



Junio 2025

# Metodología para el análisis de medidas activas en la rehabilitación de edificios para un plan de climatización municipal



FUNDACIÓN  
RENOVABLES

## Participantes en el proyecto

David Perez Navarro. Presidente, Creara Energy Experts

Pablo Aleksander Baigorria Kobylinski. Project Manager, Creara Energy Experts

Luis Díez García-Valdecasas. Consultant, Creara Energy Experts

Raquel Paule. Directora General. Fundación Renovables.

Maribel Núñez. Gerente. Fundación Renovables.

Juan Fernando Martín. Responsable de ciudades sostenibles. Fundación Renovables.

Ismael Morales. Responsable de políticas climáticas. Fundación Renovables.

Alexandra Llave. Responsable de redes y eventos. Fundación Renovables.

Alejandro Tena. Responsable de Comunicación. Fundación Renovables.

María Manzano. Responsable de combustibles y mercados. Fundación Renovables.

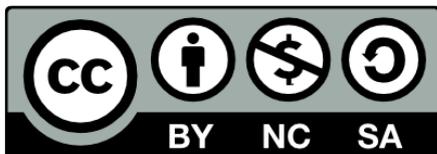
Ladislao Montiel. Responsable de tecnologías renovables. Fundación Renovables.

Diego Ferraz. Responsable de cohesión territorial. Fundación Renovables.

Hannah Fakir. Responsable de incidencia política. Fundación Renovables.

Janire Sánchez. Responsable de educación y sensibilización. Fundación Renovables.

Alba González. Informadora ambiental. Fundación Renovables.



Esta publicación está bajo licencia Creative Commons. Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual (CC BY-NC-SA). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte de este siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia.

## Fundación Renovables

**(Declarada de utilidad pública)**

Calle Santa Engracia 108, 5º Int. Izda.

28003. Madrid

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



Este proyecto ha sido financiado por el **Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico** y será publicado en la web de la

Fundación Renovables. La información incluida en este documento no expresa la opinión del MITERD.



# Índice

<b>Introducción.....</b>	<b>5</b>
<b>Revisión regulatoria y tecnológica .....</b>	<b>7</b>
<b>Revisión regulatoria.....</b>	<b>7</b>
<b>Marco europeo .....</b>	<b>7</b>
<b>Marco estatal.....</b>	<b>10</b>
<b>Marco autonómico.....</b>	<b>11</b>
<b>Revisión de tecnologías disponibles de generación renovable, distribución y almacenamiento.....</b>	<b>14</b>
<b>Tecnologías de generación renovable .....</b>	<b>14</b>
<b>Tecnologías de distribución y almacenamiento.....</b>	<b>27</b>
<b>Casos de éxito.....</b>	<b>31</b>
<b>Proyecto ATELIER .....</b>	<b>31</b>
<b>Proyecto ARV .....</b>	<b>32</b>
<b>Plan Rehabilita y Plan Transforma Tu Barrio .....</b>	<b>33</b>
<b>Proyecto StepUP .....</b>	<b>33</b>
<b>Proyecto SmartEnCity .....</b>	<b>34</b>
<b>Proyecto FitHome .....</b>	<b>34</b>
<b>Casos reales de éxito del IDAE .....</b>	<b>35</b>
<b>Análisis tecno-económico de sustitución de medidas activas.....</b>	<b>38</b>
<b>Contexto y metodología aplicada .....</b>	<b>38</b>
<b>Recopilación de información y datos básicos.....</b>	<b>39</b>
<b>Base de datos de edificios .....</b>	<b>40</b>
<b>Base de datos de instalaciones térmicas .....</b>	<b>41</b>
<b>Determinación de las horas de uso de calefacción/refrigeración .....</b>	<b>43</b>
<b>Cálculo de la demanda de energía, consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub> .....</b>	<b>49</b>
<b>Datos del mercado de calderas.....</b>	<b>52</b>
<b>Evolución de precios de los combustibles .....</b>	<b>54</b>



<b>Situación actual del municipio y reunión con stakeholders .....</b>	<b>54</b>
<b>Análisis tecno-económico de sustitución de medidas activas.....</b>	<b>55</b>
<b>Análisis de la viabilidad económica de la sustitución.....</b>	<b>55</b>
<b>Evaluación inicial antes del análisis de previabilidad de redes de calor y frío .....</b>	<b>70</b>
<b>Políticas públicas que pueden impactar en la tasa de sustitución de equipos térmicos .....</b>	<b>72</b>
<b>Descripción de posibles políticas públicas.....</b>	<b>72</b>
<b>Ejemplos de medidas públicas .....</b>	<b>74</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>77</b>
<b>Metodología para la identificación de zonas municipales con potencial para el desarrollo de una RDC .....</b>	<b>77</b>
<b>Recopilación de información de todas las parcelas catastrales de tipo edificio de la localidad de Cuenca .....</b>	<b>78</b>
<b>Filtrado de edificios de interés para el estudio.....</b>	<b>78</b>
<b>Diseño de red de tuberías entre edificios de la localidad.....</b>	<b>79</b>
<b>Identificación de redes de calor con potencial suficiente para justificar un análisis de previabilidad .....</b>	<b>82</b>
<b>Índice de figuras y tablas .....</b>	<b>85</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>85</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>86</b>
<b>Glosario .....</b>	<b>89</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>92</b>



# Introducción

**Metodología para el análisis de medidas activas en la rehabilitación de edificios para un plan de climatización municipal**



**FUNDACIÓN  
RENOVABLES**



## Introducción

El presente trabajo realizado por Creara Consultores S.L. para la Fundación Renovables se enmarca en el proyecto “Nexo energía y agua: soluciones integradas para ciudades, industria y costa”, proyecto que forma parte, a su vez, de la investigación denominada “Planificación integral de soluciones climáticas urbanas: naturaleza, eficiencia y tecnología”. Fundación Renovables ha presentado dicha investigación a la convocatoria de subvenciones 2024-2025 “Línea A” para el desarrollo de actividades de interés general consideradas de interés social, en el ámbito de la investigación científica y técnica y protección al medio ambiente en materias de competencia estatal del MITERD.

El objetivo de este trabajo es el desarrollo de una metodología para la implementación de tecnologías activas de climatización descarbonizadas en localidades de más de 45.,000 habitantes.

# Revisión regulatoria y tecnológica

**Metodología para el análisis de medidas  
activas en la rehabilitación de edificios  
para un plan de climatización municipal**



**FUNDACIÓN  
RENOVABLES**

## Revisión regulatoria y tecnológica

### Revisión regulatoria

El cuidado del medioambiente se ha convertido en una máxima europea, pues en los últimos años se ha intensificado notablemente la actualización de estrategias y directivas, así como la publicación de nuevos reglamentos, tanto a nivel europeo como estatal, reflejando una clara aceleración en la agenda regulatoria vinculada a la transición energética. El Pacto Verde Europeo establece el objetivo ambicioso de alcanzar la neutralidad climática en 2050, lo que implica una transformación estructural: eliminar progresivamente el uso de combustibles fósiles en los sistemas de calefacción, electrificar la demanda energética, promover la descarbonización del mix eléctrico y eliminar el uso de refrigerantes contaminantes como los HFCs. Este marco normativo, cada vez más exigente, está incentivando activamente la rehabilitación energética de edificios existentes, con especial atención a la sustitución de equipos de generación de calor por tecnologías más limpias y eficientes. Todo indica que esta tendencia normativa se reforzará en los próximos años, consolidando un entorno regulatorio que impulsa la renovación del parque edificado. En este contexto, se presentan a continuación las principales directivas, leyes y estrategias, tanto a nivel europeo como estatal y autonómico, que están marcando esta transformación.

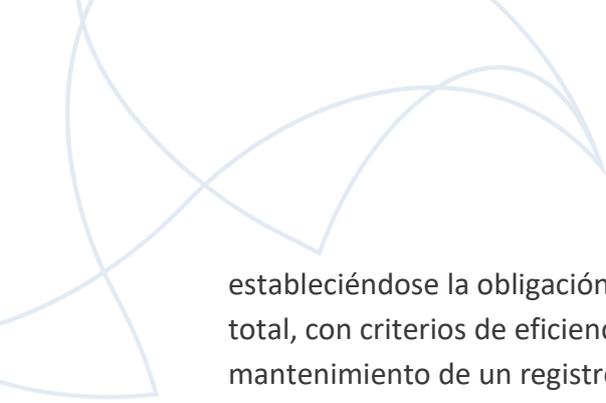
#### Marco europeo

- **Directiva de eficiencia energética (EED)**

La Directiva de eficiencia energética de la UE, EED por sus siglas en inglés, establece como objetivo principal la reducción del consumo energético primario, fijando un compromiso vinculante de, al menos, un 11,7 % de disminución para el año 2030, en comparación con las proyecciones de referencia de 2020. Para alcanzar esta meta, los Estados miembros deben aplicar un conjunto de medidas normativas y estratégicas enfocadas en el sector público y en el sector privado, especialmente en la rehabilitación energética de edificios y la planificación de sistemas de calefacción y refrigeración sostenibles.

La EED también promueve la implementación del principio "primero, la eficiencia energética", incentivando la inversión en medidas de eficiencia energética pasivas, no tan atractivas para el consumidor por su bajo retorno. El objetivo es fomentar primero la implementación de medidas pasivas, priorizándolas sobre las medidas activas, con el fin de evitar el sobredimensionamiento de los sistemas de climatización. Una de las actuaciones prioritarias es la renovación del parque de edificios públicos,





estableciéndose la obligación de renovar anualmente, al menos, el 3 % de la superficie total, con criterios de eficiencia energética. Asimismo, se exige la elaboración y mantenimiento de un registro público de edificaciones equipadas con sistemas térmicos, así como la evaluación periódica de estos sistemas en el marco de los Planes Nacionales Integrados de Energía y Clima (PNIEC). En paralelo, los Estados miembros deben desarrollar planes locales de climatización en todos los municipios con una población superior a 45.000 habitantes, con el fin de asegurar una planificación energética coherente a nivel regional y local. En lo que respecta a las medidas activas, la planificación debe contemplar la incorporación progresiva de tecnologías eficientes, sistemas de generación renovable, redes de distrito y soluciones inteligentes de gestión energética. La EED impone la obligación de identificar el potencial de uso de estas tecnologías, valorar su viabilidad técnica y económica y establecer objetivos concretos para su implementación. Además, se requiere que estos planes se alineen con las estrategias nacionales de descarbonización y transición energética, asegurando así que las medidas activas contribuyan efectivamente a la reducción del consumo de energía primaria y a la mejora de la eficiencia del sistema en su conjunto.

En relación con la descarbonización de la climatización, el artículo 26 de la directiva establece los requisitos para el desarrollo de sistemas urbanos de calefacción y refrigeración sostenibles, fijando que, a partir de 2050, estos deberán operar con un 100 % de energías renovables, o mediante la recuperación de calor residual, y alcanzar una emisión neta de gases de efecto invernadero (GEI) igual a cero.

A abril de 2025, España aún no ha completado la transposición de la EED. El plazo fijado por la Unión Europea (UE) para llevar a cabo esta transposición finaliza el 11 de octubre de 2025, por lo que en los próximos meses se espera un avance significativo en este proceso por parte del Gobierno.

- **Directiva de eficiencia energética en los edificios (EPBD)**

La Directiva de eficiencia energética en los edificios, EPBD por sus siglas en inglés, establece un marco regulatorio para mejorar la eficiencia energética en el sector de la edificación en la UE. Su objetivo principal es definir requisitos mínimos de eficiencia energética que los Estados miembros deben aplicar, revisar y actualizar cada cinco años. Entre estos requisitos, destaca la obligatoriedad de que todos los edificios de nueva construcción sean de cero emisiones para 2030, la renovación prioritaria de los edificios más ineficientes, la integración de energía solar en los edificios nuevos o rehabilitados y la eliminación progresiva de combustibles fósiles para calefacción y refrigeración. Además, la directiva contempla la revisión del marco metodológico





comparativo utilizado para determinar los niveles óptimos de rentabilidad de estos requisitos, con una próxima actualización programada para el 30 de junio de 2025.

Asimismo, establece metas ambiciosas de reducción en el consumo medio de energía primaria en el parque inmobiliario residencial, con objetivos de reducción del 16%, 20% y 22%, respecto a 2020, para los años 2030, 2035 y 2040, respectivamente. Para apoyar estos objetivos, se han incrementado las ayudas, como con el Programa de Impulso a la Rehabilitación de Edificios Públicos, PIREP, que destina 600 millones de euros para financiar medidas de eficiencia energética en edificios públicos, y el Programa de Rehabilitación Energética de Edificios, PREE, que apoya la mejora energética de edificios residenciales y del sector servicios con 400 millones de euros.

Finalmente, el artículo 13 obliga a los Estados miembros a establecer requisitos mínimos para las instalaciones técnicas de los edificios, asegurando que todos los componentes técnicos de un edificio contribuyan de manera efectiva a la reducción del consumo energético gracias a su enfoque integral. Estas instalaciones técnicas abarcan los sistemas de calefacción, refrigeración, ventilación, producción de agua caliente sanitaria, iluminación integrada en edificios no residenciales, así como los sistemas de automatización, control y gestión energética del edificio.

A abril de 2025, España aún no ha completado la transposición de la EPBD, aunque el proceso está en marcha, con un plazo límite para su finalización en mayo de 2026.

- **Reglamento 2024/573 sobre los gases fluorados de efecto invernadero**

El reglamento 2024/573 sobre los gases fluorados de efecto invernadero establece un calendario de reducción progresiva de la comercialización de HFCs según su PCG. El reglamento plantea la prohibición escalonada del uso de los HFCs con PCG superior a 150 en sistemas nuevos y establece requisitos de recuperación, reciclaje y destrucción de los HFCs cuando se realiza el mantenimiento de los equipos que los emplean.

Este reglamento tiene un gran impacto sobre las tecnologías de climatización, especialmente en las bombas de calor pues estas usan estos HFCs como refrigerantes. La prohibición del uso de los refrigerantes más comunes como el R-410A y el R-32 obligará a los fabricantes a rediseñar sus modelos utilizando refrigerantes con bajo PCG como el CO<sub>2</sub> o el propano. Esto aumentará el precio de los equipos y, además, se tendrán que incrementar las medidas de seguridad, pues muchos de estos refrigerantes naturales son inflamables.



## Marco estatal

- **Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España (ERSEE 2020)**

La ERESEE 2020 es un marco clave destinado a mejorar la eficiencia energética de los edificios en todo el país. Describe medidas estratégicas y objetivos para reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector de la construcción. Esta estrategia se publicó por primera vez en 2014 y desde entonces se ha revisado y actualizado en 2017 y 2020.

El objetivo de consumo final de energía para 2050 contemplado en esta estrategia implica una reducción del 36% con respecto al consumo en 2020 (- 47.396 GWh). El 36% de la reducción total se obtendría entre 2020 y 2030 (-17.069 GWh), el 49% entre 2030 y 2040 (-23. 085 GWh) y el 15% restante entre 2040 y 2050. En este escenario, las medidas relativas a la calefacción y el ACS serían responsables del 72,8% del ahorro energético total, las instalaciones de alumbrado contribuirían con un 12,55% de esta reducción y los sistemas de refrigeración con un 7,26% de la disminución del consumo final de energía de los edificios.

Para lograr estos objetivos, la ERSEE 2020 propone una serie de medidas orientadas a mejorar la eficiencia energética en el sector de la construcción. Entre ellas, destaca la sustitución de los equipos existentes por otros de mayor eficiencia energética, así como la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios para reducir pérdidas de energía. También se plantean reformas en las instalaciones térmicas y la obligatoriedad de incorporar sistemas de ventilación mecánica controlada en edificios de nueva construcción. Asimismo, se promueve la implantación de certificados de eficiencia energética y la realización de auditorías energéticas para evaluar el rendimiento de los edificios. Otra línea de actuación importante es el fomento del uso de energías renovables y residuales, y, en el caso de reformas, se requerirá la instalación de contadores que permitan un control más preciso del consumo energético.

- **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC)**

El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) es el instrumento estratégico a través del cual España define su hoja de ruta en materia de energía y clima, en cumplimiento de los requisitos establecidos por el Reglamento (UE) 2018/1999 sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima. Este plan debe elaborarse por cada Estado miembro y actualizarse periódicamente, con una revisión



obligatoria cada cinco años. La última revisión se publicó en 2023, por lo que la próxima está prevista para 2028.

El PNIEC establece una serie de objetivos y medidas para mejorar la eficiencia energética y aumentar el uso de energías renovables en España. Entre sus principales metas se encuentra el aumento anual del porcentaje de renovables en calefacción y refrigeración, con un incremento mínimo anual del 1,42% para el periodo 2021-2025 y del 2,36% para 2026-2030. Según datos de Eurostat, en 2022, el porcentaje de fuentes de energía renovables en calefacción y refrigeración aumentó un 2,51% respecto al año anterior, alcanzando un valor del 19,47%.

Además, el PNIEC también recoge algunas de las exigencias de la EED, siguiendo el principio "primero, la eficiencia energética". Entre estas exigencias se encuentran renovar, al menos, el 3% anual de la superficie edificada de los edificios climatizados que sean propiedad de la Administración General del Estado o elaborar, publicar y mantener actualizado un inventario de edificios con calefacción y/o sistema de refrigeración, que tengan en propiedad u ocupen los organismos públicos y cuya superficie útil total sea de más de 250 m<sup>2</sup>. En total, se pretende alcanzar un ahorro de energía final acumulado de 4.979 Ktpeps mediante actuaciones de rehabilitación de edificios durante el periodo 2021-2030, los cuales se esperan lograr realizando 477.300 actuaciones de rehabilitación. Para lograr esto se han destinado 3.420 millones de euros en ayudas para la rehabilitación de edificios mediante el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, PRTR.

Finalmente, el PNIEC también impulsa proyectos de I+D+i en materia de desarrollo, estudios de viabilidad e implantación y puesta en marcha de redes de calor y frío utilizando únicamente fuentes de energía renovables. Se pretende impulsar esta tecnología muy extendida en el resto de Europa, pero infrutilizada en España.

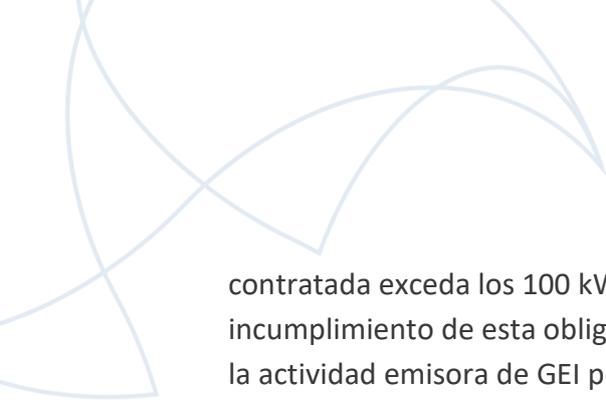
### **Marco autonómico**

Aunque no todas las Comunidades Autónomas disponen de legislación específica en la materia, existen normativas autonómicas que presentan particular relevancia y merecen un análisis detallado.

- **Ley 10/2019 de Baleares**

La Ley 10/2019 de cambio climático y transición energética de Baleares obliga a que todos los edificios, o sus unidades funcionales, que cuenten con instalaciones cuya potencia térmica nominal instalada supere los 70 kW o cuya potencia eléctrica





contratada exceda los 100 kW, dispongan de un plan de gestión energética. El incumplimiento de esta obligación conlleva multas de 300 € a 200.000 € y el cierre de la actividad emisora de GEI por un periodo de hasta 3 años, dependiendo de la gravedad del incumplimiento.

- **Ley 16/2017 de Cataluña**

La ley 16/2017 sobre cambio climático impone a la Generalitat y a los entes locales la obligación de impulsar, dentro de sus políticas urbanísticas y de edificación, que los profesionales encargados del diseño, la proyección y la construcción de zonas residenciales prioricen el uso de energías renovables para los sistemas de calefacción, refrigeración y ACS. Asimismo, exige la adopción de soluciones constructivas de alta eficiencia energética, tanto en elementos estructurales como en los cerramientos de los edificios, reforzando así los objetivos globales de descarbonización previstos en la norma para el horizonte 2050.

- **Ley 6/2022 de la Comunidad Valenciana**

La Ley 6/2022 de cambio climático y transición ecológica de la Comunidad Valenciana impulsa la acción climática local al obligar a los municipios a aprobar Planes de Acción para el Clima y la Energía Sostenible (PACES). Todos los edificios, o sus unidades funcionales, con instalaciones que superen los 70 kW de potencia térmica nominal o los 100 kW de potencia eléctrica contratada, deben contar con sistemas de gestión energética basados en normas o certificaciones reconocidas nacional o internacionalmente. Las redes de calefacción urbana deberán abastecerse prioritariamente de fuentes renovables o de la energía residual procedente de depuradoras, instalaciones industriales u otras infraestructuras, recurriendo a combustibles fósiles únicamente de manera subsidiaria y eligiendo siempre los de menor huella de carbono. El incumplimiento de esta obligación conlleva multas de 600 € a 2.500.000 € y el cierre de la actividad emisora de GEI por un periodo de hasta 5 años, dependiendo de la gravedad del incumplimiento.

- **Ley 6/2022 de las Islas Canarias**

La Ley 6/2022 de Canarias refuerza la descarbonización del parque residencial insular promoviendo la incorporación de energías renovables durante la rehabilitación de viviendas y priorizando soluciones de calefacción y refrigeración de cero emisiones. Para lograrlo, el Gobierno canario se compromete a simplificar los trámites administrativos, establecer incentivos específicos que animen a los propietarios de



pisos en alquiler a instalar sistemas de autoconsumo de pequeña potencia y garantizar los derechos de los consumidores a convertirse en auto consumidores, vender su excedente de energía al precio de mercado e incorporar almacenamiento energético. Además, la norma prevé actuaciones ejemplarizantes de la propia Administración para impulsar el autoconsumo y servir de referencia al conjunto de la ciudadanía.

- **Ley 4/2022 de Navarra**

La Ley 4/2022 de cambio climático y transición energética de Navarra establece que, a partir del 30 de junio de 2027, quedará prohibida la instalación de sistemas térmicos alimentados por combustibles fósiles en edificios residenciales y terciarios de nueva construcción, así como el suministro de gasóleo a aquellos ubicados en núcleos con red de gas natural canalizado. Desde esa misma fecha, todos los edificios nuevos y los sometidos a rehabilitación integral o a cambio de uso deberán cubrir al menos el 50% de su demanda conjunta de calefacción y ACS con sistemas basados en energías renovables. Además, las calderas de edificios residenciales colectivos deberán alcanzar un rendimiento mínimo del 80% en 2025 y del 85% en 2030 sobre el poder calorífico superior, PCS. El incumplimiento de esta obligación conlleva multas de 600 € a 2.500.000 € y el cierre de la actividad emisora de GEI por un periodo de hasta 3 años, dependiendo de la gravedad del incumplimiento.

- **Ley 1/2024 del País Vasco**

La Ley 1/2024 de transición energética y cambio climático del País Vasco refuerza el compromiso institucional con la neutralidad climática al ordenar que todas las administraciones públicas vascas sustituyan de forma progresiva los equipos alimentados por combustibles fósiles, ubicados en edificios de su propiedad, por tecnologías que funcionen con fuentes de energía renovables. Además, impone la integración explícita de la dimensión energética y climática en el proyecto de Ley de Presupuestos Generales de la Comunidad Autónoma, reservando un mínimo del 2,5% de estos recursos anuales a financiar medidas concretas de acción climática, garantizando así una dotación estable para acelerar la transición energética del territorio.

## Revisión de tecnologías disponibles de generación renovable, distribución y almacenamiento

### Tecnologías de generación renovable

De acuerdo con datos de la ERESEE, en el año 2020 el parque de viviendas residenciales en España alcanzaba los 25,14 millones. Estas viviendas suponen un 60% del consumo de energía final del sector de la edificación, unos 14.359 Ktep/año que son empleados en su mayoría (60%) para calefacción y ACS. En cuanto al método de obtención de esta energía, aproximadamente el 70% de las viviendas que disponen de calefacción la obtienen mediante el uso de combustibles fósiles, porcentaje que aumenta hasta el 73% en el caso de la producción de ACS. La Figura 1, de elaboración propia usando datos del IDAE, muestra la evolución y la estructura del consumo de energía final del sector residencial.

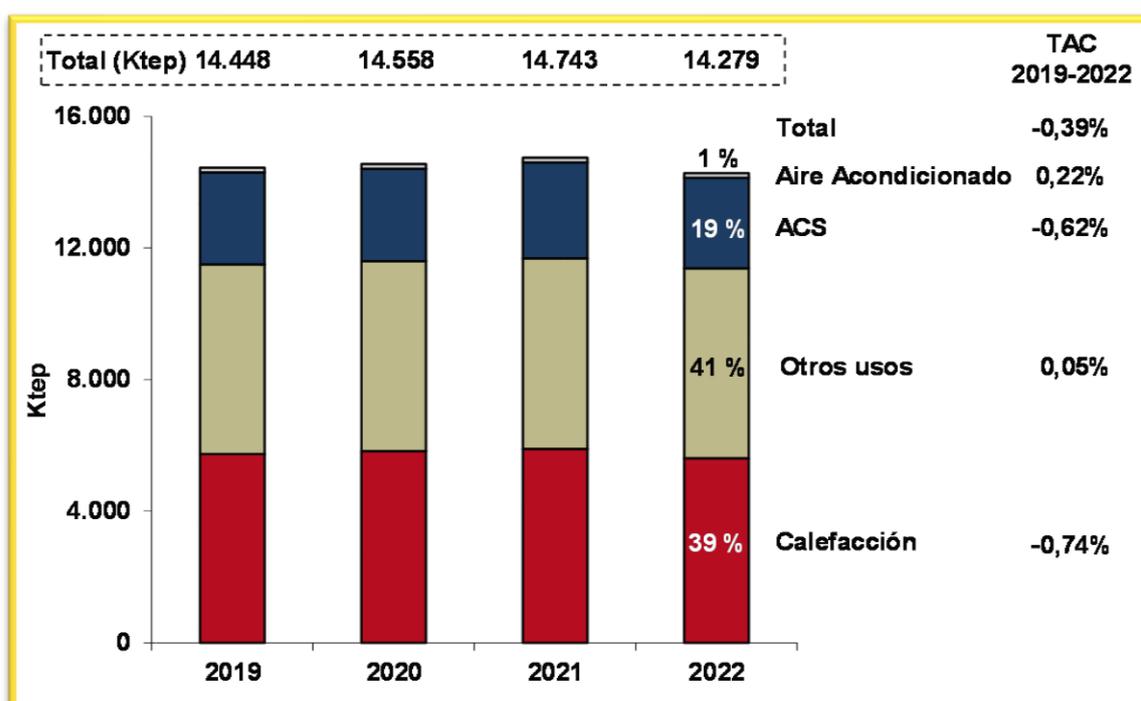


Figura 1. Evolución del consumo de energía final del sector residencial y su estructura.

Estos altos consumos de combustibles fósiles se traducen en la emisión a la atmósfera de 19.200 kilotoneladas de CO<sub>2</sub> anuales. Para reducir estas elevadas emisiones, es vital avanzar en la sustitución progresiva de las calderas que utilizan combustibles fósiles por tecnologías más limpias y eficientes como las que se muestran a continuación.



## Bombas de calor

Las bombas de calor son dispositivos térmicos altamente eficientes que permiten transferir calor desde un foco frío hacia uno caliente utilizando una pequeña cantidad de energía eléctrica. Funcionan mediante un ciclo termodinámico en el que un gas refrigerante circula por el sistema, absorbiendo calor del foco frío (como el aire, el agua o el suelo) y liberándolo en el caliente (el interior de la vivienda), según las necesidades de climatización. Las fases y componentes de este proceso se muestran en la Figura 2 y son las siguientes:

1. Evaporación (evaporador)
2. Compresión (compresor)
3. Condensación (condensador)
4. Expansión (válvula de expansión)

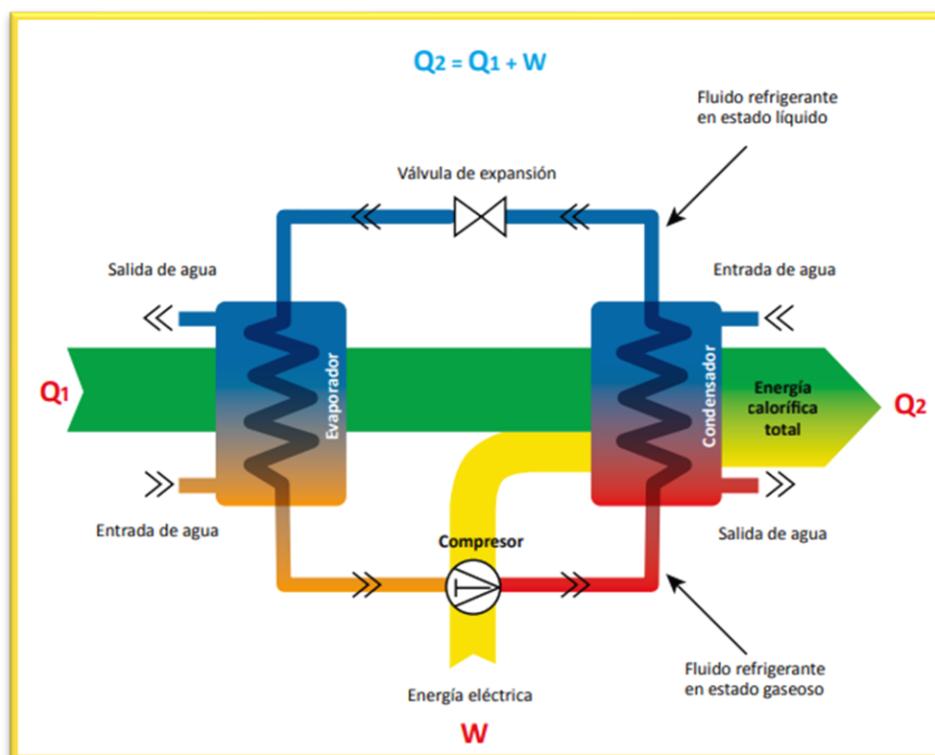
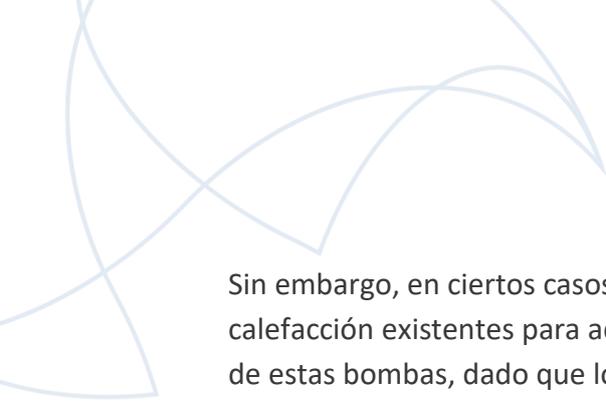


Figura 2. Ciclo frigorífico de una bomba de calor en modo calefacción.

Este proceso puede invertirse, haciendo que el calor sea absorbido del interior de la vivienda y liberado en el exterior, lo que permite que una misma instalación proporcione calefacción en invierno y refrigeración en verano. Gracias a su versatilidad y eficiencia energética, las bombas de calor son una de las mejores opciones para la generación de calor, frío y ACS renovables.





Sin embargo, en ciertos casos se requiere el ajuste o renovación de los sistemas de calefacción existentes para adaptarlos a los rangos de temperatura de funcionamiento de estas bombas, dado que los sistemas con calderas de combustibles fósiles están preparados para soportar temperaturas mucho mayores que las bombas de calor. Los sistemas de distribución compatibles con las bombas de calor más usados son el suelo radiante/refrescante y los radiadores de baja temperatura.

La división principal en tipos de las bombas de calor se realiza según el lugar de dónde extraen el calor, es decir, el foco frío, este puede ser aire, agua o suelo. A continuación, se presentan los distintos tipos de bombas de calor según el foco frío utilizado.

- **Bombas de calor aerotérmicas**

Esta tecnología emplea el aire exterior como foco frío. Puede funcionar en sistemas de aire-aire, proporcionando climatización directa a través de la circulación de aire o en sistemas aire-agua, transfiriendo el calor a un circuito de agua para distribuirlo mediante radiadores o suelo radiante.

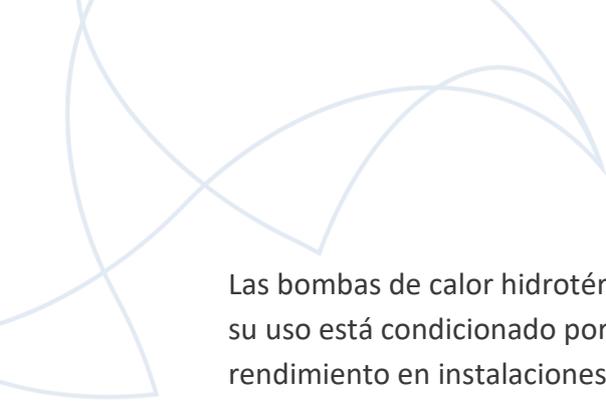
Entre sus principales ventajas se encuentra la flexibilidad de instalación y su capacidad de adaptación a diferentes configuraciones, incluyendo instalaciones ya existentes. Además, son una opción ideal para climas templados, donde las temperaturas exteriores se mantienen en un rango moderado, lo que favorece su eficiencia. También destacan por ser compatibles con sistemas de energía fotovoltaica, lo que permite integrarlas fácilmente en soluciones de autoconsumo energético.

Sin embargo, estas bombas presentan algunas limitaciones, especialmente en climas fríos, donde su eficiencia se reduce notablemente, ya que el aire exterior tiene menos energía térmica disponible, lo que obliga al sistema a trabajar más para extraer calor y suele ser necesario contar con sistemas de calefacción auxiliares. En condiciones de baja temperatura y alta humedad es común que se activen ciclos de descongelación en las unidades exteriores, lo que puede provocar una disminución temporal de la eficiencia del sistema. Además, su inversión inicial puede resultar elevada.

- **Bombas de calor hidrotérmicas**

En este caso, se utilizan como foco frío masas de agua con una gran estabilidad térmica. Su configuración puede ser agua-aire, proporcionando climatización directa a través de la circulación de aire, o agua-agua, transfiriendo el calor a un circuito de agua para distribuirlo mediante radiadores o suelo radiante.





Las bombas de calor hidrotérmicas se caracterizan por su eficiencia y estabilidad, pero su uso está condicionado por varios factores importantes. Por un lado, ofrecen un gran rendimiento en instalaciones que tienen acceso directo a fuentes de agua naturales, ya que aprovechan la temperatura estable del agua para mantener una eficiencia constante a lo largo del año. Además, se trata de una tecnología aplicable a proyectos de gran escala, como edificios comerciales, industriales o residenciales colectivos. Sin embargo, su uso depende de la disponibilidad de cuerpos de agua cercanos, lo que limita su aplicación a lugares específicos. También requiere autorizaciones legales y estudios de impacto ambiental, lo que puede complicar el proceso de instalación. Este tipo de bombas de calor exige sistemas adicionales de filtrado y mantenimiento para garantizar un funcionamiento adecuado, lo que aumenta la complejidad operativa y los costes frente a otras opciones.

Una aplicación de las bombas de calor hidrotérmicas que está aumentando en popularidad últimamente es su utilización para la recuperación de calor del alcantarillado. En este caso, se utilizan las aguas del alcantarillado, que se mantienen a una temperatura constante durante todo el año de entre 12°C y 20°C (AFEC, 2023), como foco frío del que extraer calor. Sin embargo, la instalación inicial y los costes de infraestructura pueden ser elevados. Además, la viabilidad del sistema depende de factores variables como la temperatura y el flujo de las aguas residuales, que pueden verse influenciados por cambios estacionales o eventos climáticos extremos. Otro desafío es que los requisitos regulatorios y las normas sanitarias pueden limitar la extensión y operación de estos sistemas, particularmente en áreas urbanas densamente pobladas.

- **Bombas de calor geotérmicas**

Las bombas de calor geotérmicas utilizan el calor almacenado en el subsuelo a bajas y medias profundidades donde la temperatura se mantiene constante durante todo el año entre 10°C y 25°C (AFEC, 2023). Es decir, el subsuelo actúa como el foco frío. Estas bombas de calor pueden ser suelo-aire, proporcionando climatización directa a través de la circulación de aire, o suelo-agua, transfiriendo el calor a un circuito de agua para distribuirlo mediante radiadores o suelo radiante.

Las bombas de calor geotérmicas destacan por ofrecer un rendimiento estable y predecible durante todo el año. Son sistemas adaptables a distintos tamaños de edificios y diferentes necesidades energéticas. Además, pueden complementarse con tecnologías solares, lo que amplía sus posibilidades de integración en proyectos sostenibles. Sin embargo, su inversión inicial es elevada, debido, principalmente, a los



costes de perforación y la instalación de sondas geotérmicas. Su rendimiento puede verse condicionado por las características geológicas del terreno, lo que puede limitar su aplicabilidad en ciertas zonas. La obligatoriedad de obtener permisos para realizar las perforaciones necesarias puede alargar los plazos de implementación.

Durante los últimos años, el número de bombas de calor en funcionamiento no ha hecho más que aumentar, sin embargo, cada tipo ha visto su propia evolución. La Figura 3 y la Figura 4, ambos de elaboración propia usando datos del IDAE, muestran la evolución en potencia térmica y número de plantas de los distintos tipos de bombas de calor.

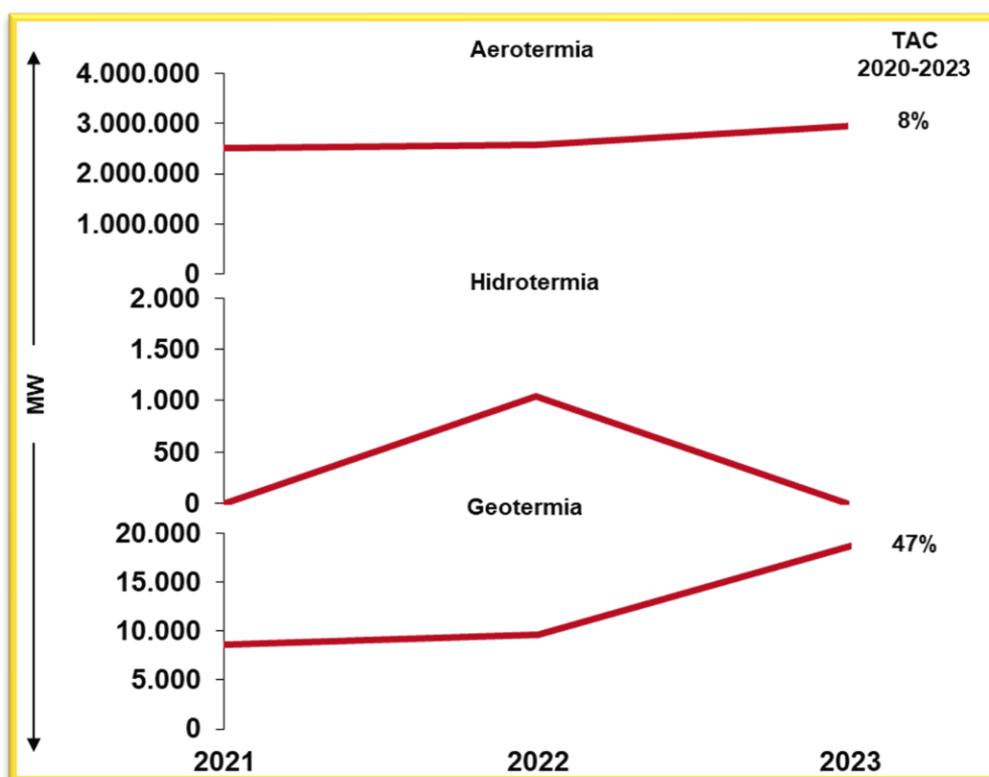


Figura 3. Crecimiento anual de la potencia térmica instalada de los distintos tipos de bombas de calor en España.



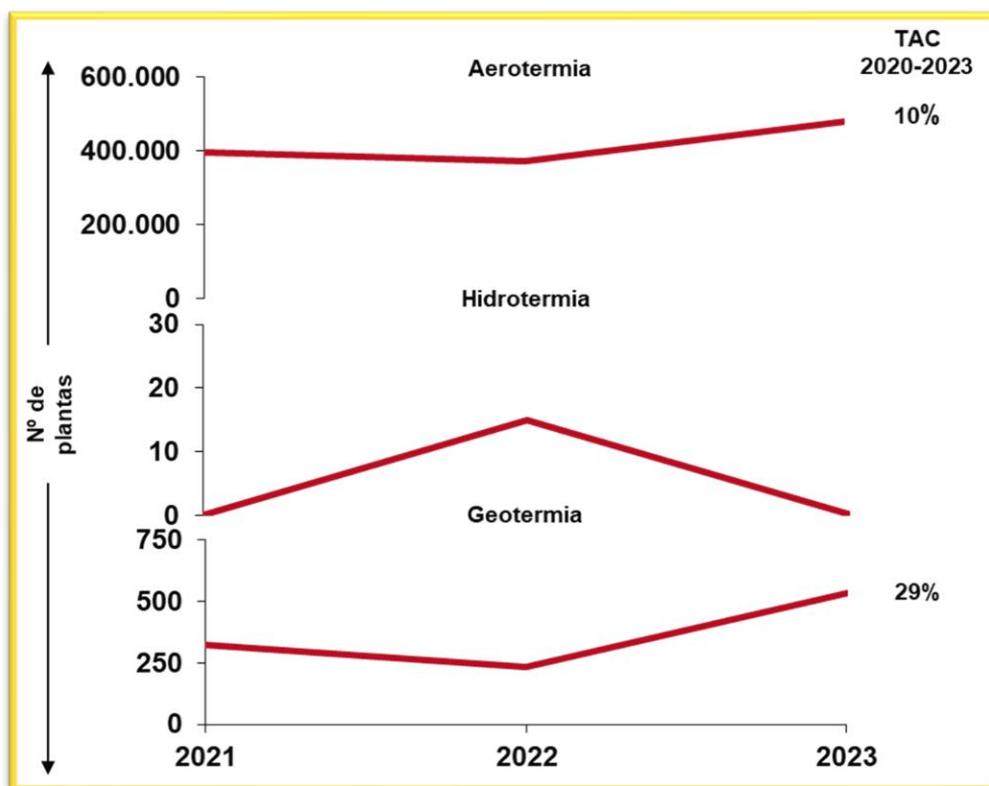
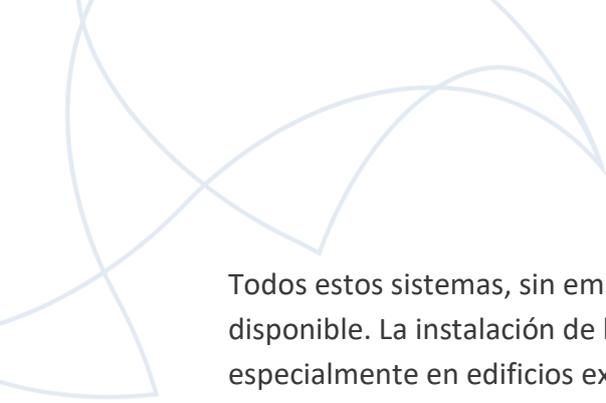


Figura 4. Crecimiento anual del número de plantas de los distintos tipos de bombas de calor en España.

Las bombas de calor aerotérmicas dominan el mercado gracias a su versatilidad y sencillez de instalación, lo que ha impulsado un crecimiento medio anual de la instalación de nuevas plantas del 10% entre 2021 y 2023. Frente a la aerothermia, la hidrotermia sigue infrautilizada, aunque hubo algunas instalaciones en los últimos años. En 2022 se instalaron 15 bombas de calor hidrotérmicas, lo que supuso casi triplicar el parque existente hasta ese momento. Sin embargo, la dificultad de instalación y la dependencia de masas de agua hacen que el uso de estas bombas de calor sea mínimo, reservándose solo para cuando se dan las condiciones idóneas para su instalación. Por último, la geotermia es la tecnología que más está creciendo en los últimos años, registrándose un aumento medio anual de la potencia instalada de un 47% y un incremento del 29% anual en la instalación de nuevas plantas, con una ratio de 47,23 kW por cada unidad instalada.

También se pueden distinguir distintos tipos de bombas de calor según la configuración del sistema y las necesidades de climatización del edificio. En esta división destacan los sistemas individuales Split/Monobloc, los sistemas con flujo de refrigerante variable (VRF por sus siglas en inglés) y los sistemas Rooftop.

- **Sistemas individuales:** son soluciones térmicas que funcionan de manera independiente para climatizar espacios o generar agua caliente en aplicaciones residenciales o de pequeña escala. Este tipo de sistemas, entre los que se encuentran los formatos Split y Monobloc, se caracterizan por tener una estructura relativamente compacta y sencilla, sin necesidad de una red de distribución térmica compleja. En los sistemas Split, la unidad exterior se conecta a una o varias unidades interiores mediante tuberías de refrigerante, mientras que en los Monobloc el ciclo frigorífico completo se encuentra en la unidad exterior y se conecta al interior mediante agua. Su instalación y control son generalmente locales y descentralizados, lo que facilita su implementación en viviendas unifamiliares o pequeños edificios, aunque su capacidad y escalabilidad son limitadas.
- **Sistemas VRF:** son soluciones de climatización centralizadas y altamente flexibles, diseñadas para controlar simultáneamente múltiples zonas dentro de un edificio. Funcionan mediante una o varias unidades exteriores conectadas a un gran número de unidades interiores, distribuyendo el calor o el frío directamente a través de tuberías de refrigerante. La principal ventaja de estos sistemas es su capacidad para modular el caudal de refrigerante según la demanda térmica de cada zona, lo que permite un control individualizado, un alto nivel de eficiencia energética y la posibilidad de funcionamiento simultáneo en modo calor y frío. Gracias a su versatilidad y escalabilidad, los sistemas VRF son especialmente adecuados para edificios comerciales, oficinas, hoteles y centros de uso mixto, donde se requieren prestaciones avanzadas y una distribución térmica precisa.
- **Sistemas Rooftop:** son unidades de climatización autónomas y compactas que concentran todos los componentes necesarios para el acondicionamiento térmico del aire en un único equipo, diseñado para su instalación en la cubierta de los edificios. Estas unidades toman aire del exterior, lo acondicionan y lo distribuyen al interior mediante una red de conductos de aire. Además, muchos equipos Rooftop incorporan funciones de ventilación y recuperación de calor, lo que permite un control más eficiente de la calidad del aire interior. Gracias a su diseño compacto y a su capacidad para tratar grandes caudales de aire, son especialmente adecuados para espacios amplios y abiertos sin muchas subdivisiones como centros comerciales, instalaciones deportivas, naves industriales o edificios de uso terciario.



Todos estos sistemas, sin embargo, cuentan con la misma limitación: el espacio disponible. La instalación de bombas de calor puede suponer un problema de espacio, especialmente en edificios existentes que no fueron diseñados para alojarlas. Estos sistemas requieren la colocación de unidades exteriores e interiores que, dependiendo del tipo y capacidad de la bomba, pueden ocupar un espacio considerable. Además, se necesita espacio adicional para conductos, tuberías y elementos auxiliares.

Otro aspecto que destacar de las bombas de calor es su sinergia con los paneles fotovoltaicos. El único consumo energético que realizan las bombas de calor es eléctrico; por tanto, combinarlas con instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo permite cubrir ese requerimiento con generación renovable in situ. De este modo, la energía solar compensa total o parcialmente la electricidad que demanda la bomba de calor, reduciendo la factura energética y, en muchos casos, llevando a un balance casi nulo de emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la climatización y al ACS. Esta sinergia es más significativa en verano, cuando el pico de radiación solar coincide con el pico de demanda de refrigeración, que en invierno. La Figura 5, de elaboración propia, muestra la irradiancia media y la demanda de calefacción y refrigeración respectivamente, calculadas mediante la metodología de los grados-día (esta metodología se explicará en más detalle más adelante). Para elaborar este gráfico se han usado los datos de 2022 del municipio de Cuenca obtenidos de la AEMET.

Se puede ver cómo, la combinación de fotovoltaica y bomba de calor es más adecuada en verano, perdiendo eficacia en invierno. Esto se puede apreciar también en la Figura 6, de elaboración propia con datos de la AEMET, que muestra la generación fotovoltaica por horas y los grados-hora de refrigeración y calefacción en un día tipo de verano e invierno, respectivamente.

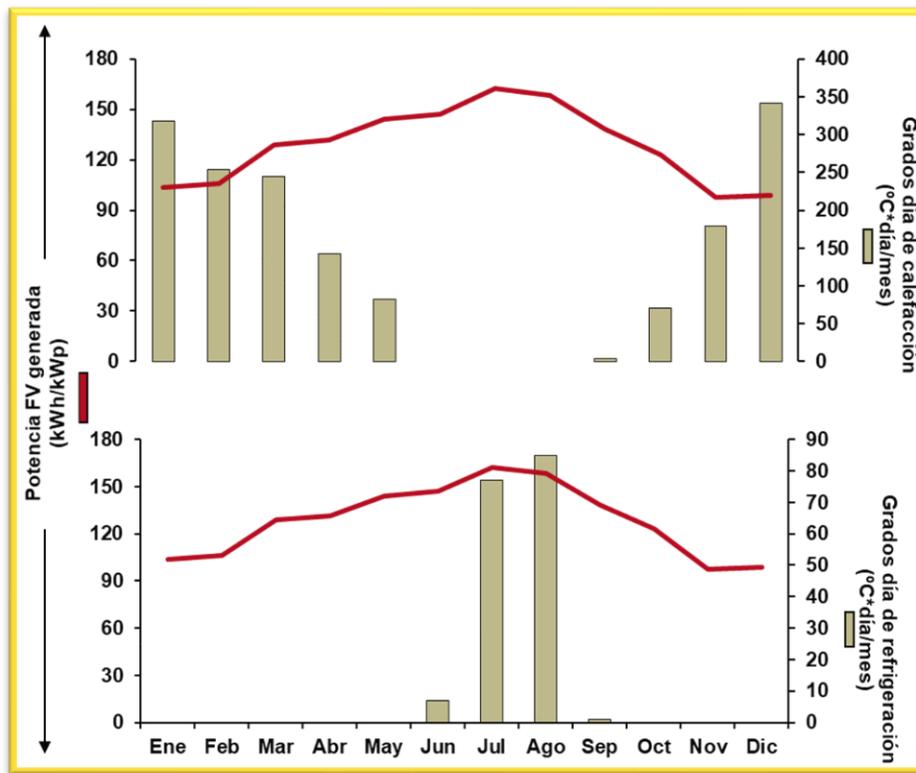


Figura 5. Potencia FV mensual generada frente a los grados día de calefacción y refrigeración en el municipio de Cuenca en 2022.

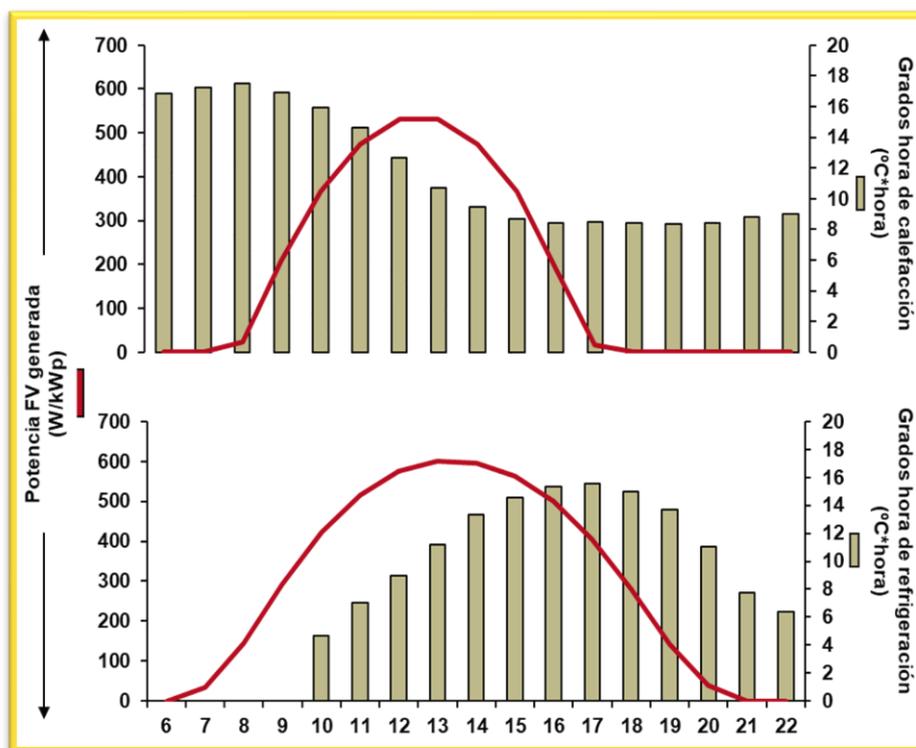


Figura 6. Potencia FV horaria generada frente a los grados hora de calefacción y refrigeración para un día tipo de invierno y verano en el municipio de Cuenca.



## Solar térmica

La energía solar térmica es una tecnología que aprovecha la radiación del sol para generar calor mediante un sistema de captación y transferencia térmica. El elemento clave en este proceso es el colector solar térmico, dispositivo que absorbe la radiación solar incidente y la transfiere a un fluido transmisor de calor que circula por su interior, generalmente agua o anticongelante. Este fluido transmisor de calor es conducido a un intercambiador de calor dónde transferirá su calor a una corriente de agua que circula entre el intercambiador y un tanque acumulador, dónde será almacenada hasta que sea usada. La Figura 7 muestra este proceso.

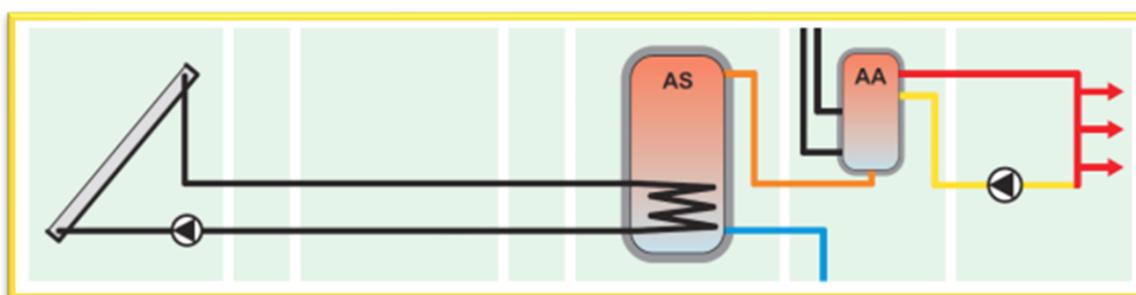


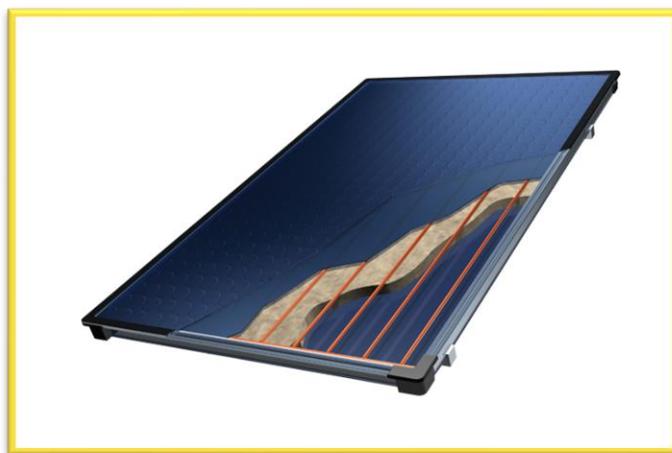
Figura 7. Esquema de una instalación solar térmica típica. (ASIT, 2020).

De forma similar a las bombas de calor, la tecnología solar térmica también puede adaptarse para generar frío, el llamado frío solar. El principio básico del frío solar se basa en el uso de colectores solares térmicos que captan la radiación solar y calientan un fluido. Este calor se utiliza luego en un ciclo de refrigeración por absorción o adsorción, en lugar del ciclo de compresión mecánica que utilizan las bombas de calor. En los sistemas por absorción, por ejemplo, se emplea una mezcla de un refrigerante y un absorbente (como el bromuro de litio), que permite generar un efecto de enfriamiento al evaporar y condensar el refrigerante bajo condiciones específicas de presión y temperatura. A pesar de sus ventajas ambientales y su potencial para reducir el consumo energético, el frío solar no se ha difundido masivamente debido a varios factores. Uno de los principales es el alto coste inicial de instalación, ya que los sistemas requieren colectores solares térmicos de buena calidad, equipos de refrigeración especializados y un diseño técnico preciso. Finalmente, la competencia con tecnologías más consolidadas, como las bombas de calor, que son más baratas y fáciles de instalar, ha dificultado su penetración en el mercado.

Existen distintos tipos de colectores solares, cada uno con características específicas que los hacen más adecuados para ciertas aplicaciones o niveles de temperatura. A continuación, se explorarán los principales tipos de colectores solares térmicos y sus diferencias.

- **Colectores planos**

Un sistema de colectores planos utiliza paneles compuestos por una superficie absorbente y un fluido interno que se calienta con la radiación solar directa e indirecta. Su diseño permite captar calor para aplicaciones de baja a media temperatura, pudiendo ser utilizada para sistemas de calefacción y agua caliente en edificios de uso residencial y comercial. Se puede observar la apariencia típica de estos dispositivos en la Figura 8.



*Figura 8. Colector solar plano (ASIT, 2020).*

Los colectores planos son una tecnología bien establecida y de fácil instalación, especialmente recomendada para climas templados, donde pueden mantener un rendimiento constante a lo largo del año. Sin embargo, presentan algunas limitaciones importantes. Su alta sensibilidad a las pérdidas térmicas reduce considerablemente su eficiencia en climas fríos, especialmente en condiciones de baja temperatura y alta humedad, lo que restringe su uso en regiones con inviernos intensos. Además, esta tecnología es menos eficiente en días nublados o en zonas con baja irradiación solar, lo que puede afectar a su rendimiento en determinadas ubicaciones geográficas.

- **Colectores de tubos de vacío**

Los colectores de tubos de vacío aprovechan tubos de vidrio que contienen un vacío, lo que minimiza las pérdidas de calor y permite captar más energía solar, incluso en condiciones de menor radiación. La Figura 9 muestra el diseño y funcionamiento de estos tubos de vacío.



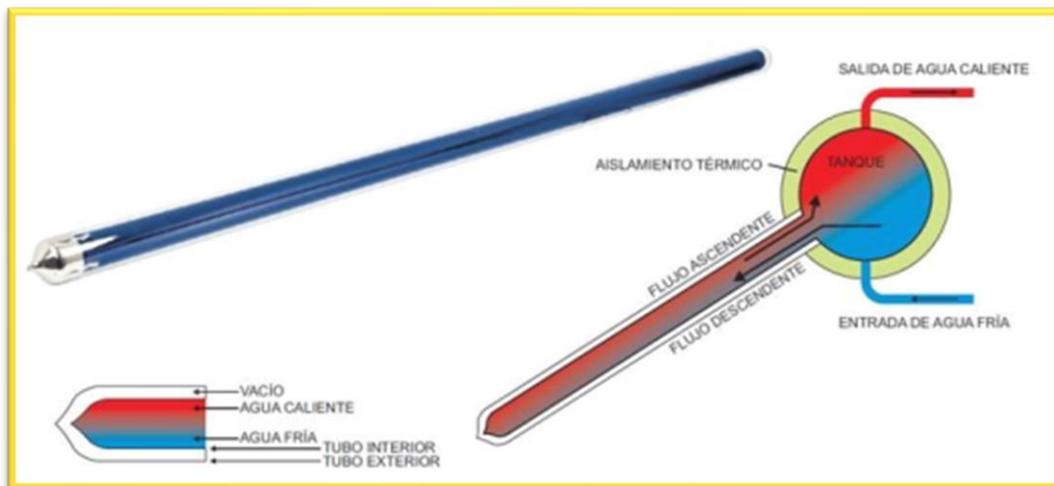


Figura 9. Diseño y funcionamiento de un tubo de vacío (ASIT, 2020).

Los colectores de tubos de vacío están diseñados para maximizar la retención de calor, lo que les permite mantener una alta eficiencia incluso en climas fríos y nublados. Gracias a su diseño, presentan menores pérdidas térmicas en comparación con otras tecnologías, lo que los hace especialmente adecuados para aplicaciones que requieren agua caliente en condiciones de baja irradiación solar. No obstante, presentan algunas desventajas. El coste de instalación de los colectores de tubo evacuado suele ser más elevado que el de los colectores de placa plana, lo que puede suponer una barrera económica para algunos usuarios. Además, su diseño especializado requiere mantenimiento adicional y personal capacitado, lo que incrementa el coste de operación a largo plazo.

- **Fotovoltaica térmica**

La fotovoltaica térmica combina la generación de electricidad con la generación de energía térmica. En este caso, los paneles usados son paneles híbridos que generan simultáneamente electricidad y calor mediante una combinación de células solares y una capa de captación térmica. La Figura 10 muestra los componentes de un panel fotovoltaico térmico.



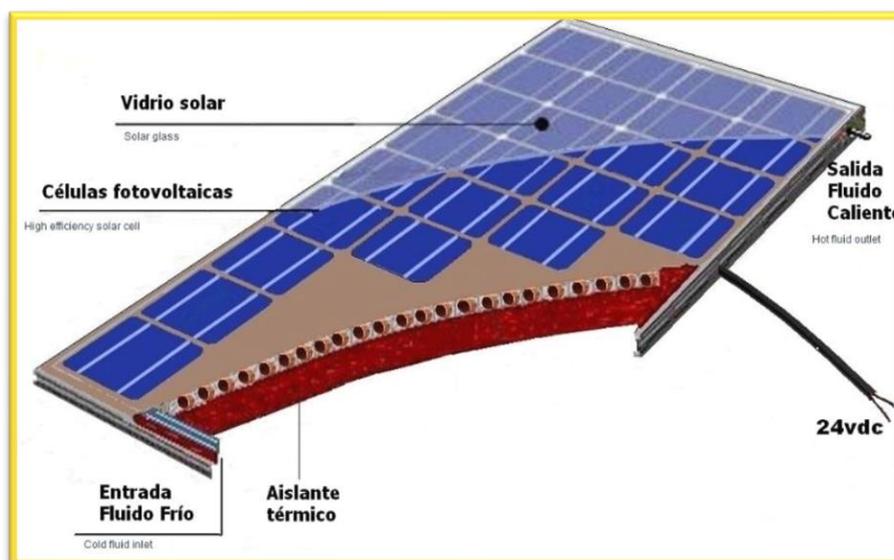


Figura 10. Panel fotovoltaico térmico (Diario Renovables, 2017).

La tecnología solar fotovoltaica térmica presenta una solución interesante para aplicaciones urbanas con limitaciones de espacio, ya que permite una instalación compacta que maximiza el uso del área disponible, especialmente en edificios con necesidades, tanto de electricidad como de ACS. Esta versatilidad la hace atractiva en entornos donde el aprovechamiento del espacio es crucial. Sin embargo, también tiene ciertas limitaciones. Su eficiencia es inferior a la de los sistemas especializados en la generación exclusiva de electricidad o de calor, lo que puede hacerla menos competitiva en instalaciones que requieren un alto rendimiento en alguno de esos aspectos. Además, el coste inicial de inversión es elevado, lo que puede representar un obstáculo importante en proyectos con presupuestos ajustados.

### Calderas de biocombustibles

Las calderas de biocombustibles son equipos térmicos diseñados para generar energía calorífica mediante la combustión controlada de materia orgánica. Su principio de funcionamiento se basa en un proceso de combustión, en el que se aprovecha el poder calorífico del biocombustible para transferir calor a un fluido térmico, habitualmente agua. Este calor puede ser utilizado en sistemas de climatización o en circuitos de producción de ACS. Estas calderas se caracterizan por una elevada eficiencia energética, una regulación precisa de la combustión y una significativa reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> neto, al tratarse de una fuente de energía renovable enmarcada en un ciclo de carbono cerrado. Además, el uso de biocombustibles fomenta la independencia energética, al disminuir la dependencia del gas natural importado, que actualmente alcanza el 99% (Eurostat, 2023), lo que contribuye positivamente a la balanza energética nacional.





Actualmente, el biocombustible más usado es la biomasa. Las calderas de biomasa utilizan biocombustibles sólidos como pellets, astillas y otros residuos orgánicos para generar calor mediante la combustión. Las calderas de biomasa ofrecen numerosas ventajas, tanto desde el punto de vista ambiental como económico y social. Entre sus beneficios destaca que las emisiones generadas no son contaminantes, gracias a su bajo contenido en azufre, nitrógeno y cloro, lo que las convierte en una alternativa más limpia frente a los combustibles fósiles. Además, permiten aprovechar materiales residuales, como restos de poda o limpieza forestal, contribuyendo así a reducir el riesgo de incendios, combatir la propagación de plagas y enfermedades y transformar residuos en recursos útiles. Desde el punto de vista económico, su implementación genera empleo en el medio rural y fortalece la economía local, ayudando a frenar la despoblación. También es destacable que el coste del combustible es estable y, generalmente, menor que el de los combustibles fósiles, lo que reduce la dependencia de mercados internacionales y su volatilidad. No obstante, también presentan algunas desventajas. Requieren espacio para el almacenamiento del combustible, lo que puede ser un inconveniente en ciertos entornos, y el suministro de biomasa puede no ser constante debido a la escasa infraestructura de distribución. Aunque genera menos contaminantes que el gas o el gasóleo, la biomasa genera más partículas, si bien se mantienen dentro de los límites legales. Por último, estos sistemas implican cierta gestión de cenizas, ya que, según la calidad del biocombustible, estas pueden suponer hasta un 1% del volumen de combustible consumido (IDAE, 2009).

Según el IDAE la experiencia con la biomasa en sistemas de calefacción muestra que, aunque la inversión inicial puede ser mayor que la de sistemas de gas o gasóleo, el ahorro acumulado a largo plazo justifica esta elección. El sistema de calefacción con biomasa resulta plenamente competitivo con el gas natural a partir del 4º año y en un período de 15 a 20 años de vida útil, la biomasa es una opción mucho más rentable. Además, la biomasa ofrece un ahorro energético superior al 10% en comparación con combustibles fósiles y en el contexto de edificios residenciales y comerciales se ha mostrado eficaz para la reducción de costes.

### **Tecnologías de distribución y almacenamiento**

La descarbonización de la climatización y ACS no depende únicamente de la sustitución de los sistemas de generación, sino que también requiere actuar sobre los elementos encargados de distribuir y almacenar la energía. Mejorar la eficiencia de estas tecnologías es clave para reducir las pérdidas energéticas, optimizar el aprovechamiento de fuentes renovables y garantizar un funcionamiento más sostenible del conjunto del sistema. En este sentido, la innovación en redes de



distribución y acumuladores térmicos desempeña un papel fundamental en la transición hacia un modelo más limpio y eficiente.

### Redes de Distrito

Los sistemas centralizados de climatización, que incluyen la producción de calor y/o frío, se basan en redes de distrito: una infraestructura de tuberías que conecta diversas fuentes de energía con múltiples puntos de consumo. A nivel mundial, uno de los principales alicientes para la instalación de estos sistemas es la utilización de la energía térmica residual, que de no aprovecharse se desperdiciaría. Entre las fuentes aprovechadas se encuentran las plantas de cogeneración, los data-centers, los procesos industriales, los recursos geotérmicos y las plantas de tratamiento de aguas residuales. La Figura 11 muestra un esquema de los generadores y consumidores en una red de distrito.

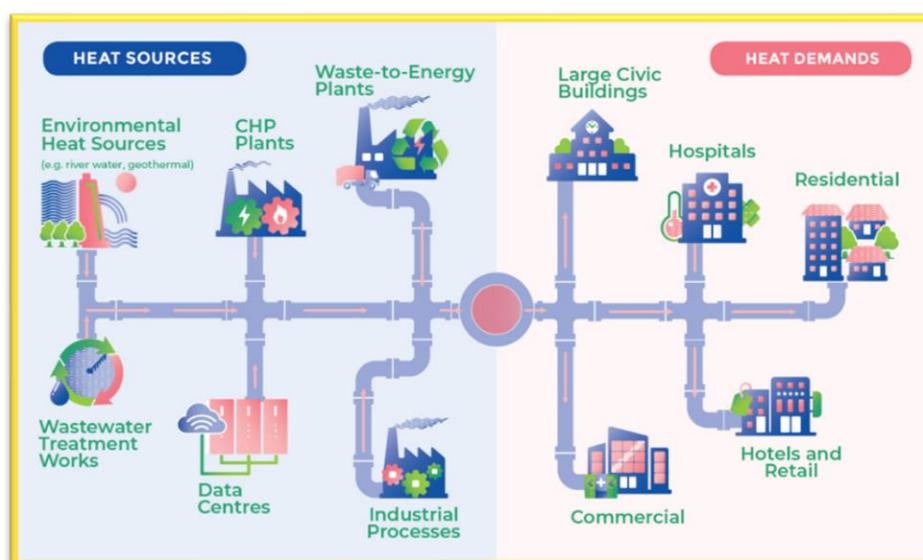
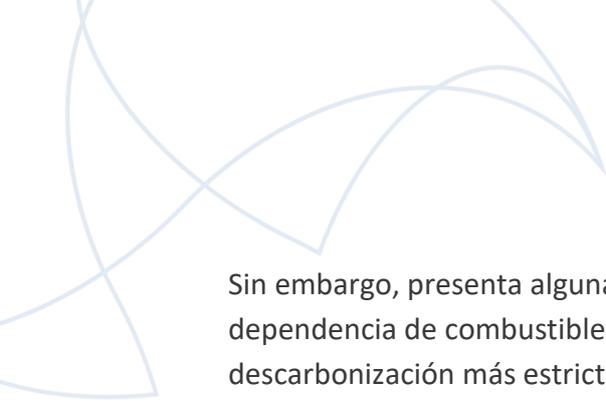


Figura 11. Productores y consumidores en una red de distrito (Interreg, s.f.).

El sistema ofrece importantes ventajas, como la mejora de la eficiencia energética al aprovechar fuentes de energía localmente disponibles y la reducción de emisiones en comparación con sistemas de calefacción individuales. Además, las políticas de zonificación permiten designar áreas específicas para redes de calefacción urbana, optimizando así el despliegue y adaptándolo a la infraestructura local existente. La inclusión de comunidades energéticas locales puede generar apoyo público y financiamiento para proyectos renovables, permitiendo que la comunidad participe y se beneficie directamente de los sistemas de calefacción. Esto asegura que los ingresos permanezcan en la región y contribuyan a una transición justa, abordando además la pobreza energética a nivel local.





Sin embargo, presenta algunas debilidades: la alta inversión inicial o la posible dependencia de combustibles fósiles. Además, el cambio regulatorio hacia políticas de descarbonización más estrictas podría exigir mayores porcentajes de energía renovable o cero emisiones, lo que afectaría a los sistemas de calor de distrito que aún dependen, en alguna medida, de combustibles fósiles.

### Sistemas de almacenamiento térmicos

La creciente penetración de fuentes de energía renovables en los sistemas energéticos plantea nuevos retos relacionados con la gestión de la disponibilidad temporal de la energía. Tecnologías como la solar térmica o la fotovoltaica presentan una producción no siempre alineada con los perfiles de consumo, lo que genera desajustes entre oferta y demanda. En este contexto, los sistemas de almacenamiento de energía térmica (TES, por sus siglas en inglés) desempeñan un papel fundamental al permitir desacoplar temporalmente la generación y el uso de la energía. Mediante la acumulación de calor en medios con alta capacidad térmica, estos sistemas contribuyen a maximizar el aprovechamiento de los recursos renovables, mejorar la eficiencia energética y reducir la necesidad de apoyo mediante fuentes convencionales. Su implementación resulta clave para avanzar hacia un modelo energético más flexible, resiliente y bajo en emisiones. Según dónde se almacene la energía se distinguen los siguientes tipos de TES:

- **Sistemas de almacenamiento de energía térmica en tanques (TTES)**

Los TTES consisten en tanques subterráneos de hormigón reforzado, material aislante por su baja conductividad, llenos de agua, usados para almacenar energía térmica. Almacenan calor de manera estacional o a corto plazo para redes de calefacción, permitiendo la disponibilidad de energía térmica en momentos de alta demanda.

Estos sistemas se caracterizan por su flexibilidad en la ubicación y su alta capacidad de almacenamiento lo que los convierte en una opción excelente para sistemas de calefacción de distrito, incluso en zonas densamente pobladas. Además, su construcción, relativamente sencilla, y la posibilidad de reutilizar agua como medio de almacenamiento favorecen una integración eficaz con fuentes de energía renovables. Sin embargo, estos sistemas también presentan desafíos, como la necesidad de grandes superficies de terreno para instalaciones de gran volumen, una limitación significativa en contextos urbanos, así como costes iniciales elevados y pérdidas térmicas durante el almacenamiento, que deben ser cuidadosamente gestionadas para garantizar su viabilidad técnica y económica.



- **Sistemas de almacenamiento de energía térmica en fosas (PTES)**

Los PTES consisten en pozos artificiales llenos de agua o grava y cubiertos para conservar el calor. Su objetivo es almacenar grandes volúmenes de energía térmica para sistemas de calefacción de distrito, especialmente en aplicaciones de almacenamiento estacional.

Los PTES son una opción económica para almacenar grandes cantidades de energía térmica a un coste relativamente bajo. Su estructura subterránea permite un uso eficiente de terrenos en áreas suburbanas, aprovechando espacios que serían difíciles de utilizar para otros fines. Sin embargo, su implementación en áreas urbanas densas puede ser complicada debido a que requieren grandes áreas de superficie y excavación, lo que puede generar dificultades logísticas y altas inversiones. Además, los PTES son vulnerables a la pérdida de calor si el aislamiento no es óptimo, lo que puede reducir su eficiencia. A pesar de sus ventajas, la instalación inicial de estos sistemas puede ser costosa, lo que representa otro desafío para tener en cuenta en su implementación.

- **Sistemas de almacenamiento de energía térmica en sondeos (BTES)**

Los BTES utilizan el subsuelo rocoso como medio de almacenamiento térmico mediante perforaciones verticales y sondas geotérmicas. Su objetivo es almacenar calor a largo plazo en sistemas de calefacción de distrito, usando el suelo como depósito térmico para maximizar la eficiencia energética.

Estos sistemas ofrecen una alta capacidad de almacenamiento con menos pérdida de calor en comparación con otros sistemas, gracias a la estabilidad térmica del subsuelo. Esta característica los hace especialmente eficientes y adecuados para su integración en edificios comerciales o residenciales, siendo una opción destacada en países fríos, donde la demanda de calefacción es alta. Sin embargo, la instalación de un sistema BTES requiere perforaciones profundas en el terreno, lo que puede presentar desafíos técnicos relacionados con la geología local, como variaciones en la composición del suelo. Además, la inversión inicial es considerable y la rentabilidad de estos sistemas depende, en gran medida, de la estabilidad del suelo y las características térmicas del lugar, lo que debe ser evaluado cuidadosamente antes de la instalación.



- **Sistemas de almacenamiento de energía térmica en acuíferos (ATES)**

Los ATES utilizan capas de roca subterráneas acuíferas para almacenar calor, permitiendo el flujo de agua entre pozos perforados.

Estos sistemas ofrecen una gran capacidad de almacenamiento con mínimas pérdidas de calor, debido a la capacidad del agua subterránea para retener eficazmente la energía. Esta característica los hace viables para su aplicación en grandes edificios y redes de calefacción urbana, especialmente en áreas que cuentan con acuíferos adecuados. Sin embargo, la implementación de un sistema ATES depende de la disponibilidad de acuíferos con las características geológicas adecuadas, así como de las regulaciones locales, ya que puede haber impactos ambientales sobre el acuífero si no se gestionan adecuadamente. Además, la instalación inicial suele ser costosa y las variaciones de temperatura en el subsuelo pueden afectar la eficiencia del sistema, por lo que es fundamental realizar un análisis detallado antes de su implementación.

## Casos de éxito

### Proyecto ATELIER

El Proyecto ATELIER es una iniciativa de ciudades inteligentes que busca transformar Ámsterdam y Bilbao en Distritos de Energía Positiva (PEDs, por sus siglas en inglés), es decir, áreas urbanas que producen más energía de la que consumen. En Bilbao, el distrito de demostración se localiza en Zorrotzaurre, donde el PED se desarrollará en tres zonas: norte, centro y sur. Estas áreas están conectadas por un circuito de intercambio geográfico que utiliza energía renovable geotérmica e hidrotermal para cubrir la demanda térmica local y exportar el excedente al resto de la isla y, eventualmente, más allá. El proyecto, financiado por la UE a través del programa “Horizonte 2020”, en el marco “Societal Challenges – Secure, clean and efficient energy”, tiene un coste total de 21.870.550 euros, de los cuales 19.607.835 provienen de fondos europeos.

En Zorrotzaurre se ha implementado una red de distrito energético que combina geotermia, energías renovables y sistemas inteligentes de gestión. La infraestructura incluye perforaciones profundas, anillos geotérmicos y bombas de calor que extraen energía del subsuelo para abastecer los sistemas de climatización de los edificios, conectados mediante subestaciones de intercambio térmico que mantienen la separación hidráulica. La red cuenta con tecnologías de control avanzadas que regulan, en tiempo real, el suministro de calor y frío según la demanda, permitiendo usos simultáneos. También se han instalado paneles solares, turbinas eólicas y tecnologías





de eficiencia energética, así como baterías avanzadas que permiten almacenar el excedente de energía renovable para su uso en momentos de alta demanda o baja producción.

Los resultados esperados con las actuaciones en las dos ciudades piloto son la creación de un excedente energético de 1.340 MWh de energía primaria, la reducción de 1,7 ktn de emisiones de CO<sub>2</sub> y 23 t de emisiones de NO<sub>x</sub> y la elaboración de una Visión Energética de la ciudad para el año 2050 que sirva como hoja de ruta para futuras iniciativas de sostenibilidad.

### **Proyecto ARV**

El Proyecto ARV tiene como objetivo demostrar y validar soluciones atractivas, resilientes y asequibles para la rehabilitación energética profunda de edificios. En Palma de Mallorca, el proyecto se centra en el Distrito de Innovación de Llevant, un área de 93 hectáreas que incluye edificios residenciales, terciarios y educativos. Las acciones clave que realizar en el distrito se resumen en estas iniciativas. En primer lugar, se está llevando a cabo una rehabilitación a gran escala en La Soledat Sud, que abarca 250 viviendas privadas, mediante un mecanismo de colaboración público-privada. Además, se ha promovido un nuevo edificio de vivienda social de energía positiva con 36 apartamentos, impulsado por IBAVI. También se están desarrollando edificios residenciales multifamiliares de alta eficiencia, con dos bloques piloto que suman 114 y 88 apartamentos, respectivamente. Asimismo, se ha impulsado la creación de una Comunidad Energética Ciudadana, CEC, un mecanismo innovador y autofinanciado que facilita el despliegue de energías renovables utilizando cubiertas públicas y privadas disponibles en la zona. Por último, se ha creado y dinamizado Es Laboratori, un laboratorio vivo de cocreación colaborativa enfocado en avanzar hacia la transición energética y la justicia social. El proyecto, financiado por la UE a través del programa “Horizonte 2020”, en el marco “Societal Challenges – Secure, clean and efficient energy”, tiene un coste total de 21.316.651 euros, de los cuales 19.998.408 provienen de fondos europeos.

Este proyecto aún se encuentra en desarrollo, pero ya ha generado resultados destacados, como el diseño de una herramienta de realidad virtual que permite a los usuarios visualizar y personalizar las acciones regenerativas previstas en el distrito, con el objetivo de involucrarlos activamente en su transformación. En el edificio GESA se han implementado soluciones de energía fotovoltaica integrada en edificios, BIPV por sus siglas en inglés, sustituyendo ocho vidrios originales por paneles experimentales opacos y transparentes basados en distintas tecnologías. Estos se evaluarán durante, al



menos, un año para analizar su rendimiento energético, integración arquitectónica y aceptación estética.

### **Plan Rehabilita y Plan Transforma Tu Barrio**

El Plan Rehabilita subvenciona obras para la mejora de la accesibilidad, conservación, eficiencia energética y salubridad en edificios residenciales y viviendas unifamiliares. El Plan Transforma Tu Barrio es un programa para completar la rehabilitación de barrios con menos capacidad económica, lo que permite a los vecinos alcanzar mayores porcentajes de subvención para llevar a cabo acciones de regeneración urbana, priorizando la accesibilidad, conservación, salubridad y eficiencia energética. En 2023 estos planes estuvieron dotados con 52,4 millones de euros entre los dos.

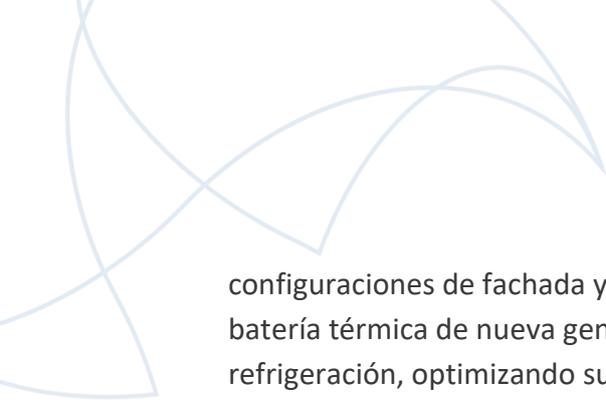
Hasta el 11 de noviembre de 2023, gracias a estos planes, casi el 90% de los 107 bloques del barrio de Orcasitas habían sido renovados, lo que ha permitido mejorar el confort de 1.800 viviendas y beneficiará a un total de 3.127 familias. Las intervenciones han logrado reducir las emisiones entre un 58% y un 70%, con mejoras energéticas que han supuesto saltos de hasta dos letras en la calificación, lo que ha permitido que el barrio alcance el estatus de consumo de energía casi nulo. Las actuaciones incluyen la renovación de la envolvente térmica, con mejoras de, al menos, una letra en la demanda energética anual de calefacción o reducciones del 30% respecto a la situación previa, así como la instalación o mejora de sistemas de calefacción, refrigeración, producción de agua caliente y ventilación, entre otras medidas para aumentar la eficiencia energética y reducir los costes asociados.

### **Proyecto StepUP**

El Proyecto StepUP ha desarrollado una nueva metodología de rehabilitación profunda, un conjunto de herramientas digitales y una gama de tecnologías de rápida y sencilla colocación, conexión y uso (Plug & Play) para transformar el mercado de la rehabilitación energética e impulsar la descarbonización de los edificios existentes. Las innovaciones tecnológicas del proyecto se han aplicado a dos tipologías diferentes de edificios en España y Hungría. El proyecto ha contado con un presupuesto de 4.645.605 euros, de los que la UE ha aportado 3.692.578.

El Proyecto StepUP ha creado una guía, paso a paso, para directores de proyectos y otros actores implicados en procesos de rehabilitación profunda. En este marco, se han diseñado dos tecnologías clave: una envolvente de fachada modular y una solución energética innovadora que permite un consumo flexible. El sistema de envolvente Plug & Play utiliza paneles premontados que integran ventanas y componentes para sistemas técnicos activos y pasivos, adaptables a distintas





configuraciones de fachada y limitaciones logísticas. Además, se ha implementado una batería térmica de nueva generación capaz de almacenar energía para calefacción o refrigeración, optimizando su uso mediante herramientas de datos para producir y consumir energía de la manera más eficiente. En cuanto a la aplicación práctica, el primer piloto español se llevó a cabo en la Universidad de Navarra, con la instalación de 36 módulos de fachada Plug & Play en dos celdas de prueba. El segundo piloto se realizó en un edificio polivalente del Grupo ACR en Pamplona, donde se integró un sistema de refrigeración basado en un tanque de almacenamiento de energía fría conectado a la unidad HVAC existente, demostrando la viabilidad de este enfoque sin necesidad de modificar la infraestructura previa.

### **Proyecto SmartEnCity**

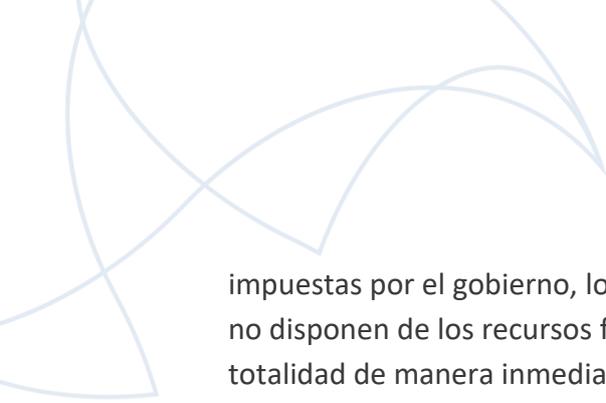
El Proyecto SmartEnCity tiene como objetivo la creación de ciudades inteligentes con cero emisiones de carbono, que sean más sostenibles e inclusivas, mejoren la calidad de vida de los ciudadanos, creen empleo y riqueza y ofrezcan igualdad de oportunidades de crecimiento. Este proyecto realizó actuaciones en tres ciudades: Vitoria-Gasteiz, Tartu y Sonderborg. En el caso de Vitoria-Gasteiz, el proyecto se materializó mediante la rehabilitación energética del barrio de Coronación, que se eligió por haber sido identificado como el barrio de mayor prioridad dentro del inventario de los barrios más vulnerables, desde el punto de vista social y en habitabilidad, accesibilidad y eficiencia energética. Se trató de un proyecto de regeneración del barrio, en torno a tres grandes ejes: rehabilitación de la envolvente, la instalación de un sistema central de calefacción y agua caliente alimentado con leña y la rehabilitación del espacio público. El presupuesto total del proyecto, que incluye las tres ciudades, fue de 75.565.000 euros, de los que la subvención de la Comisión Europea cubrió 27.890.136 euros. En el caso de Vitoria-Gasteiz, se consignó un total de 29.566.798 euros, de los que la subvención cubrió 10.879.960 euros.

Gracias a las actuaciones realizadas se lograron los siguientes resultados: rehabilitación de 1.808 viviendas en 95 edificios, ahorros de energía equivalentes a 8,46 GWh anuales y reducción de las emisiones de GEI equivalentes a 11,39 ktn de CO<sub>2</sub> anuales. Para las viviendas rehabilitadas, las actuaciones supusieron un 89% de reducción en el consumo de energía primaria no renovable y una reducción de entre el 15% y el 20% en los gastos de calefacción y ACS.

### **Proyecto FitHome**

FitHome es un proyecto europeo que implementa un modelo de financiación On-Tax para rehabilitación de viviendas en Holanda. Un modelo de financiación On-Tax implica que los costes del proyecto se recuperan a través de impuestos o tarifas obligatorias





impuestas por el gobierno, lo que facilita el acceso a estas reformas a propietarios que no disponen de los recursos financieros necesarios para financiar el proyecto en su totalidad de manera inmediata. Este proyecto ha contado con un presupuesto de 1.245.431 euros, de los cuales 887.812 euros han sido aportados por la UE.

Gracias a este proyecto se han rehabilitado más de 100 viviendas en distintos municipios de los Países Bajos. El coste de estas rehabilitaciones ronda los 15-20 mil euros por vivienda, que gracias al instrumento de financiación On-Tax serán pagados por los propietarios de las viviendas durante 30 años en forma de impuestos. Desafortunadamente, para aplicar un modelo similar en España se necesitaría una reforma de la Ley de Hacienda.

### **Casos reales de éxito del IDAE**

A continuación, se detallan dos casos reales de implementación de medidas activas para la rehabilitación de edificios. Estos casos han sido extraídos de documentos del IDAE.

#### **Rehabilitación de un bloque de viviendas**

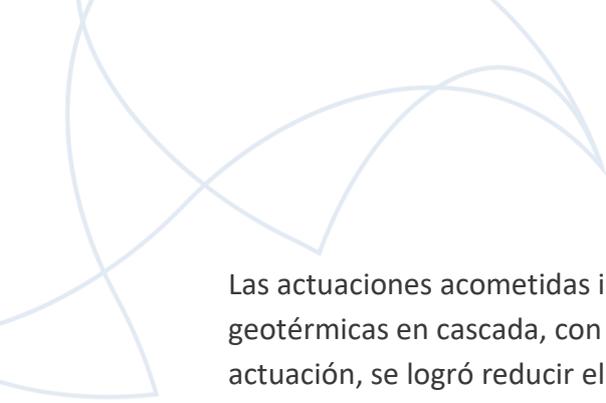
En A Coruña se rehabilitó un bloque compuesto por 20 viviendas, 4 oficinas y 2 locales comerciales construido en 1980. Este bloque cubría sus necesidades de calefacción y ACS mediante dos calderas de gasóleo, consumiendo una media de 33.998 litros al año, lo que suponía un coste anual de 26.031 euros.

Las actuaciones realizadas incluyen la instalación de bombas de calor aire-agua en cascada, con una potencia nominal de 190 kW y un campo solar fotovoltaico en cubierta para proveer de electricidad a estas bombas de calor. La actuación tuvo un coste total de 371.234 euros y gracias a ella se logró una reducción en los costes de calefacción y ACS de 16.249 euros, un 62%, lo que supone que la actuación tendría un payback de 23 años. Además, se logró una reducción del 77% de la energía final consumida y se disminuyó un 80% las emisiones de CO<sub>2</sub>.

#### **Rehabilitación de edificios centrales de un polígono industrial**

En O Porriño, Pontevedra, se realizó la rehabilitación de un conjunto de 4 edificios del polígono industrial de A Granxa. Estos edificios utilizaban calderas de gas natural para la calefacción y una enfriadora para las necesidades de refrigeración. De esta manera, se consumían 240 MWh anuales entre calefacción y refrigeración.





Las actuaciones acometidas incluyen la instalación de tres bombas de calor geotérmicas en cascada, con una potencia nominal de 270 kW. Gracias a esta actuación, se logró reducir el consumo anual de energía para calefacción y refrigeración en 175 MWh, un 73%.

# Análisis tecno-económico de sustitución de medidas activas

Metodología para el análisis de  
medidas activas en la rehabilitación  
de edificios para un plan de  
climatización municipal



**FUNDACIÓN  
RENOVABLES**

## Análisis tecno-económico de sustitución de medidas activas

### Contexto y metodología aplicada

La presente metodología tiene como objetivo servir de guía estructurada para la elaboración de planes municipales de climatización, permitiendo a los ayuntamientos disponer de una herramienta diagnóstica y estratégica que fundamente sus políticas en materia de transición energética, eficiencia térmica y reducción de emisiones. La metodología parte de una visión integral del parque edificatorio, del entorno climático, de la evolución de precios energéticos y de las dinámicas del mercado de calefacción y refrigeración, proponiendo un enfoque robusto, pero adaptable a la realidad de cada municipio. En la propia descripción de la metodología se ha incluido el caso de aplicación que se ha realizado para el municipio de Cuenca.

El análisis realizado se apoya en una serie de datos:

- Solo se ha tenido en cuenta el cambio de fuentes de energía no renovable.
- La única tecnología estudiada que instalar son las bombas de calor (incluidas las redes de calor).
- Solo se sustituye un equipo una vez haya finalizado su vida útil, a no ser que el cambio de equipo sea muy rentable (periodo de retorno simple (PRS) inferior a 3 años).
- Se ha optado por no incluir el sector industrial en el análisis, dado que sus demandas térmicas presentan características, usos y tecnologías muy específicas, cuya integración en esta metodología requeriría una línea de trabajo adicional. La presente guía se centra así en el parque residencial y terciario, que representan una gran parte de la demanda.

Se han asumido algunas simplificaciones y limitaciones en la metodología aplicada al caso específico de Cuenca derivadas de la disponibilidad limitada de datos. Estas son:

- Para los consumos térmicos de calefacción, debido a la falta de datos para calcular la demanda a través del método de los grados día que se explica en la metodología, se han usado los datos proporcionados por la Plataforma de Datos Abiertos para impulsar la regeneración urbana en España (Urban3R).



- El cálculo del consumo de ACS se ha llevado a cabo mediante la media nacional del sector residencial obtenida del balance energético del IDAE.

Debido a la escasez de datos detallados a escala local, muchos de los ejemplos incluidos en el documento, especialmente los referidos al municipio de Cuenca, deben entenderse como de carácter orientativo, útiles para mostrar la lógica y las posibilidades del análisis, pero no necesariamente representativos de una situación exacta o definitiva.

El objetivo principal es ofrecer una estructura metodológica que cada municipio pueda adaptar a su realidad, integrando nuevos datos a medida que estén disponibles y refinando los cálculos para lograr mayor precisión.

En definitiva, esta metodología proporciona un marco de trabajo útil para caracterizar el estado actual del parque térmico municipal, identificar oportunidades de mejora y definir políticas públicas adaptadas a cada contexto. Aunque basada en hipótesis simplificadas, la metodología mantiene el rigor técnico necesario para fundamentar estrategias locales de descarbonización térmica, facilitando la toma de decisiones informadas y promoviendo actuaciones realistas y efectivas.

## Recopilación de información y datos básicos

El objetivo del presente apartado es establecer una base metodológica para la estimación del consumo energético y las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) asociadas a los sistemas de climatización en los edificios de un municipio. Esta información resulta esencial para identificar oportunidades de mejora en términos de eficiencia energética y reducción de emisiones, así como para priorizar intervenciones potenciales de sustitución de sistemas térmicos y su impacto.

Para ello será necesario obtener los siguientes tipos de datos:

- Base de datos de edificios
- Base de datos de instalaciones térmicas
- Determinación de las horas de uso de calefacción/refrigeración
- Cálculo de la demanda de energía, consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub>



- Datos del mercado de calderas
- Evolución de precios de los combustibles
- Situación actual del municipio y reunión con *stakeholders*

### Base de datos de edificios

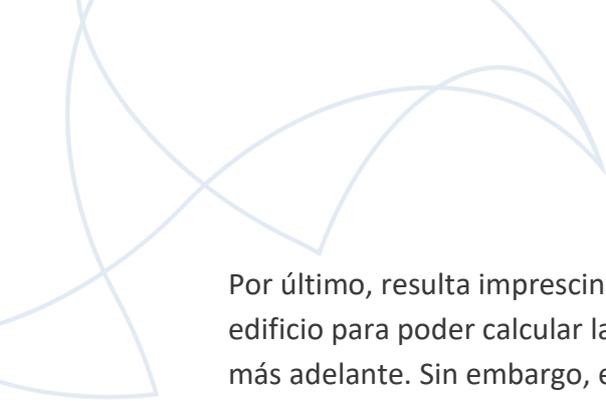
Esta metodología tiene como eje central una base de datos de edificios del municipio. En torno a esta base de datos se van a ejecutar todos los cálculos, desde la caracterización de sistemas térmicos existentes, hasta la evaluación del impacto de las sustituciones potenciales.

La base de datos de edificios debe permitir localizar los edificios en un programa de análisis geográfico, estimar la superficie climatizada y el coeficiente de pérdidas térmicas de la envolvente del edificio. Estos datos se pueden obtener mediante la base en abierto del Catastro Inmobiliario, desde los Servicios INSPIRE de Cartografía Catastral ([Catastro Inspire](#)). En concreto:

Datos	Descripción
Ubicación de la parcela (coordenadas)	El catastro incluye puntos georeferenciados de la parcela, tanto del eje X como del eje Y. Mediante el uso de una API se podría traducir estos puntos en una dirección postal (con calle y número del edificio).
Superficie construida [m <sup>2</sup> ]	La superficie construida supone la base del cálculo de la superficie climatizada. Este valor impacta directamente en el cálculo de la demanda de calor y frío. Se puede obtener sumando la superficie de los inmuebles en la parcela.
Número de inmuebles en la parcela	Este número nos permite distinguir edificios residenciales unifamiliares de bloques de viviendas. Cuando se cruce con la base de datos de sistemas térmicos, permitirá, además, identificar los edificios multifamiliares con sistemas térmicos centralizados.
Uso principal	El uso principal permite diferenciar entre edificios residenciales y terciarios.
Uso no climatizado	Dentro de la superficie total construida pueden tenerse en cuenta espacios no climatizados, como almacenes, garajes, zonas comunes etc. El catastro permite identificar estos espacios, lo que facilita hacer más preciso el valor de la superficie construida considerada.

Tabla 1. Conjunto de datos que recopilar de los edificios a través del catastro.





Por último, resulta imprescindible conocer el coeficiente de pérdidas térmicas del edificio para poder calcular la demanda de calor y refrigeración, tal y como se detallará más adelante. Sin embargo, este dato es difícil de obtener, ya que requiere de un análisis detallado de cada edificio. Por eso se puede realizar una estimación de este coeficiente de pérdidas, asumiendo que los edificios de nueva construcción van a realizar el mínimo esfuerzo para cumplir con el Código Técnico de Edificación (CTE) en vigor. Así, se pueden agrupar en clústeres los edificios de un mismo tipo y que se hayan construido en el período de vigencia de una de las actualizaciones del CTE. Este método es utilizado, entre otros, en la Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en España (MITMA, 2020). Así pues, asumiendo la composición de la envolvente de los edificios, se podría asumir un coeficiente de pérdidas para cada clúster.

### **Base de datos de instalaciones térmicas**

Para complementar la base de datos de edificios, resulta imprescindible conocer el tipo de sistemas térmicos instalados. Por eso, también será necesario elaborar una base de datos de las instalaciones térmicas presentes en los edificios del municipio. Esta información puede obtenerse a partir de los registros de inspección y mantenimiento que recopila la Comunidad Autónoma en cumplimiento del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

La Figura 12 muestra los datos requeridos para realizar el registro de mantenimiento en la Comunidad de Castilla-La Mancha. Se puede identificar el tipo de equipo instalado, ya que, según el servicio online para realizar la certificación de una nueva instalación térmica, la lista de combustibles posibles incluye: Gasóleo, GLP, Gas Natural, Geotermia, Aerotermia y Otros.



	Consejería de Fomento Servicio de Industria y Energía	<b>CERTIFICADO DE MANTENIMIENTO DE          INSTALACIONES TÉRMICAS</b>	
	N° Registro Instalación:	Real Decreto 1027/2007, de 20 julio. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios	
<b>TITULAR DE LA INSTALACIÓN</b>			
Nombre y Apellidos o Razón Social:		N.I.F. / C.I.F.	
Calle :	Nº:	Piso :	Puerta :
Localidad:	C.P.		Provincia:
<b>EMPLAZAMIENTO DE LA INSTALACIÓN</b>			
Calle:	Nº:	Piso :	Puerta :
Localidad:			Provincia:
<b>EMPRESA MANTENEDORA HABILITADA / PROFESIONAL HABILITADO</b>			
Empresa mantenedora	Nombre y apellidos/Razón Social		DCE
Mantenedor	Nombre y apellidos		Nº Carné
<b>DIRECTOR DE MANTENIMIENTO (Cumplimentar si procede)</b>			
Nombre y apellidos:		NIF:	
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACION</b>			
<b>Potencia térmica nominal</b>		<b>Instalación de</b>	<b>Uso</b>
Calor	Kw	<input type="checkbox"/> Calefacción	<input type="checkbox"/> Vivienda
Frio	Kw	<input type="checkbox"/> ACS	<input type="checkbox"/> Local
Solar	Kw	<input type="checkbox"/> Refrigeración	<input type="checkbox"/> Otros...
<input type="checkbox"/> La instalación dispone de Manual de Uso y Mantenimiento En caso de no existir, la empresa mantenedora elaborará o complementará el Manual de Uso y Mantenimiento de la Instalación.			
<b>OPERACIONES DE MANTENIMIENTO REALIZADAS (IT 3)</b>		<b>RESULTADO</b>	
<input type="checkbox"/> Operaciones de mantenimiento preventivo (IT 3.3)			
<input type="checkbox"/> Programa de gestión energética (IT 3.4)			
<input type="checkbox"/> Comprobación / Actualización Instrucciones de seguridad (IT 3.5)			
<input type="checkbox"/> Comprobación / Actualización Instrucciones de manejo y maniobra (IT 3.6)			
<input type="checkbox"/> Comprobación / Actualización programa de funcionamiento (IT 3.7)			
<b>OBSERVACIONES</b>			
<b>CERTIFICAN</b> que la instalación ha sido mantenida de acuerdo con el "Manual de Uso y Mantenimiento", cumpliendo con los requisitos exigidos en Instrucción Técnica IT3 del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, y se entrega al titular los documentos justificativos de las operaciones/pruebas realizadas.			

Figura 12. Certificado de mantenimiento de instalaciones térmicas de Castilla-La Mancha.

Para poder cumplimentar la base de datos de edificios con los datos de sistemas térmicos se necesitan las siguientes referencias:



Datos	Descripción
Ubicación de la instalación térmica	Esto permitirá identificar a qué edificio pertenece la instalación térmica y, una vez cruzada esta base de datos con los datos georeferenciados de los edificios, se podrá crear un mapa con la ubicación exacta de todas estas instalaciones.
Potencia nominal [kW]	Este dato permitirá realizar el análisis de sustitución de equipos, además de calcular el consumo específico de combustible para suplir la demanda de calor específica.
Sistema de calefacción y combustible	Es necesario identificar, al menos, si la instalación térmica es una caldera (combustible GLP o Gas Natural) o una bomba de calor. Sería idóneo diferenciar entre calderas estándar y de condensación para realizar un cálculo de emisiones de CO <sub>2</sub> y de costes más preciso.

Tabla 2. Conjunto de datos que recopilar de las instalaciones térmicas.

### Determinación de las horas de uso de calefacción/refrigeración

Una vez determinados los edificios y equipos térmicos de un municipio, es necesario evaluar las horas de uso de calefacción y refrigeración, con el fin de poder calcular la demanda y el uso de combustible. Para ello, se seguirá la metodología propuesta por el IDAE (IDAE, 2014) y que se basa en realizar una estimación de las horas de uso de la calefacción y refrigeración en base a las frecuencias horarias para cada temperatura.

Esta metodología pretende resolver la problemática relacionada con la correcta consideración de la inercia térmica del edificio y la radiación solar, dado que resulta imposible realizar una simulación térmica precisa de todos los edificios del municipio.

Se calculará siguiendo el siguiente método:

1. Se deberán establecer las temperaturas de referencia:
  - a. Temperatura base (de calefacción y de refrigeración): Se refiere a las temperaturas exteriores a partir de las cuales se utilizarán los sistemas de calefacción o refrigeración, respectivamente. Se asume que el aporte de calor interno más la radiación solar introducida a través de los huecos es capaz de compensar las pérdidas de calor que se producen en el edificio cuando el ambiente exterior es igual o mayor/menor a la temperatura base de calefacción/refrigeración (IDAE, 2014).
    - i. Temperatura base de calefacción: para esta simulación, Creara ha seleccionado el valor 15°C (Hotmaps project, 2019).



- ii. Temperatura base de refrigeración: para esta simulación Creara ha seleccionado el valor 24°C (Hotmaps project, 2019).
  - b. Temperatura objetivo interior (calefacción y refrigeración): esta es la temperatura que se pretende alcanzar en el interior mediante el uso de la calefacción o la refrigeración.
    - i. Temperatura objetivo interior (calefacción): se establece 18°C como temperatura objetivo cuando se utilice la calefacción (Hotmaps project, 2019).
    - ii. Temperatura objetivo interior (refrigeración): se establece 21°C como temperatura objetivo mediante el uso de la refrigeración (Hotmaps project, 2019).
- 2. A continuación, se calculará la temperatura media de cada día del año ( $T_i$ ), haciendo la media entre la temperatura máxima y mínima de cada día. Hay dos maneras principales para recopilar los datos de temperatura:
  - a. Typical Meteorological Year (TMY): es un conjunto de datos meteorológicos horarios que representan condiciones climáticas típicas de un lugar durante un año. Se construye a partir de series históricas de, al menos, 10 años, seleccionando para cada mes el año más representativo estadísticamente según variables como temperatura, radiación solar y humedad. El TMY no corresponde a un año real, sino a un año compuesto. Es ampliamente utilizado en simulaciones energéticas para modelar el comportamiento térmico y energético de edificios o instalaciones y está implementado en herramientas como Meteonorm (para estudios solares y térmicos) o PVsyst (para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos). Este sistema busca eliminar el componente estacional, por lo que no se trata de una previsión y está orientado a análisis puntuales.
  - b. Año natural: utilizando los registros históricos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), es posible recopilar las temperaturas máximas y mínimas diarias de cualquier estación meteorológica del municipio o su entorno. Con estos datos, se puede construir una base de datos climática personalizada, eligiendo los años concretos que se desean analizar (por ejemplo, para estudiar tendencias recientes) y permitiendo



su actualización anual conforme se publiquen nuevos datos. Esta opción es especialmente útil para análisis que deban actualizarse periódicamente y que busquen tener en cuenta el cambio en el clima local.

Para el ejercicio de aplicar esta metodología al municipio de Cuenca se han seleccionado las temperaturas diarias de 2022. La evolución de las temperaturas se muestra en la Figura 12.

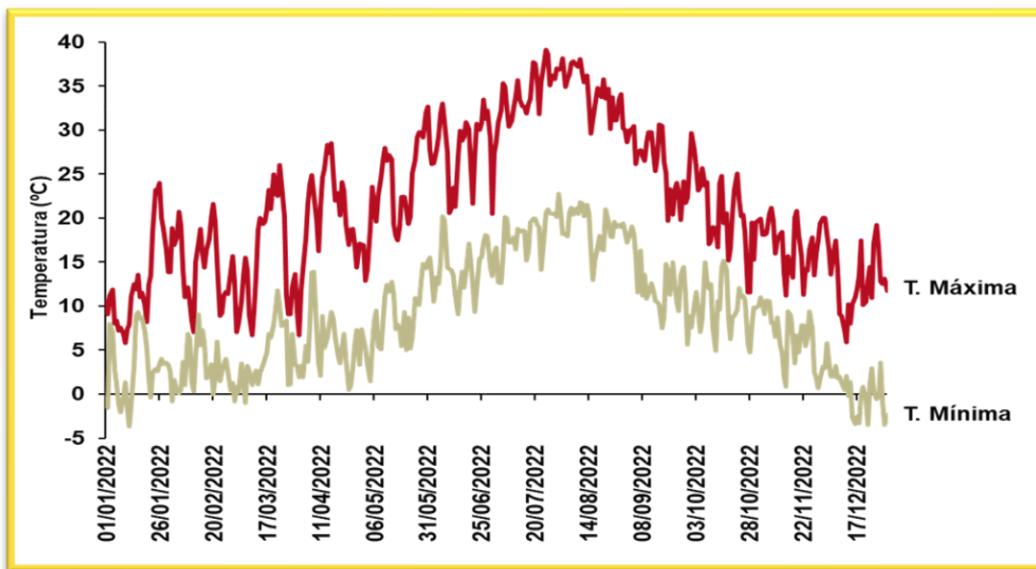


Figura 13. Temperaturas mínimas y máximas en el municipio de Cuenca en 2022.

3. El próximo paso es calcular los grados día de calefacción y refrigeración al año. La forma de calcular los grados día es la siguiente:

- a. En el caso de los días de calefacción se comparará la temperatura media de cada día del año con la temperatura base de calefacción:

$$GDC = \sum_i (T_{ref,cal} - T_i) \text{ si } T_i < 15^\circ\text{C}; T_{ref,cal} = 18^\circ\text{C}$$

Donde:

- $T_{ref,cal}$  es la temperatura objetivo interior de calefacción.
- $T_i$  es la temperatura media del día.



- i. Si la temperatura media es inferior a la temperatura base, el grado día será igual a la temperatura objetivo interior (calefacción) menos la temperatura media.
- ii. En caso de que la temperatura media sea mayor, el grado día será cero (ese día concreto) ya que la calefacción no será utilizada al ser la temperatura media mayor que la base.

La Figura 14 representa los grados día de calefacción para el año 2022 en Cuenca aplicando el citado método.

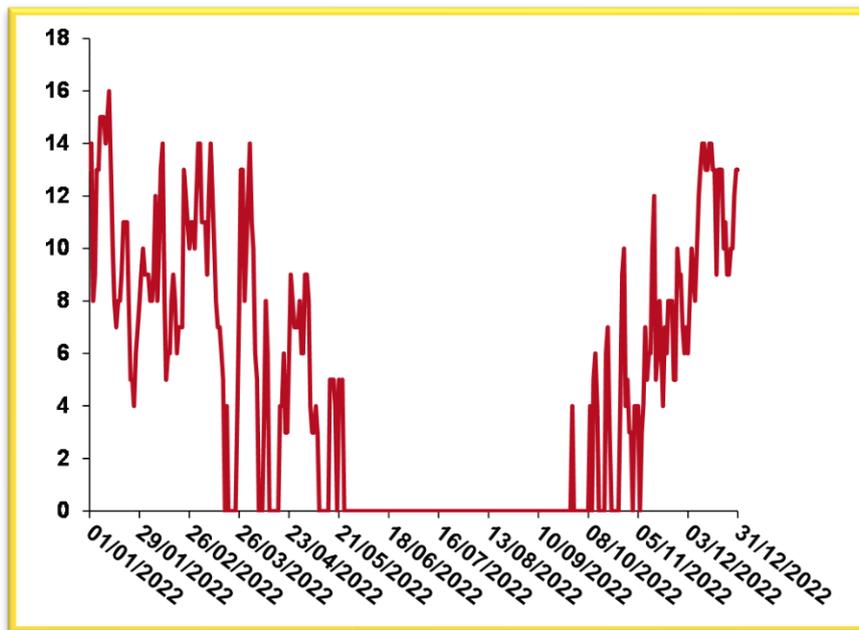


Figura 14. Grados día de calefacción para el año 2022 en Cuenca.

- b. Para los días de refrigeración se procederá de manera análoga, comparando la temperatura media con la temperatura base de refrigeración:

$$GDR = \sum_i (T_{ref,frio} - T_i) \text{ si } T_i > 24^{\circ}\text{C}; T_{ref,frio} = 21^{\circ}\text{C}$$

Donde:

- $T_{ref,frio}$  es la temperatura objetivo interior de refrigeración.
- $T_i$  es la temperatura media del día.



- i. Si la temperatura media es inferior a la temperatura base de refrigeración, el valor para ese día será cero ya que no se ha alcanzado la temperatura para utilizar el sistema de refrigeración.
- ii. Si la temperatura media es mayor que la temperatura base de refrigeración, el valor será igual a la diferencia entre la temperatura media y la temperatura objetivo interior (refrigeración).

La Figura 15 representa los grados día de refrigeración para el año 2022 en Cuenca aplicando el citado método.

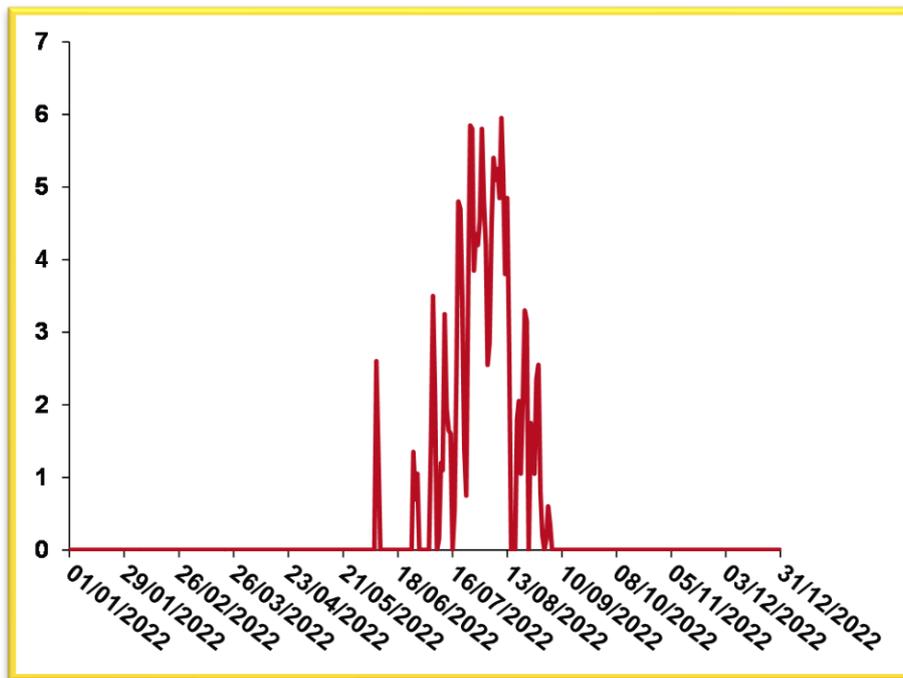


Figura 15. Grados día de refrigeración para el año 2022 en Cuenca.

4. A continuación, se deberá calcular la temperatura media del grado día. Para ello, se deberán calcular los grados día totales entre el número de días de calefacción/refrigeración, obteniendo así la temperatura media del grado día:

$$T_{media,GDC} = \frac{\sum GDC}{n^{\circ} \text{ días calefacción}}$$

$$T_{media,GDR} = \frac{\sum GDR}{n^{\circ} \text{ días refrigeración}}$$



Esta temperatura media proporciona una estimación de la intensidad térmica media en los días en los que se ha requerido el uso de los sistemas térmicos.

5. Por último, para estimar las horas anuales de uso de los sistemas térmicos, se considera una estimación basada en el uso del edificio. Se calcularán las horas anuales de calefacción/refrigeración de la siguiente manera:
  - a. Se asume que durante cada día en que la temperatura exterior requiera calefacción/refrigeración, los sistemas operan durante:
    - i. Residencial: 8 horas al día. Para viviendas habituales con uso predominante diurno y nocturno, pero sin actividad continua.
    - ii. Pequeño terciario: 12 horas al día. Para locales comerciales, oficinas, centros educativos, etc. con actividad principalmente diurna.
    - iii. Gran terciario: 24 horas al día. Edificios de uso continuo como hospitales, hoteles, centros logísticos o centros de datos.

Estas cifras son estimaciones basadas en los patrones habituales de uso de los sistemas térmicos.

- b. Finalmente, las horas anuales de calefacción/refrigeración se calcularán siguiendo la siguiente fórmula:

$$H_{anuales} = \frac{GD_{anuales} * H_{diarias}}{T_{media,GD}}$$

Este valor representa el funcionamiento total anual estimado para cada sistema térmico, en función del clima y el uso del inmueble.

La Tabla 3 resume los datos calculados para el municipio de Cuenca.



Datos	Valor
Grados día de calefacción al año	1.646°C·día/año
Días de calefacción	194 días/año
Temperatura media del grado día (calefacción)	8°C
Horas de calefacción residencial anual	1.552 horas/año
Grados día de refrigeración al año	168°C·día/año
Días de refrigeración	60 días/año
Temperatura media del grado día (refrigeración)	3°C
Horas de refrigeración residencial anual	480 horas/año

Tabla 3. Resumen de datos térmicos obtenidos para Cuenca.

### Cálculo de la demanda de energía, consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub>

Una vez obtenidos los grados día al año de refrigeración y de calefacción se procederá a calcular la demanda. P, para ello, se utilizará la siguiente fórmula:

$$Q_{cal} = GDC \cdot h \cdot S_C \cdot K$$

$$Q_{ref} = GDR \cdot h \cdot S_C \cdot K$$

Donde:

- $Q_{cal}$  es la demanda anual de calefacción del edificio [kWh/año].
- $Q_{ref}$  es la demanda anual de refrigeración del edificio [kWh/año].
- $GDC$  son los grados-día anuales de calefacción [°C·día/año].
- $GDR$  son los grados-día anuales de refrigeración [°C·día/año].
- $h$  las horas de calefacción/refrigeración diarias [h/día].
- $S_C$  superficie climatizada del edificio [m<sup>2</sup>].
- $K$  transmitancia térmica del edificio [kW/m<sup>2</sup>·°C].

A la demanda de calefacción es necesario añadir la demanda por la producción de ACS, que se calcula según los datos de la siguiente tabla (MIVAU, 2023):



Tipo de edificio	Litros/día a 60°C	Energía para Tª Red = 15°C
<b>Viviendas unifamiliares</b>	30 por persona	673 kWh/año por persona
<b>Viviendas multifamiliares</b>	22 por persona	420 kWh/año por persona
<b>Hospitales y clínicas</b>	55 por cama	1.050 kWh/año por cama
<b>Hotel 4*</b>	70 por cama	1.337 kWh/año por cama
<b>Restaurantes</b>	5-10 por comida	191 kWh/año por comida

Tabla 4. Consumo de ACS según el CTE (MIVAU, 2023).

Al elaborar esta metodología, no se ha contado con los datos de ocupación de viviendas, ni de funcionamiento de los edificios de sector terciario. Estos datos deberían obtenerse mediante un análisis detallado del municipio y entrevistas a los *stakeholders* implicados. Por eso, en la aplicación de esta metodología, se ha asumido que el consumo de ACS corresponde a la media nacional del sector residencial, datos que se han obtenido del balance energético del IDAE (IDAE, 2024). De acuerdo con esto, a la demanda de calefacción se le ha aplicado un coeficiente de ajuste y este es el valor de demanda térmica total que se ha considerado durante el análisis.

Como conocemos para cada edificio la demanda estimada, podemos calcular la demanda global (que incluye demanda eléctrica y demanda de calor). Empleando esta demanda global, el factor conocido de ACS de 19,3% y el factor de calefacción de 39% (véase Figura 1) (IDAE, 2024) podemos calcular el ACS y sumarlo a la calefacción para obtener la demanda total de calor de cada parcela catastral.

$$D_{global} = D_{calefacción} * \frac{1}{\frac{39\%}{100}}$$

$$D_{ACS} = D_{global} * (19\%)$$

$$D_{CALOR} = D_{ACS} + D_{calefacción}$$

Las instalaciones de calefacción habitualmente integran la producción de ACS, siendo la única excepción los edificios que cuentan con una caldera de gas para calefacción y un calentador eléctrico (efecto Joule) para el ACS. Sin embargo, al evaluar la sustitución de equipos térmicos por bombas de calor, capaces de proporcionar tanto



calefacción como ACS, se puede asumir que un mismo equipo va a proporcionar ACS y calefacción. Además, siguiendo las recomendaciones para la selección de potencias de la Guía Técnica del ACS central del IDAE (IDAE, 2020), en esta metodología se asume que la potencia total de generación térmica (ACS y calefacción) sea la necesaria exclusivamente para el servicio de calefacción. De ahí que se aplique a toda la demanda el mismo rendimiento del equipo, como si este estuviera dedicado al completo a generar calefacción.

Una vez calculada la demanda térmica, se podrá obtener el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub> de cada instalación térmica. Para calcular el consumo de combustible, se deberá utilizar la siguiente fórmula:

$$C = Q/\eta_{PCI}$$

Donde:

- C es el consumo anual de combustible [kWh/año].
- Q es la demanda anual de calefacción/refrigeración del edificio [kWh/año].
- $\eta_{PCI}$  es el rendimiento del equipo de calefacción/refrigeración utilizado en su Poder Calorífico Inferior (PCI).

También se podrán calcular las emisiones de CO<sub>2</sub>:

$$\text{Emisiones CO}_2 = C \cdot \text{Factor de emisión}$$

Donde:

- C es el consumo anual calculado previamente [kWh/año].
- Factor de emisión que dependerá del combustible utilizado [kgCO<sub>2</sub>/kWh].

El cálculo del consumo energético y de las emisiones de CO<sub>2</sub> proporciona indicadores clave para evaluar la sostenibilidad de las distintas alternativas y justificar las decisiones desde el punto de vista climático.

El rendimiento de los equipos y los factores de emisión considerados en este ejercicio se relacionan en la Tabla 5 y Tabla 6.



Tipo de equipo	Rendimiento típico
Caldera estándar	90%
Caldera de baja temperatura	95%
Caldera de condensación	105%
Aeroterminia	350%
Geoterminia	500%

Tabla 5. Rendimientos de equipos utilizado (AFEC, 2024) (IDAE, 2007).

Combustible	Factor de emisión (kgCO <sub>2</sub> /kWh)
Electricidad	0,273
Gas natural	0,202
Gasóleo	0,267
GLP	0,232

Tabla 6. Factores de emisión utilizados (Creara).

### Datos del mercado de calderas

Uno de los factores clave es la estimación del coste de inversión inicial asociado a los equipos generadores de calor y/o frío. Esta estimación es fundamental para:

- Evaluar la viabilidad económica de distintas alternativas tecnológicas.
- Comparar soluciones energéticas desde una perspectiva de eficiencia y coste.
- Diseñar políticas públicas o planes de actuación en entornos urbanos.

Por tanto, se propone una metodología sistemática para estimar el precio de diferentes equipos de climatización en función de su potencia térmica nominal, con el fin de facilitar el análisis técnico-económico desde una perspectiva objetiva y aplicable.

La metodología que se propone es:



1. El primer paso consiste en recopilar una base de datos de equipos disponibles en el mercado. Para cada equipo se debe registrar:

- a. Potencia nominal (tanto de calefacción como de refrigeración).
- b. Precio de adquisición. Se debe tener en cuenta tanto el coste del equipo, como el coste de la mano de obra.

Para obtener estos datos, se pueden utilizar catálogos de fabricantes, bases de datos de precios, etc. Es recomendable abarcar un rango amplio de potencias para asegurar la validez del análisis. Para este ejercicio, Creara ha utilizado una base de datos propia, que contiene más de 200 máquinas de los principales fabricantes presentes en el mercado.

2. Una vez recopilados estos datos, se procede a analizar la relación entre potencia térmica y el precio. Aunque esta relación no siempre es perfectamente lineal, en muchos casos puede aproximarse mediante un modelo de regresión simple, de la forma:

$$\text{Precio (€)} = a * \text{Potencia (kW)} + b$$

Donde:

- a es el coste variable por kW de potencia instalada.
- b es un término constante que representa costes fijos asociados al equipo.

Una vez desarrollada la fórmula que relaciona el precio con la potencia térmica, permite estimar el coste de equipos sin necesidad de consultar catálogos específicos, facilitando así la comparación entre tecnologías y la elaboración de presupuestos preliminares. Al basarse en una relación estadística entre precio y potencia, se garantiza una base homogénea para evaluar alternativas.

Para que la herramienta sea fiable, es fundamental contar con una base de datos depurada y representativa del mercado, eliminando valores atípicos o inconsistentes. Además, dado que el sector evoluciona constantemente, conviene actualizar periódicamente la base de datos para que el modelo siga reflejando la realidad del mercado. Así se asegura su utilidad como instrumento técnico y estratégico en la toma de decisiones.



## Evolución de precios de los combustibles

La mejora de la eficiencia energética en los sistemas térmicos no genera un beneficio directo, sino que la inversión se recupera mediante el ahorro generado por el nuevo equipo. Esto significa que los precios utilizados, tanto de combustible como de coste de equipos, tiene un impacto directo en la rentabilidad estimada y calculada de las sustituciones.

Para el ejercicio de simulación en Cuenca, Creara ha utilizado los siguientes precios. Cabe recalcar que no se ha realizado un estudio prospectivo de precios y que estos valores permiten tener un resultado orientativo. En el caso de querer realizar una aplicación real de la metodología, se recomienda realizar un análisis más preciso de previsión de precios.

Producto	Precio asumido (EUR/kWh)
Electricidad	0,212
Gas natural	0,075
Gasóleo	0,1
GLP	0,1

Tabla 7. Precio del combustible utilizado (AFEC, 2024).

## Situación actual del municipio y reunión con stakeholders

Más allá de los datos técnicos y económicos, resulta imprescindible incorporar la perspectiva del territorio, mediante el conocimiento directo del contexto social, institucional, territorial y energético del municipio. Para ello, es esencial llevar a cabo un proceso estructurado de diálogo con los actores locales clave, tal como establece el Artículo 25 de la Directiva de Eficiencia Energética (EED), que exige la participación de las partes interesadas en el desarrollo de planes de calefacción y refrigeración a nivel local.

Estas reuniones permiten recabar información valiosa que difícilmente podría obtenerse únicamente a través de fuentes documentales. Solo mediante la interacción directa con representantes municipales, técnicos locales, comunidades de vecinos, asociaciones sectoriales y otros agentes implicados, es posible conocer la realidad específica del municipio: desde las tecnologías más utilizadas hasta las barreras





sociales, económicas o normativas que dificultan la transición hacia sistemas más eficientes y sostenibles.

Además, estas sesiones de trabajo son clave para validar y complementar los datos técnicos del análisis preliminar, como los consumos energéticos, las tipologías edificatorias o las características climáticas locales, y permiten detectar proyectos previos, iniciativas en marcha o sinergias potenciales entre actores. Esta visión compartida facilita la identificación de soluciones adaptadas al contexto real, evita duplicidades y potencia el aprovechamiento de recursos ya existentes.

La participación activa de los *stakeholders* locales no solo fortalece el diagnóstico inicial del plan, sino que también genera compromiso institucional y social con los objetivos de este, condición indispensable para su éxito. Por tanto, la organización de estas reuniones debe considerarse una fase obligatoria y prioritaria en la metodología, garantizando que el plan municipal de climatización esté alineado con las necesidades, capacidades y visión del territorio.

## **Análisis tecno-económico de sustitución de medidas activas**

### **Análisis de la viabilidad económica de la sustitución**

Una vez definido el escenario de partida, a través de la recopilación de datos explicada en el apartado anterior, resulta imprescindible realizar una evaluación económica comparativa. Este análisis tiene como objetivo cuantificar la viabilidad económica, mediante el cálculo del período de retorno simple (PRS), para el posterior análisis de sustitución de equipos térmicos.

La sustitución de equipos térmicos no genera un ingreso por sí sola, sino que la inversión se recupera en base al ahorro generado.

Además, se debe tener en cuenta que cada tipología de edificios va a tener consideraciones particulares:

- Las horas de uso de los equipos (como se explica en el apartado *Determinación de las horas de uso de calefacción/refrigeración*).
- La potencia térmica instalada. Mediante entrevistas con asociaciones locales u otros *stakeholders*, es posible determinar un valor medio de potencia por segmento analizado. Para este ejercicio Creara se ha basado en su



experiencia al elaborar auditorías energéticas, para establecer unos valores de potencia instalada de referencia.

El análisis económico se ha fundamentado en las siguientes hipótesis:

Segmento	Potencia instalada [kW]	Horas de uso anuales [h]
Residencial – calefacción individual	30	1.200
Residencial – calefacción colectiva	150	1.200
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes etc.	600	1.800
Gran terciario – hospitales y hoteles	600	3.600

Tabla 8. Segmentos considerados y sus características.

Se ha asumido que las bombas de calor tienen una vida útil de 10 años, mientras que para las calderas de gas, gasóleo y GLP se ha considerado una vida útil de 20 años. (AFEC, 2023).

La Tabla 9 muestra las tecnologías que se han tenido en cuenta en este estudio. Solo se han considerado para su sustitución las calderas con combustibles fósiles. No se ha analizado el caso de sustitución de una tecnología limpia (efecto Joule o una bomba de calor existente) por un equipo más eficiente:

Tecnologías actuales (que sustituir):	Tecnologías que sustituyen:
Caldera estándar (gas natural, gasóleo, GLP)	Aeroterminia (aire-aire). Unidad exterior
Caldera condensación (gas natural, gasóleo, GLP)	Aeroterminia (aire-are). VRF
	Aeroterminia (aire-aire). Rooftop
	Aeroterminia (aire-agua)
	Bomba de calor geotérmica (agua-agua)

Tabla 9. Tecnologías consideradas en el estudio.



La Tabla 10 muestra los costes de inversión asumidos para cada equipo y segmento estudiado, basados en los datos mencionados en el apartado *Datos del mercado de calderas*:

Equipo	Inversión P = 30 kW	Inversión P=150 kW	Inversión P=600 kW	Rendimiento (T. de impulsión 55°C) <sup>1</sup>
Aire-aire (Unidad exterior)	16.760	-	-	4,5
Aire-aire (VRF)	-	-	245.941	3,5
Aire-aire (Rooftop)	-	-	121.946	3,4
Aire-agua	13.886	54.875	167.057	3,57
Geotermia	23.344	117.201	375.330	3,85

Tabla 10. Equipos, inversión y rendimientos considerados (EHPA, 2025) (Sarbu, 2015).

Debido a las características técnicas de los equipos, descritas en el apartado *Bombas de calor*, se considera que algunos equipos no tienen utilización en determinados segmentos. Para las tecnologías que no se tienen en cuenta en algún segmento, la Tabla 10 muestra “-”.

Para realizar el análisis económico se han tenido en cuenta los siguientes motivos de sustitución:

1. El consumidor debe sustituir su sistema actual (véase Tabla 9) una vez este llega al final de su vida útil. Es decir, que la tasa de sustitución de equipos en este caso está limitada al número de equipos que en ese año llegan al final de su vida útil. Este valor se ha calculado utilizando la siguiente fórmula:  $100 / 20^2 / 100\%$  que resulta en una tasa de sustitución del 5%. La clave es si se sustituye la caldera actual por una bomba de calor o por otra caldera de combustible fósil.
  - En este supuesto el consumidor está obligado a realizar una inversión, ya que su equipo actual no puede seguir funcionando. Esto hace que la inversión más pequeña (volver a comprar el sistema actual) se pueda considerar un coste hundido, es decir, un coste que debe asumir el

<sup>1</sup> Para los equipos aire-aire y aire-agua, se utiliza el SCOP. Para la geotermia, se utiliza el COP.

<sup>2</sup> Este valor representa la vida útil asumida de las calderas de gas, gasóleo y GLP.



consumidor, en cualquier caso. Así, a la hora de evaluar el CAPEX de la tecnología que vaya a sustituir el sistema actual, tenemos en cuenta el CAPEX de la bomba de calor **sustrayendo** el valor del CAPEX del sistema actual.

2. Algunos consumidores, al recibir una propuesta de sustitución de su sistema actual con un PRS de 3 años o menos, deciden realizar esta sustitución, aunque su sistema actual no haya llegado al fin de su vida útil. Creara ha asumido que el 20% de los consumidores, en este supuesto, sustituye el equipo. Sin embargo, cada municipio debe calibrar este valor mediante entrevistas con empresas locales, asociaciones del sector y otros *stakeholders*, ya que debe atender a las condiciones particulares del municipio, como p.ej.: la renta media, el grado de concienciación de los consumidores etc.
  - En este supuesto el consumidor no está obligado a realizar una inversión. Por eso, el coste de volver a instalar su sistema actual no se puede considerar un coste hundido y no se realiza ningún ajuste sobre el CAPEX de la tecnología que vaya a sustituir el sistema actual.

En ambos casos se ha asumido que el consumidor no instalará una bomba de calor si su PRS es superior a 8 años.

Una vez establecidas las premisas, se lleva a cabo el análisis económico:

1. Cálculo del coste de inversión del sistema actual y de las tecnologías que sustituyen: se establece el CAPEX para cada sistema en cada uno de los segmentos estudiados. En el caso del escenario donde el consumidor espera para sustituir su sistema actual hasta el fin de su vida útil, el CAPEX de la bomba de calor se ajusta, restándole el valor del CAPEX del sistema actual.
2. Cálculo del coste energético anual de cada sistema: se obtiene multiplicando el consumo de combustible por su precio (gas natural, gasóleo, electricidad, etc.).
3. Cálculo del ahorro anual de la sustitución frente al sistema actual: se comparan los costes de operación y se calcula el ahorro anual que supone utilizar una bomba de calor frente a una caldera de combustible fósil.
4. Cálculo del período de retorno simple (PRS): para cada motivo de sustitución se calcula el flujo de caja anual y cuantos años son necesarios para recuperar la



inversión inicial, con los flujos positivos por el ahorro en la operación anual del equipo.

La Tabla 11 muestra el PRS resultante del análisis en el motivo de sustitución 1 (el consumidor sustituye su equipo al final de la vida útil del mismo).

Segmento	Equipo sustituido	PRS al sustituir el equipo existente por <sup>3</sup> :				
		Aire-aire (Unidad exterior)	Aire-Aire (VRF)	Aire-Aire (Rooftop)	Aire-agua	Agua-agua
Residencial – calefacción individual	Caldera de gas natural	10	-	-	-	-
Residencial – calefacción individual	Caldera de gasóleo	7	-	-	7	9
Residencial – calefacción individual	Caldera de GLP	7	-	-	7	9
Residencial – calefacción individual	Caldera de condensación de gas natural	-	-	-	-	-
Residencial – calefacción individual	Caldera de condensación de gasóleo	3	-	-	2	6
Residencial – calefacción individual	Caldera de condensación de GLP	3	-	-	2	6
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de gas natural	-	-	-	-	-
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de gasóleo	-	-	-	7	-

<sup>3</sup> “-” Cuando la combinación no se analiza (véase Tabla 10) **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** o cuando tiene un PRS mayor de 10 años, que es la vida útil de las bombas de calor analizadas.



Segmento	Equipo sustituido	PRS al sustituir el equipo existente por <sup>3</sup> :				
		Aire-aire (Unidad exterior)	Aire-Aire (VRF)	Aire-Aire (Rooftop)	Aire-agua	Agua-agua
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de GLP	-	-	-	7	-
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de condensación de gas natural	-	-	-	-	-
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de condensación de gasóleo	-	-	-	8	-
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de condensación de GLP	-	-	-	8	-
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de gas natural	-	9	5	8	-
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de gasóleo	-	5	3	5	7
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de GLP	-	6	3	5	7
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de condensación de gas natural	-	-	-	-	-
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de condensación de gasóleo	-	8	3	6	10
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de condensación de GLP	-	8	3	6	10
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de gas natural	-	5	3	4	6
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de gasóleo	-	3	2	3	4



Segmento	Equipo sustituido	PRS al sustituir el equipo existente por <sup>3</sup> :				
		Aire-aire (Unidad exterior)	Aire-Aire (VRF)	Aire-Aire (Rooftop)	Aire-agua	Agua-agua
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de GLP	-	3	2	3	4
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de condensación de gas natural	-	-	7	9	-
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de condensación de gasóleo	-	4	2	3	5
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de condensación de GLP	-	4	2	3	5

Tabla 11. PRS en función de la tecnología instalada – motivo de sustitución 1.

La Tabla 12 muestra el PRS resultante del análisis en el motivo de sustitución 2 (el consumidor decide sustituir su sistema actual antes de que este llegue al final de su vida útil).

Segmento	Equipo sustituido	PRS al sustituir el equipo existente por <sup>4</sup> :				
		Aire-aire (Unidad exterior)	Aire-aire (VRF)	Aire-aire (Rooftop)	Aire-agua	Agua-agua
Residencial – calefacción individual	Caldera de gas natural	-	-	-	-	-
Residencial – calefacción individual	Caldera de gasóleo	8	-	-	9	-
Residencial – calefacción individual	Caldera de GLP	8	-	-	9	-

<sup>4</sup> “-” Cuando la combinación no se analiza (véase Tabla 10) o cuando tiene un PRS mayor de 10 años, que es la vida útil de las bombas de calor analizadas.



Segmento	Equipo sustituido	PRS al sustituir el equipo existente por <sup>4</sup> :				
		Aire-aire (Unidad exterior)	Aire-aire (VRF)	Aire-aire (Rooftop)	Aire-agua	Agua-agua
Residencial – calefacción individual	Caldera de condensación de gas natural	-	-	-	-	-
Residencial – calefacción individual	Caldera de condensación de gasóleo	-	-	-	-	-
Residencial – calefacción individual	Caldera de condensación de GLP	-	-	-	-	-
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de gas natural	-	-	-	-	-
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de gasóleo	-	-	-	7	-
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de GLP	-	-	-	7	-
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de condensación de gas natural	-	-	-	-	-
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de condensación de gasóleo	-	-	-	-	-
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de condensación de GLP	-	-	-	-	-
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de gas natural	-	-	6	9	-
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de gasóleo	-	6	3	5	7



Segmento	Equipo sustituido	PRS al sustituir el equipo existente por <sup>4</sup> :				
		Aire-aire (Unidad exterior)	Aire-aire (VRF)	Aire-aire (Rooftop)	Aire-agua	Agua-agua
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de GLP	-	6	3	5	7
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de condensación de gas natural	-	-	-	-	-
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de condensación de gasóleo	-	9	5	8	-
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de condensación de GLP	-	9	5	8	-
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de gas natural	-	6	3	5	7
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de gasóleo	-	3	2	3	4
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de GLP	-	3	2	3	4
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de condensación de gas natural	-	-	10	-	-
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de condensación de gasóleo	-	5	3	4	6
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de condensación de GLP	-	5	3	4	6

Tabla 12. PRS en función de la tecnología instalada – motivo de sustitución 2.

Una vez establecido el PRS de cada escenario, se puede estimar una tasa de sustitución:

- Para el motivo de sustitución 1, **el valor máximo de la tasa de sustitución es del 5% anual**, que representa el total de los equipos que llegan al final de su



vida útil ese año. Asumimos que cuanto mayor sea el PRS, menos consumidores sustituirán sus calderas actuales por bombas de calor y elegirán instalar una caldera de combustible fósil. La Tabla 13 contiene el porcentaje de consumidores, cuyos equipos han llegado al final de su vida útil (5% anual), que deciden sustituir su equipo actual por una bomba de calor.

Período de Retorno	Porcentaje de consumidores que sustituyen su equipo térmico actual por una bomba de calor
1	100%
2	100%
3	100%
4	100%
5	80%
6	60%
7	40%
8	20%
9	0%
10	0%

Tabla 13. Porcentaje de consumidores que sustituyen su equipo térmico actual por una bomba de calor en función del PRS – motivo de sustitución 1.

- Para el motivo de sustitución 2, asumimos que los consumidores solo estarían interesados en sustituir su sistema actual si el PRS es igual o inferior a 3 años.

La Tabla 14 muestra el porcentaje de consumidores que realizan la sustitución de su equipo térmico, antes de que este llegue al final de su vida útil, por una bomba de calor.



Período de Retorno	Porcentaje de consumidores que sustituyen su equipo térmico actual por una bomba de calor
1	20%
2	20%
3	20%
4	0%
5	0%
6	0%
7	0%
8	0%
9	0%
10	0%

Tabla 14. Porcentaje de consumidores que sustituyen su equipo térmico actual por una bomba de calor en función del PRS – motivo de sustitución 2.

Aplicando las tasas anuales de sustitución en función del PRS a los obtenidos para las diferentes tecnologías, obtenemos la tasa de sustitución para cada una de estas tecnologías, tal y como se muestra en la Tabla 15 para el motivo de sustitución 1 y en la Tabla 16 para el motivo de sustitución 2:

Segmento	Equipo sustituido	Tasa de sustitución al cambiar el equipo existente por:				
		Aire-aire (Unidad exterior)	Aire-aire (VRF)	Aire-aire (Rooftop)	Aire-agua	Agua-agua
Residencial – calefacción individual	Caldera de gas natural	0%	-	-	0%	-
Residencial – calefacción individual	Caldera de gasóleo	40%	-	-	40%	0%



Segmento	Equipo sustituido	Tasa de sustitución al cambiar el equipo existente por:				
		Aire-aire (Unidad exterior)	Aire-aire (VRF)	Aire-aire (Rooftop)	Aire-agua	Agua-agua
Residencial – calefacción individual	Caldera de GLP	40%	-	-	40%	0%
Residencial – calefacción individual	Caldera de condensación de gas natural	-	-	-	-	-
Residencial – calefacción individual	Caldera de condensación de gasóleo	100%	-	-	100%	60%
Residencial – calefacción individual	Caldera de condensación de GLP	100%	-	-	100%	60%
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de gas natural	-	-	-	0%	-
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de gasóleo	-	-	-	40%	0%
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de GLP	-	-	-	40%	0%
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de condensación de gas natural	-	-	-	-	-
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de condensación de gasóleo	-	-	-	20%	-
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de condensación de GLP	-	-	-	20%	-
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de gas natural	-	0%	80%	20%	-



Segmento	Equipo sustituido	Tasa de sustitución al cambiar el equipo existente por:				
		Aire-aire (Unidad exterior)	Aire-aire (VRF)	Aire-aire (Rooftop)	Aire-agua	Agua-agua
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de gasóleo	-	80%	100%	80%	40%
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de GLP	-	60%	100%	80%	40%
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de condensación de gas natural	-	-	-	-	-
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de condensación de gasóleo	-	20%	100%	60%	0%
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de condensación de GLP	-	20%	100%	60%	0%
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de gas natural	-	80%	100%	100%	60%
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de gasóleo	-	100%	100%	100%	100%
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de GLP	-	100%	100%	100%	100%
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de condensación de gas natural	-	-	40%	0%	-
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de condensación de gasóleo	-	100%	100%	100%	80%
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de condensación de GLP	-	100%	100%	100%	80%

Tabla 15. Tasa de sustitución en función de la tecnología instalada – motivo de sustitución 1.



Segmento	Equipo sustituido	Tasa de sustitución al cambiar el equipo existente por:				
		Aire-aire (Unidad exterior)	Aire-aire (VRF)	Aire-aire (Rooftop)	Aire-agua	Agua-agua
Residencial – calefacción individual	Caldera de gas natural	-	-	-	-	-
Residencial – calefacción individual	Caldera de gasóleo	0%	-	-	0%	0%
Residencial – calefacción individual	Caldera de GLP	0%	-	-	0%	0%
Residencial – calefacción individual	Caldera de condensación de gas natural	-	-	-	-	-
Residencial – calefacción individual	Caldera de condensación de gasóleo	-	-	-	-	-
Residencial – calefacción individual	Caldera de condensación de GLP	-	-	-	-	-
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de gas natural	-	-	-	-	-
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de gasóleo	-	-	-	0%	0%
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de GLP	-	-	-	0%	0%
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de condensación de gas natural	-	-	-	-	-
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de condensación de gasóleo	-	-	-	-	-



Tasa de sustitución al cambiar el equipo existente por:

Segmento	Equipo sustituido	Aire-aire (Unidad exterior)	Aire-aire (VRF)	Aire-aire (Rooftop)	Aire-agua	Agua-agua
Residencial – calefacción colectiva	Caldera de condensación de GLP	-	-	-	-	-
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de gas natural	-	0%	0%	0%	-
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de gasóleo	-	0%	20%	0%	0%
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de GLP	-	0%	20%	0%	0%
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de condensación de gas natural	-	-	-	-	-
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de condensación de gasóleo	-	0%	0%	0%	-
Pequeño terciario – comercios, oficinas, restaurantes, etc.	Caldera de condensación de GLP	-	0%	0%	0%	-
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de gas natural	-	0%	20%	0%	0%
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de gasóleo	-	20%	20%	20%	0%
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de GLP	-	20%	20%	20%	0%
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de condensación de gas natural	-	-	0%	0%	-
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de condensación de gasóleo	-	0%	20%	0%	0%



Segmento	Equipo sustituido	Tasa de sustitución al cambiar el equipo existente por:				
		Aire-aire (Unidad exterior)	Aire-aire (VRF)	Aire-aire (Rooftop)	Aire-agua	Agua-agua
Gran terciario – hospitales y hoteles	Caldera de condensación de GLP	-	0%	20%	0%	0%

Tabla 16. Tasa de sustitución en función de la tecnología instalada – motivo de sustitución 2.

Estas tasas de sustitución pueden verse significativamente influenciadas por las políticas adoptadas en el municipio.

### Evaluación inicial antes del análisis de previabilidad de redes de calor y frío

Una red de calor y frío (RDCF) es una alternativa eficiente y sostenible para la calefacción y refrigeración de espacios, mediante la generación centralizada y posterior distribución de la energía térmica hasta los edificios, en condiciones apropiadas, tanto técnicas como económicas para su comercialización (ADHAC, 2016). La fuente de ingresos de una RDC es la energía térmica vendida a los edificios conectados. Con estos ingresos, se debe compensar tanto la inversión inicial (central de generación térmica, red de tuberías de distribución, subestaciones de conexión con los consumidores y sistemas de acumulación en forma de depósitos de agua caliente o fría), como los de operación (generación del calor, pérdidas de energía durante la distribución por tuberías y mantenimiento) (IDAE, 2019).

En este trabajo se analiza solamente el caso de redes de calor (RDC), ya que son los más abundantes en España.

Un análisis de previabilidad, realizado con un software especializado, permite evaluar la viabilidad técnica y económica de una potencial RDC. Sin embargo, realizar este ejercicio para todo un municipio supone un esfuerzo considerable.

Por eso, se propone una metodología que permita identificar RDC potenciales de modo muy sencillo, antes de llevar a cabo un estudio de previabilidad. El objetivo de esta metodología es determinar si el municipio cuenta con los grados día (véase explicación en *Determinación de las horas de uso de calefacción/refrigeración*) necesarios para que una RDC sea rentable. También se ha desarrollado una metodología más compleja, que permite identificar zonas del municipio con potencial



para una RDC (se detalla en *Metodología para la identificación de zonas municipales con potencial para el desarrollo de una RDC*).

Siguiendo las indicaciones del apartado *Determinación de las horas de uso de calefacción/refrigeración*, es posible calcular los grados día anuales del municipio analizado. Si este valor es menor a 800, aconsejamos no realizar un análisis de previabilidad de RDC, ya que es poco probable que se encuentren RDC viables en el municipio.

El valor de referencia se ha establecido de la siguiente manera:

1. Del Censo de Redes de Calor y Frío de ADHAC (ADHAC, 2023), se han seleccionado aquellas RDC que tengan conectadas 10 o más edificios<sup>5</sup>.
2. Se han calculado los grados día anuales de los municipios estudiados. El Figura 16 muestra los resultados del análisis.

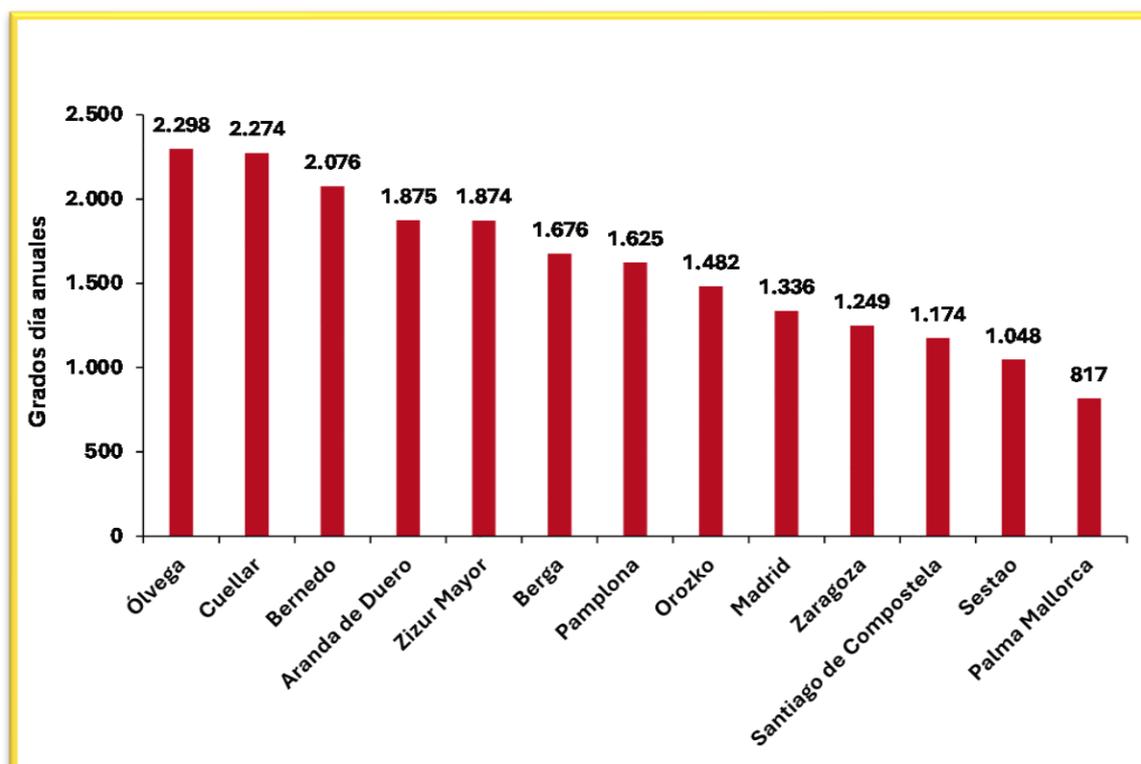
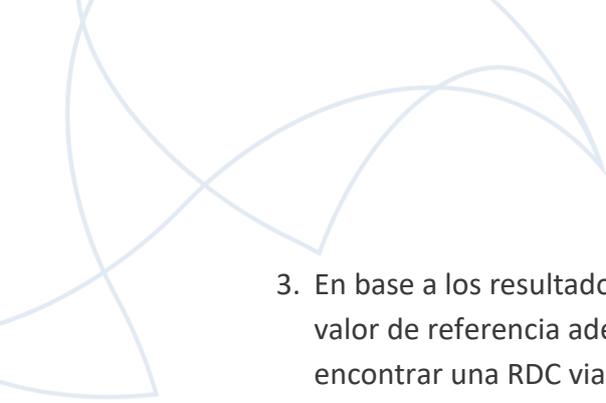


Figura 16. Grados día anuales de los municipios que cuentan con una RDC con 10 o más edificios conectados.

<sup>5</sup> En este trabajo se buscan RDC que abastezcan la demanda residencial o residencial y terciaria de un tamaño mínimo. No se tienen en cuenta micro RDC (p.ej.: en hospitales, polígonos, parques tecnológicos etc.).



- 
3. En base a los resultados obtenidos, se ha considerado que 800 grados día es el valor de referencia adecuado para estimar si hay alguna posibilidad de encontrar una RDC viable en el municipio.

Cabe recalcar que el objetivo de esta metodología no es dar una respuesta definitiva a si es posible realizar una RDC en el municipio, sino que solo se busca evitar proponer estudios detallados en municipios donde no haya demanda de calor suficiente para asegurar la rentabilidad de una RDC. Por eso, es posible que se den “falsos positivos” (es decir, municipios con un valor de grados día anuales por encima de 800, pero en los que un análisis de previabilidad determine que no hay RDC viables técnico-económicamente).

## Políticas públicas que pueden impactar en la tasa de sustitución de equipos térmicos

### Descripción de posibles políticas públicas

La elaboración de un plan municipal de climatización no debe limitarse a un ejercicio técnico de diagnóstico y modelización energética, sino que tiene que culminar en una serie de políticas públicas concretas que activen el cambio en el territorio. Estas políticas deben estar alineadas con los objetivos de eficiencia energética, descarbonización, resiliencia climática y equidad social y adaptarse a la realidad institucional, económica y social del municipio.

Las políticas públicas que un municipio podría aportar son:

- Regulación y planificación urbanística: el municipio puede introducir modificaciones en sus ordenanzas para facilitar la instalación de sistemas de climatización eficientes, como las bombas de calor o redes de climatización. También puede incorporar criterios energéticos en los instrumentos de planificación territorial, identificando zonas prioritarias de actuación en función de la intensidad de la demanda térmica, la vulnerabilidad energética de la población o el potencial de integración de energías renovables. En este sentido, el planeamiento puede convertirse en una herramienta clave para anticipar necesidades, evitar soluciones subóptimas y favorecer sinergias entre edificios y usuarios.
- Desarrollo de instrumentos de incentivo económico y fiscal, con el fin de acelerar la renovación del parque térmico. Esto puede concretarse en convocatorias de subvenciones para la sustitución de calderas por bombas de





calor, especialmente dirigidas a viviendas en situación de vulnerabilidad o a edificios de uso colectivo. Asimismo, se pueden aplicar bonificaciones fiscales a aquellas actuaciones que mejoren significativamente el rendimiento energético de los sistemas de climatización. Algunos ejemplos de impuestos municipales sobre los que se puede actuar son:

- Impuesto sobre Bienes Inmuebles (IBI).
- Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras (ICIO).
- Impuesto sobre Actividades Económicas (IAE).
- Tasas urbanísticas o de licencia de obra.

Otra vía complementaria es el impulso de mecanismos de financiación innovadora, como los microcréditos municipales o la colaboración con entidades financieras para ofrecer productos adaptados a este tipo de inversiones.

- Acompañamiento técnico y difusión de conocimiento: no basta con ofrecer ayudas si la ciudadanía no tiene la información, la confianza o los recursos para acceder a ellas. Por ello, el municipio puede poner en marcha servicios de asesoramiento energético, presenciales o digitales, que orienten tanto a ciudadanos, como a pequeñas empresas sobre las tecnologías disponibles, los pasos que seguir y las ayudas a las que pueden acogerse. Estas acciones deben ir acompañadas de campañas de sensibilización, que comuniquen de forma clara y cercana los beneficios económicos, ambientales y de confort asociados a una climatización eficiente. Además, puede ser necesario impulsar programas de formación para instaladores locales, asegurando que el tejido profesional del municipio está preparado para ejecutar con calidad las soluciones que se promueven desde la administración.
- Rol ejemplar de la administración local: se puede adoptar una política de renovación progresiva de los sistemas térmicos en los edificios municipales, priorizando aquellos con mayores consumos o mayor visibilidad pública. Esta renovación debe ir acompañada de una monitorización sistemática del consumo y las emisiones, cuyos resultados se publiquen de forma periódica como medida de transparencia y rendición de cuentas. Asimismo, los criterios de eficiencia energética deben integrarse de forma obligatoria en los pliegos de contratación pública relacionados con la gestión energética o el mantenimiento de instalaciones.



- Colaboración público-privada: el municipio puede actuar como facilitador de comunidades energéticas locales, en las que se incluyan sistemas de climatización compartidos (como redes de calor o frío con renovables), especialmente en barrios con cierta densidad y cohesión social. También debe buscar una conexión activa con programas autonómicos, estatales o europeos, asegurando que el plan municipal se nutre de los recursos, marcos legales y objetivos estratégicos más amplios. Para garantizar la coherencia de estas políticas, a lo largo del tiempo, es recomendable establecer estructuras de gobernanza participativa, como consejos técnicos o mesas sectoriales, donde se dé seguimiento al plan y se promueva la colaboración continua entre administración, ciudadanía, sector privado y agentes del conocimiento.

En definitiva, las políticas públicas que acompañen a un plan municipal de climatización deben actuar sobre las condiciones habilitantes del cambio: el marco normativo, los incentivos económicos, la información disponible, la capacidad técnica local y el liderazgo institucional. Solo desde una visión integrada y comprometida será posible transformar las recomendaciones técnicas en acciones concretas que mejoren el confort, reduzcan el consumo y contribuyan a una transición energética justa y sostenible.

### Ejemplos de medidas públicas

- Desarrollo de instrumentos de incentivo económico y fiscal
  - Subvenciones para la Mejora de la Eficiencia Energética en Irún 2023-2024: el ayuntamiento de Irún lanzó en 2023 un programa de subvenciones destinado a fomentar la rehabilitación energética y la mejora de la accesibilidad en viviendas y locales comerciales. Ante la alta demanda, en 2024 se amplió el presupuesto para abarcar un mayor número de solicitudes. Las ayudas cubren desde la elaboración de proyectos técnicos, hasta la ejecución de obras, incluyendo la sustitución de sistemas de calefacción obsoletos por soluciones más eficientes como la aerotermia.
- Acompañamiento técnico y difusión de conocimiento
  - Oficina de la Energía de Valencia (desde 2019): la Oficina de la Energía de Valencia, creada en 2019 por el ayuntamiento y gestionada por la Fundación Valencia Clima i Energía, es un espacio público de asesoramiento energético gratuito para la ciudadanía. Forma parte de la Estrategia Valencia 2030 y del Plan de Acción para el Clima y la Energía Sostenible (PACES). Su objetivo es empoderar a la población en temas energéticos y facilitar la transición hacia un modelo más eficiente y sostenible.



- Colaboración público-privada
  - Planta Fotovoltaica de Mercabarna (Barcelona): en 2025, Mercabarna, el principal mercado mayorista de alimentos de Barcelona, inició la construcción de la mayor planta fotovoltaica en cubiertas de la Península Ibérica, con una superficie de 100.000 m<sup>2</sup> y una potencia instalada de 5,8 MWp. El proyecto se desarrolla mediante una sociedad público-privada constituida por Acelera Energía (51%), el ayuntamiento de Barcelona (24%) y Mercabarna (24%), en el marco del programa MES Barcelona.



# Anexos

## Metodología para el análisis de medidas activas en la rehabilitación de edificios para un plan de climatización municipal



FUNDACIÓN  
RENOVABLES

## Anexos

### Metodología para la identificación de zonas municipales con potencial para el desarrollo de una RDC

El foco de esta metodología es descartar aquellas zonas que no tengan posibilidades para el desarrollo de una RDC rentable. Se entiende que una RDC es posible si la densidad lineal de la red (kWh por m de tubería) es superior a 543 kWh/m y la demanda de calor total supera 1 GWh. Estos valores provienen del cálculo del percentil 20 entre las RDC con una longitud superior a 2 km registradas en el Censo de Redes de ADHAC (ADHAC, 2023). Se asume que, si la mayoría de RDC existentes cumplen con estos dos criterios, cuando se encuentre una RDC potencial que las cumpla, hay posibilidades de que el análisis de previabilidad tenga un resultado positivo.

Esta metodología permite restringir los análisis posteriores de previabilidad a las zonas que podrían tener potencial para el desarrollo de una posible RDC. Cabe recalcar que, para realizar el ejemplo de Cuenca, se ha contado con datos de demanda poco precisos (véase apartado 4.2.4, por lo que los resultados son orientativos y solo tienen la función de ejemplarizar la explicación teórica provista).

La importancia de este estudio radica en la capacidad de identificar una configuración posible para una RDC de las infinitas soluciones que se pueden dar. Esta metodología busca maximizar la densidad lineal ( $\rho$ ) de demanda de la RDC, definida como:

$$\rho_{\text{lineal red}} = \frac{\sum_{i=1}^e D_i}{\sum_{j=1}^t L_j}$$

Donde:

- e: Edificios conectados a la red de calor.
- t: Tramos de tubería que constituyen la red de calor.
- $D_i$ : Demanda de calor de cada edificio e (kWh).
- $L_i$ : Longitud de cada tubería t (m).

Esta ecuación, junto con técnicas matemáticas basadas en *Machine Learning*, teoría de grafos ponderados y algoritmos de optimización fundamentados en pesos, permite identificar eficientemente áreas que podrían tener una RDC. En este apartado se presentan los resultados de aplicar la metodología al municipio de Cuenca.

## Recopilación de información de todas las parcelas catastrales de tipo edificio de la localidad de Cuenca

Empleando los datos catastrales aportados por la Dirección General del Catastro, que emplea la Directiva Europea INSPIRE, se ha recopilado información de más de 7.000 edificios de la localidad de Cuenca. Este conjunto de datos incluía información de geometría de las parcelas catastrales y otras variables relevantes para el estudio como superficie total construida, uso actual de la parcela, condición del edificio y número de unidades de construcción. La Figura 5 muestra parcelas catastrales de edificios de una zona específica de la localidad.

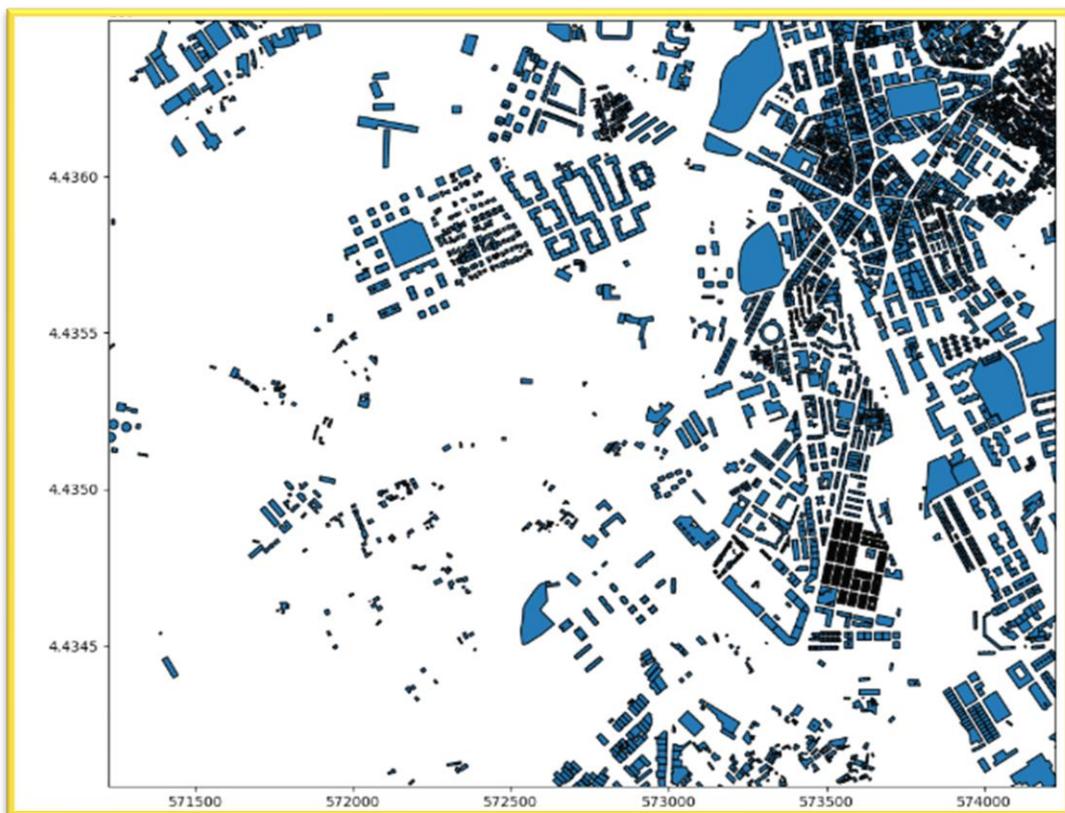


Figura 17. Ejemplo de parcelas catastrales de tipo edificio de la localidad de Cuenca.

## Filtrado de edificios de interés para el estudio

Una vez recopiladas las parcelas, se realizaron una serie de filtros para seleccionar aquellos edificios candidatos a ser conectados por una red de calor. A continuación, se detallan los filtros y tratamientos realizados:

- Se descartaron aquellos edificios no habitables debido a su condición actual de construcción.

- Se eliminaron del conjunto de datos aquellos edificios cuyo uso era industrial o agrícola.
- Se descartaron del estudio los edificios unifamiliares.
- Al no tener información sobre qué edificios plurifamiliares tienen calefacción colectiva y cuáles individual, se realizó un muestreo aleatorio del 40% del conjunto inicial para igualar la distribución para el análisis con la distribución real de la localidad (véase la distribución de tipología de calefacción en Cuenca en la Tabla 16).

No tiene calefacción	Calefacción colectiva	Calefacción individual	No tiene instalación de calefacción, pero si algún aparato que permite calentar alguna habitación (p.ej. radiadores eléctricos)
1%	40%	58%	1%

Tabla 17. Distribución de tipo de calefacción para viviendas plurifamiliares del municipio de Cuenca. (INE, 2025).

### Diseño de red de tuberías entre edificios de la localidad

Apoyándose en la teoría de grafos, se genera una red de hipotéticas tuberías que unen los edificios de la localidad ya filtrados, dirigiendo las tuberías por las calles. Se busca maximizar la demanda lineal de calor y minimizar la longitud de tubería. Un grafo se define formalmente como  $G = (V, E)$ , siendo  $V$  un conjunto no vacío de vértices o nodos y  $E$  un conjunto de aristas. Dentro de los grafos existe un subconjunto específico denominados grafos ponderados, que son los empleados en este caso. En esta metodología, este peso es la densidad lineal de tubería. Formalmente, estos grafos se definen como  $G = (V, E, W)$ , siendo  $V$  el conjunto de vértices,  $E$  el conjunto de aristas y  $W$  el conjunto de pesos asociados a estas aristas. Los grafos pueden ser, además, dirigidos o no, dependiendo de si las aristas tienen o no un sentido único. En la figura que aparece a continuación (Figura 18) se muestra un grafo ponderado no dirigido, análogo a los empleados en esta metodología.

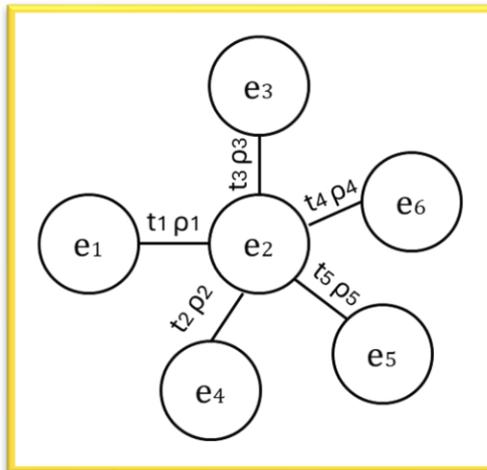


Figura 18. Grafo ponderado no dirigido en el que los nodos (e) son los edificios, las aristas (t) los segmentos de tuberías y los pesos (p) sus respectivas densidades lineales.

Para conseguir trazar la posible trayectoria de una RDC, es necesario el empleo de técnicas de aprendizaje supervisado y la teoría de grafos para conectar edificios cercanos, además de un filtrado posterior de conexiones redundantes para seleccionar aquellas que maximicen la densidad lineal de calor de las tuberías. El primer paso para trazar la posible RDC es el diseño de un grafo que conecte entre sí todos los nodos (edificios) de la localidad (véase Figura 19). Tal y como se observa en la imagen, este grafo inicial contiene conexiones innecesarias entre algunos edificios. Mediante la técnica de árbol de recubrimiento mínimo (MST en sus siglas en inglés) se consigue reducir las conexiones (Figura 20).

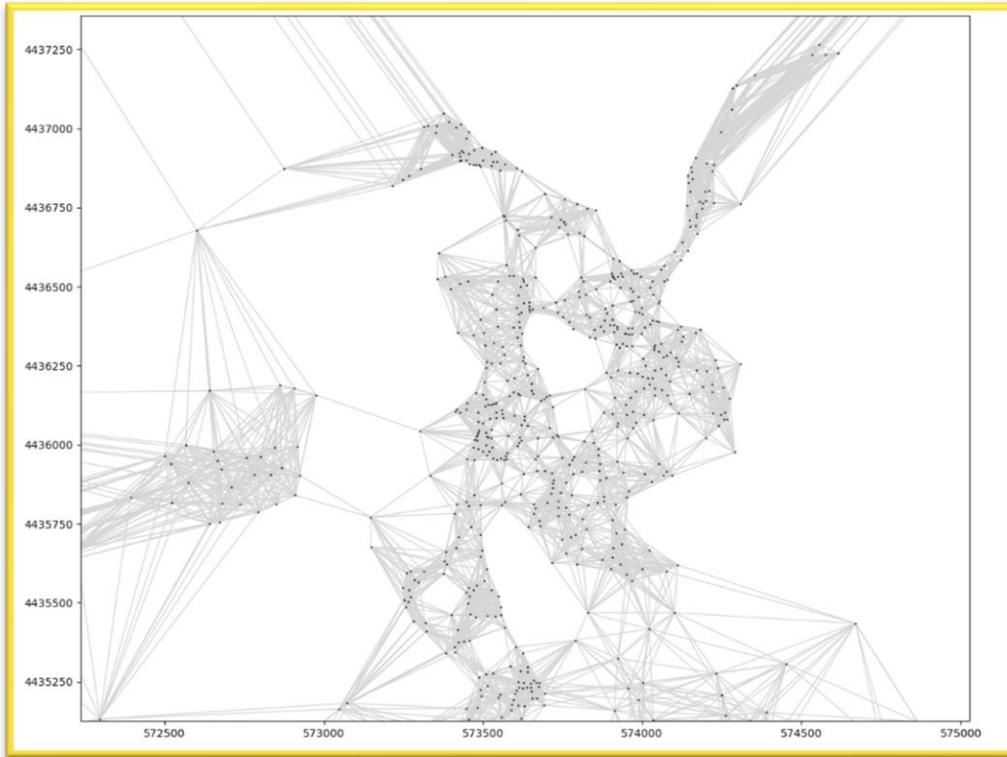


Figura 19. Grafo preliminar con conexiones redundantes de edificios de la localidad de Cuenca.

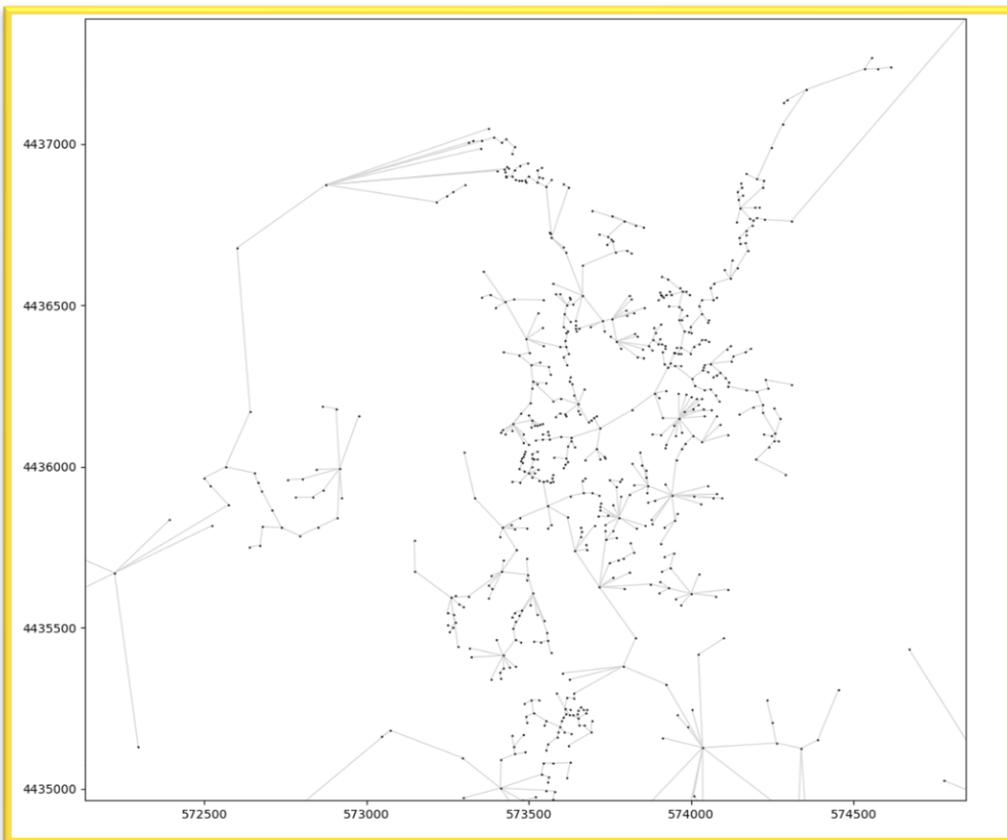


Figura 20. Aplicación de la técnica MST.

## Identificación de redes de calor con potencial suficiente para justificar un análisis de previabilidad

Una vez trazadas las RDC, se buscan regiones con alto potencial filtrando subredes con alta densidad lineal de calor. En el caso específico de la localidad de Cuenca, se consiguió filtrar subconjuntos de la red global diseñada en el paso anterior que, de manera preliminar, reflejan indicios de potencial de viabilidad de redes de calor. Las RDC identificadas que se encuentren, al menos, en el percentil 20 de densidad lineal de RDC, es decir 543 kWh/m, y tengan un consumo anual total de, al menos, 1 GWh, se marcarán como potenciales y se recomendará el análisis de previabilidad.

Tras aplicar la metodología en la localidad de Cuenca, se identificó una red con potencial para la realización de un análisis inicial de viabilidad (véase Figura 9).

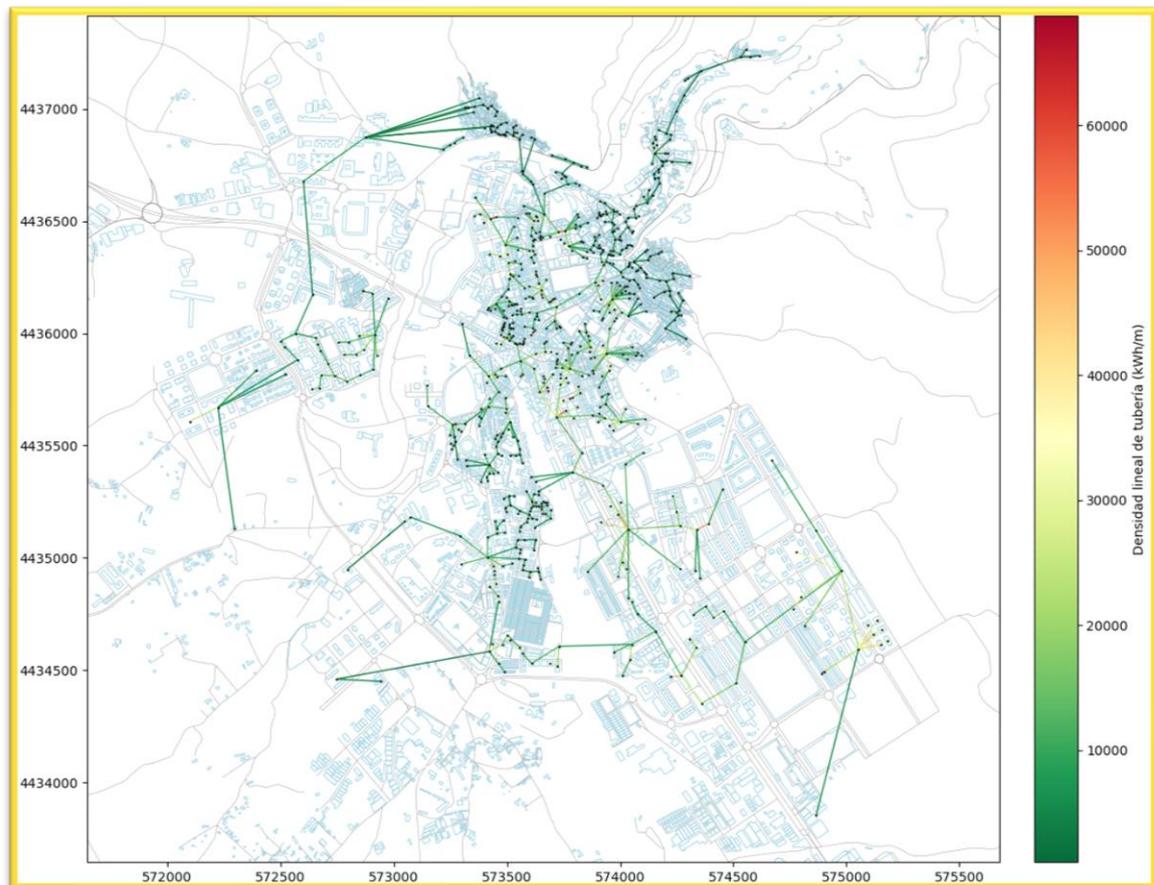
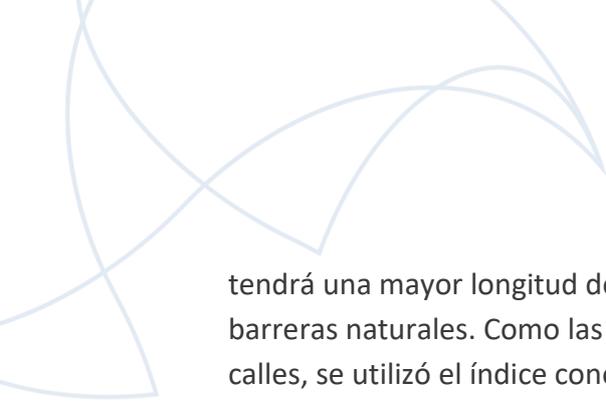


Figura 21. Diseño de potencial de red de calor identificada en Cuenca cuya densidad lineal supera las condiciones establecidas con anterioridad.

La red diseñada por esta metodología utiliza uniones rectas entre edificios, empleando la distancia euclídea para medir la longitud de red. Sin embargo, la red real de tuberías



tendrá una mayor longitud debido a restricciones para soterrar en algunos lugares y a barreras naturales. Como las tuberías de una red de calor suelen soterrarse a través de calles, se utilizó el índice conocido en ciencia de redes como factor de circuito o *circuitry* (Barthélemy, 2011). Este índice ha sido estudiado por diferentes autores para encontrar, de manera empírica, la ratio media entre distancia en línea recta y distancia de red en vías urbanas. Estudios como O'Sullivan (1996) encuentran factores de circuito en estas vías entre el 121% y el 123%.

# Índice de figuras y tablas

**Metodología para el análisis de  
medidas activas en la rehabilitación  
de edificios para un plan de  
climatización municipal**



**FUNDACIÓN  
RENOVABLES**

## Índice de figuras y tablas

### Índice de figuras

Figura 1. Evolución del consumo de energía final del sector residencial y su estructura. ....	14
Figura 2. Ciclo frigorífico de una bomba de calor en modo calefacción. ....	15
Figura 3. Crecimiento anual de la potencia térmica instalada de los distintos tipos de bombas de calor en España. ....	18
Figura 4. Crecimiento anual del número de plantas de los distintos tipos de bombas de calor en España. ....	19
Figura 5. Potencia FV mensual generada frente a los grados día de calefacción y refrigeración en el municipio de Cuenca en 2022. ....	22
Figura 6. Potencia FV horaria generada frente a los grados hora de calefacción y refrigeración para un día tipo de invierno y verano en el municipio de Cuenca. ....	22
Figura 7. Esquema de una instalación solar térmica típica. (ASIT, 2020). ....	23
Figura 8. Colector solar plano (ASIT, 2020). ....	24
Figura 9. Diseño y funcionamiento de un tubo de vacío (ASIT, 2020). ....	25
Figura 10. Panel fotovoltaico térmico (Diario Renovables, 2017). ....	26
Figura 11. Productores y consumidores en una red de distrito (Interreg, s.f.). ....	28
Figura 12. Certificado de mantenimiento de instalaciones térmicas de Castilla-La Mancha. ....	42
Figura 13. Temperaturas mínimas y máximas en el municipio de Cuenca en 2022. ....	45
Figura 14. Grados día de calefacción para el año 2022 en Cuenca. ....	46
Figura 15. Grados día de refrigeración para el año 2022 en Cuenca. ....	47



Figura 16. Grados día anuales de los municipios que cuentan con una RDC con 10 o más edificios conectados.....	71
Figura 17. Ejemplo de parcelas catastrales de tipo edificio de la localidad de Cuenca.	78
Figura 18. Grafo ponderado no dirigido en el que los nodos (e) son los edificios, las aristas (t) los segmentos de tuberías y los pesos ( $\rho$ ) sus respectivas densidades lineales. ....	80
Figura 19. Grafo preliminar con conexiones redundantes de edificios de la localidad de Cuenca. ....	81
Figura 20. Aplicación de la técnica MST. ....	81
Figura 21. Diseño de potencial de red de calor identificada en Cuenca cuya densidad lineal supera las condiciones establecidas con anterioridad. ....	82

## Índice de tablas

Tabla 1. Conjunto de datos que recopilar de los edificios a través del catastro.....	40
Tabla 2. Conjunto de datos que recopilar de las instalaciones térmicas. ....	43
Tabla 3. Resumen de datos térmicos obtenidos para Cuenca. ....	49
Tabla 4. Consumo de ACS según el CTE (MIVAU, 2023).....	50
Tabla 5. Rendimientos de equipos utilizado (AFEC, 2024) (IDAE, 2007).....	52
Tabla 6. Factores de emisión utilizados (Creara).....	52
Tabla 7. Precio del combustible utilizado (AFEC, 2024). ....	54
Tabla 8. Segmentos considerados y sus características. ....	56
Tabla 9. Tecnologías consideradas en el estudio. ....	56
Tabla 10. Equipos, inversión y rendimientos considerados (EHPA, 2025) (Sarbu, 2015). ....	57



Tabla 11. PRS en función de la tecnología instalada – motivo de sustitución 1. ....	61
Tabla 12. PRS en función de la tecnología instalada – motivo de sustitución 2. ....	63
Tabla 13. Porcentaje de consumidores que sustituyen su equipo térmico actual por una bomba de calor en función del PRS – motivo de sustitución 1. ....	64
Tabla 14. Porcentaje de consumidores que sustituyen su equipo térmico actual por una bomba de calor en función del PRS – motivo de sustitución 2. ....	65
Tabla 15. Tasa de sustitución en función de la tecnología instalada – motivo de sustitución 1. ....	67
Tabla 16. Tasa de sustitución en función de la tecnología instalada – motivo de sustitución 2. ....	70
Tabla 17. Distribución de tipo de calefacción para viviendas plurifamiliares del municipio de Cuenca. (INE, 2025). ....	79



# Glosario

**Metodología para el análisis de medidas activas en la rehabilitación de edificios para un plan de climatización municipal**



**FUNDACIÓN  
RENOVABLES**

## Glosario

**ACS:** Agua caliente sanitaria

**ATES:** Sistemas de almacenamiento de energía térmica en acuíferos

**BIPV:** Energía fotovoltaica integrada en edificios

**BTES:** Sistemas de almacenamiento de energía térmica en sondeos

**CAEs:** Certificados de ahorro energético

**CEC:** Comunidad energética ciudadana

**EED:** Directiva de eficiencia energética de la Unión Europea

**EPBD:** Directiva de eficiencia energética de los edificios de la Unión Europea

**ERSEE:** Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España

**GEI:** Gases de efecto invernadero

**HFCs:** Hidrofluorocarbonos

**HVAC:** Calefacción, ventilación y aire acondicionado

**Ktep:** Kilo tonelada equivalente de petróleo

**MITERD:** Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

**PCG:** Potencial de calentamiento global

**PCS:** Poder calorífico superior

**PEDs:** Distritos de energía positiva

**PIREP:** Programa de Impulso a la Rehabilitación de Edificios Públicos



**PNIEC:** Plan nacional integrado de energía y clima

**PREE:** Programa de rehabilitación energética de edificios

**PRS:** Período de Retorno Simple

**PRTR:** Plan de recuperación transformación y resiliencia

**PTES:** Sistemas de almacenamiento de energía térmica en fosas

**RITE:** Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios

**TES:** Sistemas de almacenamiento de energía térmica

**TTES:** Sistemas de almacenamiento de energía térmica en tanques

**VRF:** Flujo variable de refrigerante

# Bibliografía

**Metodología para el análisis de medidas activas en la rehabilitación de edificios para un plan de climatización municipal**



**FUNDACIÓN  
RENOVABLES**

## Bibliografía

- ADHAC, 2016. *Estudio de previabilidad de una red urbana en la zona sureste del municipio de Madrid*. s.l.:s.n.
- ADHAC, 2023. *Censo de Redes Octubre 2023*. s.l.:s.n.
- AFEC, 2023. *La bomba de calor en la rehabilitación energética de edificios*. s.l.: s.n.
- AFEC, 2024. *Comparación de sistemas de calefacción doméstica*. s.l.:s.n.
- Andreas V. Olympios, P. S. M. M. A. M. M. C. N. M., 2024. A review of recent progress in the design and integration of domestic heat pumps. *Next Energy* 5.
- ASIT, 2020. *Guía Técnica de Energía Solar Térmica*. s.l.: s.n.
- ATECYR, 2010. *Guía técnica de agua caliente sanitaria central*. s.l.: s.n.
- BOIB, 2019. *Ley 10/2019, de 22 de febrero, de cambio climático y transición energética*. s.l.:s.n.
- Comunidad Autónoma de Canarias, s.f. *Ley 6/2022, de 27 de diciembre, de cambio climático y transición energética de Canarias*. s.l.:s.n.
- Comunidad Autónoma de Cataluña, s.f. *Ley 16/2017, de 1 de agosto, del Cambio Climático*. s.l.:s.n.
- Comunidad Autónoma del País Vasco, s.f. *Ley 1/2024, de 8 de febrero, de Transición Energética y Cambio Climático*. s.l.:s.n.
- Comunidad Foral de Navarra, s.f. *Ley Foral 4/2022, de 22 de marzo, de Cambio Climático y Transición*. s.l.:s.n.
- Comunitat Valenciana, s.f. *Ley 6/2022, de 5 de diciembre, del Cambio Climático y la Transición Ecológica de la Comunitat Valenciana*. s.l.:s.n.
- Diario Renovables, 2017. ¿Cómo funciona un panel solar híbrido? Uniendo la energía solar fotovoltaica y térmica en un solo panel. 10 8.



EHPA, 2025. MyHeatPump. En: s.l.:s.n.

European Commission, Directorate-General for Energy, Beutel, J., Vorkapić, V, 2024. *District Heating Toolkit*. s.l.: s.n.

Eurostat, 2023. *Primary energy consumption*. [En línea]  
Available at:  
[https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg\\_07\\_10/default/table?lang=en&category=t\\_nrg.t\\_nrg\\_sdg\\_07](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_07_10/default/table?lang=en&category=t_nrg.t_nrg_sdg_07)

Hotmaps project, 2019. *D2.3 WP2 Report - Open Data Set for the EU28*. s.l.: s.n.

HOTMAPS, 2019. *D 2.3 WP2 Report - Open data set for the EU 28*. s.l.:s.n.

IDAE, 2007. *Biomasa: Edificios*. s.l.: s.n.

IDAE, 2007. *Procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas*. s.l.:s.n.

IDAE, 2009. *Instalaciones de biomasa térmica en edificios*. s.l.: s.n.

IDAE, 2014. *Guías. Frecuencias horarias de repetición en temperatura. Intervalo 24 horas*, Madrid: s.n.

IDAE, 2019. *Segunda evaluación del potencial de la calefacción y la refrigeración eficientes*. s.l.:s.n.

IDAE, 2020. *Guía Técnica Agua Sanitaria Central*. s.l.:s.n.

IDAE, 2024. *Evolución del consumo de energía final por usos*. s.l.:s.n.

INE, 2025. *Viviendas principales según tipo de calefacción por tipo de edificio, año de construcción y tamaño del municipio*. s.l.:s.n.

Institut Català d'Energia, 2011. *Guía Básica de Redes de Distrito de Calor y de Frío*. s.l.: s.n.

Interreg, s.f. *About district heating*. [En línea]  
Available at: <https://guidetodistrictheating.eu/about/what-is-district-heating/>



MITERD, 2023. *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima*. s.l.:s.n.

MITMA, 2020. *Actualización 2020 de la Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España*. s.l.:s.n.

MIVAU, 2023. *Documento básico HE ahorro de energía con comentarios del MITMA*. s.l.:s.n.

Plataforma por la Descarbonización de la Calefacción y el Agua Caliente, 2024. *Hoja de Ruta de la Calefacción Renovable*. s.l.: s.n.

Sarbu, I., 2015. Using Ground-Source Heat Pump Systems for Heating/Cooling of Buildings. En: I. Basel, ed. *Advances in geothermal energy*. s.l.:InTech, pp. 1-36.

Unión Europea, 2023. *Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955 (recast)*. s.l.:s.n.

Unión Europea, 2024. *Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings (recast)*. s.l.:s.n.

Unión Europea, 2024. *Regulation (EU) 2024/573 of the European Parliament and of the Council of 7 February 2024 on fluorinated greenhouse gases, amending Directive (EU) 2019/1937 and repealing Regulation (EU) No 517/2014*. s.l.:s.n.



FUNDACIÓN  
RENOVABLES

C/ Santa Engracia, 108. 5º Interior. Izda.  
28003 Madrid

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

