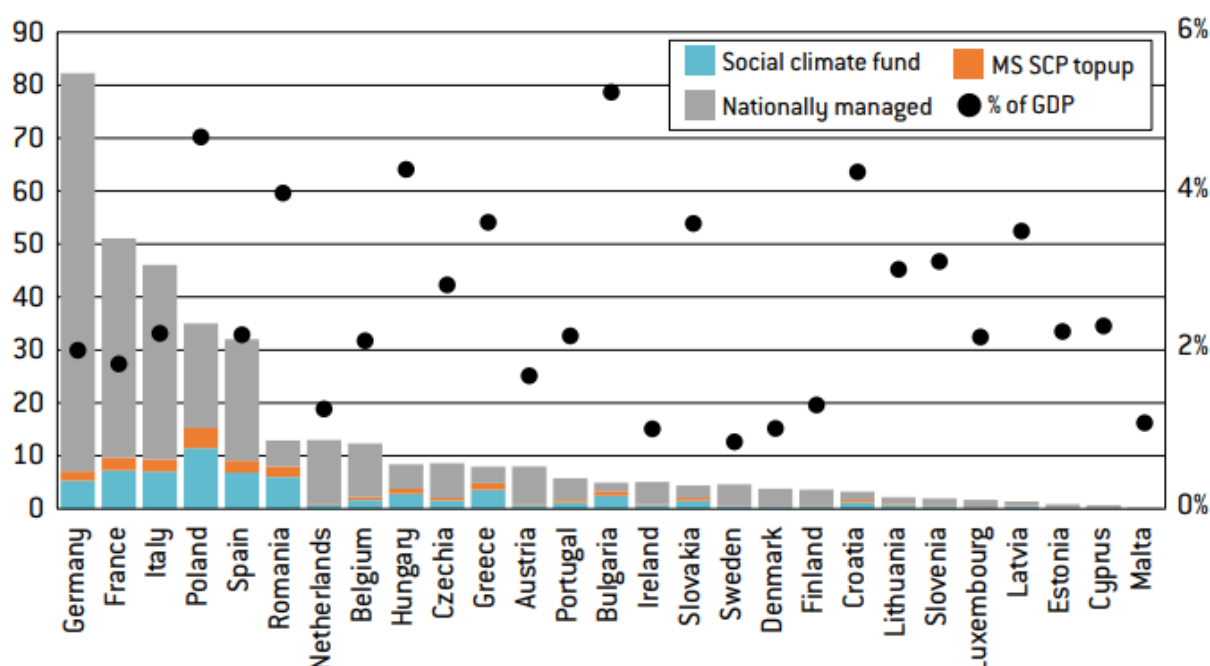
Con la subasta de derechos de emisión en el marco del ETS-2, que comenzará en 2027, se espera generar ingresos que superaran a los del ETS-1. A un precio del carbono de 45 euros por tonelada, los ingresos anuales podrían alcanzar los 50 mil millones de euros, y a un precio de 200 euros por tonelada (estimado para 2040), los ingresos podrían llegar a 217 mil millones de euros. Entre 2026 y 2032, un máximo de 65 mil millones de euros de estos ingresos se destinará al Fondo Social para el Clima o FSC (por ley, es un 25% de la recaudación generada), que apoyará a los hogares vulnerables, microempresas y usuarios del transporte afectados por los costos adicionales derivados del ETS-2.¹⁰⁰

El resto de los ingresos del ETS-2 será gestionado por los gobiernos nacionales, que deberán destinar estos fondos a la implementación de soluciones de bajas emisiones en transporte y calefacción, o a mitigar los impactos sociales. En un informe reciente, el think-tank Bruegel¹⁰¹, ha cuantificado estos ingresos para cada estado miembro, como se muestra en la Error! Reference source not found.. En porcentaje sobre el PIB (marcado con puntos negros), para España, los ingresos totales del ETS-2 representan alrededor del 1,2%, lo que indica una proporción significativa respecto al tamaño de su economía en comparación con otros países de la UE. Estos ingresos se dividen en tres componentes:

⁹⁸ (EEA, 2023)
⁹⁹ (WWF, 2022) (Branner et al., 2022).
¹⁰⁰ (European Commission, 2024)
¹⁰¹ (Keliauskaitė, McWilliams, Sgaravatti, & Tagliapietra, 2024)

- Fondo Social para el Clima (FSC, *Social Climate Fund* o SCF en inglés): Una parte significativa de los ingresos (representada en azul) se destinará al Fondo Social para el Clima, diseñado para apoyar a los hogares vulnerables y mitigar el impacto de los costos adicionales derivados del ETS-2.
- Contribución adicional al Fondo Social por parte de los Estados Miembros (*"MS SCP top-up"*): Representado en naranja, indica la contribución adicional que los Estados miembros pueden (pero no están obligados a) proporcionar para incrementar los recursos destinados a compensaciones sociales.
- Ingresos gestionados nacionalmente (*Nationally managed*): Representado en gris, estos fondos serán administrados directamente por el gobierno de España, con el objetivo de implementar soluciones de bajas emisiones en calefacción, transporte y compensar los impactos sociales del sistema. En esta categoría, Bruegel estima para España unos ingresos estimados de 20 mil millones de euros durante el periodo de referencia.

Figura 17. Ingresos estimados para cada país del ETS-2, en miles de millones de euros entre 2026 y 2032 y para un precio medio al carbono de 60 EUR



Source: Bruegel based on Regulation 2023/955 and EEA.

Este análisis permite concluir que es previsible que los ingresos del ETS-2 sean suficientes para financiar el coste fiscal de las medidas propuestas. No llegamos a concluir (dado el contexto actual de múltiples demandas presupuestarias) que (como hace Bruegel) necesariamente los ingresos del del ETS-2 se dediquen en su totalidad a inversiones en rehabilitación energética (que Bruegel busca financiar en su totalidad, con independencia de su rentabilidad y coste-beneficio social).

En cualquier caso, en el uso de ingresos de sistemas de precios de carbono como el ETS-2, consideramos fundamental mejorar la transparencia y la eficiencia en su uso de estos ingresos para maximizar su impacto y aceptación social. En esta línea con, el reciente informe de OIKOS sobre dividendos climáticos profundiza en posibles usos y formas de canalizar los ingresos del ETS-2 para lograr una transición ecológica políticamente aceptable, como se puede consultar aquí: <https://oikos.eco/publicaciones>

6.2. Conclusiones

En conclusión, hemos identificado varias propuestas para avanzar en la descarbonización de las viviendas en España. Lo hemos hecho desde la perspectiva de “minimizar el coste social”, es decir, identificar aquellas actuaciones que maximizan el impacto medioambiental para el menor coste social posible, y también desde la perspectiva de realizar aportaciones innovadoras y adicionales a las existentes.

Nuestra propuesta de políticas públicas se materializa en los 5 principios rectores anteriormente mencionados, a saber:

1. De “eficiencia primero” a “descarbonización primero”
2. Ayudas públicas que prioricen el menor coste social
3. Descarbonizar los “usuarios intensivos”
4. Plan de descarbonización para cada edificio de viviendas plurifamiliares
5. Equilibrio relativo de los precios de gas y electricidad
6. Fomentar las redes de calor

Nuestra propuesta se enmarca en el contexto social y político existente y sin menoscabo de otras iniciativas en marcha en la sociedad civil para promover la descarbonización de los edificios desde otros ángulos. Son esperanzadores, por ejemplo, los esfuerzos en dinamizar el mercado de rehabilitación energética mediante estándares de eficiencia energética y emisiones para el crédito hipotecario o mediante propuestas que aumenten el valor de las viviendas que han sido rehabilitadas.

Si bien nuestras estimaciones de impacto distan mucho de completar la tarea de la descarbonización completa del parque de edificios en España (nuestras propuestas tienen un impacto estimado del ~10% de las emisiones estimadas de las viviendas principales), la descarbonización completa es un desafío para el que no existe una solución “mágica”. Nuestras propuestas, son por ello un primer paso que, por su enfoque en la “fruta más madura” de la viabilidad económica y fiscal, pueden crear un efecto positivo de ejemplo a seguir, para la descarbonización de los edificios restantes, abriendo el camino a futuros avances.

7. Bibliografía

- Abdoos, M., Alireza, A. S., & Zahedi, R. (2024). Reducing the energy consumption of buildings by implementing insulation scenarios and using renewable energies. *Energy Informatics*, 7.
- Acosta, S., & Esteller, R. (2022, marzo 23). La época de construcción de una vivienda influye en su eficiencia energética. *El Economista*. Retrieved from <https://www.eleconomista.es/energia/noticias/11682242/03/22/La-epoca-de-construccion-de-una-vivienda-influye-en-su-eficiencia-energetica.html>
- Agencia Tributaria. (2023). *Cuadro-resumen: Deducciones por obras de mejora de eficiencia energética en viviendas*. Retrieved from Manual práctico de renta 2023: <https://sede.agenciatributaria.gob.es/Sede/ayuda/manuales-videos-folletos/manuales-practicos/irpf-2023/c16-deducciones-generales-cuota/deducciones-obras-mejora-eficiencia-energetica-viviendas/cuadro-resumen-deducciones-obras-eficiencia-viviendas.html>
- Álvarez, F., Ardenillo, Ó., Rodríguez, D., & Sanz, J. (2022). *Descarbonización a mínomo coste: un análisis de la cartera óptima de instrumentos*. FEDEA. FEDEA. Retrieved from <https://documentos.fedea.net/pubs/fpp/2022/02/FPP2022-02.pdf>
- APPA Renovables. (2022). *Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España 2022*. APPA Renovables. Retrieved from <https://www.appa.es/estudio-del-impacto-macroeconomico-de-las-energias-renovables-en-espana-2022/>
- Aranda, J. L. (2024, febrero 15). La rehabilitación de vivienda queda lejos de los objetivos del Gobierno pese a subir más de un 9%. *El País*. Retrieved from <https://elpais.com/economia/2024-02-15/la-rehabilitacion-de-vivienda-queda-lejos-de-los-objetivos-del-gobierno-pese-a-subir-mas-de-un-9.html>
- Balmer, C., & Fonte, G. (2024, abril 9). Explainer: Why Italy's Superbonus blew a hole in state accounts. *Reuters*. Retrieved from <https://www.reuters.com/world/europe/why-italys-superbonus-blew-hole-state-accounts-2024-04-09/>
- Banco Santander. (2024). *Préstamo Consumo Sostenible*. Retrieved from Banco Santander: <https://www.bancosantander.es/santander-sostenible/prestamo-verde-eficiencia-energetica>
- BBVA. (2024). *Préstamo de Eficiencia Energética BBVA*. Retrieved from BBVA: <https://www.bbva.es/personas/productos/prestamos/prestamo-eficiencia-energetica-particulares.html>
- BC3-OTEA. (2022). *Incapacidad para mantener la vivienda a una temperatura adecuada*. Retrieved from Base de datos BC3-OTEA: <https://otea.info/bdd/sociedad/pobreza-energetica-y-desigualdad/incapacidad-para-mantener-la-vivienda-a-una-temperatura-adecuada>
- Boletín Oficial del Estado. (2022). *Ley 10/2022, de 14 de junio, de medidas urgentes para impulsar la actividad de rehabilitación edificatoria en el contexto del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia*. BOE. Retrieved from <https://www.boe.es/eli/es/l/2022/06/14/10>
- Bosch. (2024). *Bosch to invest further in expanding its European heat-pump locations*. Retrieved from Bosch: <https://www.bosch-homecomfortgroup.com/en/news-and-stories/news/bosch-investiert-weiter-in-den-ausbau-seiner-europaeischen-waermepumpen-standorte/>

- BPIE. (2022). *Ready for carbon neutral by 2050? Assessing ambition levels in new building standards across the EU*. BPIE. Retrieved from <https://www.bpie.eu/publication/ready-for-carbon-neutral-by-2050-assessing-ambition-levels-in-new-building-standards-across-the-eu/>
- Brugger, H., Ragwitz, M., & Popovski, E. (2023). Decarbonization of district heating and deep retrofits of buildings as competing or synergetic strategies for the implementation of the efficiency first principle. *Smart Energy*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666955223000035>
- Caixabank research. (2022). *El déficit comercial energético de España en cifras*. Caixabank. Retrieved from <https://www.caixabankresearch.com/es/economia-y-mercados/materias-primas/deficit-comercial-energetico-espana-cifras>
- Cerema. (2022, agosto 11). *Réseaux de chaleur et de froid*. Retrieved from District Heating and Cooling in France: <https://reseaux-chaleur.cerema.fr/espace-documentaire/district-heating-and-cooling-france>
- Cíclica, GBCe. (2018). *Pasaporte del Edificio. Instrumento para la rehabilitación profunda por pasos*. Retrieved from PAS-E: <http://www.pas-e.es/#/>
- Cleanworld. (2023). *Sistema Certificados Ahorro Energético (Mercado Primario)*. Cleanworld.
- Climate Change Committee. (2020). *Sixth Carbon Budget*. Londres. Retrieved from <https://www.theccc.org.uk/publication/sixth-carbon-budget/>
- Coladas Rivas Arnaiz Abogados. (2021, octubre 8). *Régimen de mayorías en comunidades de propietarios para obras de mejora energética*. Retrieved from Coladas Rivas Arnaiz Abogados: https://coladasrivasarnaizabogados.com/regimen-de-mayorias-en-comunidades-de-propietarios-para-obras-de-mejora-energetica/?utm_source=chatgpt.com
- Colegio Oficial de Arquitectos de Castilla La Mancha. (2024). *La edificación en España registra sus mejores niveles desde 2019 en obra nueva y rehabilitación*. Retrieved from Colegio Oficial de Arquitectos de Castilla La Mancha: https://www.coacm.es/es/1-Noticias/3-CSCAE/464-La-edificacion-en-Espana-registra-sus-mejores-niveles-desde-2019-en-obra-nueva-y-rehabilitacion.htm?utm_source=chatgpt.com#!
- Consejo de la Unión Europea. (2024). *Consilium Europa*. Retrieved from Objetivo 55: un fondo para apoyar a los ciudadanos y empresas más afectados: <https://www.consilium.europa.eu/es/infographics/fit-for-55-social-climate-fund/>
- Consejo general de Colegios de Administradores de Fincas de España. (2023). *Definición del marco legal deseable para el adecuado impulso de los procesos de rehabilitación energética edificatoria en España*. Madrid.
- Correia, F., & Fazion, M. (2023). *Measuring the impact of green retrofits on CO2 emissions: London Housing Case Study*. Cornell University. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/2310.07444>
- DH Ecoenergías. (2024). *Palencia District Heating*. Retrieved from District Heating: <https://www.dhecoenergias.es/palencia-district-heating/>
- Districtalor Engie. (2022). *Barcelona y Districlima consolidan la red de calor y frío de la zona Fòrum y el 22@ con una nueva planta de generación*. Retrieved from Districtalor: <https://districtalor.es/es/noticias-districtalor/778-barcelona-y-districtlima-consolidan-la-red-de-calor-y-frio-de-la-zona-forum-y-el-22-con-una-nueva-planta-de-generacion>

- Districlima. (2024, abril 22). Districlima obtiene todas las autorizaciones administrativas para el desarrollo de una nueva planta de generación de frío de alta eficiencia energética en Barcelona. *Districlima*. Retrieved from <https://www.districtlima.com/es/nota-de-prensa>
- EEA. (2023, diciembre 19). *Use of auctioning revenues generated under the EU Emissions Trading System*. Retrieved from Indicators: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/use-of-auctioning-revenues-generated>
- EEA. (2024). *Greenhouse gas emissions from energy use in buildings in Europe*. European Environmental Agency. EEA.
- EEA. (2024, octubre 31). *Greenhouse gas emissions from energy use in buildings in Europe*. Retrieved from EEA Indicators: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emissions-from-energy#:~:text=The%20buildings%20sector%20is%20a,energy%2Drelated%20emissions%20in%202022>.
- EHPA. (2024). *France: Status of the Heat Pump Market*. European Commission. Bruselas: EHPA.
- EHPA. (2024, mayo 31). *In which countries does the electricity price work for heat pumps?* Retrieved from EHPA News: <https://www.ehpa.org/news-and-resources/news/in-which-countries-does-the-electricity-price-work-for-heat-pumps/>
- Energía y Sociedad. (2024, noviembre 21). Bruselas prohíbe las ayudas a las calderas fósiles a partir de enero de 2025. *Energía y Sociedad*. Retrieved from <https://www.energiaysociedad.es/boletin/bruselas-prohibe-las-ayudas-a-las-calderas-fosiles-a-partir-de-enero-de-2025/>
- Energie Nederland. (2023). *Energy Taxes on Gas and Electricity*. Amsterdam: Energie Nederland. Retrieved from <https://www.energie-nederland.nl/en/topics/taxation-financing/facts-figures/>
- European Commission. (2021). Overview of District Heating and Cooling Markets and Regulatory Frameworks under the Revised Renewable Energy Directive – Annexes 6 and 7 – Final version. In E. Commission, *Impact Assessment Report Accompanying the Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the Energy Performance of Buildings* (. Brussels: European Commission. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX:52021SC0453>
- European Commission. (2023). *Energy Performance of Buildings Directive*. Retrieved from Energy Efficiency: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
- European Commission. (2024). *ETS2: buildings, road transport and additional sectors*. Retrieved from Climate Action: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/ets2-buildings-road-transport-and-additional-sectors_en
- European Commission. (n.d.). *Renovation Wave*. Retrieved from Energy Efficiency: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en
- Eurostat. (2021, noviembre 5). *8% of EU population unable to keep home adequately warm*. Retrieved from Eurostat articles: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20211105-1>
- Eurostat. (2024). *Heating and cooling degree days - statistics*. Eurostat. European Commission. Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/SEPDF/cache/92378.pdf>
- Eurostat. (2024). *Natural gas price statistics*. Eurostat. Retrieved from https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Natural_gas_price_statistics

- Feliu Jofre, Á., & Flotats Ripoll, X. (2019). *Los gases renovables. Un vector energético emergente*. Fundación Naturgy. Fundación Naturgy. Retrieved from <https://www.fundacionnaturgy.org/publicacion/los-gases-renovables-un-vector-energetico-emergente/#:~:text=La%20introducci%C3%B3n%20masiva%20de%20los,de%20este%20nuevo%20vector%20energ%C3%A9tico>.
- Fundación Renovables. (2023). *Hogares sostenibles, soluciones asequibles. Costo eficiencia en la rehabilitación energética*. Madrid: Fundación Renovables. Retrieved from https://fundacionrenovables.org/wp-content/uploads/2023/12/20231130-Hogares-sostenibles-soluciones-asequibles_DEF-1.pdf
- Fundación Renovables. (2024). *Plan de climatización de municipios de más de 45.000 habitantes. Guía práctica*. Madrid: Fundación Renovables. Retrieved from <https://fundacionrenovables.org/wp-content/uploads/2024/06/20240610-Plan-de-HC.pdf>
- Gallego, J. L. (2023, noviembre 10). España ahorraría 50.000 millones de euros en energía con la rehabilitación de edificios. *El Confidencial*. Retrieved from https://www.elconfidencial.com/medioambiente/ciudad/2023-10-11/eficiencia-energetica-edificios-directiva-europea_3751434/
- Garicano, L. (2025, febrero 14). How to incinerate 220 billion euros. *Substack*.
- GBCe. (2022). *Hoja de ruta para la descarbonización de la edificación en todo su ciclo de vida*. Madrid: GBCe. Retrieved from https://gbce.es/wp-content/uploads/2024/04/hdr-buildinglife_cuentaatrassectorvivienda.pdf
- GBCE. (2022). *Hoja de ruta para la descarbonización del sector de la edificación*. GBCE. Retrieved from <https://gbce.es/green-building-council-espana-presenta-la-hoja-de-ruta-para-la-descarbonizacion-del-sector-de-la-edificacion/>
- Gobierno de España. (2021). *Componente 2: Plan de rehabilitación de vivienda y regeneración urbana*. Retrieved from Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia: <https://planderecuperacion.gob.es/politicas-y-componentes/componente-2-plan-de-rehabilitacion-de-vivienda-y-regeneracion-urbana>
- Gómez, R. (2024, octubre 31). Alemania se fija en España para desterrar las estufas: "Mucho peor de lo que pensábamos". *The Huffington Post*. Retrieved from <https://www.huffingtonpost.es/sociedad/alemania-fija-espana-desterrar-estufas-mucho-peor-pensabamos.html>
- Gotta, A., Mecca, U., & Rebaudengo, M. (2023). *Switching from Risks to Opportunities: The Application of a Superbonus Tax Incentive to Heritage Buildings from the 1960s in Fragile Mountain Contexts*. Land. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2073-445X/12/6/1130>
- Government of the UK. (2023). *Heat and buildings strategy*. Department for Energy Security and Net Zero. Government of the UK. Retrieved from <https://www.gov.uk/government/publications/heat-and-buildings-strategy>
- Government of the UK. (2023, octubre 23). Heat pump grants increased by 50%. Retrieved from <https://www.gov.uk/government/news/heat-pump-grants-increased-by-50-per-cent>
- Government of the UK. (2023). *Policy Paper. Powering Up Britain: Net Zero Growth Plan*. Department for Energy Security & Net Zero. Government of the UK. Retrieved from <https://www.gov.uk/government/publications/powering-up-britain/powering-up-britain-net-zero-growth-plan>

- Government of the UK. (2023, diciembre 18). *Proposals for heat network zoning 2023*. Retrieved from Energy Efficiency: <https://www.gov.uk/government/consultations/proposals-for-heat-network-zoning-2023>
- Government of the UK. (2024). *Strategy and Policy Statement for energy policy in Great Britain*. London: Department for Energy Security and Net Zero. Retrieved from <https://www.gov.uk/government/consultations/strategy-and-policy-statement-for-energy-policy-in-great-britain>
- Huerto-Cardenas, H., Aste, N., Buzzetti, M., Del Pero, C., Leonforte, F., & Miglioli, A. (2024). Examining the role of the superbonus 110% incentive in Italy through analyses of two residential buildings. *E3S Web of Conferences*, 5. Retrieved from https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2024/76/e3sconf_icogb2024_02007/e3sconf_icogb2024_02007.html
- Iberley. (2021, octubre 6). Publicada modificación de la Ley de Propiedad Horizontal en materia de obras de rehabilitación para la mejora de la eficiencia energética. *Iberley*. Retrieved from <https://www.iberley.es/noticias/publicada-modificacion-lph-materia-obras-rehabilitacion-mejora-eficiencia-energetica-31266>
- ICO. (2022). *ICO-MIVAU Rehabilitación de Edificios Residenciales*. Retrieved from Líneas ICO Mediación: <https://www.ico.es/ico-mitma-rehabilitaci%C3%B3n-de-edificios-residenciales/donde-solicitar>
- ICO. (2024). *Línea ICO-Vivienda*. Retrieved from Plan de Recuperación: <https://www.ico.es/prestamos-plan-recuperacion/ico-vivienda>
- IDAE. (2008). *Guía Práctica de la Energía para la Rehabilitación de Edificios. El aislamiento, la mejor solución*. IDAE. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Retrieved from <https://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/aislamiento-en-edificacion/guia-practica-de-la-energia>
- IDAE. (2011). *Análisis del consumo energético del sector residencial en España*. IDAE. Retrieved from https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf
- IDAE. (2011). *Proyecto SECH-Spahousec. Análisis del consumo energético del sector residencial en España*. Madrid: IDAE. Retrieved from https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf
- IDAE. (2020, agosto). *Programa PREE. Rehabilitación energética de edificios*. Retrieved from Rehabilitación energética de edificios: <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/para-la-rehabilitacion-de-edificios/convocatorias-cerradas/programa-pree>
- IDAE. (2021, julio). *PRE 5000. Rehabilitación energética de Edificios en municipios de reto demográfico*. Retrieved from Rehabilitación de edificios: <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/para-la-rehabilitacion-de-edificios/programa-pree-5000-rehabilitacion>
- IEA. (2022). *The Future of Heat Pumps*. IEA. IEA. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps>
- IMF. (2022). *Italy: 2022 Article IV Consultation-Press Release; Staff Report; and Statement by the Executive Director for Italy*. IMF. Retrieved from <https://www.imf.org/en/Publications/CR/Issues/2022/07/28/Italy-2022-Article-IV-Consultation-Press-Release-Staff-Report-and-Statement-by-the-521484>
- IQAir. (2024). *Air Quality World Map*. IQAir. Retrieved from <https://www.iqair.com/es/air-quality-map>

- irehabitae. (2025, febrero 17). La rehabilitación creció en el último año 2024 por encima del 8%, según las estadísticas del CSCAE. *irehabitae*. Retrieved from <https://www.irehabitae.es/la-rehabilitacion-crecio-en-el-ultimo-ano-2024-por-encima-del-8-segun-las-estadisticas-del-cscae/>
- IRENA. (2021). *Integración de las energías renovables a baja temperatura en los sistemas energéticos urbanos: Directrices para los responsables políticos*. IRENA. Retrieved from <https://www.irena.org/publications/2021/March/Integrating-low-temperature-renewables-in-district-energy-systems-ES>
- Iturbe, Mikel. (2022, febrero 21). *Tipos de bombas de calor: ejemplos y aplicaciones*. (Calor y frío) Retrieved from Caloryfrio.com: <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/bomba-de-calor/bombas-de-calor-tipos-aplicaciones.html>
- Jiménez Navarro, J. P., Kavvadias, K., & Thomassen, G. (2019). *Decarbonising the EU heating sector: integration of the power and heating sector*. Brussels: Publications Office of the European Union. Retrieved from <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC114758>
- Keliauskaitė, U., McWilliams, B., Sgaravatti, G., & Tagliapietra, S. (2024). *How to finance the European Union's building decarbonisation plan*. Bruegel. Retrieved agosto 2024, from [https://www.bruegel.org/policy-brief/how-finance-european-unions-building-decarbonisation-plan#:~:text=Traditionally%2C%20for%20supporting%20building%20renovation,Ivanova%20et%20al%2C%202023\).](https://www.bruegel.org/policy-brief/how-finance-european-unions-building-decarbonisation-plan#:~:text=Traditionally%2C%20for%20supporting%20building%20renovation,Ivanova%20et%20al%2C%202023).)
- Lowes, R., & Gibb, D. (2024). *Heat pumps for Spain: Reforming Spanish energy policy to support the transition to clean heating*. RAP. Retrieved agosto 2024, from <https://www.raponline.org/wp-content/uploads/2024/09/RAP-Lowes-Gibb-Spain-heat-pump-policy-September-2024.pdf>
- Marmolejo Duarte, C., Biere Arenas, R., Spairani Berrio, S., & Crespo Sánchez, E. (2022). Las One-Stop-Shops como modelo emergente en la gestión de la rehabilitación energética en España. *Ciudad y Territorio, LIV*(213), 593-620. Retrieved from https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/374891/90644-Texto%20del%20art%C3%ADculo-344633-1-10-20220920.pdf?sequence=1&utm_source=chatgpt.com
- Mejino, J., & Oliu-Barton, M. (2024). <https://www.esade.edu/ecpol/es/publicaciones/la-contaminacion-en-espana-sus-impactos-en-la-economia-y-en-la-salud/>. ESADE EcPol. Retrieved from <https://www.esade.edu/ecpol/es/publicaciones/la-contaminacion-en-espana-sus-impactos-en-la-economia-y-en-la-salud/>
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2020). *Actualización 2020 de la Estrategia a largo Plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España*. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Madrid: Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Retrieved from https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/paginabasica/recursos/eresee_2020.pdf
- Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana. (2024). *Programa de ayuda a las actuaciones de mejora de la eficiencia energética en viviendas*. Retrieved from Agenda Urbana y Vivienda: <https://www.mivau.gob.es/ministerio/proyectos-singulares/prtr/vivienda-y-agenda-urbana/programa-de-ayuda-las-actuaciones-de-mejora-de-la-eficiencia-energetica-en-viviendas>
- Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana. (2024). *Una nueva vida para edificios públicos con los fondos del Plan de Recuperación*. Retrieved from Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia: https://www.mivau.gob.es/ministerio/proyectos-singulares/prtr/agenda_urbana_y_vivienda/programa-de-impulso-a-la-rehabilitacion-de-edificios-publicos-de-entidades-locales-pirep-local/nueva-vida-edificios-publicos-fondos-plan-recuperacion

- Ministerio para la Transición Ecológica. (2024, mayo 5). *El Gobierno aprueba un plan de medidas de ahorro y eficiencia energética en la Administración General del Estado*. Retrieved from Sala de prensa: https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/2022/05/el_gobierno_apruebaunplandemedidasdeahorroreyeficienciaenergeticae.html
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2022). *Balance energético de España. 2021-2022*. Secretaría de Estado de Energía. Retrieved from https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/balances/Balances/Documents/balance-20231218/Balance%20Energetico%20Espa%C3%B1a%202021%20y%202022_v0.pdf
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2023). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2023-2030*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Retrieved from <https://www.miteco.gob.es/es/energia/estrategia-normativa/pniec-23-30.html>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2024). *Residencial, comercial e institucional*. Retrieved from Mitigación: sectores difusos: <https://www.miteco.gob.es/es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/edificacion.html>
- MITECO. (2022). *Inventario nacional de emisiones y absorciones a la atmósfera: Informe interactivo*. Madrid: MITECO. Retrieved from <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/informe-interactivo-inventario-nacional-emisiones-atmosfera.html>
- MITECO. (2024). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC 2023-2030)*. Madrid: MITECO. Retrieved from <https://www.miteco.gob.es/es/energia/estrategia-normativa/pniec-23-30.html>
- OECD. (2022). *Income support for working-age individuals and their families*. OECD. Retrieved from https://www.oecd.org/en/publications/income-support-for-working-age-individuals-and-their-families_a89a2ccf-en.html
- Ofgem. (2022). *Consultation on Medium term Changes to the Price Cap Methodology*. Ofgem. Retrieved from <https://www.ofgem.gov.uk/sites/default/files/2022-02/Medium%20term%20price%20cap%20changes%20policy%20consultation%20Feb%202022%20%281%29.pdf>
- Ojea, L. (2023, noviembre 13). Biometano, hidrógeno y gas natural para la industria: no solo el precio importa, ser sostenible tiene un sobrecoste. *El Español*. Retrieved from https://www.elespanol.com/invertia/empresas/energia/20231113/biometano-hidrogeno-gas-natural-industria-no-solo-precio-importa-sostenible-sobrecoste/808169619_0.html?utm_source=chatgpt.com
- OMS. (2024, octubre 24). *Notas descriptivas*. Retrieved from WHO/OMS: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-%28outdoor%29-air-quality-and-health>
- Overheid.nl. (2022). *Wet collectieve warmtevoorziening*. Retrieved from Consultatie: <https://www.internetconsultatie.nl/warmtewet2>
- Querol Carceller, X. (2019). *Calidad del aire urbano en Europa: retos científicos y de política ambiental*. CSIC. Retrieved from <https://digital.csic.es/bitstream/10261/209963/1/980-4592-1-SM%20%281%29.pdf>
- Santos, B. (2023, marzo 22). Cómo son las subvenciones para bombas de calor residenciales en toda Europa. *PV Magazine*. Retrieved from <https://www.pv-magazine.es/2023/03/22/como-son-las-subsuenciones-para-bombas-de-calor-residenciales-en-toda-europa/>

- Secretaría de Estado de Energía. (2023). *Balance Energético de España 2021-2022*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Retrieved from https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/balances/Balances/Documents/balance-20231218/Balance%20Energetico%20Espa%C3%B1a%202021%20y%202022_v0.pdf
- Secretaría de Estado de Energía. (2023). *Sistema de Certificados de Ahorro Energético (CAE)*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Secretaría de Estado de Energía, Madrid. Retrieved from https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/Eficiencia/CAE/Documents/20230807_Presentacion-Sistema-CAE-web.pdf
- Sedigas. (2022). *Informe anual 2022. El gas en España*. Sedigas. Retrieved from https://www.sedigas.es/informeanual/2022/wp-content/uploads/2023/06/resumen-sedigas_informe_2022_web.pdf
- Solar Power Europe. (2023). *EU Market Outlook for Solar Power 2023-2027*. Solar Power Europe. Retrieved from <https://www.solarpowereurope.org/insights/outlooks/eu-market-outlook-for-solar-power-2023-2027/detail>
- Statista. (2023). *Volumen de las importaciones de crudo en España de 2005 a 2023(en miles de toneladas)*. Statista. Retrieved from <https://es.statista.com/estadisticas/959750/volumen-de-crudo-importado-a-espana/>
- Sweatman, P. (2022). *Cómo la rehabilitación de edificios puede ayudar a la independencia energética y a la descarbonización de España*. ESADE EcPol. Madrid: ESADE. Retrieved from <https://www.esade.edu/ecpol/es/publicaciones/como-la-rehabilitacion-de-edificios-puede-ayudar-a-la-independencia-energetica-y-a-la-descarbonizacion-de-espana/>
- UK Parliament. (2022). *Decarbonising heat in homes: Government Response to the Committee's Seventh Report of 2021–22*. UK Parliament. Londres: UK Parliament. Retrieved from <https://publications.parliament.uk/pa/cm5803/cmselect/cmbeis/208/report.html>
- Wryzhenskiy, I., Giraudet, L.-G., & Segù, M. (2023). *Zero-Interest Green Loans and Home Energy Retrofits: Evidence from France*. HAL Open Science. Retrieved from https://enpc.hal.science/hal-03585110/file/EPTZ_20230711.pdf

OIKOS

POLÍTICA Y MEDIO AMBIENTE

OIKOS es un think-tank que busca contribuir al debate medioambiental desde la perspectiva liberal-conservadora. OIKOS es una asociación sin ánimo de lucro constituida en el Registro Nacional de Asociaciones de España