

CON EL APOYO DE:



PTR2020-001201

Redes de energía térmica de baja y muy baja temperatura

INICIATIVA TECNOLÓGICA PRIORITARIA 02-2022

Diciembre de 2022

Autores

Guillermo José Escobar López (PTE-ee). Director



Francisco Javier Sigüenza y Arturo Corts



Pascual Polo



Andrea Gabaldón, Iciar Bernal, Jesús Samaniego y Luis A. Bujedo



Alberto Castellanos



Alejandro García Gil



Carol Pascual y Jon Iturralde



ESTE DOCUMENTO SE HA DESARROLLADO EN EL MARCO DE LAS AYUDAS A LA CONVOCATORIA CORRESPONDIENTE AL AÑO 2020 DE PLATAFORMAS TECNOLÓGICAS Y DE INNOVACIÓN DEL PROGRAMA ESTATAL DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN ORIENTADA A LOS RETOS DE LA SOCIEDAD (PLAN ESTATAL I+D+I 2017-2020)

ENTIDAD SOLICITANTE: PLATAFORMA TECNOLÓGICA ESPAÑOLA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

REFERENCIA PROYECTO: PTR2020-001201

Contenido

1.	EXCELENCIA DE LA PROPUESTA	9
1.1.	Alineación con los objetivos energéticos europeos y nacionales	10
1.1.1.	Ley 7/2021 de Cambio Climático y Transición Energética	10
1.1.2.	Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC)	11
1.1.3.	Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo (EDLP).....	11
1.1.4.	Estrategia para la Rehabilitación Energética del Sector de la Edificación en España 11	
2.	DEFINICIÓN DE HORIZONTES TEMPORALES	12
2.1.	Despliegue de Redes de baja temperatura.....	12
2.2.	Hoja de ruta para el despliegue de Redes de Muy Baja Temperatura.....	12
3.	TECNOLOGÍAS DISPONIBLES RELEVANTES.....	14
3.1.	Evolución de las redes de calor (IGME).....	15
3.1.1.	Redes de calor de primera generación: Vapor (200 °C)	15
3.1.2.	Redes de calor de segunda generación: Agua caliente presurizada (100 °C)	15
3.1.3.	Redes de calor de tercera generación: Agua caliente presurizada (<100 °C)	16
3.1.4.	Redes de calor de cuarta generación: Agua caliente (50-60 °C) y fría	16
3.1.5.	Redes de refrigeración.....	16
3.1.6.	Redes de calor de quinta generación: Agua caliente (<50) y fría.....	17
3.2.	Estado del arte.....	17
3.3.	Tecnologías disponibles para desarrollar redes de BT y MBT (IREC, TECNALIA, CARTIF, IGME, CIEMAT)	21
3.3.1.	Generación fotovoltaica	22
3.3.2.	Solar térmica.....	23
3.3.3.	Geotermia somera.....	25
3.3.4.	Bomba de calor.....	36
3.3.5.	Calor residual.....	38
3.3.6.	Tuberías de bajas pérdidas térmicas.....	39
3.3.7.	Calderas de condensación de biomasa.....	40
3.3.8.	Sistemas de climatización radiantes o de convección forzada.	40
3.3.9.	Sistemas de gestión energética y optimizadores.....	41
3.4.	Necesidad de desarrollo o mejora tecnológica para las redes de BT y MBT.....	41
3.5.	Revisión cadena de valor y tecnologías habilitadoras necesarias para el desarrollo de las tecnologías principales (IREC, TECNALIA, CARTIF, IGME, CIEMAT, SOLPLAT)	43
3.6.	Infraestructura de I+D disponible en España.....	45

3.6.1.	CARTIF.....	45
3.6.2.	CIEMAT	46
3.6.3.	TECNALIA	48
4.	ANÁLISIS DEL SECTOR: INDUSTRIA Y MERCADO	50
4.1.	Escenario industrial y empresarial actual	50
4.1.1.	Unión Europea	50
4.1.2.	España	53
4.2.	Marco político, y regulatorio	55
4.3.	Impactos esperados.....	57
4.3.1.	Bienes y servicios a escala nacional	57
4.3.2.	Potencial de exportación de bienes y servicios	58
4.3.3.	Disminución de la dependencia exterior de tecnología y servicios	59
4.3.4.	Cuotas de mercado de las redes de BT y MBT	59
4.4.	Modelos de negocio: estado del arte y nuevos modelos.....	60
4.5.	Cuota de mercado de calor y frío accesible a redes de BT y MBT	63
4.6.	Impacto energético, medioambiental y socioeconómico.....	64
4.6.1.	Impacto energético.....	64
4.6.2.	Impacto técnico	64
4.6.3.	Económico	66
4.6.4.	Impacto ambiental y social	67
5.	RECURSOS NECESARIOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN: ANÁLISIS PESTEL	68
5.1.	Factores políticos.....	68
5.2.	Factores económicos	68
5.3.	Factores sociales.....	69
5.4.	Factores técnicos.....	69
5.5.	Factores ecológicos	70
5.6.	Factores legales y regulatorios	70
5.7.	Síntesis.....	71
6.	ANÁLISIS DAFO	74
7.	CONCLUSIONES	75
	Anexo I. Proyectos relacionados reportados por los autores	77

Ilustraciones

Ilustración 1. Efectos de la reducción de la temperatura de las redes de energía térmica	10
Ilustración 2. Evolución de las tecnologías de redes de energía térmica, temperaturas de operación y ejemplos de fuentes de energía.....	21
Ilustración 3. Capacidad mundial instalada en generación fotovoltaica. Fuente: IRENA	22
Ilustración 4. Evolución del coste de las instalaciones fotovoltaicas en el sector residencial en España. Fuente: IRENA	22
Ilustración 5. Huella de carbono de diferentes tecnologías de generación térmica. Fuente: ADEME, INUK, IPCC.....	25
Ilustración 6. Requerimiento de superficie de diferentes tecnologías para generación de energía renovable. Fuente: Proyecto H2020 Solar District Heating.	25
Ilustración 7. Energía geotérmica somera como energía térmica ambiental y tipos de intercambiadores de calor geotérmicos: (A) de tipo circuito cerrado y (b) de tipo circuito abierto. Fuente:	26
Ilustración 8. (A) Sistema EGS en circuito cerrado en sondeo vertical tipo BHE. (B) Tipos de ensamblajes en intercambiadores geotérmicos en sondeos verticales (BHE) en U-simple (B1), U-doble (B2) y coaxial anular (B3). Figura modificada de García-Gil et al. (2022)	29
Ilustración 9. (A) Sistema EGS en circuito cerrado horizontal con tubería simple vertical (A1), simple horizontal (A2) y tubería múltiple (A3). (B) Sistema EGS en circuito cerrado horizontal con tubería en espiral vertical (B1) y espiral horizontal (B2). Figura modificada de García-Gil et al. (2022)	30
Ilustración 10. (A) Sistema EGS con intercambiador geotérmico constituido por termoactivación de geoestructuras. Figura modificada de García-Gil et al. (2022).....	31
Ilustración 11. (A) Sistema EGS en circuito abierto. (B) Partes de un pozo de captación geotérmico. Figura modificada de García-Gil et al. (2022)	33
Ilustración 12 Imagen del estudio (Vaishak & Bhale, 2019).....	37
Ilustración 13 Imagen del estudio (Vaishak & Bhale, 2019).....	38
Ilustración 14. Cadena de valor y opciones de las redes de calor. Fuente: ACCENTURE	44
En la ilustración 15, se representa una visión esquemática de esa integración, que permitiría emplear de forma eficiente los excesos de generación de las fuentes renovables no gestionables, a través de la tecnología de bomba de calor. Cuanto menor sea la temperatura de diseño de la red de calor, mayor será la eficiencia (COP) de la bomba de calor.....	44
Ilustración 16. Interconexión entre red eléctrica y de calor. Fuente: Nota	45
Ilustración 17. Banco de ensayos PVT y Banco de ensayos Bombas de calor agua-agua de CARTIF. Fuente: CARTIF	46
Ilustración 18 Vista general de la distribución de la red térmica del CEDER y captura de software de gestión. Fuente CIEMAT	47
Ilustración 19. Laboratorio de sistemas térmicos y eficiencia energética de TECNALIA. Fuente: TECNALIA.....	49
Ilustración 20. Ventas de calor (GWh/año). Fuente: Euroheat & Power - 2022 CbC.	50
Ilustración 21. Redes térmicas de distrito solares en Europa. Fuente: T. Pauschinger.....	52
Ilustración 22. Fuentes de energía presentes en las redes. Fuente ADHAC, 2022.	54
Ilustración 23. Intensidad regulatoria de las redes de calor. Fuente:	56
Ilustración 24. Comparación de niveles de temperatura de operación y densidad energética de tres sistemas de acumulación térmica. Fuente: International Journal of Heat and Mass Transfer.	58

Ilustración 25: modelo de precios LTDH (Low Temperature District Heating) del caso de Brunshög 62

Ilustración 26. Red de baja temperatura con subestación térmica. Fuente: REWARDHeat planning schemes database 65

Ilustración 27. Red de baja temperatura con subestación térmica con bomba de calor. Fuente: Elaboración propia..... 65

Tablas

Tabla 1. Calor recuperable en España por nivel térmico	39
Tabla 2. Ejemplos de pérdidas de calor de tuberías preaisladas para diferentes temperaturas de servicio.....	39
Tabla 3: Casos de estudio identificados con diferentes fuentes de generación, almacenamiento y temperatura de suministro [Fuente:-].....	51
Tabla 4. Análisis PESTEL para la implementación de las redes de calor y frío de BT y MBT.....	72

1. EXCELENCIA DE LA PROPUESTA

El uso del término redes de *calefacción y refrigeración de distrito* (*District Heating and Cooling, DH&C*) en su acepción general incluye redes de *calefacción de distrito* (*District Heating, DH*) y redes de *refrigeración de distrito* (*District Cooling, DC*). En gran medida, las redes DH&C de 4ª y 5ª generación de muy baja temperatura (que, en adelante, denominamos redes de BT y MBT) es una idea derivada de interconectar sistemas de energía renovable y residual. Por ejemplo, la mayoría (más del 70%¹) de las redes de muy baja temperatura están alimentadas por sistemas de geotermia somera.

En primer lugar, es importante deslindar el alcance del presente documento. Para ello, se debe distinguir entre lo que es una red de suministro de energía térmica para el uso directo (el alcance de esta ITP) de lo que es un lazo atemperado. El concepto de quinta generación de redes de energía térmica (5G) muchas veces se confunde con un lazo atemperado, en el que es necesario que exista una bomba de calor en los edificios de los usuarios para mantener más o menos constante la temperatura del lazo y un sistema en cabera que compense el calor que equilibre todo el lazo. El concepto de lazo atemperado no es nada nuevo. Existe desde hace décadas y se aplica mucho en centros comerciales. En el caso de las redes de MBT no es preciso que en todos los edificios conectados exista una bomba de calor que extraiga o introduzca calor en la red, ya que puede haber meros cambiadores de calor.

En el estudio para soluciones de distrito es interesante, y en algunos casos puede ser una buena idea, el uso de lazos atemperados. Pero es preciso explicar la diferencia entre ambos sistemas e indicar que no se trata de una nueva generación de redes de distrito, sino de un tipo de red diferente, con sus pros y sus contras.

Algunos de los efectos beneficiosos del empleo de redes de baja temperatura son los siguientes:

- Mayor disponibilidad de recursos, que permite la integración de fuentes renovables.
- Reducción de los costes de suministro al poder emplear fuentes residuales, de poco o nulo valor para otras aplicaciones.
- Reducción de pérdidas en distribución por la reducida diferencia de temperatura entre el fluido caloportador y la temperatura ambiente o del suelo.

1 Buffa S, Cozzini M, D'Antoni M, Baratieri M, Fedrizzi R (2019) 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 104:504-522. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.059>

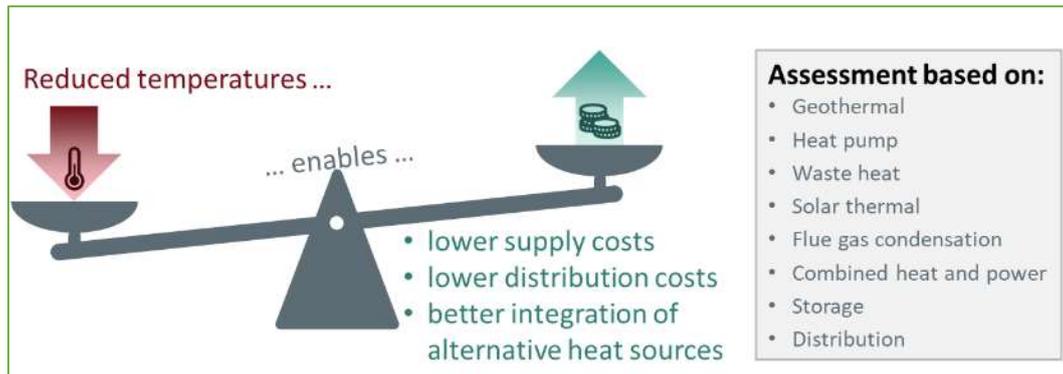


Ilustración 1. Efectos de la reducción de la temperatura de las redes de energía térmica²

1.1. Alineación con los objetivos energéticos europeos y nacionales

Las más recientes decisiones de la UE en materia de energía y clima son *Green Deal*, *Fit for 55*, y *REPowerEU*. Este último es un plan para ahorrar energía, producir energía limpia, diversificar nuestros suministros de energía. Su segundo objetivo es al que atiende fundamentalmente el uso de las redes de calor de BT y MBT, que permiten el uso de calores residuales que ahora se vierten al ambiente y de las renovables térmicas de baja temperatura, en particular geotermia y solar térmica, que es el objeto de la medida a 2027 “Incremento del objetivo europeo de energías renovables para 2030 del 40 al 45 %”.

Green Deal tiene como objetivo reducir las emisiones GEI en 2030 en un 55% respecto a 1990. El desplazamiento de las fuentes fósiles por fuentes residuales y renovables es una forma ideal de contribuir a ese objetivo, aspecto que es el eje conductor de las redes de BT y MBT.

Por lo que respecta a Fit for 55, el incremento de las renovables es la primera de sus seis grandes líneas.

En lo que concierne a los objetivos y estrategias nacionales, las redes de BT y MBT contribuyen a la mayor parte de los relacionados con los edificios (calor, frío, y agua caliente sanitaria). Se resumen en los siguientes epígrafes.

1.1.1. Ley 7/2021 de Cambio Climático y Transición Energética

En su artículo 3 se definen los tres objetivos principales a 2030, siendo el segundo “**una aportación de energía de fuentes renovables del 42% del consumo final**, y un 74% de generación eléctrica renovable”. Ese objetivo solo es alcanzable estableciendo formas de que el entorno edificado cambie radicalmente el origen de la energía con que se abastecen sus necesidades térmicas. Las redes de BT y MBT pueden contribuir en gran medida a ello tanto en los nuevos edificios como en los que se rehabiliten, como se puede ver en el capítulo de potencial de estas redes.

² Averfalk H et al, Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. IEA DHC Report, 2021

1.1.2. Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC)

De las 10 medidas sectoriales del plan, la 6 “Eficiencia energética en edificios existentes del sector residencial”, la 7 “Renovación del equipamiento residencial”, la 8 “Eficiencia energética la edificación del sector terciario” y la 9. Eficiencia energética en equipos generadores de frío y grandes instalaciones de climatización del sector terciario e infraestructuras públicas” son claras beneficiarias del despliegue de las redes de calor de BT y MBT.

En cuanto a seguridad energética, el PNIEC incide en:

- garantizar la seguridad del abastecimiento de manera que se tenga acceso a los recursos necesarios en todo momento.
- fomentar la utilización de fuentes locales para diversificar el mix energético haciendo así suyos los objetivos definidos en la Estrategia de Seguridad Energética Nacional de España del año 2015.

Hay que subrayar que, en lo referente a dependencia energética, España no se encuentra en una buena situación. Por ejemplo, en el año 2015 la dependencia energética exterior era del 73% debido a la preponderancia de los combustibles fósiles y a que nuestro país no cuenta con una producción apreciable de estos combustibles. Con las redes de BT y MBT se reduce en gran medida la dependencia exterior para el abastecimiento de energía térmica en los edificios, ya que las fuentes usadas son calores residuales y fuentes locales de energía renovable.

1.1.3. Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo (EDLP)

En el año 2050 los edificios deben ser climáticamente neutros. Las acciones necesarias para llevar a cabo la rehabilitación energética, y transformar todo el parque de viviendas es clave en la transición energética. Si como aspira la EDLP, el sector de la edificación estará plenamente descarbonizado a mediados de siglo, para lograr el objetivo es básico mejorar la eficiencia de las construcciones ya existentes y, además, es imprescindible que los nuevos edificios tengan un consumo energético casi nulo. Los mayores cambios para lograr esta transición se producirán con la mejora de las envolventes térmicas y los sistemas de climatización. **Estos últimos serán renovables en un 96%.**

1.1.4. Estrategia para la Rehabilitación Energética del Sector de la Edificación en España

La estrategia propone un orden lógico de las actuaciones de descarbonización:

- reducción de la demanda mediante actuaciones de eficiencia energética, particularmente en la envolvente.
- utilización de sistemas de calefacción, refrigeración, e iluminación muy eficientes. aparte de la energía final.
- aporte de la energía final mediante energías renovables, fundamentalmente producidas in situ. Esta tercera actuación se puede alcanzar en gran medida a través del despliegue generalizado en las ciudades de las redes de energía térmica de BT y MBT que se proponen en el presente documento.

2. DEFINICIÓN DE HORIZONTES TEMPORALES

2.1. Despliegue de Redes de baja temperatura

El nivel de madurez de las tecnologías necesarias es total, y las barreras a vencer son de índole política, normativa y de modelos de negocio que faciliten y animen tanto a promotores como a consumidores y prosumidores conectarse a estas redes de energía.

El condicionante más importante es el desarrollo de normativa en el ámbito municipal que promueva la planificación de nuevos desarrollos urbanos y construcción de edificios e instalaciones, de forma que se incentive este tipo de redes. Ello se podría hacer implementando requisitos de espacio disponible para las redes de distribución, sistemas de almacenamiento estacional, y las subestaciones de conexión, por un lado, y de sistemas de climatización compatibles con bajos gradientes de temperatura entre el fluido caloportador y el ambiente, tanto para edificios nuevos, como para rehabilitados. También se debería contemplar la limitación de la disipación de calor al exterior por parte de los edificios, a fin de que éste se evacúe hacia las redes de energía, para inducir la adquisición de calor descentralizada por parte de éstas.

Alcanzar los objetivos europeos, ampliados por *Fit for 55* y *REPowerEU*, señalan hacia 2030 como el momento en el que las redes de BT deberían ser el estado del arte de las redes de energía de baja temperatura, aunque diseñadas pensando en su fácil transformación a redes MBT, sin grandes inversiones en la infraestructura.

Dado que la normativa tarda en desarrollarse y aprobarse por las corporaciones municipales y que, además, siempre hay periodos transitorios tras la entrada en vigor, estos cambios se deberían iniciar de inmediato, de forma que los proyectos de desarrollo urbano y rehabilitaciones que se solicitasen en 2027 para su aprobación ya tuvieran que contemplar los nuevos requerimientos. Se considera que tres años es un plazo mínimo para desarrollar nuevas zonas urbanas.

2.2. Hoja de ruta para el despliegue de Redes de Muy Baja Temperatura

La Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo no deja dudas en cuanto a que en 2050 los edificios deben abastecerse en un 96% con energías renovables. En principio, ese sería el momento en que las redes de MBT deberían estar operativas, sin que hubiese otra alternativa en cuanto a redes de calor.

Sin embargo, se pueden y se deberían desplegar antes, para acelerar en lo posible la transición energética.

Si se da por supuesta que se introducen las normas de desarrollo de nuevas zonas urbanas y sobre rehabilitación indicadas en el epígrafe anterior, su adaptación a menores temperaturas de distribución no sería complejo. Por tanto, esta barrera no sería difícil de vencer para las redes de MBT.

El eslabón más débil de la cadena sería el desarrollo de tecnologías tales como nuevos materiales y sistemas radiantes de muy alta eficiencia, materiales y sistemas de acumulación de calor de alta densidad energética operable con pequeños saltos de temperatura, tanto para el almacenamiento centralizado de largo plazo como el distribuido de corto y medio plazo, o

sistemas fiables de predicción de excedentes y demandas de calor, que hacen más eficiente la producción de energía y permiten reducir el volumen de los almacenamientos, en particular los de corto plazo. Por otro lado, estos sistemas deben ser adaptados a la rehabilitación en los edificios actuales que tienen radiadores como elementos emisores.

Puesto que ya existen redes de estas características en fase de demostración y aprendizaje, se puede esperar que estos sistemas están disponibles a escala comercial en 2030, y que la difusión masiva se produzca en 2035.

3. TECNOLOGÍAS DISPONIBLES RELEVANTES

Las tecnologías que permiten alimentar energéticamente a las redes de BT y MBT son las que aplican a las energías renovables de baja temperatura y recuperación y upgrade de calor residual procedente de procesos industriales y de servicios. Estaríamos hablando de las tecnologías que se aplican a geotermia de baja entalpía, aerotermia, hidrotermia, solar térmica, biomasa de condensación, y las de recuperación de calor residual e incremento de su exergía, como bombas de calor eléctricas, de absorción y de adsorción. Algunas de estas tecnologías se han tratado en anteriores publicaciones de la PTE.ee:

- ITP 02-2021 Transformador de calor por absorción (AHT)³
- Estudio de Prospectiva 2030-2050 de Tecnologías de Eficiencia Energética⁴
- ITP-02-2020 Recuperación de Calor residual en la Industria⁵
- ITP-01-2019 Distritos de Energía Positiva (PEDs)⁶

Las redes de Baja Temperatura presentan una serie de características que las hacen ideales para poder hacer frente a los retos energéticos que se presentan como son la electrificación de la energía y la descarbonización de la Sociedad. La reducción de temperaturas lleva aparejado una serie de ventajas energéticas:

- Mayor uso potencial de energías renovables:
 - Aumenta el rendimiento de las instalaciones *solares térmicas*, mejorando el rendimiento y aumentando el número de horas de aprovechamiento.
 - Habilitan a las tecnologías de *bomba de calor*, sobre todo las que disponen de un intercambio con el exterior tipo agua (agua-agua o agua-aire) permitiendo una electrificación de la climatización. En función de la configuración de la red y su topología, la bomba de calor puede funcionar como sistema centralizado en redes de baja temperatura o bien como subestaciones vinculadas a edificios.
 - El uso dual de la red para dar tanto calor como frío, hace que los sistemas se vuelvan más resilientes contra el cambio climático siendo la *geotermia* un complemento que puede permitir esa doble función de producción de calor y de frío, con una regeneración térmica del terreno.
 - Permiten aumentar el aprovechamiento de la *fotovoltaica* en autoconsumo doméstico, sobre todo en verano, de forma conjunta con las bombas de calor (climatización solar).
- Favorecen la simbiosis industrial al aumentar la capacidad de aprovechamiento del *calor residual* producido a partir de fuentes de energía de baja temperatura.
- Permiten una mayor capacidad para integrarse en los sistemas de energía inteligentes (regulables) al ser necesaria una gestión común y centralizada de la red.

3<https://static.ptee.org/media/files/documentacion/itp-02-2021-transformador-de-calor-por-absorcion-aht-TT4.pdf>

4 <https://static.ptee.org/media/files/documentacion/estudio-de-prospectiva-2030-2050-de-tecnologias-de-eficiencia-energetica-fsf.pdf>

5 <https://static.ptee.org/media/files/documentacion/nueva-itp-recuperacion-de-calor-residual-en-la-industria-vSy.pdf>

6 <https://static.ptee.org/media/files/documentacion/itp-01-2019-distritos-de-energia-positiva-peds-H14.pdf>

- Se reducen las pérdidas térmicas de distribución y el coste al ser necesario un menor aislamiento (incluso puede llegar a obviarse) con el ahorro de movimientos de tierras en zanjas.

3.1. Evolución de las redes de calor (IGME)

El uso del término redes de *calefacción y refrigeración de distrito (District Heating and Cooling, DH&C)* en su acepción general incluye redes de *calefacción de distrito (District Heating, DH)* y redes de *refrigeración de distrito (District Cooling, DC)*. Una *red de calor de distrito* hace referencia a calor como energía térmica en movimiento por lo que representa la acepción más general incluyendo cualquiera de las anteriores.

Con el paso del tiempo, las demandas del mercado y las tecnologías han ido cambiando, también influidas por las condiciones de precios de la energía y las tendencias políticas. Esos factores han provocado la evolución la aparición y despliegue de sucesivas generaciones de redes.

3.1.1. Redes de calor de primera generación: Vapor (200 °C)

La primera generación de redes de calor de distrito consistía en redes de calefacción donde se utilizaba el vapor a 200 °C como fluido caloportador. Las primeras redes a escala de distrito se introdujeron por primera vez en EE.UU. en la década de 1880 para evitar el riesgo de explosión de las calderas individuales de edificios de viviendas y aumentar el confort. Todas las redes de distrito instaladas en EE.UU. y Europa hasta 1930 utilizaban tecnología de vapor.

Las redes de calefacción de distrito se constituían por una red de tubos de vapor construida con conductos de hormigón, trampas de vapor y compensadores. Los elementos terminales de difusión de calor de las redes consistían en la condensación de vapor en los radiadores de los consumidores. Los retos de planificación y regulación de las autoridades que presentaban este tipo de redes era tratar el problema derivado de la competencia de suministros en las mismas calles y zonas urbanas.

En la actualidad este tipo de redes se encuentra obsoleta. Las razones de su abandono son las elevadas pérdidas térmicas en la red (alto gradiente térmico con el entorno) y la existencia de explosiones de vapor provocando graves accidentes. Además, las tuberías de retorno del agua condensada presentaban problemas de corrosión con pérdidas de fluido reduciendo la eficiencia energética. A pesar de las grandes desventajas, aún perduran actualmente antiguas redes de calefacción de vapor en Nueva York (Manhattan) y París.

3.1.2. Redes de calor de segunda generación: Agua caliente presurizada (100 °C)

A partir de la década de 1930, hasta la década de 1970, dominaron las redes de calefacción de distrito de segunda generación. Estas redes utilizaban agua a más de 100 °C presurizada para mantener su estado líquido (también denominada agua sobrecalentada). Las redes utilizaban también tuberías de hormigón, grandes intercambiadores de calor de carcasa y tubo, además de grandes y pesadas válvulas.

La construcción de estas redes se motivaba principalmente para conseguir un ahorro de combustible y un mayor confort mediante una expansión coordinada de la cogeneración en las zonas urbanas. Esta tecnología era la más utilizada en la antigua URSS.

En España, un ejemplo de esta tipología fue la red de calefacción del Complejo Hospitalario La Paz, en Madrid, con la única diferencia de que las tuberías eran de acero calorifugado en obra, que fue sustituida en la segunda década de este siglo por una red de tercera generación, dado que la propiedad decidió mantener los elementos terminales, que no eran aptos para - temperaturas de impulsión inferiores a 70-80°C.

3.1.3. Redes de calor de tercera generación: Agua caliente presurizada (<100 °C)

La tercera generación de redes de calor de distrito se introdujo a partir de la década de 1970, provocada por las dos crisis del petróleo, buscando centrarse en la eficiencia energética relacionada con la cogeneración y la sustitución del petróleo por diversos combustibles locales y/o más baratos, como el carbón, la biomasa y los residuos. Además, la energía solar térmica y la **energía geotérmica** se empezaron a utilizar como complemento en algunos lugares. Este cambio de paradigma afectó tanto (1) a la ampliación de las redes existentes que tuvo lugar en los años ochenta y posteriores en Europa Central y Oriental, y en la antigua URSS; (2) como a todos los sistemas nuevos en China, Corea, Europa, Estados Unidos y Canadá utilizaron en este periodo la tecnología de tercera generación.

En ocasiones la tecnología de redes de tercera generación se conoce como "*tecnología escandinava*" por ser el lugar de fabricación de los componentes típicos. Estas redes también utilizaron agua líquida a presión, pero las temperaturas con temperaturas de suministro inferiores a 100 °C. Los componentes típicos en las redes de tercera generación son las tuberías con aislante prefabricadas listas para ser directamente enterradas en el suelo, y las subestaciones compactas con intercambiadores de calor de placas de acero inoxidable.

3.1.4. Redes de calor de cuarta generación: Agua caliente (50-60 °C) y fría

Siguiendo la tendencia de las tres generaciones anteriores de reducción de las temperaturas de distribución, reducción de componentes materiales y la prefabricación, la cuarta generación de tecnología de calefacción presenta temperaturas de distribución más bajas (50-60 °C).

Con la reducción de temperaturas de distribución se busca la transformación en un sistema energético sostenible. Esto implica un marco institucional en el que la planificación de las infraestructuras se utiliza para identificar y aplicar dónde desarrollar la calefacción urbana y dónde no, así como evaluar los costes e incentivos en la operación de redes de distrito con el objetivo de lograr un equilibrio óptimo entre las inversiones en ahorro, frente a la producción de calor con energías renovables fluctuantes en el sistema energético global.

3.1.5. Redes de refrigeración

Las redes de distrito de refrigeración de primera generación aparecieron en ciudades norteamericanas y europeas a finales del siglo XIX. Se constituían por redes tuberías con refrigerante como fluido caloportador de distribución. Presentaban condensadores centralizados y evaporadores descentralizados.

En los años 60 del siglo XXI se introdujo la segunda generación de redes de refrigeración de distrito en Hartford, París y Hamburgo. Las redes pasaron a ser alimentadas por grandes enfriadoras de compresión mecánica, utilizando agua fría como fluido de distribución.

En la década de 1990, con la prohibición de los refrigerantes CFC según el protocolo de Montreal, surgió la tercera generación tecnológica. Se realiza un suministro de frío más diversificado, manteniendo el agua fría como fluido de distribución, pero se empiezan a usar enfriadoras de absorción junto con enfriadoras de compresión mecánica con o sin recuperación de calor, refrigeración natural a partir de lagos, corrientes de frío en exceso y almacenes de frío.

Una futura cuarta generación de sistemas de refrigeración urbana puede definirse como nuevos sistemas inteligentes de refrigeración urbana más interactivos con las redes de electricidad, calefacción urbana y gas.

3.1.6. Redes de calor de quinta generación: Agua caliente (<50) y fría

En este documento, se consideran como redes de muy baja temperatura (MBT) a aquéllas en que la temperatura de impulsión es menor de 50°C y que se emplean también como fuente para la refrigeración.

Las redes DH de alta temperatura siguen sufriendo importantes pérdidas térmicas (de hasta 30%) y elevados costes de instalación. La reducción de la demanda de calefacción debido al ritmo de renovación del parque de edificios existente con mejores aislamientos hace que estos sistemas sean cada vez menos rentables.

Las redes de DHC de cuarta y quinta generación pueden alcanzar altas eficiencias operando a bajas temperaturas. La tecnología de cuarta generación allana el camino para la recuperación del exceso de calor y la integración de las energías renovables en la red. Sin embargo, en las redes de cuarta generación, las mismas tuberías no pueden proporcionar simultáneamente servicios de calefacción y refrigeración a diferentes edificios. Este es el reto de la tecnología de quinta generación.

El concepto de la tecnología de redes DH&C de quinta generación deriva de los sistemas geotérmicos someros que utilizan bombas de calor geotérmicas acoplados a intercambiadores geotérmicos abiertos o cerrados (descritos en detalle más adelante). A pesar de que las redes de quinta generación DHC están en una fase temprana de desarrollo, hay varios sistemas en funcionamiento en Europa, principalmente iniciados como proyectos piloto. Muchos de estos sistemas funcionan de forma diferente a la tecnología DHC tradicional. Por ejemplo, suministran agua a las bombas de calor de agua descentralizadas a una temperatura entre 0 °C y 30 °C. Esto tiene varias ventajas con respecto a las redes DH tradicionales, como se expone en la siguiente sección.

3.2. Estado del arte

La Plataforma Tecnológica RHC (European Technology and Innovation Platform on Renewable Heating and Cooling⁷) se plantean diferentes tendencias en el consumo de energía térmica en Europa para 2050, con una reducción en la demanda de calefacción del 20%, y el 30 % en

⁷ <https://www.rhc-platform.org/>

refrigeración teniendo en cuenta un aumento de aproximadamente tres veces en comparación con los valores de 2006⁸ debido entre otros al cambio climático.

La tecnología de redes de calefacción y refrigeración se considera como una solución para la reducción de los consumos de energía primaria y las emisiones locales tanto para cubrir la demanda de calefacción y refrigeración de los edificios en redes de distrito⁹ como en su variante industrial. Destacar que estas redes de calor central o *district heating* tienen una larga tradición en países con inviernos fríos como Finlandia, Suecia y Noruega. Por ejemplo, en la ciudad de Helsinki (Finlandia), el 90% del consumo de energía para sistemas de calefacción es producida por centrales térmicas que se reparte a través de redes de tuberías por toda la ciudad¹⁰.

En la encuesta estadística sobre el sector de redes térmicas realizada por Euroheat & Power¹¹ informa que alrededor de 6000 redes de calefacción estaban en funcionamiento en Europa suministrando alrededor del 11-12% de la demanda de calor total en 2017. Para la refrigeración se han identificado 115 instalaciones. Según lo indicado por la Plataforma Tecnológica DHC +¹², esta última cubre una parte de aproximadamente el 2% de la demanda total de refrigeración.

En España, a pesar de no tener una larga tradición como en los países nórdicos y del centro de Europa, también hay una presencia considerable de este tipo de redes. Cabe aquí destacar que ADHAC¹³ en su censo de 2022 tiene identificadas 516 redes de este tipo (incluyendo las microrredes) de las que 474 son de calor, 3 son de frío y 39 son mixtas. Estas redes suministran energía a más de 6.080 edificios, con una extensión de más de 910 km.

Uno de los beneficios que suelen aportar las redes de calor y frío es el correspondiente a la reducción de emisiones de CO₂. Esto suele ser debido al hecho de que los sistemas centralizados tienden a tener una mayor eficiencia que los sistemas distribuidos. Sin embargo, para llegar a sistemas neutros en emisiones de CO₂ hay que recurrir a fuentes de energía renovable. Atendiendo a la situación actual de fuentes de energía empleadas en las redes de calor y frío, en se puede observar que el 72% de las instalaciones utilizan fuentes renovables, siendo la biomasa la principal fuente de energía, pero, atendiendo a la potencia instalada, únicamente el 20% es de generación renovable. También cabe destacar que la biomasa también suele ser utilizada en instalaciones mixtas con gas natural, cubriendo un porcentaje importante sobre el número de instalaciones y sobre el total de la potencia instalada.

En cuanto a la titularidad, el 30% de las redes es pública, 33% mixta y 37% privada, con respecto a la potencia total instalada. En cuanto a los clientes la mayoría es del sector terciario (54%), después industrial (26%) y por último residencial (20%).

Las redes energéticas tradicionales consisten en centrales de generación que alimentan con agua caliente o vapor a las tuberías para distribuir el calor. Las redes de alta temperatura suelen

8 European Commission, Joint Research Centre, and European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling (RHC-Platform), 2020–2030–2050, common vision for the renewable heating and cooling sector in Europe: European technology platform on renewable heating and cooling. Luxembourg: EUR-OP; 2011.

9 Rezaie B, Rosen MA. District heating and cooling: review of technology and potential enhancements. *Appl Energy* 2012;93:2–10.

10 <https://www.dexma.com/es/blog-es/que-es-un-district-heating/>

11 Euroheat & Power. Country by Country Survey. Brussels; 2017.

12 DHC+ Technology Platform. District heating & cooling: a vision towards 2020–2030–2050. Brussels; 2012.

13 <http://www.adhac.es>

disponer de pérdidas de calor significativas y altos costos de instalación sobre todo en verano, en redes de sólo calor en las que el sistema sólo proporciona ACS. En estos casos las pérdidas térmicas de la red pueden alcanzar valores del 30% debido al alto tiempo de retención de agua en la red y el aislamiento deficiente

La implantación masiva de redes térmicas de 4ta y 5ta generación, además de las ventajas que presentan las redes convencionales hay que añadir unas pérdidas menores.

Lund y otros¹⁴ argumentan que la tecnología 4G facilita la recuperación del exceso de calor y la integración de energías renovables en la red. Sin embargo, en los sistemas 4G, las mismas tuberías no pueden proporcionar simultáneamente servicios de calefacción y refrigeración a diferentes cargas, siendo este es uno de los desafíos a salvar por la tecnología 5G.

En Europa se han identificado más de 40 redes de 5ta generación, analizadas por Buffa y otros¹⁵, la mayoría como proyectos piloto siendo en Alemania y Suiza donde se presenta un mayor crecimiento. En dicho estudio resaltan que las temperaturas de operación oscilan entre -5°C y 35°C alcanzando rendimientos (COP) entre el 4 y el 6.

Esto tiene varias ventajas:

- Operan a una temperatura de flotación libre de la red y facilitan la explotación de fuentes de calor autóctonas casi infinitas, así como focos residuales.
- La temperatura de distribución está a valores próximos a los del subsuelo ("neutra" desde el punto de vista de las pérdidas térmicas) por lo que se reducen las pérdidas de distribución.
- Tienen la capacidad de trabajar en modo de calefacción o refrigeración independientemente de la temperatura de la red gracias a flujos de energía bidireccionales y descentralizados.
- La combinación y la simultaneidad de las diferentes cargas aumentan la posibilidad de reutilizar el exceso de energía térmica de los enfriadores para calefacción sobre todo en los periodos de entretiempo y en climas suaves como los de España o con grandes variaciones entre el día y la noche.

La conciencia del calentamiento global que surgió en la década de 1990 con la creación de la CMNUCC¹⁶ en 1992 y el Protocolo de Kioto en 1997 han generado un interés renovado en los sistemas de calefacción de distrito como una herramienta para sustituir los combustibles fósiles mediante el uso de energías renovables y otras fuentes de calor de baja temperatura. Los primeros en adoptar la calefacción urbana de baja temperatura fueron los ingenieros que diseñaron varios sistemas piloto de calefacción urbana solar en Suecia, Dinamarca y Alemania. Estas experiencias se agregaron al sistema MARSTAL¹⁷ en Dinamarca, donde el almacenamiento de calor estacional también se introdujo por primera vez en un sistema de calefacción de distrito de una ciudad europea. El desarrollo del sistema MARSTAL fue apoyado por los proyectos SUNSTORE, financiados por programas marco de investigación europeos. Las condiciones y las

14 Lund H, Østergaard PA, Connolly D, Mathiesen BV. Smart energy and smart energy systems. *Energy* 2017;137:556–65.

15 Buffa S, Cozzini M, D'Antoni M, Baratieri M, Fedrizzi R. 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 104 (2019) 504–522.

16 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

17 https://r-aces.eu/use_case/marstal-district-heating/

correspondientes cinco capacidades esperadas de la cuarta generación han sido definidas por Lund et al 2014¹⁸. Este documento de definición fue escrito por un grupo de investigadores afiliados al centro de investigación 4GDH en Aalborg, Dinamarca, con financiación básica del Fondo de Innovación de Dinamarca. Las cinco habilidades identificadas son:

1. La capacidad de suministrar calefacción urbana de baja temperatura para la calefacción de espacios y la preparación de agua caliente sanitaria.
2. La capacidad de distribuir el calor con bajas pérdidas en la red.
3. La capacidad de reutilizar el calor de fuentes de baja temperatura.
4. La capacidad de integrar redes térmicas en un sistema de energía inteligente.
5. La capacidad de asegurar estructuras adecuadas de planificación, costos y motivación.

El propósito del desarrollo de sistemas 4GDH¹⁹ es encontrar una tecnología que pueda armonizarse para las condiciones europeas, y que apoye la expansión de las redes de calefacción urbana en países europeos con baja penetración de esos sistemas. Por lo tanto, se espera que esta nueva tecnología de calefacción urbana tenga el mismo papel que el 3GDH²⁰ para la expansión de la calefacción urbana en los países nórdicos.

1818 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544214002369>

19 Redes de distrito de cuarta generación.

20 Redes de distrito de tercera generación.

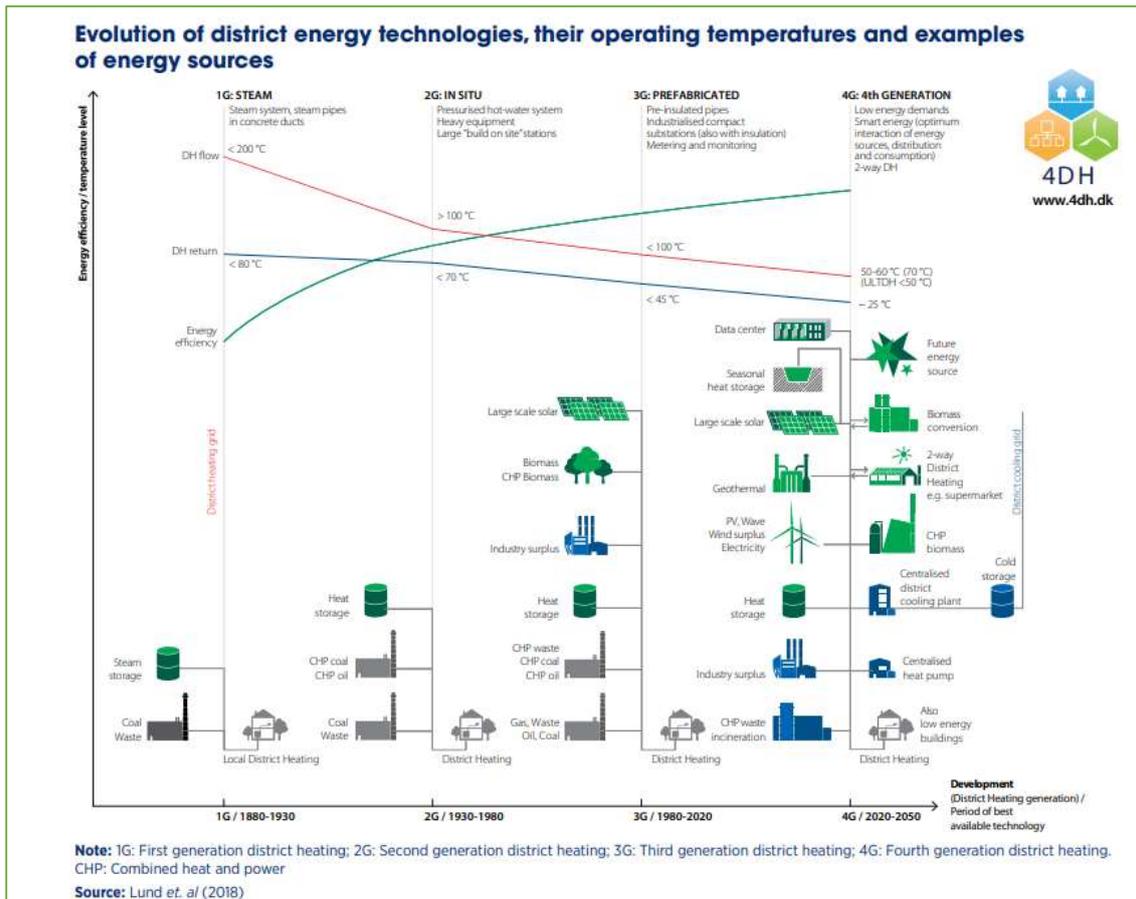


Ilustración 2. Evolución de las tecnologías de redes de energía térmica, temperaturas de operación y ejemplos de fuentes de energía

Como conclusiones, destacar que las redes de calefacción urbana de baja y muy baja temperatura (DH-BT y MBT) pueden contribuir significativamente a un uso más eficiente de los recursos energéticos, así como a una mejor integración de la energía renovable (por ejemplo, calor geotérmico o solar) y el exceso de calor (por ejemplo, calor residual industrial o del sector transportes) en el sector de la calefacción.

Las redes de calor de BT y MBT ofrecen perspectivas ventajosas tanto para el lado de la demanda (estructura de construcción comunitaria) como para el lado de la oferta (propiedades de la red o fuentes de energía), especialmente en relación con edificios que son aptos para bajas temperaturas para la calefacción de espacios. La utilización de calor a temperaturas más bajas reduce las pérdidas en las tuberías y puede aumentar la eficiencia general de las cadenas energéticas totales utilizadas en la calefacción urbana. Para optimizar la eficiencia exergética de los sistemas de suministro comunitario, se deben ajustar los niveles de temperatura entre la producción y la demanda y, de esta manera, optimizar la utilización de recursos de alto valor, como los combustibles, y minimizar las pérdidas de energía y la disipación irreversible.

3.3. Tecnologías disponibles para desarrollar redes de BT y MBT (IREC, TECNALIA, CARTIF, IGME, CIEMAT)

Esta sección aborda las distintas tecnologías de generación renovable que pueden ser aprovechadas en redes de distrito de baja y muy baja temperatura.

España goza de un excelente recurso solar. El aprovechamiento de dicho recurso solar debe contribuir a reducir ostensiblemente la demanda energética del distrito.

3.3.1. Generación fotovoltaica

La generación de electricidad mediante paneles fotovoltaicos es una tecnología madura, altamente conocida y de bajo coste. La siguiente ilustración muestra la gran evolución que ha tenido esta tecnología en la última década, pasando de una capacidad mundial instalada de menos de 50 GW en 2010 hasta más de 550 GW instalados a finales de 2019.

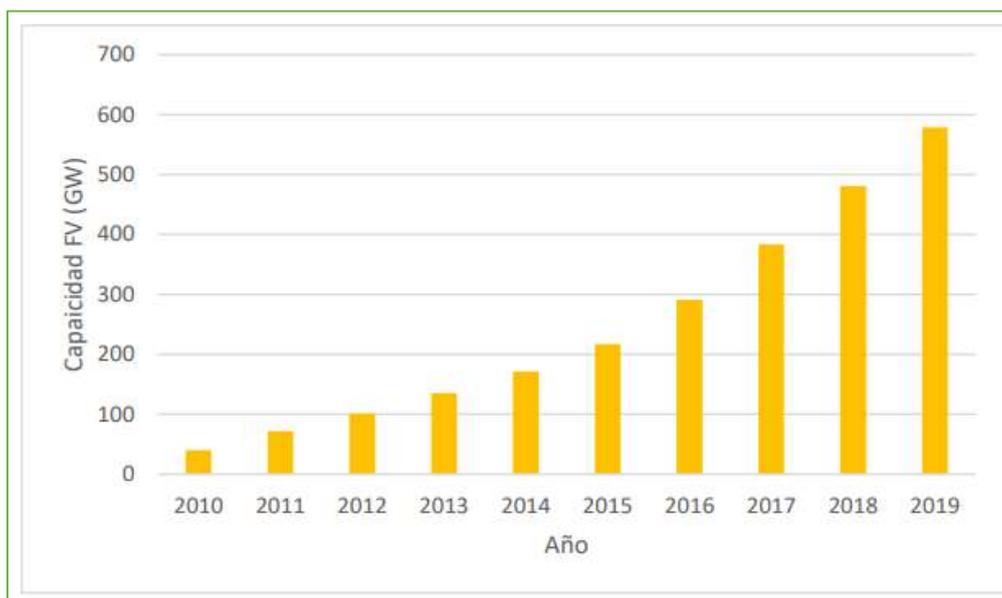


Ilustración 3. Capacidad mundial instalada en generación fotovoltaica. Fuente: IRENA

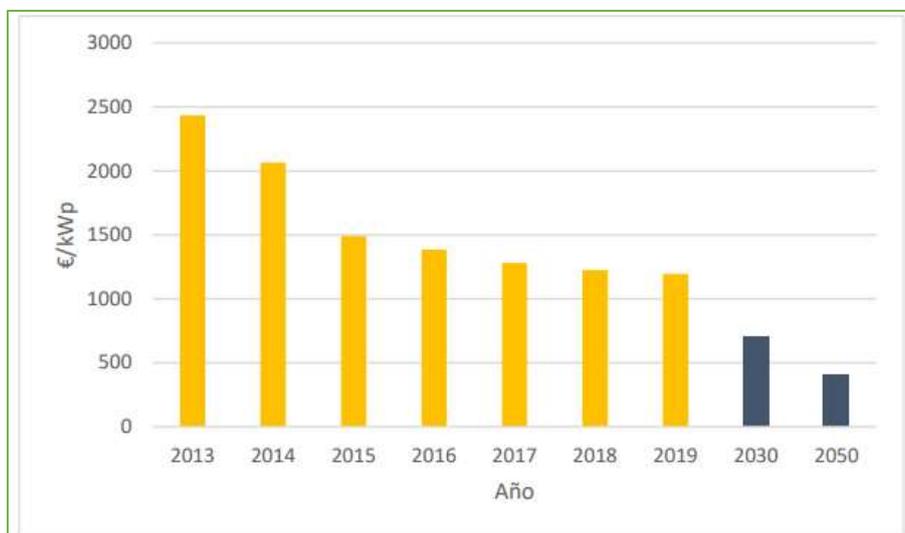


Ilustración 4. Evolución del coste de las instalaciones fotovoltaicas en el sector residencial en España. Fuente: IRENA

A parte del uso directo de la generación fotovoltaica, en el panorama de la actual normativa de autoconsumo de energía eléctrica (R.D. 244/2019, de 5 de abril) se podría flexibilizar el uso de la figura de autoconsumo sin excedentes y poder aprovechar las instalaciones PV distribuidas que pertenezcan instalaciones próximas a la red térmica, mediante una subrogación de sistemas de

forma que los excedentes de generación puedan ser aprovechados por la red térmica directamente.

La energía fotovoltaica está experimentando un gran crecimiento impulsada por las nuevas legislaciones sobre autoconsumo. Ello está provocando de manera colateral un aumento importante en la instalación de bombas de calor aerotérmicas como una forma de reducir la dependencia del gas natural.

Además de la fotovoltaica convencional, existe la fotovoltaica integrada en los materiales de la envolvente de los edificios, en concreto, el vidrio fotovoltaico arquitectónico. Además de generar energía fotovoltaica, filtra la entrada de calor al interior del edificio y, de esta forma, aporta generación energética gracias al sol, a la vez que ahorros energéticos debido a una climatización optimizada y al paso controlado de luz natural al interior del edificio. Los paneles fabricados de capas de vidrio de seguridad tratado térmicamente pueden proporcionar el mismo aislamiento térmico y acústico que el vidrio arquitectónico convencional, a la vez que dejan pasar la luz natural.

El vidrio arquitectónico fotovoltaico puede instalarse en sustitución del vidrio convencional en fachadas, muros cortina, lucernarios, pérgolas y suelos transitables, entre otras aplicaciones constructivas.

En España contamos con la empresa [ONYX Solar](#), que desarrolla y fabrica este tipo de vidrio.

3.3.2. Solar térmica

La generación térmica mediante captadores solares se basa en aumentar la temperatura de un fluido de trabajo, generalmente agua, que circula a través de un colector mediante la radiación solar incidente. Este circuito se denomina circuito primario. Posteriormente, se encuentra un sistema de intercambio, donde se realiza la transferencia de calor entre los distintos circuitos. Puede haber uno o dos sistemas de intercambio.

La integración de solar térmica en sistemas de distribución de energía de BT y MBY se enfrenta a algunos retos:

- Desajuste estacional entre la disponibilidad del recurso y la demanda y elevados costes de inversión: este inconveniente solo se puede limitar, asegurándose de que la red tiene demanda de calor para agua caliente sanitaria, produciendo refrigeración cuando hay excedente de calor, e incorporando sistemas de almacenamiento de calor.
- Limitaciones de temperatura: asegurarse de que los sistemas de emisión de calefacción son compatibles con las temperaturas de distribución.
- Limitaciones de espacio: emplear espacios alternativos como cubiertas, antiguos vertederos, o depósitos de aguas residuales.

A pesar de sus limitaciones, la solar térmica también brinda ventajas claras en un mix energético renovable para redes de calor, tal como se ha demostrado en Dinamarca, donde un total de 1 GW de solar térmico está instalado para redes de calor, siendo las primeras instalaciones desde 1986. Estas ventajas son las siguientes:

- Estabilidad del coste del calor: al no tener insumos, el precio de la energía generado solo corresponde al pago de la inversión inicial, y el coste de operación (mantenimiento) es residual. Esta ausencia de insumos la hace independiente de la volatilidad de los mercados de materias primas y, por lo tanto, se traduce en un precio estable para los consumidores de calor de la red. El rápido crecimiento del mercado solar térmico, y la aparición de nuevos actores, garantizan una presión bajista sobre los costes unitarios de los colectores, lo que permite mejorar más aun la atracción de esta fuente de energía descarbonizada.
- La producción es altamente previsible, se conoce la disponibilidad del recurso solar en cualquier punto de la geografía.
- Las tecnologías de solar térmica sin concentración generan calor en rangos de temperatura suficientes para redes de BT y MBT (< 100°C). Además, son capaces de funcionar también con radiación difusa (días nublados), lo que contribuye a su buen rendimiento económico.
- Tecnología probada en el ámbito de las redes de distrito desde hace 40 años.
- Un campo solar térmico requiere un almacenamiento térmico (de corto plazo o estacional). Este almacenamiento (agua caliente) da fiabilidad al suministro y también se puede poner a disposición de otras fuentes de calor renovable (recuperación, bombas de calor).
- La solar térmica ha demostrado que puede funcionar en hibridación con otras tecnologías de generación térmica, con el fin de optimizar cada una (por ejemplo, estabilizar el funcionamiento de una caldera de biomasa) con el objetivo de maximizar la proporción de energía renovable en un mix energético.
- En invierno, el agua caliente producida por el campo solar térmico puede servir de fuente caliente a bombas de calor para mejorar su eficiencia y, por lo tanto, optimizar la relación entre el calor generado y el consumo eléctrico (COP).
- Una independencia tecnológica e industrial completa pues la mayoría de los fabricantes de colectores están ubicados en Europa, y algunos en la misma España.
- Economía circular, todos los materiales (acero, cobre, vidrio) tienen industrias de revalorización establecidas en España y en Europa.

Por lo dicho anteriormente (cero insumos, fabricación en Europa, materiales reciclables), la solar térmica es la tecnología de generación térmica con la huella de carbono más baja.



Ilustración 5. Huella de carbono de diferentes tecnologías de generación térmica. Fuente: ADEME, INUK, IPCC.

A pesar de que la solar térmica necesite cierta superficie de terreno relativamente próxima al lugar del consumo, es la que requiere menos espacio por unidad de energía producida²¹, como se puede ver en la siguiente ilustración.

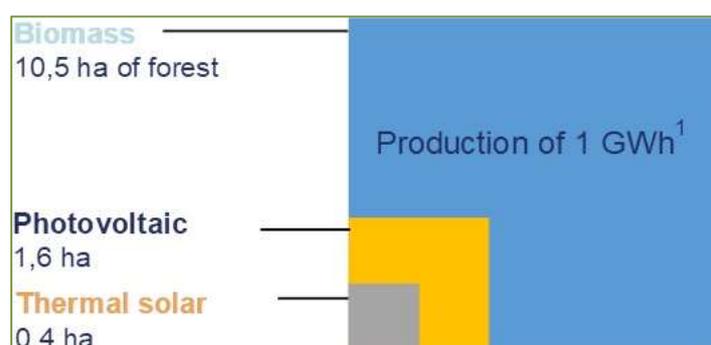


Ilustración 6. Requerimiento de superficie de diferentes tecnologías para generación de energía renovable. Fuente: Proyecto H2020 Solar District Heating.

3.3.3. Geotermia somera

El gran potencial de recursos para redes de energía térmica, y lo que se está utilizando en la actualidad está en la llamada geotermia somera. No existe ni una sola instalación de geotermia profunda en España ni está pensado que exista (puede que en Canarias).

El subsuelo poco profundo, entre 20 y 400 m, constituye un reservorio de energía térmica único caracterizado por presentar las propiedades de un foco de calor ideal (fuente o sumidero); una temperatura estable y constante durante todo el año. Teniendo en cuenta el carácter renovable de la energía geotérmica y su ubicuidad, es fácil de entender el inmenso potencial que ofrece su explotación para la descarbonización y electrificación del sector térmico nacional. No sólo para la calefacción de espacios interiores de infraestructura de todo tipo, sino también para la ventilación y aire acondicionado (HVAC). Es necesario tener en cuenta la gran demanda de energía en forma de calor por los países mediterráneos donde más del 50% del total de la energía producida se destina a la producción de calor, tanto para calefacción como refrigeración. La energía interna de los materiales geológicos subterráneos en este rango de profundidades se conoce como **energía geotérmica somera (EGS)**.

²¹ <https://www.solar-district-heating.eu/>

El valor umbral de 400 m de profundidad viene determinado por los límites de profundidad de las tecnologías de perforación convencionales necesarias para conseguir un intercambiador de calor geotérmico económicamente viable.

La EGS también se conoce como energía geotérmica de baja o muy baja temperatura (o entalpía), ya que la gran mayoría del terreno en este rango de profundidades se encuentra en equilibrio térmico con las condiciones atmosféricas promedio a largo plazo (escala climática) y la radiación solar. Bajo estas condiciones, los reservorios geotérmicos someros presentan temperaturas estables de aproximadamente 2 °C por encima de la temperatura atmosférica promedio local. En España esta temperatura se encuentra aproximadamente en torno a 15±2 °C, dependiendo de la climatología local existente.

Los reservorios geotérmicos someros están constituidos por rocas, suelos y agua subterránea con propiedades térmicas relativamente similares en el mismo orden de magnitud. Ello significa que todos los reservorios geotérmicos poco profundos del subsuelo son energéticamente explotables en cualquier lugar. Por lo tanto, la energía geotérmica somera es un recurso ubicuo. Los diferentes entornos geológicos e hidrogeológicos y, especialmente, los parámetros hidráulicos y térmicos determinan la selección y el diseño de los intercambiadores de calor geotérmicos más adecuados para intercambio y almacenamiento de calor en el subsuelo.

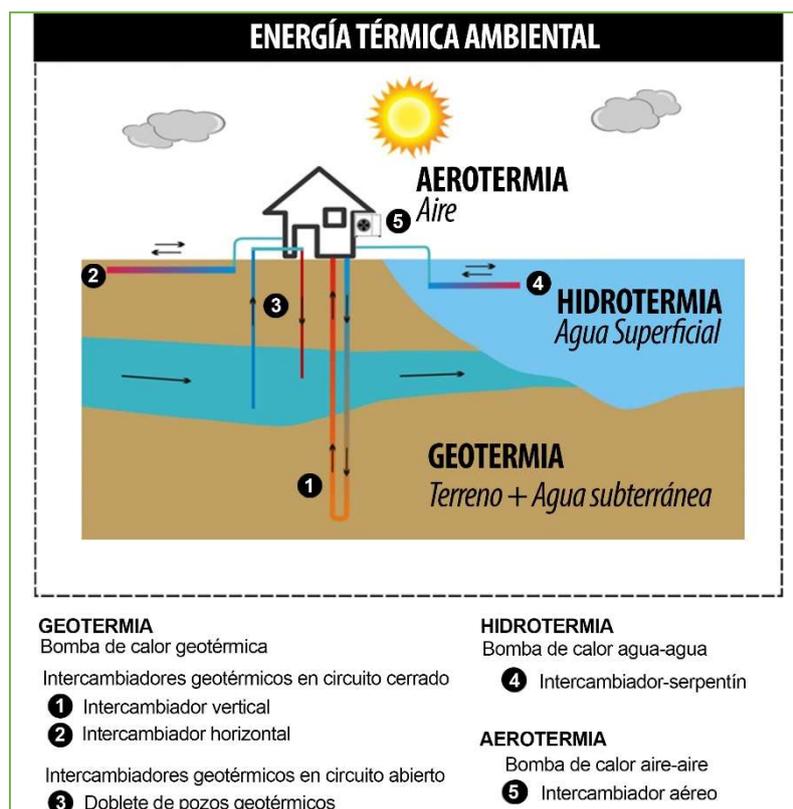


Ilustración 7. Energía geotérmica somera como energía térmica ambiental y tipos de intercambiadores de calor geotérmicos: (A) de tipo circuito cerrado y (b) de tipo circuito abierto. Fuente: ²²

²² <https://www.interempresas.net/Instaladores/Articulos/388395-La-importancia-la-de-la-energia-geotermica-somera-en-las-zonas-urbanas.html>

El continuo desarrollo de la tecnología de las bombas de calor basada en el ciclo de compresión de vapor ha hecho que su eficiencia de transferencia de calor sea aún mayor y más competitiva. Cuando las bombas de calor altamente eficientes se acoplan a reservorios geotérmicos poco profundos, la tecnología resultante, conocida como bombas de calor geotérmicas (BCG), se convierte en la tecnología más eficiente desde el punto de vista energético para la calefacción y refrigeración de edificios²³. La eficiencia energética de las bombas de calor geotérmicas es entre un 50 y un 70% superior a la de los sistemas de calefacción convencionales, y entre un 20 y un 40% mejor que las bombas de calor aire-aire disponibles²⁴.

Los desarrollos recientes también están motivados por el calentamiento global. Las posibilidades de mitigación de estos sistemas contra el cambio climático han quedado demostradas. Por ejemplo, en 2008, el uso de unos 879.000 sistemas equipados con BCGs en 19 países europeos ahorró $3,7 \times 10^6$ tCO₂ (eq.) en comparación con las prácticas de calefacción convencionales²⁵. Además, las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación por partículas atmosféricas solo se producen indirectamente a partir del consumo de energía eléctrica, que es de aproximadamente 1 kWh eléctrico por cada 4-8 kWh de transferencia de calor²⁶. Por lo tanto, las emisiones de los sistemas EGS dependerán de las emisiones causadas durante la producción del mix de energía eléctrica, llegando a cero emisiones cuando la energía eléctrica consumida por la BCG provenga en su totalidad de renovables.

El mínimo consumo de energía eléctrica y las bajas emisiones de efecto invernadero son las razones más importantes por las que la EGS se discute, promueve e implementa cada vez más como una medida prometedora para reducir el consumo de combustibles fósiles y para la mitigación del cambio climático²⁷.

Por todas estas razones, el uso de sistemas EGS para fines de calefacción o refrigeración está experimentando un crecimiento explosivo en todo el mundo. Entre 2010 y 2015, la capacidad total mundial de EGS instalada aumentó a un ritmo anual del 13,2% hasta alcanzar los 50.258 MW térmicos de capacidad total, con un uso energético anual de 326.848 TJ/año. El número equivalente de unidades de 12 kW instaladas es de aproximadamente 4,19 millones, lo que representa un aumento del 52% respecto al número de unidades instaladas en 2010²⁸.

Se pueden encontrar dos tipos principales de **sistemas EGS** en función del tipo de intercambiador de calor geotérmico conectado a la bomba de calor agua-agua: los sistemas EGS en circuito cerrado y en circuito abierto.

23 EPA (1993) Space Conditioning: the Next Frontier - the Potential of Advanced Residential Space Conditioning Technologies for Reducing Pollution and Saving Consumers Money. U.S. Environmental Protection Agency.

24 Letcher TM (2013) Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for our Planet. Elsevier Science

25 Bayer P, Saner D, Bolay S, Rybach L, Blum P (2012) Greenhouse gas emission savings of ground source heat pump systems in Europe: A review. Renewable & Sustainable Energy Reviews 16:1256-1267. doi:10.1016/j.rser.2011.09.027

26 Self SJ, Reddy BV, Rosen MA (2013) Geothermal heat pump systems: Status review and comparison with other heating options. Applied Energy 101:341-348. doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.01.048

27 Stauffer F, Bayer P, Blum P, Giraldo NM, Kinzelbach W (2013) Thermal Use of Shallow Groundwater. Taylor & Francis

28 Lund JW, Boyd TL (2016) Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review. Geothermics 60:66-93. doi:https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2015.11.004

El concepto de intercambiador geotérmico en circuito abierto o cerrado viene heredado de la definición de sistemas abiertos y cerrados en termodinámica. Los intercambiadores geotérmicos se consideran sistemas termodinámicos, que cuando se denominan cerrados (o en circuito cerrado) no existe intercambio de masa entre el intercambiador con el entorno (terreno) y solo se produce intercambio de calor por conducción. Los intercambiadores geotérmicos abiertos, en cambio, intercambian masa con el entorno, siendo el agua subterránea la materia intercambiada como fluido caloportador capaz de intercambiar calor con el entorno por advección.

Además, existe otra clasificación de sistemas EGS en función del origen de la energía térmica en el reservorio geotérmico subterráneo.

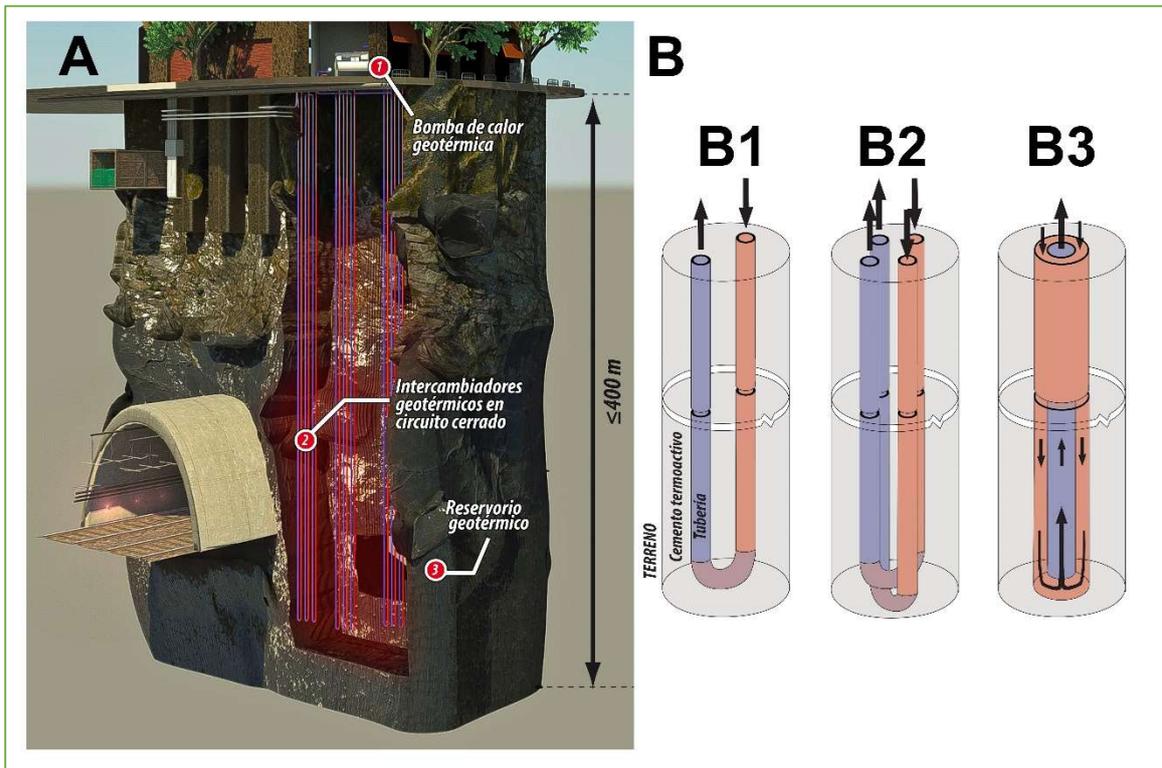
Se pueden diferenciar los **sistemas de almacenamiento subterráneo de energía térmica** (*Underground Thermal Energy Storage, UTES*) donde el origen de la energía térmica en el reservorio geotérmico somero es antrópico, intencionadamente transferido mediante intercambiadores geotérmicos. El fin último de los sistemas UTES es la recuperación de calor almacenado con origen exterior al reservorio. Por ejemplo, el almacenamiento en el reservorio geotérmico somero del calor procedente de paneles térmicos solares transferido al terreno en verano para su recuperación en invierno. Los UTES son sistemas EGS capaces de transformar fuentes de energía térmica renovable no continuas en continuas a escala anual-estacional. Se diferencian dos tipos de sistemas UTES en función del tipo de intercambiador: UTES en circuito cerrado (*Borehole Thermal Energy Storage, BTES*) y abierto (*Aquifer Thermal Energy Storage, ATES*).

Cuando el origen de la energía térmica en el reservorio geotérmico somero no es antrópico, es decir, la temperatura del reservorio es la resultante del equilibrio natural entre el terreno y la atmósfera, se diferencian los sistemas EGS convencionales y no existe una definición propia para sistemas EGS que no son UTES.

Los dos tipos de sistemas EGS distinguidos por el tipo de intercambiador geotérmico son descritos a continuación.

Sistemas de energía geotérmica somera en circuito cerrado

Los sistemas EGS en circuito cerrado (*Ground Coupled Heat Pumps, GCHP*) presentan como intercambiador geotérmico un circuito hidráulico cerrado constituido por tuberías enterradas en el suelo y conectadas a una BCG en superficie (Ilustración 8), en zanjas horizontales poco profundas e incluso en infraestructuras subterráneas (geoestructuras termoactivadas) como cimentación de edificios, estaciones de metro y túneles.



El diseño de intercambiador geotérmico más utilizado son los de tipo sondeo vertical, tipo BHE (Ilustración 8), en los que las tuberías para la circulación de un fluido caloportador se ensamblan en pozos verticales de pequeño diámetro y profundidad variable hasta 200 m. También son habituales, aunque algo menos, los intercambiadores horizontales. Este tipo de intercambiador se encuentra a menores profundidades (1,5 a 2 m) en los que las tuberías se disponen en zanjas cerca de la superficie del suelo.

Los intercambiadores tipo BHE (a veces denominados *sondeos geotérmicos* o *sondas geotérmicas*) son la tecnología más extendida, con mucho el tipo más común. Los intercambiadores geotérmicos en sondeo vertical forman parte de un circuito hidráulico cerrado constituido por una o varias tuberías en “U” simples o dobles (Ilustración 8) separados por espaciadores longitudinales. Además, existe el intercambiador de tubo en forma de hélice que requiere menores longitudes de perforación, pero se utiliza menos. Los tubos se funden térmicamente en el fondo de la perforación en una curva en “U” de retorno cerrado. En un intercambiador BHE, el hueco de perforación entre la pared del sondeo vertical y el ensamblaje de tuberías se rellenan generalmente con lechadas termoactivas que mejoran la transmisión de calor con el terreno del circuito cerrado con el terreno. La transferencia de energía térmica entre el terreno y el intercambiador tipo BHE se realiza mediante conducción, no se produce ningún intercambio de materia. En la instalación de ensamblajes de tuberías en sondeos profundas (>100

29 García-Gil, A.G., Schneider, E.A.G., Moreno, M.M., Cerezal, J.C.S., 2022. Shallow Geothermal Energy: Theory and Application. Springer International Publishing.

m) es necesario tener en cuenta la presión de la lechada termoactiva y/o material de relleno del espacio anular del sondeo en función de la profundidad de perforación para evitar el colapso de la tubería.

Las ventajas de los intercambiadores en sondeo verticales respecto a horizontales son que requieren parcelas de terreno más pequeñas, están en contacto con la parte del terreno con temperatura constante independiente de las variaciones de temperaturas atmosféricas estacionales, requieren la menor cantidad de tubería y menor energía de bombeo de recirculación en el circuito hidráulico que constituye el intercambiador geotérmico. Por todo ello, pueden producir el rendimiento más eficiente de las distintas variantes de sistema cerrado. La desventaja es que suelen tener un coste más elevado debido en parte a la perforación del sondeo, y en parte a la escasa disponibilidad de equipos adecuados y de mano de obra cualificada.

Los intercambiadores geotérmicos horizontales pueden dividirse en tres subgrupos (Ilustración 9): tubos simples, múltiples y en espiral. Las ventajas de los intercambiadores horizontales frente a los verticales es el reducido coste de la excavación superficial frente a los de perforación, y además no requiere equipamiento específico de excavación e instalación. Son especialmente más económicos en zonas residenciales y en pequeños edificios comerciales fuera de los entornos urbanos donde hay disponibilidad de parcelas de terreno. Las desventajas de estos sistemas son los menores rendimientos que presentan debido a variaciones adversas de las temperaturas del terreno como consecuencia a su menor profundidad, peores propiedades térmicas del terreno en zona no saturada (aire como fluido intersticial en medio poroso), y mayor consumo energético de bombeo de recirculación en el intercambiador.

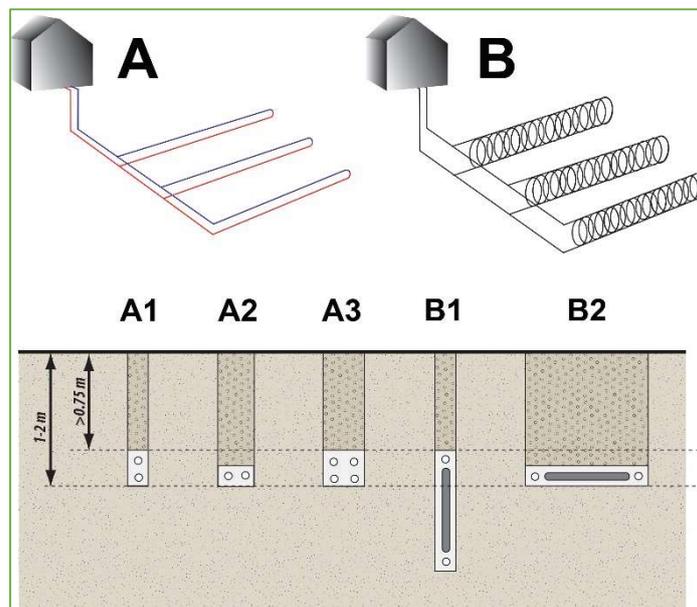


Ilustración 9, (A) Sistema EGS en circuito cerrado horizontal con tubería simple vertical (A1), simple horizontal (A2) y tubería múltiple (A3). (B) Sistema EGS en circuito cerrado horizontal con tubería en espiral vertical (B1) y espiral horizontal (B2). Figura modificada de García-Gil et al. (2022)

La termoactivación de geoestructuras (Ilustración 10), incluyendo las cimentaciones termoactivas, se construyen y desarrollan actualmente de forma rutinaria en varios países. Estos novedosos tipos de intercambiadores geotérmicos cerrados hacen un doble uso de las estructuras de ingeniería civil, como las cimentaciones por pilotes, los revestimientos de túneles,

los muros de contención, los muros pantalla y las losas o muros de sótano, que forman el circuito primario de un sistema de energía geotérmica, de modo que sirven como intercambiadores de calor además de proporcionar soporte estructural. La diferencia esencial con respecto a los anteriores intercambiadores geotérmicos en circuito cerrado es que los ensamblajes de tubería se encuentran integrados en elementos de hormigón en contacto con la tierra que ya están planificados y costeados debido a que son necesarios por razones estructurales. Por lo tanto, no es necesario construirlos por separado. Además, aprovechan la conductividad térmica del hormigón, que es mayor que la del suelo.

También son posibles las combinaciones con colectores de tierra cercanos a la superficie o estructuras de contención. Los cimientos energéticos pueden utilizarse para calentar y/o refrigerar edificios de todos los tamaños, así como para pavimentos de carreteras, cubiertas de puentes, etc.

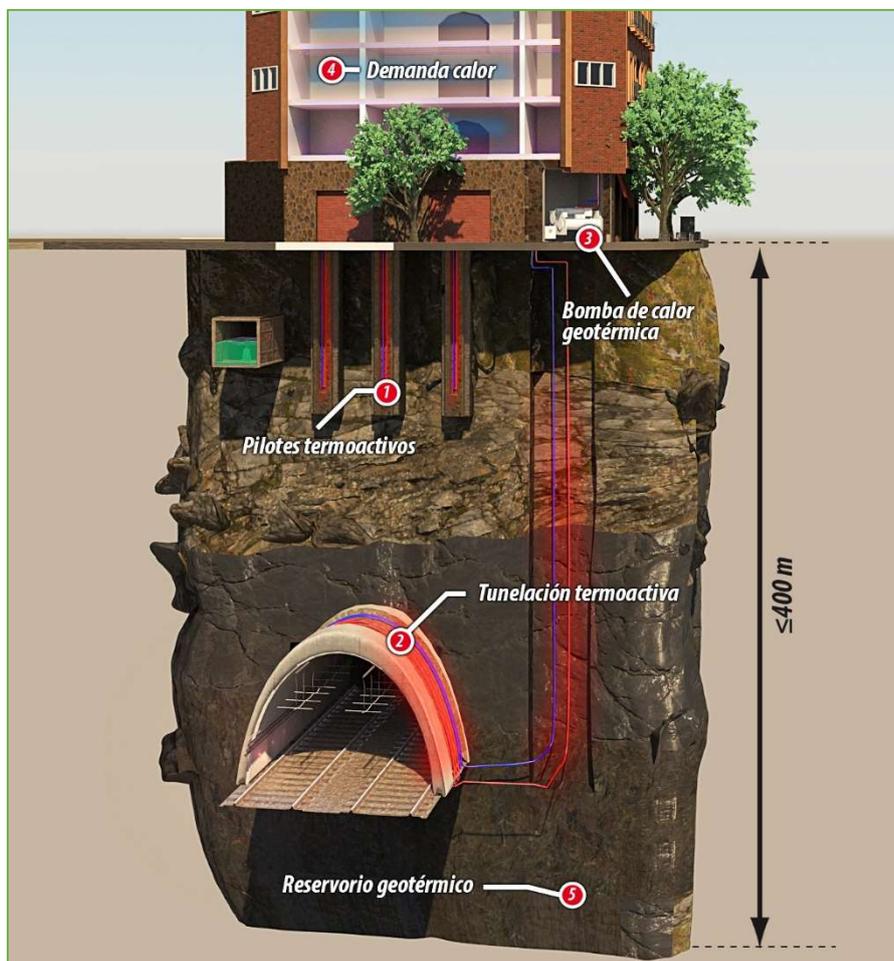


Ilustración 10. (A) Sistema EGS con intercambiador geotérmico constituido por termoactivación de geoestructuras. Figura modificada de García-Gil et al. (2022)

Sistemas de energía geotérmica somera en circuito abierto

Los sistemas EGS de agua subterránea (*Groundwater Heat pump, GWHP*) se conocen comúnmente como *sistemas EGS en circuito abierto* (Ilustración 11). En este caso el intercambiador geotérmico, como sistema termodinámico, intercambia masa además de calor.

En termodinámica, un sistema que intercambia masa con el entorno se denomina abierto. En el caso de intercambiadores geotérmicos, el intercambio de masa consiste en intercambio de agua subterránea. Este intercambio simultáneo de calor mediante transferencia de masa se denomina advección o convección forzada. Los sistemas en circuito abierto son los más antiguos y se desarrollaron a partir de pozos de agua subterránea, razón por la que en ocasiones también se llaman *pozos geotérmicos*. Posteriormente, se desarrollaron los intercambiadores en circuito cerrado para zonas sin acuíferos donde no existía agua subterránea en cantidad suficiente.

Los primeros sistemas en circuito abierto hacían pasar el agua subterránea directamente por el condensador/evaporador de la bomba de calor (uso directo). No obstante, en la actualidad para evitar problemas de contaminación ambiental (fugas del fluido de trabajo del ciclo de compresión de vapor) y problemas de corrosión en la BCG se utilizan intercambiadores de calor para crear un circuito intermedio con propiedades químicas controladas (uso indirecto). De esta forma se evita hacer pasar directamente el agua subterránea por la BCG.

En general, los sistemas en circuito abierto utilizan dos (doblete de pozos geotérmicos) o más pozos de agua subterránea emplazados a una distancia suficiente para evitar interferencias térmicas (*recirculación o cortocircuito térmico*). Uno o más pozos de producción captan agua subterránea a temperatura de fondo del acuífero (aprox. temperatura media anual atmosférica) y otro pozo o pozos de inyección devuelven el agua a los acuíferos con un cambio de temperatura después de haber transferido energía con el intercambiador geotérmico. Los pozos de captación e inyección pueden situarse en el mismo acuífero (recomendado para evitar problemas ambientales y de reacciones químicas de mezcla de aguas subterráneas) o en acuíferos diferentes. En algunos casos, el pozo de inyección puede sustituirse por un vertido a la red de saneamiento o masa de agua superficial (uso del agua consuntivo), siempre que lo permita la normativa medioambiental de demarcación hidrográfica competente. Además, menos habituales incluso exóticos, existen intercambiadores de un único pozo en columna fija, donde se coloca una bomba sumergible en el fondo del pozo, mientras que el agua de retorno se inyecta en la parte superior del acuífero. No obstante, resulta difícil evitar en estos diseños los fenómenos de cortocircuito térmico y se precisa de un flujo regional de agua subterránea muy importante superior al de demanda del pozo geotérmico.

Las ventajas de los sistemas en circuito abierto incluyen un menor coste de capital inversor inicial y el uso de una tecnología más madura (estándar) que los sistemas en circuito cerrado. Tienen mayores índices de eficiencia, especialmente de refrigeración ($COP > 6$). Sin embargo, las principales desventajas de estos sistemas son las posibles implicaciones medioambientales derivadas del uso industrial del dominio público hidráulico subterráneo, por contaminación térmica y/o química, con la tramitación de permisos de captación y vertido pertinentes. Además, existe riesgo potencial de incrementar costes de mantenimiento debido al hecho de operar con pozos de agua subterránea, donde se producen fenómenos de corrosión, incrustación y/u obturación por arrastres de finos.

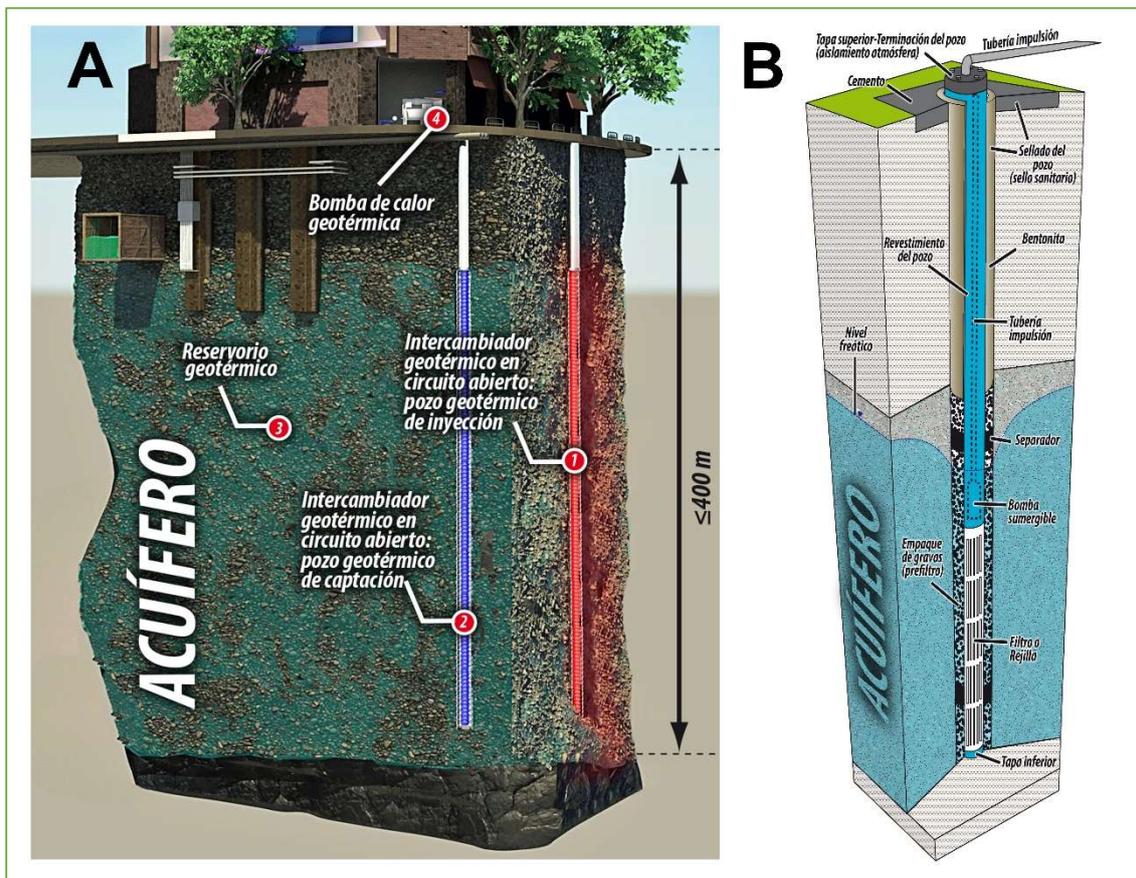


Ilustración 11. (A) Sistema EGS en circuito abierto. (B) Partes de un pozo de captación geotérmica. Figura modificada de García-Gil et al. (2022)

Estado del arte en el uso de energía geotérmica somera en redes de calor de distrito (DH&C)

El uso del término redes de calefacción y refrigeración de distrito (District Heating and Cooling, DH&C) en su acepción general incluye redes de calefacción de distrito (District Heating, DH) y redes de refrigeración de distrito (District Cooling, DC). En gran medida, las redes DH&C de 4 y 5 generación de muy baja temperatura es una idea derivada de interconectar sistemas EGS individuales. La mayoría (>70%³⁰) de las redes de muy baja temperatura están alimentadas por sistemas de geotermia somera.

Integración de intercambiadores EGS cerrados en redes DH&C

Mientras que el uso de sistemas cerrados es bastante común en los sistemas EGS de calefacción y refrigeración de edificios individuales en todo el mundo, no se puede decir lo mismo de su uso en sistemas EGS en redes DH&C. A lo largo de los años, se han realizado varios estudios numéricos sobre el concepto, incluyendo algunas pruebas reales realizadas para validar los resultados. Entre

30 Buffa S, Cozzini M, D'Antoni M, Baratieri M, Fedrizzi R (2019) 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe. Renewable and Sustainable Energy Reviews 104:504-522. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.059

estos estudios se encuentran los realizados por De Carli et al. (2014)³¹, que estudia los aspectos energéticos y económicos de una red DH&C en un clima templado alimentada por sistema EGS en circuito cerrado utilizando TRNSYS; Dehghan B (2018)³², que estudió la eficacia del uso de intercambiadores de calor geotérmicos en circuito cerrado en espiral conectados a BCGs integrados en una red DH&C utilizando el entorno COMSOL; y Huang et al. (2020)³³, que estudiaron un DH&C alimentado por energía solar y sistemas EGS en circuitos cerrados.

Al analizar el mercado de los sistemas EGS en circuito cerrado integrados en redes DH&C, (Buffa et al., 2019)³⁴ destacan el hecho de que todavía existe cierta confusión sobre la diferencia entre las redes DH&C tradicionales, a menudo suministradas por una central termoeléctrica, y el uso de sistemas EGS en DH&C. Lo que hacen los autores para distinguir entre ambas, es utilizar el término “calefacción y refrigeración de distrito de quinta generación, DH&C 5G”. De hecho, los autores consideran esta DH&C 5G como una extensión de las GSHP utilizadas en edificios individuales, pero a nivel de distrito. Sobre la base de esta definición, los autores enumeran 15 estudios de casos de sistemas que utilizan EGS en una red de distrito, ya sea por sí solas o en combinación con otras fuentes de energía, como aerotermia, la energía solar o con combustibles fósiles. Algunas de las redes estudiadas incluyen sistemas EGS horizontal en Wüstenrot (Alemania)³⁵ y sistemas EGS con intercambiadores tipo BHE en la red de distrito "Küferweg" en Mainz, también en Alemania³⁶, el intercambio de calor combinado solar/EGS horizontal en la red DH&C "Sohnius-Weide" en Nümbrecht, Alemania³⁷, y el intercambio de calor combinado aire/BHE en la red de distrito "Sedrun" en Tujetsch, Suiza³⁸.

Los trabajos recientes para reducir el coste de los sistemas EGS en redes de distrito se han centrado en el uso de los geoestructuras termoactivadas de infraestructuras de ingeniería civil enterradas^{39 40}.

Sin embargo, las geoestructuras termoactivadas no siempre se construyen en redes DH&C con usuarios de calor fácilmente conectados. Esto es especialmente cierto en el caso de los túneles de metro y otros proyectos de infraestructuras enterradas. Por ejemplo, los pilotes y muros energéticos construidos en Crossrail tienen un futuro incierto, ya que se construyeron sin un uso final definitivo. Por lo tanto, la conexión con los usuarios de calor sigue siendo una barrera para

31 De Carli M, Galgaro A, Pasqualetto M, Zarrella A (2014) Energetic and economic aspects of a heating and cooling district in a mild climate based on closed loop ground source heat pump. Applied Thermal Engineering 71:895-904. doi:https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.01.064

32 Dehghan B B (2018) Effectiveness of using spiral ground heat exchangers in ground source heat pump system of a building for district heating/cooling purposes: Comparison among different configurations. Applied Thermal Engineering 130:1489-1506. doi:https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.11.124

33 Huang J, Fan J, Furbo S (2020) Demonstration and optimization of a solar district heating system with ground source heat pumps. Solar Energy 202:171-189. doi:https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.03.097

34 Buffa S, Cozzini M, D'Antoni M, Baratieri M, Fedrizzi R (2019) 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe. Renewable and Sustainable Energy Reviews 104:504-522. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.059

35 Kalte PD (2013) Nahwärme: agrothermische Wärmeversorgung einer Plusenergiesiedlung. bbr Leit Brunnenbau Geotherm:58-63

36 KG BKGCC (2014) Geothermie: Nahwärmeversorgung im Einfamilienhaus

37 Meyer JP (2018) Kaltes Nahwärmenetz versorgt Neubaugebiet. . SonneWind&Wärme

38 EP (2016) Anergienetz Sedrun: Preisblatt. Energia Alpina, Sedrun

39 Laloui L, Rotta Loria A (2019) Analysis and Design of Energy Geostructures

40 Loveridge F, McCartney JS, Narsilio GA, Sanchez M (2020) Energy geostructures: A review of analysis approaches, in situ testing and model scale experiments. Geomechanics for Energy and the Environment 22:100173. doi:https://doi.org/10.1016/j.gete.2019.100173

la implementación de las geoestructuras energéticas, pero es una barrera que podría eliminarse mediante la integración de estas fuentes de calor dentro de las redes DH.

Hay muy pocos precedentes y ninguna literatura sobre la integración de las geoestructuras energéticas en la DH, a pesar de la naturaleza obvia de este enfoque. Sin embargo, la incorporación de las geoestructuras termoactivadas a la red de distribución de calor se ve obstaculizada por la escasa aceptación de la red geotérmica en general, la falta de coordinación entre los diseñadores, constructores y propietarios de infraestructuras con los proveedores y usuarios de calor, la ausencia de modelos de negocio adecuados y la falta de guías y normas de diseño.

Si bien existen algunos ejemplos, ya sea en forma de estudio de casos o de análisis numérico, sobre la integración de las BHE en las redes DH&C, no se ha publicado ningún trabajo de investigación exhaustivo sobre la integración de las geoestructuras termoactivadas en las redes de distrito. De hecho, las geoestructuras termoactivadas están todavía menos establecidas que los intercambiadores tipo BHE para la calefacción/refrigeración de edificios, pero se han empleado cada vez más y con más éxito en los últimos años, especialmente en las zonas del centro-norte de Europa. Dadas sus peculiaridades, en términos de geometría diferente y su doble función (estructural y térmica)⁴¹, es probable que requieran herramientas a medida para evaluar la viabilidad de su integración en redes DH&C. Existen algunos estudios a escala de distrito o de ciudad sobre el uso de geoestructuras termoactivadas, con especial referencia a los túneles termoactivados, que tienen como objetivo principal evaluar su potencial geotérmico global. Sin embargo, también se discute la necesidad de tener en cuenta las interacciones térmicas entre instalaciones vecinas, así como los intentos de calcular balances térmicos a escala de distrito, que pueden fomentar una mayor investigación hacia la integración en redes DHC. Algunos ejemplos de estos estudios son los túneles termoactivados de las ciudades europeas de Varsovia (Polonia)⁴², Turín (Italia)⁴³ y Basilea (Suiza)⁴⁴.

Integración de intercambiadores EGS abiertos en redes DH&C

Los intercambiadores EGS en circuito abierto pueden integrarse tanto en las redes DH como en redes DC. Los intercambiadores EGS abiertos, que generalmente funcionan con doblete de pozos, deben estar situados cerca de la(s) planta(s) de DH&C. El calor/frío de las aguas subterráneas extraídas mediante los sistemas EGS abiertos se utilizan primero para aumentar/disminuir la temperatura dentro de la red DH&C (a partir de la temperatura de retorno supuesta) hasta algún valor intermedio, y después se puede alcanzar la temperatura final de suministro de la DHC, por ejemplo, mediante otra bomba de calor agua-agua o una caldera.

41 Brandl H (2006) Energy foundations and other thermo-active ground structures. *Geotechnique* 56:81-122

42 Baralis M, Barla M, Bogusz W, Di Donna A, Rzyński G, Żeruš M (2018) Geothermal Potential of the NE Extension Warsaw Metro Tunnels. *Environmental Geotechnics* 7:1-37. doi:10.1680/jenge.18.00042

43 Peila D, Viggiani G, Celestino T (2019) Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art. *Proceedings of the WTC 2019 ITA-AITES World Tunnel Congress (WTC 2019)*. CRC Press, Naples, Italy

44 Epting, Jannis, Matteo Baralis, Rouven Künze, Matthias H. Mueller, Alessandra Insana, Marco Barla, and Peter Huggenberger. "Geothermal Potential of Tunnel Infrastructures – Development of Tools at the City-Scale of Basel, Switzerland." *Geothermics* 83 (January 2020): 101734. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2019.101734>

Se pueden establecer configuraciones de funcionamiento diferentes y reversibles durante los periodos de verano e invierno. Durante el funcionamiento en verano, los pozos pueden obtener agua subterránea, disipar calor mediante la(s) BCG(s) y transferir fluido “frío” por la red DH&C, en concreto, por la red de distribución “fría” de distrito, y se inyecta agua caliente en la red de distribución de “caliente” o a los pozos de inyección. Más aún, antes de ser vertido al acuífero es posible almacenar el calor en sistemas UTES profundos y reutilizar ese calor en invierno. Durante el período de invierno, el proceso se invierte; el agua subterránea, o procedente de sistemas UTES, se conduce a la(s) BCG(s) donde se absorbe el calor para alimentar la red de distrito con agua “caliente”, también pudiendo integrar sistemas UTES antes del vertido térmico a baja temperatura para el verano siguiente.

Según [Schmidt et al. \(2018\)](#)⁴⁵, en la actualidad hay aproximadamente 100 sistemas de en circuito abierto a gran escala integrados en las redes de DH&C.

3.3.4. Bomba de calor

Las bombas de calor pueden trabajar de distintas formas sobre las redes de BT/MBT ya sea utilizando ésta como foco caliente o como foco frío, dependiendo de la utilidad que se le esté dando al equipo.

Tradicionalmente, las bombas de calor que se han venido instalando son las de aire-aire. Para integrarlas en las redes de BT y MBT, se hace necesaria una migración hacia sistemas agua-X (agua-aire y agua-agua).

Por otro lado, hay que destacar la reciente evolución tecnológica. Este tipo de bombas de calor estaban muy retrasadas tecnológicamente ya que tenían una vinculación muy fuerte con los sistemas geotérmicos implantados en países nórdicos, con compresores todo-nada y la necesidad de elevadas inercias de almacenamiento en el foco del que se extrae el calor. Sin embargo, en España hay fabricantes de bombas de calor que están mejorando esta tecnología. Por orden alfabético, nos encontramos con:

- ECOFOREST: que es un fabricante español ha venido a cambiar e impulsar la tecnología agua-X mediante la aplicación de compresores modulantes, que evitan el empleo de almacenamiento, con lo que se consigue una mayor compacidad de la instalación, el uso de intercambiadores de alta temperatura que permiten la producción de agua caliente sanitaria, que además y facilitan la integración con energía solar fotovoltaica.
- KEYTER: Dispone de equipos de alto rendimiento equipados con intercambiadores de placas que permiten una configuración flexible para instalaciones centralizadas con bucle de agua cerrado y geotermia. Algunas de las características que presentan sus equipos son: compresores multiscroll con la posibilidad de invertir (variador de frecuencia para controlar la velocidad del compresor en función de la carga). Además, dispone de válvula electrónica y los grupos hidráulicos son de alto rendimiento.
- RANK: Tiene en su catálogo equipos que permiten aprovechar fuentes de calor de menor temperatura (desde temperatura ambiente) y satisfacer las demandas de calor útil a una mayor temperatura (hasta 150 °C, según el caso). Se trata de equipos bomba de calor de

45 Schmidt T, Pauschinger T, Sørensen PA, Snijders A, Djebbar R, Boulter R, Thornton J (2018) Design Aspects for Large-scale Pit and Aquifer Thermal Energy Storage for District Heating and Cooling. *Energy Procedia* 149:585-594. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.223>

alta temperatura, con valores de rendimiento energético (COP) entre 3 y 4. Utilizan fluidos de trabajo no tóxicos y no inflamables, con valores bajos de potencial de calentamiento global (GWP) y cero potencial de agotamiento de ozono (ODP)

Bomba de calor asistida por energía solar fotovoltaica / térmica

Las investigaciones actuales sobre la mejora de rendimientos de sistemas han planteado sistemas híbridos, que aúnan equipos de aprovechamiento de la energía solar, como paneles fotovoltaicos, junto a sistemas de recuperación térmica, de manera que el conjunto tiene mayor rendimiento que los elementos por separado.

La hibridación de los sistemas fotovoltaico y térmico (PV/T) lo que trata es de reducir el sobrecalentamiento producido en los paneles fotovoltaicos de manera que la eficiencia eléctrica del panel aumente y, a su vez, se reutilice el calor en sistemas térmicos, como bombas de calor. De esta manera se crean los sistemas PV/T-SAHP. En el estudio (Vaishak & Bhale, 2019)⁴⁶ proponen una clasificación de estos sistemas según tipo de evaporador que utilice la bomba de calor para la recuperación del calor generado por los módulos fotovoltaicos:

- Expansión directa:

Donde el evaporador va directamente acoplado al módulo fotovoltaico

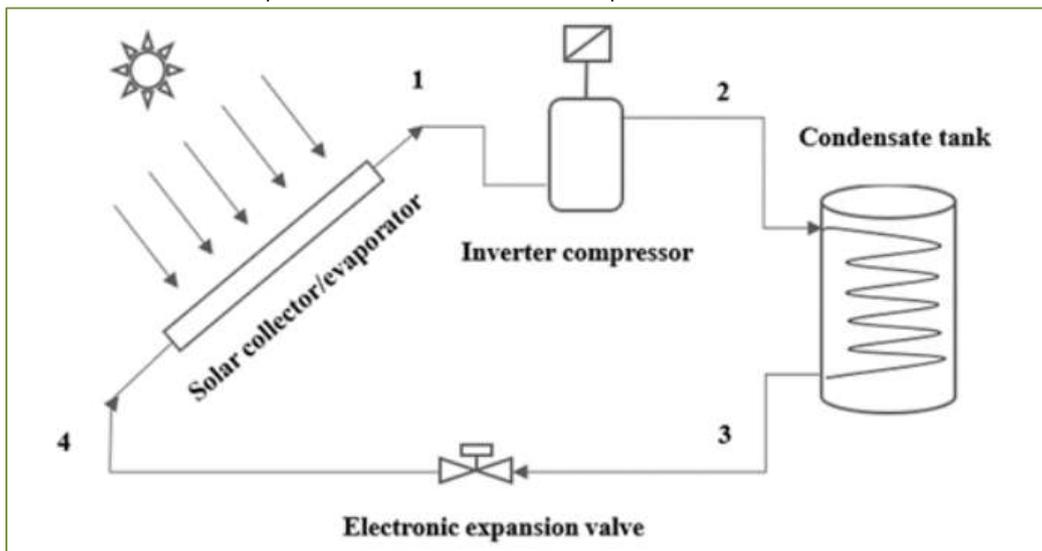


Ilustración 12 Imagen del estudio (Vaishak & Bhale, 2019)

- Expansión indirecta:

En este caso existe un intercambiador intermedio para la recuperación de calor.

46 Vaishak, S., & Bhale, P. V. (2019). Photovoltaic/thermal-solar assisted heat pump system: Current status and future prospects. *Solar Energy*, 189, 268–284. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.07.051>

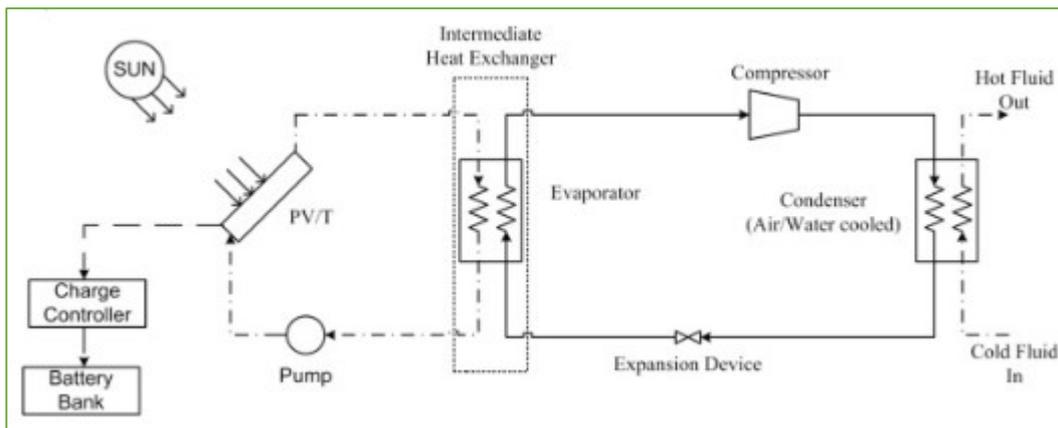


Ilustración 13 Imagen del estudio (Vaishak & Bhale, 2019)

En investigaciones experimentales se han recogido incrementos entre un 4 y 22% sobre el COP de la bomba con funcionamiento en aerotermia, que depende de las diferentes temperaturas de condensación y la intensidad de la radiación solar (Zhang et al., 2022)⁴⁷

De la hibridación de los sistemas también es aplicable de manera directa a las redes de BT/MBT la parte correspondiente PVT de generación fotovoltaica y térmica de los paneles, tal como se muestra en el análisis (Kang et al., 2022)⁴⁸. Donde se pone de manifiesto que las tecnologías más avanzadas están alcanzando rendimientos térmicos del 84,25% junto a un 14,2% de rendimiento eléctrico incrementado.

Es conveniente recordar lo indicado en el epígrafe Generación fotovoltaica, respecto al crecimiento de la fotovoltaica distribuida y el efecto impulsor sobre la aerotermia.

3.3.5. Calor residual

Existen diferentes fuentes de calor residual susceptibles de alimentar una red de energía térmica de BT o MBT. Centrales de generación convencional de electricidad, plantas de cogeneración, de incineración de RSU, fábricas, e incluso edificios con fuertes necesidades de refrigeración como almacenes frigoríficos o centros de proceso de datos, pueden verter su calor residual en estas redes.

Según un estudio realizado por Papapetrou et al.⁴⁹, en 2018, el calor residual recuperable en España, agrupado por nivel de temperatura, es el siguiente:

47Zhang, S., He, W., Fan, Y., Wang, K., Hu, Z., Chu, W., & Yu, H. (2022). Field experimental investigation on electricity and thermal performances of a large scale photovoltaic solar-thermal direct expansion heat pump system. *Energy Conversion and Management*, 267, 115941. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115941>

48 Kang, A., Korolija, I., & Rovas, D. (2022). Photovoltaic Thermal District Heating: A review of the current status, opportunities and prospects. *Applied Thermal Engineering*, 217, 119051. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119051>

49 Papapetrou, M., Kosmadakis, G., Cipollina, A., La Commare, U., & Micale, G. (2018). Industrial waste heat: Estimation of the technically available resource in the EU per industrial sector, temperature level and country. *Applied Thermal Engineering*, 138, 207-216.

Tabla 1. Calor recuperable en España por nivel térmico

Nivel temperatura	Energía recuperable [TWh/a]
< 100 °C	~ 0,1
100 - 200 °C	~ 9,4
200 - 300 °C	~ 3,0
300 - 400 °C	~ 1,1
400 - 500 °C	~ 0,4
500 - 1000 °C	~ 6,4
> 1000 °C	~ 1,3

Considerando que el calor recuperable por encima de 200°C puede reutilizarse en la misma fuente o aplicarse a ciclos termoeléctricos, se puede concluir que se dispone de 9,5 TWh/año (que equivalen a algo más de 800 ktep/año) susceptibles de ser utilizados.

El uso del calor residual en redes de energía térmica presenta algunos inconvenientes, tales como la disponibilidad del recurso a largo plazo, para lo cual es recomendable suscribir acuerdos de suministro a largo plazo, y la fluctuación de las condiciones de suministro (cantidad de calor y nivel de temperatura). Estos problemas se pueden atenuar o eliminar completamente instalando elementos de almacenamiento térmico en la red, y combinando las conexiones para recibir calor de alta temperatura en las tuberías de impulsión, y de baja temperatura en las tuberías de retorno.

3.3.6. Tuberías de bajas pérdidas térmicas.

En la actualidad ya existen diferentes tecnologías de tuberías flexibles preaisladas con un menor coeficiente de conductividad térmica, lo que minimiza las pérdidas térmicas y reduce los costes y los tiempos de instalación.

Según la norma EN 13941-1, este tipo de tuberías deben estar diseñadas con una vida útil de 30 años en operación continua hasta una temperatura de 120 °C. Así mismo, la norma UNE-EN 253:2019 indica que la conductividad térmica de fábrica del aislante de las tuberías preaisladas no debe superar $\lambda_{50} < 0,029 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$.

Tabla 2. Ejemplos de pérdidas de calor de tuberías preaisladas para diferentes temperaturas de servicio.

RAUTHERMEX DUO SDR 7,4 		Pérdidas de calor \dot{Q} [W/m] Temperatura de servicio media Φ_s				
RAUTHERMEX DUO	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	
25+20/91	3,4	5,1	6,9	8,6	10,3	
32+20/111	3,2	4,8	6,4	8,0	9,7	
40+25/126	3,5	5,3	7,1	8,9	10,6	
50+32/126	5,0	7,4	9,9	12,4	14,9	

RAUVITHERM DUO SDR 11 

RAUVITHERM DUO	Pérdidas de calor \dot{Q} [W/m]					
	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
25+25/150	4,9	7,4	9,8	12,3	14,7	17,2
32+32/150	5,2	7,8	10,4	13,0	15,5	18,1
40+40/150	6,4	9,6	12,8	16,1	19,3	22,5
50+50/175	6,7	10,1	13,4	16,8	20,2	23,5
63+63/210	7,7	11,5	15,4	19,2	23,0	26,9

En este tipo de tecnología existen distintos productos dependiendo de la clase de tubo usado (metálico, plástico o multicapa) y del aislante que se utilice, siendo los tipos con espuma de poliuretano (PUR) los que poseen un mayor aislamiento pero menor vida útil, y con espuma de polietileno (PEX), que al ser compuesto por diferentes capas de espuma microcelular reticulada de estructura de celda cerrada, enrolladas en torno a los tubos portadores, permiten sistema con máxima flexibilidad y muy fáciles de instalar.

3.3.7. Calderas de condensación de biomasa

Esta es una tecnología muy novedosa en el mercado y que aporta altos rendimientos al ser capaz de aprovechar el calor latente de los humos, y operar a temperaturas más bajas. En España se dispone de fabricantes de esta tecnología, como por ejemplo BIOCURVE.

La gama de caldera de condensación BioCurve supone el mayor avance tecnológico en biomasa hasta la fecha, tal y como atestiguan los numerosos premios y reconocimientos obtenidos internacionalmente. Sus equipos, completamente automatizados, son potentes, eficientes, compactos y sostenibles. Al ser calderas de condensación, su rendimiento es mayor que las calderas clásicas, consiguiendo un ahorro en combustible y una rápida amortización de la inversión. Disponen de una gama completa con etiquetado energético A++ de 25 a 200 kW, la máxima clasificación conforme a la norma EN 303-5 (clase 5) y el mayor rendimiento alcanzado hasta la fecha por una caldera de biomasa de más de 25 kW, un 105,7% sobre el poder calorífico inferior (PCI) del combustible a potencia nominal sin recuperadores de calor.

3.3.8. Sistemas de climatización radiantes o de convección forzada.

La reducción de la temperatura de la red, obliga a adoptar una serie de cambios en los sistemas de distribución interior, así como en los elementos emisores finales, siendo los sistemas radiantes en forma de suelo, techo o pared, la combinación ideal ya que permiten operar, tanto en modo frío como calor, a unas temperaturas más próximas a la del foco térmico primario pero, a cambio, necesitan sistemas que “ocupan” una superficie de radiación mayor, que no requieren los sistemas de alta temperatura en los que la convección es el efecto que más energía transmite al ambiente.

Como alternativa al incremento de la superficie radiante, se pueden emplear sistemas de convección forzada (ventiloconvectores), pero hay que asumir que requieren de alimentación eléctrica. Que supone una complicación de la instalación y el mantenimiento, y un consumo auxiliar de electricidad.

3.3.9. Sistemas de gestión energética y optimizadores

La integración de las tecnologías revisadas en los epígrafes precedentes lleva asociado un aumento de la inercia térmica frente a sistemas más convencionales de calor y frío. Por tanto, el desarrollo de sistemas de gestión energética que permitan optimizar y, sobre todo, predecir el comportamiento de las redes es importante.

La inclusión de la figura del prosumidor térmico, así como la coordinación entre todos los elementos de generación, distribución y consumo, obligarán a aumentar el nivel de instrumentación y sistemas de control para la coordinación entre ellos

3.4. Necesidad de desarrollo o mejora tecnológica para las redes de BT y MBT

Desde el enfoque técnico, en las redes de cuarta generación, las mismas tuberías no pueden proporcionar simultáneamente servicios de calefacción y refrigeración a diferentes edificios. Este es el reto de la tecnología de quinta generación.

Como mejora respecto a la cuarta generación, las redes de quinta generación permiten:

- distribuir el fluido caloportador a una temperatura próxima a las condiciones naturales y
- la explotación de fuentes de calor autóctonas, que son casi infinitas.

La temperatura de distribución cercana a la del suelo ("neutra" desde el punto de vista de las pérdidas térmicas), les da a estas redes la capacidad de trabajar en modo de calefacción o refrigeración independientemente de la temperatura de distribución, e integrar los flujos de energía bidireccionales y descentralizados.

Debido a la baja temperatura de la red, las tuberías no sufren grandes pérdidas térmicas ni tensiones termomecánicas. Esto facilita el empleo de tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE) sin aislamiento y el uso de componentes de la industria de suministro de agua corriente. Así mismo, el tiempo y los costes de instalación se reducen con respecto a los sistemas tradicionales de DH.

La tecnología de redes de quinta generación corresponde con el concepto de redes de calor inteligentes. Dicha tecnología explota las subestaciones híbridas y mejora el acoplamiento sectorial entre las redes eléctricas y térmicas en un sistema energético inteligente. La tecnología DHC de quinta generación tiene el potencial de representar la electrificación sostenible y racional del sector térmico en zonas urbanas. La mayor temperatura de los focos de calor (fuentes o sumideros) en el modo de calefacción y/o en el modo de refrigeración con respecto a la temperatura del aire permiten alcanzar un mayor rendimiento estacional del sistema. La ventaja adicional de las redes de quinta generación es que se pueden encontrar soluciones centralizadas para instalar el almacenamiento de calor estacional en zonas urbanas en las que la disponibilidad de espacio podría comprometer la instalación de intercambiadores de calor geotérmicos individuales. Además, la combinación y la simultaneidad de diferentes cargas de edificios aumenta la posibilidad de reutilizar el exceso de energía térmica de las enfriadoras para la calefacción.

Los puntos fuertes de una baja temperatura de suministro en la red presentan varias ventajas. En primer lugar, permite recuperar todos los tipos posibles de exceso de calor disponibles en una estrategia completa de Economía Circular explotando las sinergias energéticas entre las fuentes

de calor y los sumideros disponibles a nivel de distrito. El exceso de calor urbano de baja calidad puede recuperarse directamente en la red sin necesidad de bombas de calor, al contrario de lo que ocurre en los sistemas tradicionales de DH de alta temperatura. Las redes de quinta generación son bidireccionales, de modo que las diferentes subestaciones pueden extraer o suministrar calor simultáneamente de la red, prestando servicios de calefacción y refrigeración independientemente de la temperatura de la red. Este hecho da al propietario una libertad de funcionamiento de la subestación equivalente a tener un sistema de calefacción individual.

Las redes de quinta generación pueden evolucionar con modularidad y en función del desarrollo de la zona urbana, conectando agrupaciones independientes abastecidas por su propia microrred. El desplazamiento en el tiempo entre la producción y el uso de la energía térmica no es problemático gracias a la explotación de las capacidades de almacenamiento de energía térmica, incluso a escala anual con sistemas de almacenamiento subterráneo (UTES). Al almacenar el calor a baja temperatura en el suelo y en los acuíferos, el rendimiento de estos sistemas de almacenamiento de energía térmica se maximiza.

Las redes de quinta generación se presentan como una alternativa en la que se ven implicadas muchas tecnologías que requieren de su desarrollo tecnológico para: el aprovechamiento de fuentes locales de energía térmica; integrar nuevos criterios de diseño y cálculo adaptados a las condiciones de operación de estas redes; generación de nuevos conocimientos para la optimización de control y operación

Por tanto, los retos tecnológicos a los que se enfrenta el despliegue de las redes de baja y muy baja temperatura se pueden condensar en:

- Integración de la gestión (almacenamiento y distribución) con la disponibilidad de excedentes de electricidad de origen renovable, para transformarla en calor, in situ y de la forma más inteligente.
- Un desarrollo de nuevas zonas urbanas que facilite el intercambio de energía térmica entre edificios, incluida la previsión de espacio subterráneo por el que discurren las conducciones y se instalen las subestaciones.
- Desarrollo de cambiadores de calor a costes reducidos y de muy alta eficiencia que permitan el intercambio de elevadas cantidades de energía con bajos diferenciales de temperatura entre los fluidos primario y secundario.
- Desarrollo de emisores de calor que sean capaces de entregar elevadas cantidades de energía con bajas diferencias de temperatura entre el fluido caloportador y el ambiente calefactado o refrigerado. La implantación sistemática de sistemas de emisión de calor de baja temperatura (por ejemplo, suelo radiante, ventiloconvectores, y unidades climatizadoras) tanto en edificios nuevos como rehabilitados, incluyendo redes de transporte subterráneo.
- Elementos o sistemas de medida de bajo coste, accesibles para el operador y el consumidor, y sensibles a pequeños saltos de temperatura en el fluido caloportador.
- Despliegue de sistemas de predicción de demandas y excedentes térmicos de los edificios e instalaciones, que mejore la gestión de la energía y permita optimizar la capacidad de su acumulación de corto plazo.
- Desarrollo de nuevos conceptos de subestación energéticas con capacidad de elevación de temperatura o producción de agua caliente sanitaria.

- Vinculado a la figura de prosumidor, son necesarias tecnologías de comunicación y control que coordinen los diferentes elementos de consumo y generación.
- Dada la dimensión económica que puede tener el prosumidor, son necesarias tecnologías de auditoría como Blockchain para garantizar la cantidad de energía intercambiada.
- Dentro de un mundo interconectado, la ciberseguridad también es otro elemento a adaptar y aplicar a las redes.

3.5. Revisión cadena de valor y tecnologías habilitadoras necesarias para el desarrollo de las tecnologías principales (IREC, TECNALIA, CARTIF, IGME, CIEMAT, SOLPLAT)

La cadena de valor de las redes de calor tiene tres partes claramente diferenciadas según los autores:

- Producción de la energía térmica, el transporte y la distribución, y el suministro, según ACCENTURE⁵⁰.
- Producción, transporte, y distribución (incluyendo el suministro al consumidor)⁵¹ según el Banco Asiático de Desarrollo.

El calor se produce en forma de vapor o agua caliente a un nivel de temperatura que depende la fuente de calor. El calor se transporta a través de la red de distribución hacia la cercanía de los clientes. La operadora suministra el calor a los clientes basado en un contrato para que lo paguen en función de su consumo, a una tarifa determinada.

Los operadores suelen ser compañías energéticas, de agua, y de gestión de residuos. Estas compañías generalmente cubren todas o gran parte de la cadena de valor, porque la regulación vigente no determina quien debería ser responsable de cada parte de la cadena.

Los nuevos conceptos de redes de calor de los que trata este documento requieren de un cambio y apertura a nuevos actores en las diferentes responsabilidades, ya que el generador de calor dejará de ser una única entidad, para permitir el aporte de más contribuidores (renovables, calores residuales, almacenamientos); algo así como las modernas redes eléctricas.

50 <https://www.accenture.com/nl-en/blogs/insights/anticipating-the-future-dutch-district-heating-system>

51 Liu, Y., S. Hu, B. Dean, and X. Yao. 2020. District Heating Business Models and Policy Solutions: Financing Utilization of Low-Grade Industrial Excess Heat in the People's Republic of China. ADBI Working Paper 1203. Tokyo: Asian Development Bank Institute. Available: <https://www.adb.org/publications/district-heating-business-models-and-policy-solutions-prc>

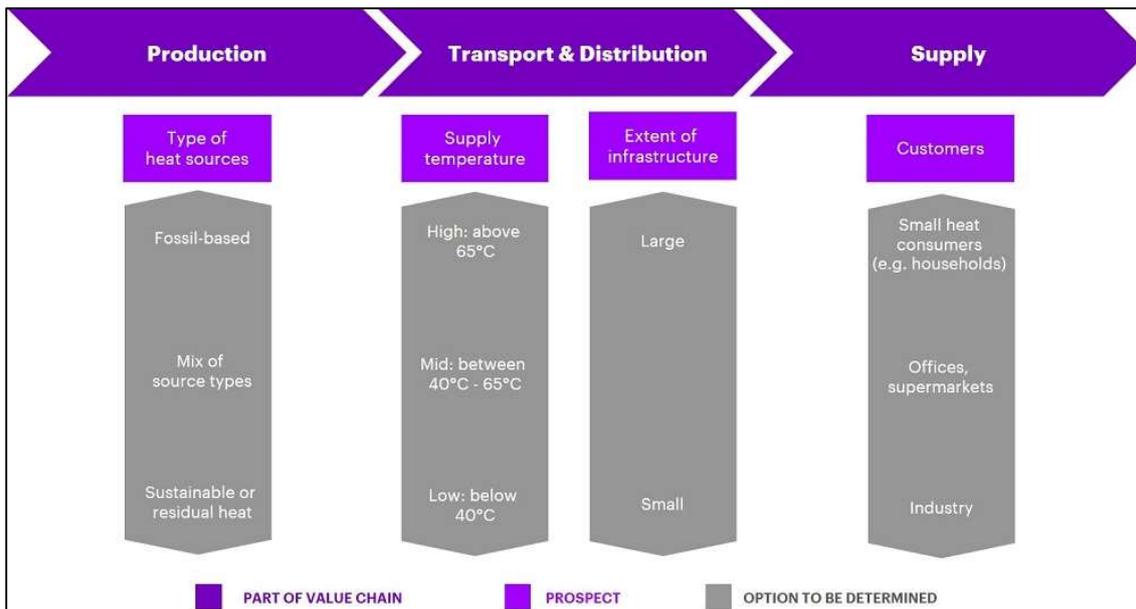


Ilustración 14. Cadena de valor y opciones de las redes de calor. Fuente: ACCENTURE⁵²

Las nuevas redes de calor de BT y MBT deben optar por las fuentes de calor renovables y residuales, por una temperaturas lo más bajas posibles, para permitir la integración de cuantas más fuentes sea posible, y atender a cualquier tipo de consumidor de energía. Respecto al tamaño de la infraestructura de transporte y distribución, las decisiones deberían tomarse a nivel individual. Las grandes redes tienen la ventaja de la mayor inercia y capacidad de almacenamiento de calor en la propia red, pero las inversiones necesarias para conectar diversos núcleos de generadores – consumidores, puede hacer que el coste ponderado del servicio no sea asumible o competitivo con otras fuentes.

Pero los cambios más importantes respecto al modelo tradicional de redes de calor, vendrá dado por la integración con la red eléctrica.

En la ilustración 15, se representa una visión esquemática de esa integración, que permitiría emplear de forma eficiente los excesos de generación de las fuentes renovables no gestionables, a través de la tecnología de bomba de calor. Cuanto menor sea la temperatura de diseño de la red de calor, mayor será la eficiencia (COP) de la bomba de calor.

52 <https://www.accenture.com/nl-en/blogs/insights/anticipating-the-future-dutch-district-heating-system>

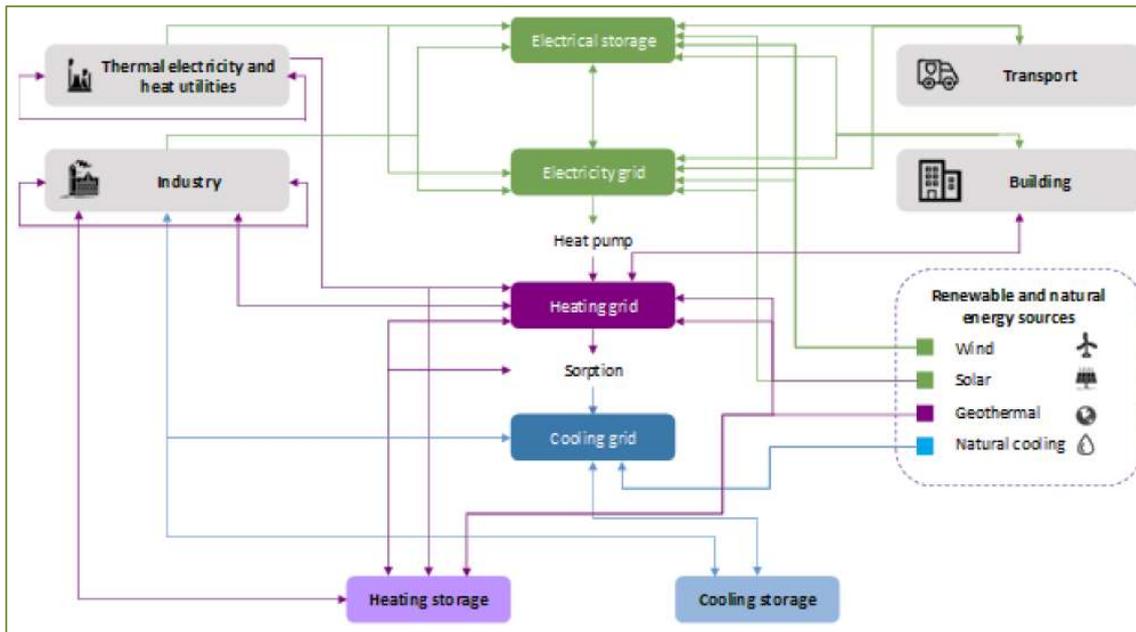


Ilustración 16. Interconexión entre red eléctrica y de calor. Fuente: Nota ⁵³

A modo de resumen, las tecnologías que van a permitir habilitar el desarrollo de estas redes son:

- Generación renovable (solar, geotermia, etc.).
- Bombas de calor.
- Nuevos esquemas de diseño, operación y control
- Comunicaciones: nuevos sistemas de gestión y control que, a partir de lecturas de ciertas variables del estado de la red, permitan actuar sobre los diferentes elementos para coordinar su acción y evitar condiciones de operación peligrosas para la red o las personas.
- Nuevos modelos de negocio vinculados con el intercambio de la energía, sustentados en la medición, y la gestión y la auditoría.

3.6. Infraestructura de I+D disponible en España

En España se dispone de importantes infraestructuras de investigación y desarrollo de tecnología relacionada con las redes de calor. Algunos de los más importantes, se describen a continuación.

3.6.1. CARTIF

En la actualidad, CARTIF es Centro de Excelencia Cervera, otorgado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y del CDTI, bajo el expediente CER20191019 (HySGrid+) “Desarrollo de comunidades locales energéticamente positivas con sistemas híbridos de generación renovable y almacenamiento”. Dentro del marco de este proyecto CARTIF ha realizado dos bancos de ensayo:

⁵³Liu, Y., S. Hu, B. Dean, and X. Yao. 2020. District Heating Business Models and Policy Solutions: Financing Utilization of Low-Grade Industrial Excess Heat in the People's Republic of China. ADBI Working Paper 1203. Tokyo: Asian Development Bank Institute. Available: <https://www.adb.org/publications/district-heating-business-models-and-policy-solutions-prc>

Uno para la evaluación del rendimiento de paneles híbridos PV-T y una planta para el testeo de bombas de calor agua-agua.



Ilustración 17. Banco de ensayos PVT y Banco de ensayos Bombas de calor agua-agua de CARTIF. Fuente: CARTIF

A nivel internacional CARTIF participa en varios proyectos en esta temática de redes de baja temperatura. Además de los grandes proyectos de transformación urbana (CITYFIED, REMOURBAN) participa en: REWARDHEAT, ATELIER, LocalRES, SMARTENCITY, Making City, NETZEROCITIES, NEUTRALPATH....

Sus aportaciones principales en estos proyectos están relacionadas con el diseño a través de modelado y simulación dinámica a nivel de distrito incluido redes de baja temperatura, y su diseño para Positive Energy Districts o comunidades energéticas; el control con la implantación de sistemas basados en modelos; el desarrollo de herramientas web para diseño y planificación de comunidades y sus sistemas (incluidas las redes de distrito); la capacitación de ciudadanos e instituciones para el despliegue de redes de baja temperatura, así como la evaluación de la mejora y el diagnóstico de la operación a través del establecimiento de Indicadores Clave de Rendimiento (KPI).

3.6.2. CIEMAT

El Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas como organismo público de investigación, dependiente del Ministerio de Ciencia e Innovación, en los ámbitos de la energía, el medio ambiente y la tecnología articula su actividad de I+D+i en torno a proyectos de envergadura tecnológica en estas áreas, buscando servir de puente entre la I+D+i y los objetivos de interés social.

La evolución histórica del CIEMAT, su vocación de acercamiento a las necesidades de la sociedad y de la industria en lo relativo a las tecnologías energéticas actuales y en desarrollo han determinado las siguientes áreas científico-técnicas en las que se pueden enmarcar las actividades de I+D+i que se desarrollan en varias ubicaciones geográficas del país:

En el marco de las redes térmicas, cabe destacar el Centro de Energías Renovables (CE.D.E.R-CIEMAT), situado en Lubia (Soria) en el que se trabaja en las líneas consolidadas de bioenergía, energía eólica y líneas emergentes como la integración de energías renovables en microrredes.

Las instalaciones disponen de una red de calor compuesta por:

- Red convencional a 70-90° C, con 1400 m. de tubería preaislada
- Subcentrales: 6 unidades ampliables.

3.6.3. TECNALIA

Tecnalia es el mayor centro de investigación aplicada y desarrollo tecnológico de España; un referente en Europa y miembro de Basque Research and Technology Alliance.

Tecnalia dispone, en su sede de AZPEITIA, de un laboratorio de sistemas térmicos y eficiencia energética en el cual se llevan a cabo ensayos de las tecnologías empleadas en las redes de calor de baja y muy baja temperatura (bombas de calor de todo tipo, subestaciones, etc.). El laboratorio puede llevar a cabo:

- Test de caracterización de prestaciones de rendimiento energético de equipos y sistemas térmicos según normativas aplicables (EN14511, EN14825, EN16147, EN12977-3, EN15332, EN12897, EN308, EN305, etc.) y reglamentos aplicables (R811, R812, R813, R814, R1254, R2281...)
- Test de prestaciones de rendimiento energético a medida, emulando cargas térmicas específicas y condiciones de generación dinámicas correspondientes a distintas aplicaciones de los equipos y sistemas térmicos.
- Test de fallo y durabilidad.

Para ello, se cuenta con tres circuitos/anillos de agua con temperaturas ajustables que permiten diferentes configuraciones posibles en subestación para ensayos agua-agua, así como una cámara climática polivalente de entorno controlado (aire-aire; aire-agua).

Un control preciso del caudal de aire, temperatura, humedad y consumo energético permite un riguroso seguimiento de estos parámetros. Puede disipar hasta 120 kW térmicos o separarse en dos salas de 60 kW de capacidad térmica cada una, para ensayos de unidades aire-aire o para ensayos simultáneos de distintos equipos aire-agua o de otra tipología.

La capacidad térmica del laboratorio para ensayos es la siguiente:

- 300 kWt → Tª de trabajo entre -10 °C – 150 °C en los anillos de agua/fluido
- 120 kWt → Tª de trabajo entre -20 °C – 60 °C para el aire dentro de la cámara climática.
- 20 kWt → Transferencia de calor con un circuito geotérmico que incorpora 4 sondeos.



Ilustración 19. Laboratorio de sistemas térmicos y eficiencia energética de TECNALIA. Fuente: TECNALIA

En el Anexo I. Proyectos relacionados reportados por los autores se lista una serie de proyectos europeos y nacionales en los cuales ha participado o está participando TECNALIA en el desarrollo de la red de baja temperatura.

4. ANÁLISIS DEL SECTOR: INDUSTRIA Y MERCADO

4.1. Escenario industrial y empresarial actual

4.1.1. Unión Europea

En la Unión Europea existen unas 10000 redes de calor, que cubren aproximadamente el 12% de la demanda. Este valor está por encima de la media mundial que llega al 8,5% según indica la Agencia Internacional de la Energía, lo que implica que en Europa está más desarrollado este mercado que en otros lugares del mundo.

Dentro de Europa el empleo de las redes de distrito varía mucho de una región a otra. En los países del Norte y del Este, es la solución más común, mientras que los países del Sur y del Oeste esta solución juega un rol marginal en el suministro de calor.

Con todo, el mayor crecimiento de las redes de distrito en Europa es Alemania, seguida de Polonia y de Suecia.

En cuanto a cobertura en el año 2019, Islandia es el país líder con un 90% de la demanda, seguido por Dinamarca con un 65%, Suecia con un 59%, y Lituania y Estonia entre el 50 y el 55% (Euroheat&Power, 2022).

Por ventas de calor, el mercado lo lidera claramente Suecia con casi 50.000 GWh/año, seguida por Finlandia y Dinamarca en torno a los 30.000 GWh/año.

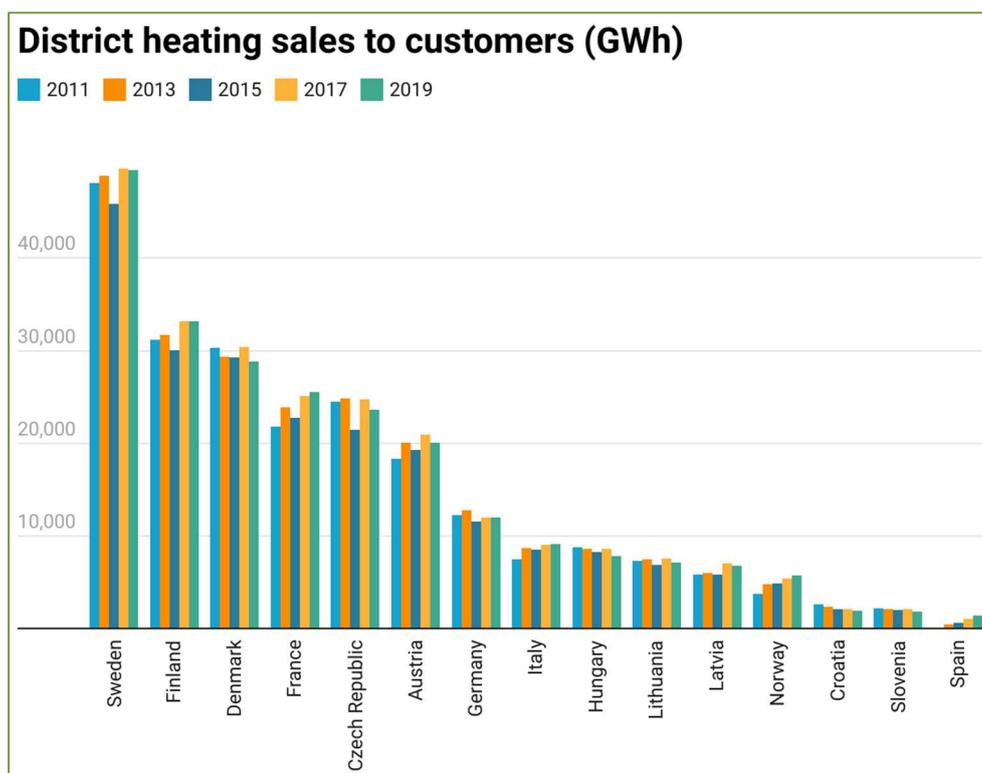


Ilustración 20. Ventas de calor (GWh/año). Fuente: Euroheat & Power - 2022 CbC.

También, el suministro de las redes térmicas de calor o frío se ha realizado de una manera u otra en diferentes regiones. La siguiente tabla muestra un ejemplo de algunos casos de estudio de redes térmicas 5G innovadores que implementan tecnología solar (solar térmica con almacenamiento, fotovoltaica), geotermia (de mina, de suelo, de ría), agua de mar con bombas de calor, incineración, bombas de calor de air, y almacenamiento en tanques, hielo o geotermia tanto frío como calor. El principal país que destaca en redes térmicas operadas con solar es Dinamarca, con más de 35 plantas construidas entre 2010 y 2014. Esto se debe principalmente a sus políticas energéticas y legales, donde los edificios tienen la obligación de conectarse a la red térmica de distrito (a no ser que no sea económicamente viable) y a la obligación de que las redes térmicas de distrito sean cooperativas sin ánimo de lucro lo que ha generado que la creación de las mismas sea bottom-up (desde los ciudadanos). Además, Dinamarca también ha creado la Asociación Danesa de Calefacción de Distrito que monitoriza las instalaciones, proporciona información a los stakeholders y que además tiene como objetivo tener una capacidad instalada de 5,6 GWth hasta el año 2030 de solar.

Tabla 3: Casos de estudio identificados con diferentes fuentes de generación, almacenamiento y temperatura de suministro [Fuente:⁵⁴]

Localización	País	Fecha de operación	Fuente de suministro	Almacenamiento	Tª de suministro (°C)
Compleso della Torre district-Savona	Italia	2007	Agua de mar	-	14
"Arsenale nord" Venecia	Italia	2013	Agua de mar/ Combustibles fósiles	-	15
Ospitaletto	Italia	2018	Geotermia	-	13
Sale Marasino	Italia	2014	Geotermia	Tanque de almacenamiento	12
"Sohnius-Weide" Nümbrecht	Alemania	2017	Solar + Geotermia		4
"Karl-May-Weg" Fischerbach	Alemania	2013	Aire _(Bomba de calor) + solar	Almacenamiento en hielo	0
Drake Landing Solar community	Canadá	2005	Solar térmica	Geotermia vertical	50

⁵⁴ Buffa, Simone & Cozzini, Marco & D'Antoni, Matteo & Baratieri, Marco & Fedrizzi, Roberto. (2019). 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 104. 504-522. 10.1016/j.rser.2018.12.059.
Drake Landing Solar community website. Accessible: <https://www.dlsc.ca/>
T. Pauschinger, 5 - Solar thermal energy for district heating, Editor(s): Robin Wiltshire, In *Woodhead Publishing Series in Energy, Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems*, Woodhead Publishing, 2016, Pages 99-120, ISBN 9781782423744, <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-374-4.00005-7>.

Bilbao	España	En construcción	Geotermia de Ría + Fotovoltaica	Ría	15
Paris	Francia	1978	Río y refrigeración	Hielo	0.5 a 4°C
Marstal	Dinamarca	1962	Solar térmica (ETC) + biomasa (caldera + ORC), bomba de calor	Pozo (pit)	72 a 76
Crailsheim	Alemania	-	Solar térmica	Tanque de almacenamiento	55°C
Vallda Heberg	Suecia	*	Biomasa + solar térmica	Tanque de almacenamiento	75°C

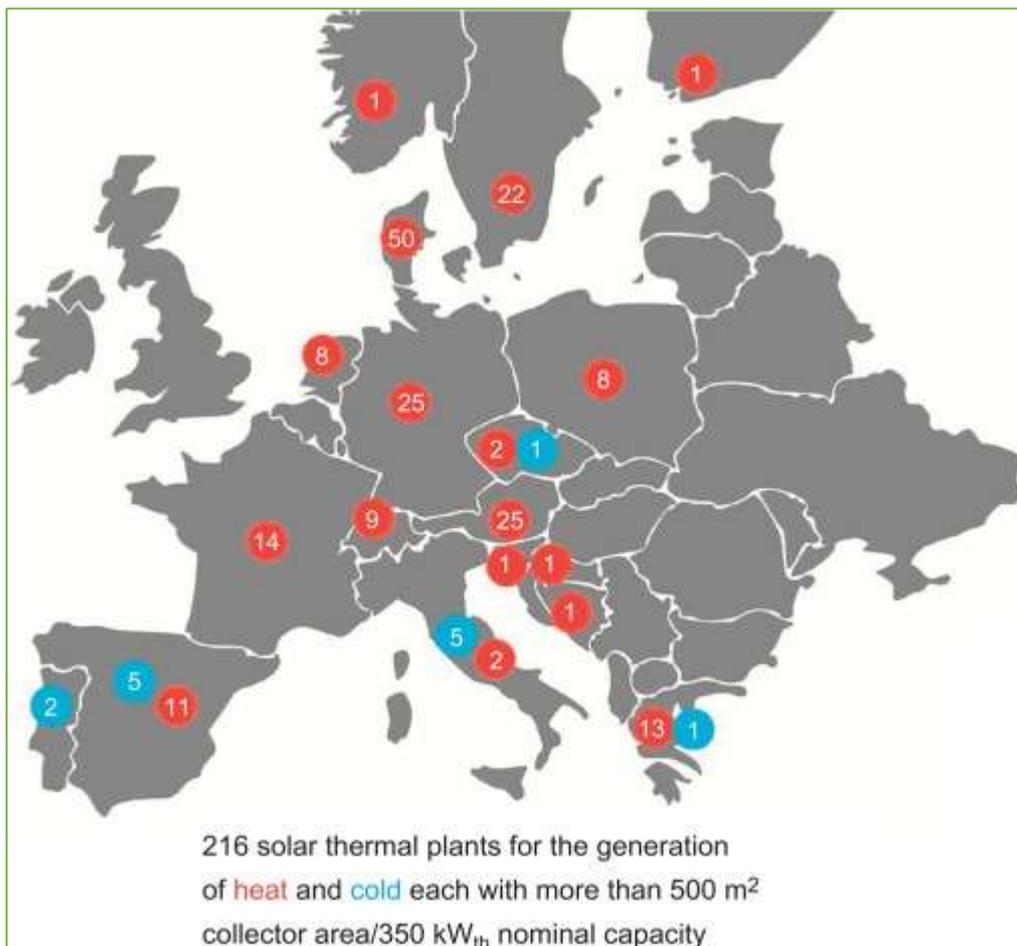


Ilustración 21. Redes térmicas de distrito solares en Europa. Fuente: T. Pauschinger⁵⁵

55 5 - Solar thermal energy for district heating, Editor(s): Robin Wiltshire, In Woodhead Publishing Series in Energy, Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems, Woodhead Publishing, 2016, Pages 99-120, ISBN 81782423744, <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-374-4.00005-7>.

De acuerdo con la hoja de ruta europea del calor, si las tendencias de urbanización continúan se podría alcanzar una cobertura del 50% de la demanda de calor en el año 2050, según Euroheat&Power⁵⁶.

Según la misma fuente, los potenciales obstáculos identificados a nivel de los países de Europa son muy variados pero la mayoría se refieren a necesidad de desarrollos regulatorios y fiscales. Así mismo, muchas barreras son comunes a la mayoría de los países:

- Precios de la electricidad bajos (antes de la subida producida en 2021): muchas redes se alimentan de calor residual de cogeneración.
- Marco político y legal: los costes de inversión pueden ser limitantes y hay países en los que aún no hay una legislación que fuerce hacia el uso de las soluciones de calefacción más eficientes y sostenibles. La certeza legal y las políticas favorables son imprescindibles.
- Planificación a largo plazo: no existe en algunos países y es necesaria para la expansión de las redes de calor.
- Concienciación: en países donde las redes de calor no son frecuentes quien toma las decisiones no están totalmente concienciados de los múltiples beneficios. Las decisiones políticas se toman sobre la exclusiva base de los costes, sin considerar ventajas medioambientales y sociales. La falta de concienciación y conocimiento es más evidente en el sector de las redes de refrigeración.

Todas estas barreras son aplicables a las redes de BT y MBT, añadiendo las que se mencionan más adelante, fundamentalmente, la necesidad de instalar los elementos de emisión de calor de baja temperatura (suelo radiante, fancoil, y climatización por aire).

4.1.2. España

Según el Censo de Redes de Calor y Frío 2022⁵⁷ elaborado por ADHAC, la potencia total instalada en España en centrales de redes de calor y frío es de 1.681 MW, satisfaciendo menos del 0,2% de la demanda total de calor y frío a nivel nacional.

Se han contabilizado 516 redes con una extensión total de más de 910 km, que suministran energía a más de 6.080 edificios, evitando la emisión de unas 275.000 tCO₂-eq al año en comparación con sistemas convencionales de calefacción y/o refrigeración. El 91% de las redes generan calor y el 8% calor y frío, mientras que el número de redes que generan exclusivamente frío es muy reducido. No obstante, el 25% de la potencia total instalada corresponde a equipos de generación de frío.

⁵⁶ <https://www.euroheat.org/policy/dhc-market-outlook.html>

⁵⁷ https://www.adhac.es/portalsrvc/publicaciones/archivos/10_Presentacion_Censo_de_Reddes_2022.pdf

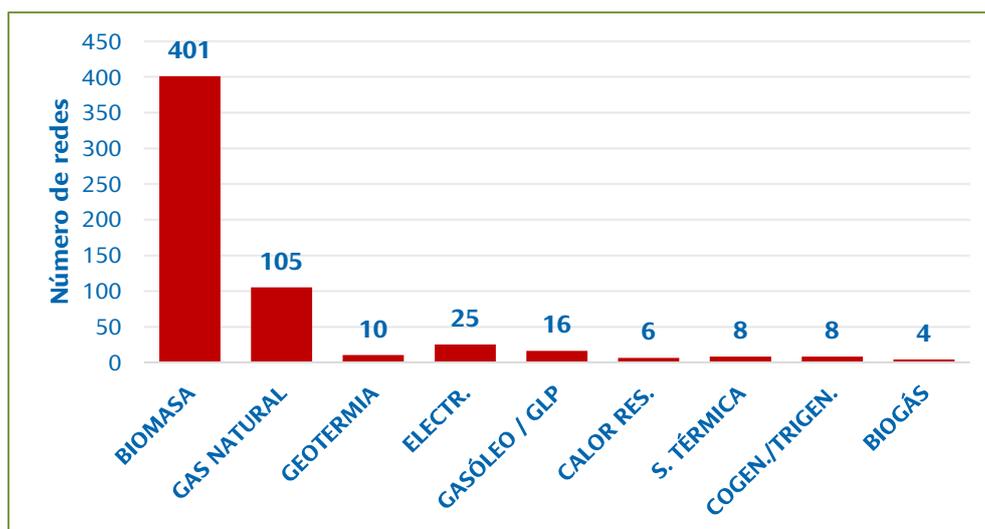


Ilustración 22. Fuentes de energía presentes en las redes. Fuente ADHAC, 2022.

En España, la mayoría de las instalaciones abastecen al sector terciario y residencial, a través de modelos de gestión pública, privada y público-privada. En términos de potencia instalada, el 55% del total abastece al sector terciario, seguido por el sector residencial con un 32% del total, y el industrial con un 13%.

Los datos aportados por el informe District heating and cooling in the European Union : overview of markets and regulatory frameworks under the revised Renewable Energy Directive ⁵⁸ en cuanto a la potencia térmica por tecnología de generación son de 1,187 MW de calderas (cualquier combustible), 3 MW de geotermia, 6 MW de solar térmica, si bien es cierto que estos datos proceden a su vez de diferentes fuentes y fechas, por lo que los totales no tienen por qué coincidir con los datos facilitados por ADHAC. El mismo estudio revela que en España aporta al total de potencia instalada en la UE-25 algo menos del 0,34%, muy por debajo de un país similar como Italia, que aporta el 2,5%, y solo por encima de Portugal, Grecia, Luxemburgo, Irlanda y Bélgica, lo que hace indicar el potencial de crecimiento.

En cuanto a las redes de BT y MBT, existen algunos ejemplos aislados ligados al aprovechamiento geotérmico del agua de mina en Mieres (Asturias) y a calor residual industrial en Cataluña.

La aportación de energía a las redes de calor híbridas (alimentadas por fuentes renovables y no renovables) es del 68%⁵⁹, lo que demuestra que las fuentes no renovables se emplean para cubrir picos de demanda o indisponibilidad puntual del calor renovable.

La implantación de redes de BT y MBT es un vector clave para el desarrollo de mercados locales de energía térmica, en línea con las actuaciones tendentes a mejorar la eficiencia energética y la penetración de renovables en el sector de calefacción y refrigeración recogidas en el Plan Nacional de Energía y Clima (PNIEC). La reducción de las temperaturas de impulsión de los

⁵⁸ European Commission, Directorate-General for Energy, Bacquet, A., Galindo Fernández, M., Oger, A., et al., District heating and cooling in the European Union : overview of markets and regulatory frameworks under the revised Renewable Energy Directive, Publications Office of the European Union, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/962525>

⁵⁹ NdA: calculado a partir de la potencia calorífica total de las centrales híbridas y del ahorro de fuentes fósiles que se producen en éstas.

sistemas urbanos de climatización creará oportunidades de aprovechamiento energético y rendimiento económico del calor y frío de proceso que actualmente se disipan en la atmósfera dada la imposibilidad de su aprovechamiento por causas técnicas.

Los principales beneficiarios de la introducción de nuevas fuentes energéticas en este tipo de redes serán las industrias y empresas generadoras de calor y frío residuales de proceso entre 20 °C y 45 °C, que no pueden ser aprovechados por las redes de calor y frío actuales, es decir, la industria manufacturera, la industria agroalimentaria, los centros de datos, naves frigoríficas y aquellas industrias o servicios que precisan generar frío de manera constante en el desempeño de su actividad. Las redes de BT y MBT permitirán recuperar el calor generado en el proceso de absorción de enfriadoras y en otros procesos inherentes a las siguientes industrias: papel, alimentación y bebidas, química, automoción, metal, plástico, ingeniería mecánica, textil y madera (Arpagaus et al)⁶⁰.

Los operadores de redes de calor y frío podrán, a su vez, disponer de fuentes de frío y calor respetuosas con el medio ambiente que se encuentren en las proximidades de su infraestructura, como energía geotérmica, solar térmica o calor residual industrial⁶¹, susceptibles de ser aprovechadas en caso de que su conexión sea económica y técnicamente viable. El calor residual recuperado de entornos industriales podrá utilizarse para satisfacer demandas fuera de la industria como pueden ser las necesidades de calefacción y/o agua caliente sanitaria en edificios residenciales y terciarios. Al mismo tiempo, las redes de BT y MBT facilitarán la integración de los mercados locales de energía térmica con el mercado eléctrico. Una reducción de las temperaturas de impulsión, junto con un mayor desarrollo de sistemas de almacenamiento térmico y de bombas de calor, permitirá aprovechar los excedentes de producción eléctrica de origen renovable para la generación y distribución de calor y frío a través de sistemas urbanos de climatización.

En cuanto a la percepción de los servicios de las redes de calor españolas no se dispone de información contrastada de los consumidores ni por parte de los proveedores. A nivel europeo solo se puede destacar un aspecto que preocupe a proveedores y consumidores con connotación tecnológica. este es el relativo a **la medición y a los equipos de medición**. Por tanto, debería ser tenido en cuenta como uno de los elementos importantes para no entorpecer el despliegue de nuevas redes de calor.

4.2. Marco político, y regulatorio

Existe una serie de aspectos importantes desde el punto de vista del marco regulatorio. A continuación, se indica la regulación aplicada en España:

- Regulación específica acerca de la propiedad y la operación de las redes: No existen mecanismos estandarizados ni uniformes para la obtención de licencias concesiones autorizaciones y permisos. Únicamente aquellas licitaciones públicas lo contemplan.

60 Citado en Márquez, T.; Chicote, M. A.; Rodríguez, E.; Poceiro, L.; Torreiro, Y., García, N. R.L.; Royo, P.; Hernández, A.; Gómez, M.; Martínez, A.; Antón, M.; Vera, M. A. Desarrollo y mejora de las tecnologías para utilizar la energía residual industrial incluyendo su conversión en otros vectores que pueden ser comercializados en el sistema eléctrico. 2020.

61 Lauersen, B. Country by country report 2019. Denmark.

- Regulación de los precios para los consumidores finales: En el caso de los precios, no existe una regulación específica. Se marcan a nivel municipal si las redes se han desarrollado bajo un régimen de concesión. En el caso de redes privadas los precios no están regulados.
- No existe una regulación de los aspectos relacionados con la medida de la energía, aunque sí la hay respecto a los equipos con los que se hace la medición de la energía térmica.
- Regulación relativa a los accesos y el uso de las redes, tanto desde el punto de vista del suministro como de la demanda: no existe como tal y se resuelve mediante acuerdos negociados basados en contratos privados.
- Existen marcos de apoyo a las fuentes renovables, a la cogeneración, y al desarrollo de infraestructuras de las redes.
- No existe un marco regulatorio general de las redes de calor y frío en España.

En comparación con otros países europeos, en España existe un nivel muy bajo de regulación (con un valor de 7, en un rango de 5 a 15) y un nivel alto en cuanto a los marcos de apoyo (con un valor de 6 en un rango entre 3 y 6).

En la siguiente figura se indica la intensidad en cuanto al nivel de regulación de los países de la Unión Europea y asociados.

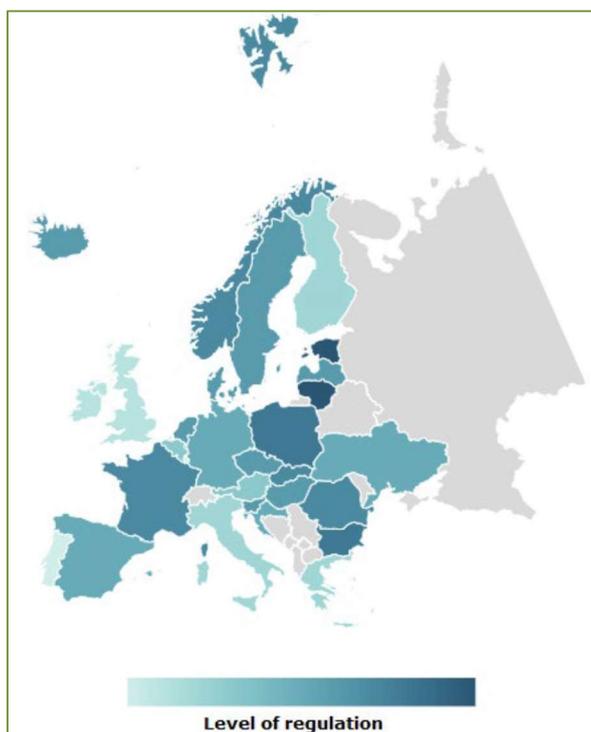


Ilustración 23. Intensidad regulatoria de las redes de calor. Fuente:⁶²

⁶²<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/4e28b0c8-eac1-11ec-a534-01aa75ed71a1/language-en>.

La entidad española encargada de la supervisión es la Comisión Nacional de Mercados y Competencia.

4.3. Impactos esperados

4.3.1. Bienes y servicios a escala nacional

La versión final del estudio *Overview of District Heating and Cooling Markets and Regulatory Frameworks under the Revised Renewable Energy Directive*, publicado recientemente por la Comisión Europea, apunta a **la reducción generalizada de la temperatura de los radiadores en el sector residencial como uno de los factores que han facilitado en las últimas décadas la integración de renovables y calor residual en la ciudad de Copenhague**, referente mundial en redes de calor y frío de BT⁶³.

Por tanto, se espera que la demanda de radiadores de baja temperatura aumente en paralelo al desarrollo de redes de calor y frío de BT y MBT. Por otro lado, este documento se refiere al importante papel que jugarán las bombas de calor a gran escala en el desarrollo de esta infraestructura.

Según la ITP *Desarrollo y mejora de las tecnologías para utilizar la energía residual industrial incluyendo su conversión en otros vectores que pueden ser comercializados en el sistema eléctrico*, publicada por la PTE-ee en 2020, “*las bombas de calor que aumentan la temperatura hasta en 50 grados centígrados son capaces de generar calor a un coste asociado en torno a 10 USD/GJ (asumiendo unos costes iniciales de 160 USD/MW de potencia), mientras que una caldera típica y un sistema de vapor que usa gas natural (asumiendo un precio del gas natural de 12 USD/GJ) pueden entregar calor al proceso a un coste de 15 USD/GJ.*”⁶⁴ Si esos ratios se corrigen según los datos recientes de la Comisión Nacional del Mercado y la Competencia⁶⁵, que indican que el precio del gas natural en el mercado mayorista se multiplicó por 5 entre 2020 y 2022, la diferencia de coste de generación de calor se acentúa muchísimo a favor de la bomba de calor, aun asumiendo que el coste de la electricidad se ha podido multiplicar por tres en el mismo periodo.

El criterio de coste de generación de calor, unido a los objetivos de descarbonización e integración de renovables recogidos en el PNIEC, se traducirá en un aumento de la demanda de soluciones de climatización de baja temperatura en los próximos años, especialmente, en la demanda de:

- bombas de calor y frío. Estos equipos están en estado comercial para los rangos de temperatura considerados en las redes de BT y MBT.
- transformadores de calor por absorción. Estos sistemas están en niveles de TRL 7 aproximadamente, pero afrontan elevados costes de inversión en proyectos de demostración a escala precomercial. El actual sistema de ayudas al desarrollo tecnológico

63 Tilia, TU Wien, IREES, Öko-Institut, Fraunhofer ISI. Overview of District Heating and Cooling Markets and Regulatory Frameworks under the Revised Renewable Energy Directive. 2021. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/4e28b0c8-eac1-11ec-a534-01aa75ed71a1/language-en>.

64 Márquez, T.; Chicote, M. A.; Rodríguez, E.; Poceiro, L.; Torreiro, Y., García, N. R.L.; Royo, P.; Hernández, A.; Gómez, M.; Martínez, A.; Antón, M.; Vera, M. A. Desarrollo y mejora de las tecnologías para utilizar la energía residual industrial incluyendo su conversión en otros vectores que pueden ser comercializados en el sistema eléctrico. 2020. Plataforma Tecnológica Española de Eficiencia Energética.

65 Los altos precios marcaron la evolución de los mercados mayoristas del gas durante el año 2021. 2022. CNMC. <https://www.cnmc.es/prensa/boletin-mayorista-gas-2021-20220427>.

no cubre estos niveles de TRL, cuestión que debería replantearse seriamente la Administración para ayudar a introducir en el mercado tecnologías eficientes y totalmente alineadas con los objetivos del PNIEC.

- recuperación de frío de la vaporización de gas natural licuado, tanto de plantas de regasificación para inyección a red (caso del proyecto Shaky liderado por ENAGAS), como en plantas satélite de gas licuado.
- sistemas de almacenamiento de energía térmica, que están en diferentes niveles de TRL, desde los comerciales de acumulación de calor sensible, pasando por la acumulación con cambio de fase, en estado de mejora de materiales, hasta los termoquímicos, en etapas de investigación, pero con un gran potencial dado que la densidad energética es entre 6 y 35 veces mayor que los sistemas de acumulación de calor sensible.

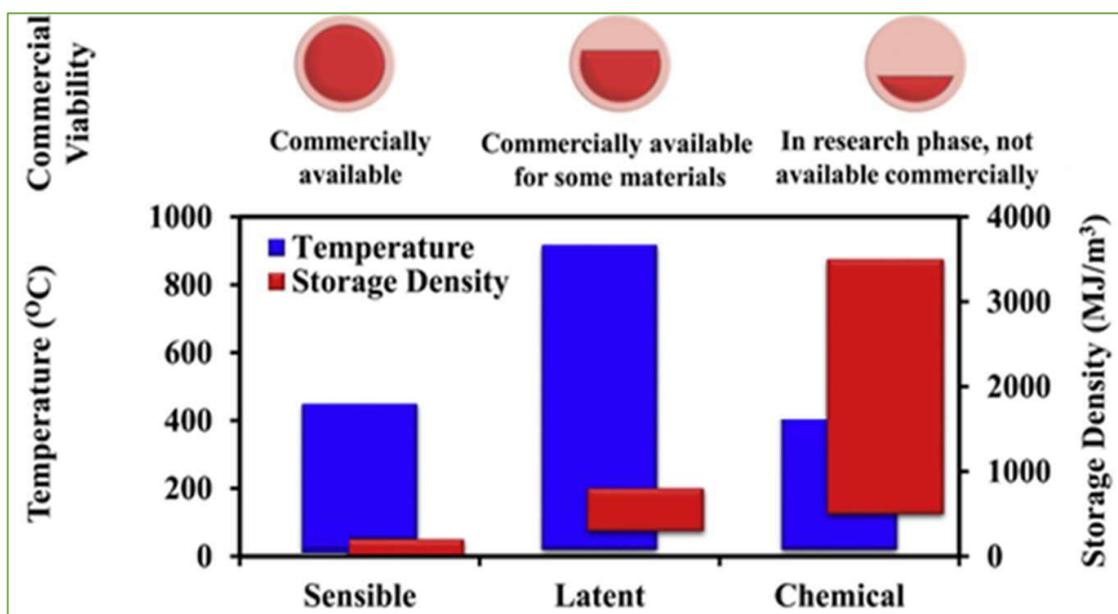


Ilustración 24. Comparación de niveles de temperatura de operación y densidad energética de tres sistemas de acumulación térmica. Fuente: International Journal of Heat and Mass Transfer.

4.3.2. Potencial de exportación de bienes y servicios

Si bien España no tiene mucha tradición en este tipo de redes, no es menos cierto que muchas empresas españolas prestan en diferentes regiones del planeta servicios en dos sectores muy relacionados con las redes de calor de BT y MBT. Tanto en la obra pública e infraestructuras de distribución y transporte, como en el desarrollo y explotación de plantas de energía renovable, multinacionales de origen español y empresas no tan grandes trabajan activamente fuera de España.

Esta estructura de exportación puede servir por sí misma para que las empresas que se han internacionalizado presten nuevos servicios al exterior relacionados con la construcción y explotación de redes de calor, como servir de apoyo a otras empresas españolas que quieran desplegarse en mercados exteriores (piggy-back).

4.3.3. Disminución de la dependencia exterior de tecnología y servicios

Las empresas que desarrollan el negocio del DHC en España tienen experiencia en la prestación de todos los servicios que precisa la construcción y explotación de las redes de calor. Sin embargo, en cuanto a tecnologías, hay tres cuyo desarrollo propio se vería muy reforzadas por el apoyo público a su puesta en el mercado:

Sistemas de recuperación y upgrade de calor residual por absorción⁶⁶.

Estos sistemas se explotan comercialmente en Asia, para elevar la temperatura de transmisión de calor residual desde complejos industriales hacia ciudades, lo que permite disminuir el caudal y, por tanto, las inversiones en infraestructura.

Esta solución puede ser buena cuando el foco de calor residual está algo alejado de la demanda y la cantidad de energía residual es muy grande en relación a la demanda. A nivel demostración, existe un prototipo de tecnología española (TECNALIA) operado en el proyecto H2020 Indus3Es – Industrial Energy and Environment Efficiency⁶⁷, pero a nivel comercial, solo las producen fabricantes asiáticos.

Además de para reducir los caudales de transporte de calor, puede servir para elevar la temperatura de almacenaje de calor, aumentando el salto de temperatura y reduciendo el volumen necesario del almacén, o incluso emplear sistemas de calor latente o termoquímico en lugar de sensible.

Sistemas de almacenamiento latente y termoquímico de calor de media y baja temperatura

El almacenamiento de energía mediante calor sensible es una tecnología madura y ampliamente utilizada por su sencillez. Sin embargo, no es muy eficiente desde el punto de vista energético (elevadas pérdidas), exergético (la temperatura de extracción se reduce a medida que se extrae calor) y económico (requiere grandes volúmenes específicos de almacenamiento, kg/kWh).

Los sistemas por calor latente y termoquímicos, requieren menos volumen de almacenamiento por unidad de energía, y la temperatura de liberación de calor es constante, si bien son más caros que los de calor sensible y, salvo ciertos sistemas de calor latente, su nivel de desarrollo no llega a nivel de aplicación comercial.

4.3.4. Cuotas de mercado de las redes de BT y MBT

Las redes de calor y frío de BT y MBT permiten el aprovechamiento de fuentes locales de energía residual procedente de procesos industriales, valorización de residuos urbanos y otras fuentes de energía térmica disponibles en el entorno urbano.

Según la evaluación de la demanda de frío y calor en España incluida en la Iniciativa Tecnológica Prioritaria Desarrollo y mejora de las tecnologías para utilizar la energía residual industrial incluyendo su conversión en otros vectores que puedan ser comercializados en el sistema energético⁶⁸ publicada en 2020, el calor residual procedente de la valorización de residuos urbanos y la geotermia podrían satisfacer casi el 3% de la demanda nacional de calefacción y un

66 <https://static.pte-ee.org/media/files/documentacion/itp-02-2021-transformador-de-calor-por-absorcion-aht-TT4.pdf>

67 <https://api-indus3esweb.azurewebsites.net/>

68 <https://static.pte-ee.org/media/files/documentacion/nueva-itp-recuperacion-de-calor-residual-en-la-industria-vSy.pdf>

1% de la demanda nacional de frío. Esto permitiría no solo el acceso a fuentes locales de energía hasta ahora inutilizadas, sino una importante contribución a los objetivos para 2030 en materia de reducción de emisiones de GEI, penetración de renovables y mejora de la eficiencia energética, recogidos en el PNIEC, publicado en 2021. Según la Agencia Internacional de la Energía⁶⁹, en 2018, la generación de calor supuso el mayor uso final de la energía (50% del total) y generó el 40 % de las emisiones mundiales de dióxido de carbono. Por tanto, las redes de calor y frío de BT y MBT tendrían un impacto muy significativo en la senda de transición energética de España.

4.4. Modelos de negocio: estado del arte y nuevos modelos

El proyecto europeo Cool DH⁷⁰ ha analizado y difundido soluciones tecnológicas capaces de aprovechar las fuentes locales de calor residual de baja temperatura para calefacción y refrigeración a través de redes de calor y frío de BT y MBT. Especialmente interesante, resulta el proyecto piloto de Hoje-Taastrup (Dinamarca), en el que se han aprovechado distintas fuentes locales de calor mediante la instalación de bombas de calor, y la transferencia de esta energía a una red de calefacción y refrigeración existente. En concreto, se trata del calor residual procedente de la refrigeración de mercados de abastos, de centros de proceso de datos y de geotermia; así como de la utilización del excedente de producción eléctrica de una instalación de solar fotovoltaica para la generación de energía térmica, que es distribuida a los usuarios residenciales a través de una red de calor y frío de BT, conectada a su vez a una red de calor y frío convencional. En este caso, aprovechando el exceso de generación eléctrica del tejado solar de 16.200 metros cuadrados de superficie y una potencia instalada 2,1 MW, en la azotea de un centro comercial cercano, y mediante la instalación de una gran bomba de calor, se ha conseguido reducir hasta 55 grados centígrados la temperatura de impulsión de la red que abastece de calor y frío a 158 viviendas adosadas, a una guardería y a un complejo de vivienda social.

Esta intervención realizada en el barrio de Osterby, a las afueras de Copenhage, se basa en un modelo de negocio por el cual la cooperativa local de energías renovables (Fjernvarme Amba) asume la inversión, instalación y mantenimiento de una bomba de calor a gran escala en las instalaciones del centro comercial anejo, así como el pago de una renta de alquiler de la sala de máquinas al propietario del inmueble⁷¹. También se compromete a suministrar calefacción y refrigeración procedentes de la red de calor y frío existente al centro comercial en condiciones ventajosas.

A cambio, el propietario del centro comercial cede a la cooperativa el exceso de generación eléctrica procedente del tejado solar para su utilización en la generación renovable de calor y frío, que se vende a los usuarios de Osterby conectados a la red de calor y frío de BT mencionada.

Este modelo genera beneficios económicos y medioambientales para todas las partes:

69 IEA (2019), Renewables 2019, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/renewables-2019>.

7070 <http://www.cooldh.eu/>

71 Birnbaum, A. Towards 100% green District Heating in Hoje-Taastrup Municipality. 2022. Hoje Taastrup Fjernvarme Amba. <http://www.cooldh.eu/wp-content/uploads/2022/05/5-Astrid-Birnbaum-HTF-towards-100-DH.pdf>.

- La cooperativa local de energías renovables accede a un recurso local renovable que le permite generar energía térmica a un coste inferior en comparación con los costes de producción correspondientes a la generación convencional.
- El vendedor de energía residual obtiene ingresos adicionales por la venta de su excedente de energía y por la renta del alquiler.
- Los usuarios de la red de calor y frío de BT adquieren energía térmica renovable a un coste menor. Estos últimos, sustituyen una red de 35 años de antigüedad con pérdidas de más del 35% y una temperatura de impulsión de entre 85°C y 55°C, por una red eficiente y nueva con pérdidas de menos del 15% y una temperatura de impulsión de entre los 53°C y los 30°C. En términos económicos, esto supone para los usuarios una reducción de costes de más del 20% y la cesión de la gestión del mantenimiento de la red de calor y frío de Osterby a la cooperativa local de energías renovables durante 20 años⁷².

En el marco del proyecto Cool DH, destaca también la instalación de demostración para el aprovechamiento del calor residual procedente de centros de procesamiento de datos (CPD) para la generación y distribución de frío a través de una red de calor y frío. Fjernvarme Amba, cooperativa de energías renovables Hoje-Taastrup, llegó en 2020 a un acuerdo con el banco Nordea para utilizar el calor residual procedente del CPD de sus oficinas de Hoje-Taastrup.

El modelo de negocio que sustenta este acuerdo se caracteriza por lo siguiente:

- La cooperativa asume la inversión, instalación y mantenimiento de una bomba de calor a gran escala (3,42 MW) en las instalaciones del banco, así como el pago de la electricidad necesaria para la operación de esta⁷³.
- Esto permite a la cooperativa generar a partir de energía residual fría a un coste inferior en comparación con los costes de producción correspondientes a la generación convencional.
- Nordea cede a la cooperativa el espacio para la instalación de los nuevos equipos y satisface de forma gratuita su demanda anual de frío mediante la conexión a la red de calor y frío.

Dentro también de CoolDH se desarrolla el plan de negocio de Brunnskögl⁷⁴ (Lund, Suecia) con una propuesta de modelo de precios novedosos para fomentar la introducción y despegue de las redes de muy baja temperatura. Kraftringen Energi Ltd tiene el propósito de hacer que el rendimiento de la recuperación de calor residual en la central de energía MAX IV (la principal fuente de calor de la red de calor) sea lo más eficiente posible. Para ello se esfuerzan en tener una temperatura lo más baja posible de retorno de los clientes del sistema de calefacción urbana ya que reduce las pérdidas de energía y, en consecuencia, aumentar la eficiencia de la red. El modelo de precios que se propone para la calefacción urbana de Brunnskögl es diseñado de manera que brinde una tarifa más baja si el cliente tiene un buen enfriamiento con una temperatura de retorno muy baja como resultado, preferiblemente alrededor de 35°C. Como buen enfriamiento se entiende el hecho de dimensionar de manera adecuada los equipos del

72 Hummelshøj, R; Olesen, S. Cool DH Hoje Taastrup Business Cases and Demonstrations. 2022. COWI engineering. <http://www.cooldh.eu/conference/>

73 Birnbaum, A. Towards 100% green District Heating in Hoje-Taastrup Municipality. 2022. Hoje Taastrup Fjernvarme Amba. <http://www.cooldh.eu/wp-content/uploads/2022/05/5-Astrid-Birnbaum-HTF-towards-100-DH.pdf>.

74 <https://www.cooldh.eu/district-heating/business-plan-for-lund/>

sistema de calefacción y revisar continuamente el buen mantenimiento de los intercambiadores de calor con la red, el enfriamiento del agua de red se deteriora si el intercambiador es viejo, está sucio o incorrectamente ajustado.

El modelo de negocio se compone de una parte numérica (el modelo de precios comentado previamente) que describe el flujo de efectivo y una parte teórica adaptada a las necesidades específicas de los clientes. Este perfil de precios está diseñado para que a todos los clientes se les cobre una tarifa de conexión basada en la superficie del edificio conectado (se paga una sola vez) y una tarifa mínima de energía que es complementada con una tarifa de temperatura de retorno creciente que se divide en tres niveles. La tarifa aumenta proporcional a la temperatura de retorno.

Precio de energía basado en la temperatura de retorno promedio ponderada por volumen del mes anterior, en dos niveles:

- **20 - 35 °C** a nivel de precio 1 a $X \text{ SEK} / ^\circ \text{C}$
- **35 - 55 °C** a nivel de precio 2 a $3X \text{ SEK} / ^\circ \text{C}$

Precio mínimo / máximo de energía:

- $\leq 20 \text{ °C}$ a precio mínimo de $Y \text{ SEK} / \text{MWh}$
- $\geq 55 \text{ °C}$ a precio máximo de $Z \text{ SEK} / \text{MWh}$

A una temperatura de 35°C, el costo total de la energía es suficiente para cubrir la inversión en la red de calor de Krafringen a una temperatura de suministro de 65 °C en un tiempo de recuperación razonable.



Ilustración 25: modelo de precios LTDH (Low Temperature District Heating) del caso de Brunnshög ⁷⁵

El perfil de precios se autorregula para que los clientes nunca paguen menos que el precio mínimo de la energía y nunca más que el precio de la energía más la tarifa máxima de temperatura de

⁷⁵ <https://lund.solidtango.com/live/conference-the-future-of-thermal-grids>

retorno (≥ 55 ° C). Se espera que este tipo de aplicaciones como son los incentivos económicos, motiven a los clientes a disminuir sus temperaturas de retorno de manera satisfactoria.

En conclusión, los modelos de negocio se basan en la colaboración a medio y largo plazo entre generadores de energía térmica residual, gestores de las redes y usuarios; todos ellos motivados por los incentivos económicos inherentes a la generación y distribución de energía térmica a baja temperatura, así como por el apoyo institucional y social a este tipo de iniciativas.

4.5. Cuota de mercado de calor y frío accesible a redes de BT y MBT

Los edificios construidos antes de 2021 no rehabilitados energéticamente, no son susceptibles de conectarse a estas redes para cubrir sus demandas de energía térmica, ya que sus elementos emisores (básicamente radiadores) no son funcionales en los rangos de temperatura de operación (máximo 65°C en las de 4ª generación).

Solo los nuevos edificios sujetos al CTE y construidos o existentes y rehabilitados después de 2021, son susceptibles de conexión a las redes de BT y MBT.

En la medida en que los nuevos edificios más los rehabilitados vayan ganando porcentaje del total de los edificios, así se irán incorporando al mercado objetivo de las futuras redes de calor. En todo caso, el incremento de estos porcentajes, y la disponibilidad de las redes de calor de BT y MBT son hechos que se retroalimentan y que se limitan. Algo parecido a lo que sucede con el despliegue de los vehículos a hidrógeno, en los que la existencia de infraestructura de recarga retrasa y adopción, y la falta de vehículos a hidrógeno retrasa el despliegue de la oferta de recarga.

Partiendo del modelo de evolución del sector de la edificación de la ERESEE-2020, hasta 2030, se construirán 1.245.852 viviendas nuevas y, de ahí en adelante, hasta 2050, se irán construyendo a razón de 175.000 viviendas nuevas anuales. Es decir, en 2050 habrá unos 4.000.000 de viviendas construidas con criterios de energía casi cero.

En cuanto a la renovación de edificios, partimos de la hipótesis de que es necesario el cambio de instalaciones de calefacción (no la mera renovación) para que los edificios renovados sean compatibles con el consumo de calor a BT y MBT.

La ERESEE-2020 plantea varios escenarios de cambio de instalaciones de calefacción. En el escenario A-Tendencial prevé para 2030 el cambio en 615.000 viviendas, y 4.680.000 en el escenario B-Solo Instalaciones.

Entre viviendas nuevas y rehabilitadas, en 2030 habrá entre 1.860.000 y 5.9625.000 viviendas susceptibles de utilizar calor de BT y MBT para cubrir sus demandas de calefacción si bien, probablemente, la cifra real se acerque más al valor mínimo de ambos, dado el lento ritmo de rehabilitación, y que éstas no se hacen por barrios completos, sino bloque por bloque, lo que dificulta en gran medida el despliegue de redes de energía de BT y MBT.

4.6. Impacto energético, medioambiental y socioeconómico

Incluyendo también el potencial de calor industrial que se podría integrar en estas redes.

4.6.1. Impacto energético

El uso y la implementación de redes de calefacción urbana de baja y muy baja temperatura ofrece muchos beneficios. Entre ellos, desde el punto de vista energético, el principal beneficio intrínseco se debe a que, al trabajar con temperaturas bajas de distribución, las pérdidas de calor en las redes de BT y MBT son muy inferiores a las pérdidas de calor en las redes urbanas convencionales. Esto, a su vez, conlleva poder usar tuberías de plástico, que son más baratas que las tuberías convencionales a base de metal que se instalan en redes urbanas de mayor temperatura, tanto por coste de material como de instalación. También se puede prescindir del material aislante en gran medida (sobre todo en las de muy baja temperatura), ya que la diferencia de temperatura entre el agua de la distribución y el ambiente resulta mínima y, por tanto, las pérdidas térmicas también se ven reducidas de manera drástica.

Por otro lado, el uso de redes de calor de baja temperatura permite la integración de fuentes de calor renovables, como colectores solares térmicos, pozos geotérmicos, calor residual de baja temperatura, que puede provenir de diferentes fuentes, tanto industriales (valorización de corrientes hasta ahora no aprovechables y simplemente disipadas) como “alternativas” (calor residual procedente de sistemas de refrigeración del sector terciario, centros de proceso de datos, ventilación de estaciones de metro, o incluso calor disponible en aguas residuales). A más baja temperatura de red, mayor potencial de integración de calor procedente de un rango de fuentes más amplio.

Además, si este calor es generado por plantas de cogeneración avanzadas, como las plantas de ciclo combinado, la baja temperatura del calor utilizado puede conducir a una mayor generación de electricidad y, por lo tanto, a una mejora de los ingresos por ventas de energía. Desde un punto de vista económico, se puede esperar una alta estabilidad de precios debido al uso de fuentes de energía térmica disponibles localmente, renovables o excedentes. Una ventaja adicional de esto es una menor dependencia de los suministros de combustible extranjeros, en la medida en la que se puede prescindir de fuentes de calor convencionales, como plantas térmicas basadas en combustibles fósiles. El alto rendimiento general del sistema que se puede lograr mediante el uso de redes de baja temperatura conduciría a un menor consumo de recursos y, por lo tanto, a menores costes de combustibles. Esto también aumentaría la estabilidad de precios y podría proporcionar calor a precios muy competitivos.

4.6.2. Impacto técnico

Desde el punto de vista técnico, la tecnología necesaria para implementar redes de BT y MBT actualmente existe y no hay obstáculos en este sentido. Las unidades centrales de las redes BT y MBT utilizan bombas de calor o simples intercambiadores de calor. Las bombas de calor se utilizan, en función del tipo de red, bien en generación para elevar la fuente de calor (por ejemplo, la fuente de calor residual, etc.) a un nivel de temperatura para hacerla apta para la integración en la red de distrito de BT, o en punto de consumo, para elevar la temperatura de red a temperatura de consumo. En las unidades descentralizadas, las llamadas subestaciones, existen distintas posibilidades.

- Primera opción: La siguiente figura muestra la topología del sistema basada en una red urbana de BT. La cual trabaja a 60°C en impulsión y 30°C en retorno. Mientras que la subestación térmica del usuario final se basa en dos intercambiadores de calor, sin necesidad de sistema de apoyo para cubrir la calefacción o ACS. La unidad central es siempre la bomba de calor, conectada a varias fuentes térmicas, en función de la topología definida.

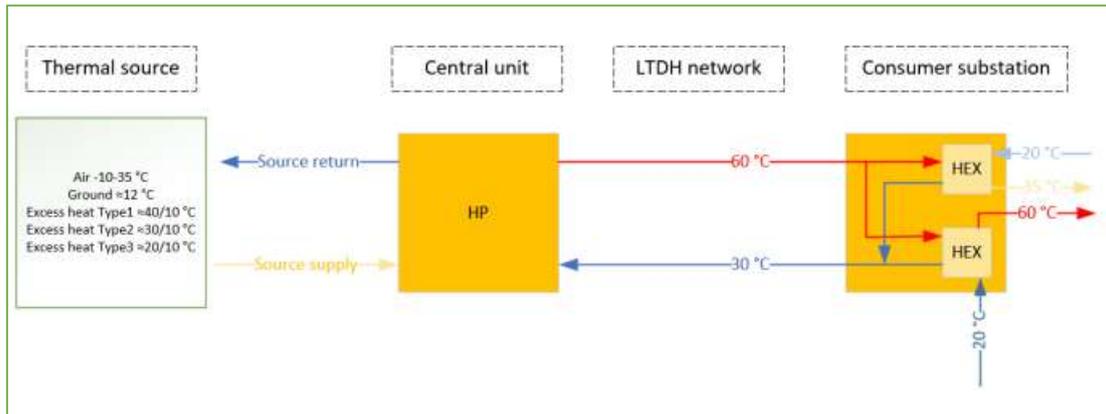


Ilustración 26. Red de baja temperatura con subestación térmica. Fuente: REWARDHeat planning schemes database

- Segunda opción: La figura siguiente muestra la topología de red de muy baja temperatura, en la cual las temperaturas de trabajo son 40°C/20°C. Debido a estos niveles de temperatura, es necesario instalar bombas de calor de refuerzo en la subestaciones para alcanzar las temperaturas necesarias de confort del agua caliente sanitaria. Junto a la bomba de calor, se colocaría un depósito agua caliente sanitaria. Y mediante un intercambiador, se abastecería la demanda de calefacción ya que la temperatura de la red es suficiente para cumplir el régimen de temperatura en el sistema de calefacción.

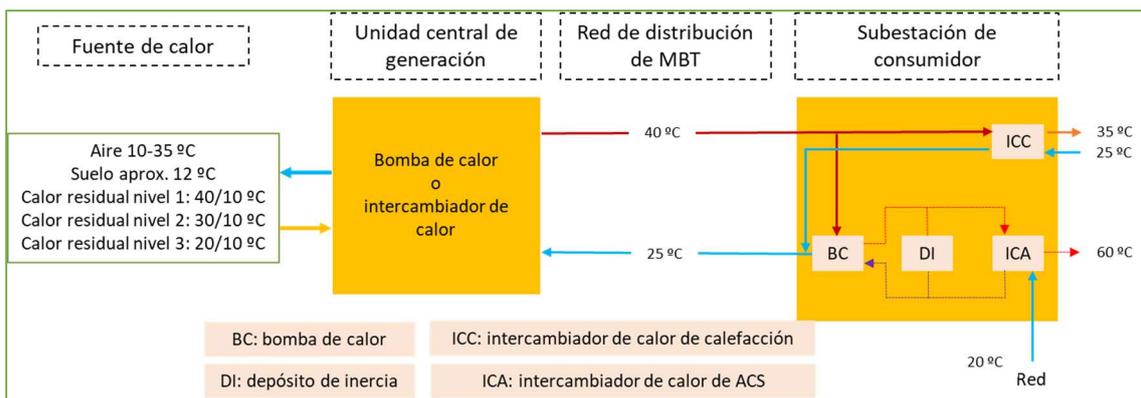


Ilustración 27. Red de baja temperatura con subestación térmica con bomba de calor. Fuente: Elaboración propia

Los sistemas de BT o MBT son ideales para edificios con una alta eficiencia energética y emisores de calor que permitan trabajar directamente a esas bajas temperaturas. En la práctica, éste es el problema más común. La proporción de edificios que tienen peores propiedades energéticas en la práctica es muy alta en España, y se necesitan grandes inversiones en este aspecto para poder utilizar las redes de baja temperatura y muy baja temperatura. No obstante, como una red de

calor de por sí tiende a no ser económicamente viable para rehabilitación de zonas ya urbanizadas, su aplicación se reduce fundamentalmente a nueva construcción, cuyos estándares son mucho más exigentes, y se pueden planificar desde la fase de diseño subestaciones y emisores aptas para el óptimo funcionamiento con este tipo de redes.

4.6.3. Económico

Desde el punto de vista económico, el coste de la energía térmica producida es de suma importancia y el indicador clave para su cuantificación es el Coste Global Ponderado de la Energía (Levelized Cost of Energy; LCOE).

$$LCOE \left(\frac{\text{€}}{MWh} \right) = \frac{CAPEX + OPEX}{Q_{tot}}$$

Al comparar el LCOE con diferentes formas de producir calor, las redes de BT y MBT tienen un LCOE más bajo en comparación con la calefacción urbana de alta temperatura que, además, utiliza combustibles fósiles para producir calor. El menor LCOE es consecuencia de los menores costes de producción de la energía térmica, así como de la posibilidad de utilizar fuentes de calor residual que tienen temperaturas adecuadas para su integración en el sistema de calefacción. Esta ventaja es importante desde el punto de vista de los productores de calor, pero también para los usuarios, compradores de calor. Las ventajas económicas de utilizar un sistema de baja temperatura son especialmente visibles en zonas urbanas con alta densidad de población y en edificios con alta eficiencia energética.

Los sistemas BT y MBT resultan poco rentables y tienen un elevado LCOE cuando se utilizan en zonas de escasa o media densidad de población. En ese caso, los costes de inversión serán muy elevados, pero también los costes de explotación y es necesario considerar otras soluciones económicamente más adecuadas. No obstante, cabe destacar que, en este tipo de escenarios, las redes de BT y MBT son económicamente más ventajosas que la solución convencional correspondiente en alta temperatura. Esto es así porque en zonas con baja densidad de población, debido a las mayores distancias entre puntos de generación y consumo, el impacto de la red de distribución representa un mayor porcentaje sobre el total en comparación con otros factores del sistema como la generación o el consumo.

Tal como se ha explicado en el apartado de impacto energético, el hecho de operar a temperaturas más bajas permite prescindir en gran medida del aislamiento y habilita la utilización de materiales más baratos en los tubos de distribución, como el plástico. Además, la instalación de las canalizaciones es más rápida, flexible y barata, puesto que se eliminan los costosos trabajos de soldadura in situ, en la unión de tramos requeridos para soluciones convencionales en metal. Al margen de los costes de instalación, los de operación también se ven reducidos ya que la menor diferencia de temperatura entre el agua de distribución y el ambiente resulta en una drástica reducción de las pérdidas térmicas. Al final, todos estos ahorros se ven multiplicados por cada metro de tubo a instalar, por lo que en zonas con menor densidad de población en las que las distancias a cubrir son mayores, mayor es la diferencia respecto a una solución convencional a mayor temperatura.

En cualquier caso, para maximizar el impacto de los sistemas BT y MBT, es necesario cumplir los objetivos en la industria de la construcción, que es llevar a cabo la renovación energética del parque de edificios.

4.6.4. Impacto ambiental y social

Desde el punto de vista medioambiental, hay dos factores importantes: el factor de energía primaria (PEF) y el factor de emisión de dióxido de carbono (CEF).

El factor de energía primaria indica cuánta energía primaria se utiliza para generar una unidad de electricidad o una unidad de energía térmica utilizable. Se calcula, convirtiendo el consumo total de electricidad o gas en energía primaria y dividiéndolo entre el consumo anual de calor.

El factor de emisión de dióxido de carbono indica la cantidad de CO_2 equivalente emitida a la atmósfera para generar una unidad de electricidad o una unidad de energía térmica utilizable. Su cálculo se realiza convirtiendo el consumo total de electricidad o gas en la cantidad equivalente de emisiones de dióxido de carbono y dividiéndolo entre la demanda total de calor anual.

Si se comparan las redes de distrito convencionales o de alta temperatura con los sistemas de BT y MBT, se observa una importante reducción en ambos indicadores PEF y CEF, básicamente debida a la utilización de energías renovables y residuales, como colectores solares térmicos, pozos geotérmicos y calor residual industrial o terciario de baja temperatura.

Desde el punto de vista social, la atención se centra en la concienciación del público sobre la opinión y el potencial del régimen de baja temperatura en la calefacción urbana, pero también el coste de la utilización de estos sistemas. No es desconocido que la sociedad es poco o nada consciente de las posibilidades de utilizar regímenes de baja temperatura en la calefacción urbana y, en general, de la propia existencia de la calefacción de distrito, así como de las condiciones que deben cumplirse para que la aplicación de estos sistemas se expanda.

Para reconocer el aspecto social de la calefacción urbana de baja temperatura, es necesario dar a conocer a la sociedad la tecnología, las oportunidades y los beneficios, especialmente económicos, de estos sistemas. Desde el punto de vista económico, los grupos sociales están interesados en las tarifas a las que pagar la calefacción de baja temperatura, la estructura de precios, pero también la gestión de dichos sistemas dado el cambio en la estructura de las unidades descentralizadas, que hasta ahora han sido simples intercambiadores de calor. Al utilizar regímenes de baja temperatura, las bombas de calor se utilizan en unidades descentralizadas o subestaciones, cuya gestión se vuelve más compleja y exigente. No obstante, este problema se puede solventar al incluir a una empresa de servicios energéticos para la gestión y explotación.

5. RECURSOS NECESARIOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN: ANÁLISIS PESTEL

El análisis PESTEL es una herramienta que permite identificar los factores externos a nivel macro ambiental que tienen un impacto sobre la implementación de las redes de calor y frío de BT y MBT. El acrónimo PESTEL hace referencia a los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales. La Tabla 3 sintetiza los factores correspondientes a las 6 categorías que impactan directamente en el desarrollo de las tecnologías.

5.1. Factores políticos

Se hace precisa una fuerte iniciativa de información a las autoridades municipales, unida a la formación de sus técnicos en aspectos generales relacionados con las redes de calor en general y con las de BT y MBT en particular, como el objetivo de que se tengan en cuenta como solución de referencia en los nuevos desarrollos urbanos y en las grandes rehabilitaciones de barrios.

Informar sobre las ventajas y alineamiento de estas soluciones con los objetivos y programas de descarbonización es una actividad suma importancia para facilitar o, al menos, que no se pongan trabas al despliegue de estas redes. Estas acciones son necesarias porque existe un temor infundado por parte de determinadas Administraciones Locales a abordar el desarrollo de redes de climatización en zonas urbanas consolidadas, a pesar de la existencia de buenos ejemplos, tanto en otros países, como en nuestra geografía.

Formar a los técnicos municipales sobre los requisitos de planificación espacial, y requisitos técnicos de las redes de BT y MBT, permitirá que se consideren en los nuevos desarrollos urbanos, y que se aceleren y faciliten los procesos de obtención de permisos por parte de los promotores.

No menos importante es la planificación urbana de largo plazo y de amplio consenso, que garantice a los promotores estabilidad en las decisiones políticas en un horizonte suficiente para rentabilizar sus proyectos.

La gran dependencia europea y español de fuentes de energía subrayan la importancia de sistemas que utilicen energía residuales y renovables locales para satisfacer demandas que ahora se cubren con energía importada en su mayor parte. Los riesgos geopolíticos que ahora amenazan ciertas cadenas de suministro afectan negativamente a las disponibilidad y precio de gas natural, petróleo y sus derivados, pero no a los bienes de equipo necesarios para las redes de BT y MBT, excepto los plásticos que se pueden emplear en las canalizaciones de más baja temperatura.

Se hace preciso un claro apoyo político en el desarrollo de actividades urbanísticas que involucren redes de distrito. Y ese apoyo se debería reflejar en acciones ejemplarizantes de las Administraciones Públicas, y la aprobación de una hoja de ruta o estrategia de desarrollo de redes y calor y frío

5.2. Factores económicos

Una característica de las redes de BT y MBT frente a las de media y alta temperatura es que la relación entre costes de inversión y de operación y explotación es mayor. Es decir, la inversión inicial tiene más peso en el lado de los costes a lo largo del ciclo de vida. Si bien el coste de las conducciones en sí pueda ser menor al requerir menos aislamiento, los diámetros son

generalmente mayores y las subestaciones son más complejas, incluyendo posiblemente bombas de calor (ver Ilustración 27), y elementos de control y medida más numerosos y sofisticados.

La existencia de ayudas a la inversión en redes de calor viables, tanto en forma de préstamos de bajo interés, como de subvenciones, y la inclusión de las redes eficientes dentro de los planes de ayuda del Gobierno en el PRTR, facilitaría la promoción de estos sistemas.

Otro factor que afecta positivamente es el incremento de los precios de las fuentes de calor de origen fósil, y que no tienen por qué afectar al coste de operación de las redes de BT y MBT, que se abastecen de energías renovables y residuales.

El incremento del precio de la electricidad y el de las bombas de calor, por crecimiento de la demanda, puede dificultar la electrificación de la climatización, en tanto en cuanto los usuarios no sean autosuficientes.

De la misma forma, el crecimiento de las instalaciones fotovoltaicas, debido a la creciente demanda, puede suponer un obstáculo.

5.3. Factores sociales

Existe en España un amplio desconocimiento de lo que son las redes de calor, cierta desconfianza a la externalización de servicios, y a la falta de transparencia en el contaje. La individualización de consumos es un tema muy importante.

La manera de revertir este entorno de pensamiento es la información y la difusión de las buenas experiencias individuales y los beneficios colectivos, para concienciar de las bondades del uso de las instalaciones colectivas con contadores individuales.

También es muy importante información y explicar cómo serán los sistemas de medición y los esquemas y tarifarios que se vayan a utilizar y que estos sean lo más estandarizados que se posible, para evitar la desconfianza.

Desde el punto de vista positivo, la conciencia sobre la inseguridad en el suministro de energía y los riesgos a los que estamos sometidos a ser un país netamente importador de combustibles, hace receptiva a la población y a las empresas a soluciones que eliminen o limiten las consecuencias de tal hecho.

5.4. Factores técnicos

Enlazando con los puntos anteriores, la disponibilidad de planificaciones urbanas de largo plazo con criterios de sostenibilidad, y la claridad en los esquemas tarifarios y elementos de medida, facilitaría mucho el trabajo de los estudios de viabilidad y proyectos de los promotores.

La predisposición positiva de consumidores de calor y proveedores de calor residual a las redes de BT y MBT, facilitaría el diseño optimizado las infraestructuras (centrales, redes, sistemas de almacenamiento e intercambio de calor).

La viabilidad técnica también pasa por una adecuado diseño de la instalaciones interiores (distribución individual a cada cliente de forma que se pueda hacer un contaje directo, y emisores para BT y MBT especialmente), para lo que ya existe tecnología comercial.

A estas demandas, y en particular para las redes de MBT, se suma la necesidad de desarrollo tecnológico indicada en el epígrafe 3.4.

Sería muy favorecedor para el desarrollo de redes de BT y MBT que se integrase la geotermia en el proceso de construcción de los nuevos edificios. Como se ha visto en capítulos anteriores, la energía geotérmica juega un papel importante en la estabilización de la red. La mejora de los sistemas termoactivos, así como su incorporación durante la construcción del edificio, momento en el que hay movimiento de tierras, mejorará el rendimiento global del sistema)

5.5. Factores ecológicos

A nivel global, las redes de BT y MBT contribuyen a la reducción de emisiones de GEI y al impacto ambiental que supone la extracción de combustibles fósiles, su proceso y su transporte en la medida en que desplazan el uso de combustibles fósiles.

Sin embargo, los efectos más notorios para el ciudadano son los que se producen a nivel local, en las ciudades y barrios donde se implantan y utilizan.

La calidad ambiental en las ciudades se ve menoscabada por las emisiones de gases del sector del transporte y de la climatización, además de los ruidos y la disipación al ambiente de calores residuales procedentes de los propios gases de combustión y de los sistemas de refrigeración.

Las redes de BT y MBT pueden ser electrificables en un 100% y no prevén el uso de la combustión como tecnología de obtención de calor, salvo en el caso de biomasa, puesto que emplean en primer lugar calor residual que, de otra forma, se disiparía al ambiente. Incluso el calor procedente de los sistemas de refrigeración se puede utilizar para a producción de agua caliente sanitaria en tiempo real, o almacenarse para cuando sea necesario.

5.6. Factores legales y regulatorios

A pesar de que las redes de calor y frío se contemplan en distintos planes y programas de ayudas relacionados con la transición energética como el PNIEC (en concreto las medidas 1.6, 2.5, 2.6, y 2.8); la construcción, mantenimiento y operación de estas infraestructuras no cuenta con un marco regulatorio específico en España. Esto es un importante obstáculo para el desarrollo de un sector que se caracteriza por elevadas inversiones al comienzo del proyecto y largos periodos de retorno.

La falta de regulación específica hace que el órgano competente correspondiente exija permisos y licencias diferentes para cada proyecto, quedando la ejecución exitosa de éste, en muchas ocasiones, supeditada a la arbitrariedad de decisiones y acuerdos políticos en el ámbito municipal.

A eso hay que añadir la demora en la trasposición de normas europeas al marco legal español.

A continuación, se indican los aspectos legales y regulatorios más relevantes para el desarrollo de redes de calor y frío⁷⁶:

⁷⁶ ADHAC – Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío.

- Ocupación del espacio público para su desarrollo: existen graves dificultades para la obtención de los permisos necesarios de uso de dominio público, sobre todo en actuaciones de carácter privado.
- Falta de regulación específica sobre los procedimientos de autorización, certificación y concesión de licencias que se aplican a este tipo de instalaciones.
- Falta de una ordenanza municipal modelo.
- Falta de una regulación en sintonía con la existente en otros países europeos que, primando las necesidades globales sobre las particulares, establecen obligaciones de conexión a las redes cuando se encuentren disponibles.

A fin de proporcionar seguridad jurídica a los proyectos de redes de calor y frío, se proponen las siguientes iniciativas:

- Declarar las redes de calor y frío de interés general y, en su caso, de utilidad pública.
- Introducir la obligatoriedad de contemplar urbanísticamente en los nuevos desarrollos las redes de climatización de BT y MBT.
- Regulación concreta o específica de las Comunidades Energéticas Locales en el uso de la energía térmica, así como la participación de la empresa privada en el desarrollo de dichas Comunidades Energéticas, en coherencia con el PNIEC. Incorporación dentro de la revisión del PNIEC de una hoja de ruta del desarrollo de las redes de calor y frío, utilizando como referencia las decisiones tomadas recientemente por República Francesa en dicho sentido.
- Elaboración de proyectos piloto en edificios de la Administración General del Estado que sirvan como ejemplo indiscutible para otras Administraciones.
- Búsqueda de fórmulas que incentiven la conexión de usuarios a las redes de climatización existentes cuando estas resulten la opción más eficiente energéticamente, en detrimento de aquellos otros sistemas que resulten menos eficientes, tal y como ocurre en muchos otros países de la Unión Europea.
- Equiparación de las redes de climatización, a efectos fiscales, con las bonificaciones existentes al gas natural y a la biomasa, ya que los operadores de redes no pueden trasladar dicha disminución del IVA a sus clientes finales, suponiendo esto una desventaja competitiva para un modelo energético más eficiente.
- Fijación de objetivos nacionales de integración de redes de calor y frío en relación con la potencia total instalada, la cuota de redes de climatización en la demanda energética total o el número de hogares conectados a una red.

5.7. Síntesis

La siguiente tabla resume los aspectos principales de los factores que se estudian en el análisis PESTEL.

El código de colores de los símbolos representa cualitativamente el grado en el que el aspecto considerado favorece (**verde**), no impacta (**amarillo**) o limita (**rojo**) el desarrollo de la tecnología.

Tabla 4. Análisis PESTEL para la implementación de las redes de calor y frío de BT y MBT

Factores	Comentarios	Impacto		
Políticos	Políticas de descarbonización globales, europeas y españolas, que tienen como objetivo reducir la demanda de fuentes fósiles de energía			
	Acciones ejemplarizantes de las administraciones públicas			
	Falta de información de autoridades municipales sobre los beneficios sobre el medio ambiente urbano.			
	Falta de formación de técnicos municipales acerca de las características de estas redes y de los factores que afectan a su viabilidad.			
	Impacto de la inestabilidad geopolítica sobre el gas natural y el petróleo generada por la invasión rusa en Ucrania			
	Impacto sobre las cadenas de suministros de equipos necesarios.			
	Aprobación de una hoja de ruta o estrategia del desarrollo de redes de calor y frío. Muy Positiva			
Económicos	Incremento de los precios de los combustibles y de la energía en general			
	La inversión supone una mayor proporción en los costes totales de ciclo de vida que en otros sistemas de climatización, en los que el coste de la energía es el que más peso tiene			
	Ayudas a la rehabilitación de viviendas y otros edificios, que permiten sustituir los elementos de producción y emisión de calor por otros más eficientes y compatibles con redes de calor de BT y MBT			
	Crecimiento de los precios de la electricidad, de las bombas de calor, o de las instalaciones fotovoltaicas			
Sociales	Cambio de mentalidad en el uso de instalaciones – es necesario que además de cambiar nuestros sistemas hagamos un cambio de autogestión de la demanda adaptando nuestros parámetros de uso a la disponibilidad energética)			
	Desconocimiento de la población en general. Desconfianza sobre la externalización de servicios esenciales (calefacción ACS, refrigeración), y los esquemas de medida y tarificación			
	Sensación de inseguridad entre la población ante una posible falta de suministro de combustibles para calefacción y ACS			
	Incremento de los precios finales de combustibles y energía			
	Impacto beneficioso sobre el medio ambiente urbano			
	Pobreza energética			

Técnicos	Necesidad de sustituir los sistemas de emisión de calor para hacerlos compatibles con bajos gradientes de temperatura	●		
	Planificación urbana que prevea las redes de BT y MBT por defecto, tal como se prevén las redes eléctricas, de comunicaciones, de agua corriente, o de residuales			●
	Desarrollo de tecnologías habilitadoras para mejorar la eficiencia y reducir los costes de inversión y operación			●
	Las bombas de calor mejoran sus rendimientos operando a temperaturas más bajas que favorecen mejores COP			●
	Integración de estructuras termoactivas en los nuevos edificios			●

Ecológicos	Reducción del impacto ambiental producido en la extracción, tratamiento y transporte de combustibles fósiles			●
	Uso de biomasa autóctona, producida en las cercanías.			●
	Reducción de las emisiones de gases de combustión (contaminantes atmosféricos, calor y ruido)			●
	Reducción del efecto isla de calor provocada por la emisión de calores residuales a ambiente urbano			●
	Posibilidad de emplear refrigerantes naturales			●

Legales	Falta de regulación específica para otorgamiento de permisos (ocupación del espacio público, plazos)	●		
	Declaración de las redes de BT y MBT como de interés general y, llegado el caso, de utilidad pública			●
	Obligatoriedad de contemplar urbanísticamente en los nuevos desarrollos las redes de climatización de BT y MBT			●
	Regulación concreta o específica de las Comunidades Energéticas Locales en el uso de la energía térmica, y de la participación de la empresa privada.			●

6. ANÁLISIS DAFO

Con base en lo expuesto en los puntos ANTERIORES, se han identificado una serie de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas para las redes de calor de BT y MBT respecto a las redes actuales ya otras formas de satisfacer la demanda de calor en edificios que se agrupan en la siguiente tabla.

Tabla 1. Análisis DAFO de las redes de calor de BT y MBT

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> - Bajas o nulas emisiones de GEI. - Generación descentralizada que permite la integración de calores residuales y renovables. - Coste de la energía independiente del gas o petróleo. - Independencia / seguridad en el suministro de energía. - Electrificable 100%. - Gestión del suministro y de la instalación más sencillas a nivel doméstico. - Costes de explotación competitivos respecto a otras soluciones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desconocimiento entre los potenciales consumidores y prosumidores. - Dificultad técnica de la adaptación de los edificios existentes al uso del calor a baja temperatura. - Infraestructura más compleja y costosa (subestaciones, bombas de calor booster, almacenamiento de corto y largo plazo, medición bidireccional). - Requiere emisores de baja temperatura, menos conocidos entre el consumidor doméstico. - Elevadas inversiones iniciales. - Disponibilidad de superficies de captación solar.
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> - Políticas, estrategias, normativas y planes de descarbonización del entorno edificado en 2050. - Políticas y planes de independencia energética. - Ayudas para la rehabilitación de viviendas y edificios comerciales. - Límites normativos en cuanto al consumo de energía primaria no renovables en nueva construcción y ciertas rehabilitaciones. - Incremento de precios de las fuentes de energía tradicionalmente empleadas en climatización y ACS. - Nuevos desarrollos urbanísticos y en grandes rehabilitaciones o transformaciones. - Las limitación del CTE al uso de energía primaria no renovable hace que las redes de BT y MBT, que pueden ser renovables 100%, sean una solución óptima. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desconocimiento de la administración: retraso o requisitos innecesarios para las licencias y permisos de ocupación del espacio público. Por ejemplo, no existe un mecanismo estandarizado ni uniforme para solicitar licencias - Requiere de una planificación urbana favorecedora. - Falta de regulación específica: el promotor percibe riesgo. - Competencia de otras formas de generación de energía térmica individuales (solar térmica, biomasa, así como aerotermia y geotermia accionadas por electricidad renovable). - Un elevado coste del dinero encarece las inversiones con retornos a largo plazo.

7. CONCLUSIONES

Los objetivos de descarbonización del entorno edificado requieren de la aportación de muchas y diversas soluciones. No es suficiente con reducir las demandas de energía de los edificios, sino que las resultantes de la mejora de la eficiencia se satisfagan a partir de fuentes residuales y renovables, de la forma más segura y económica posible.

A dichos objetivos, se suman los de la reducción de la dependencia energética del exterior y de perseguir que los precios de la energía sean asequibles y estables.

Existe tecnología comercial de producción de calor y frío para cubrir las demandas de climatización y ACS a nivel individual o colectivo a base de electricidad, que puede llegar a ser 100% o casi, de origen renovable. Sin embargo, la sustitución de los combustibles por electricidad agudizaría los picos de demanda tanto en invierno como en verano, lo que requeriría el refuerzo de las redes de transporte y distribución y disponer de un parque de generación sobredimensionado y, por tanto, caro de construir y de mantener.

Las redes de energía térmica de BT y MBT pueden jugar un importante papel para alcanzar los objetivos marcados evitando los problemas indicados del sector eléctrico problemática anterior, pues permiten suministrar energía térmica sin sobrecargar la red eléctrica y laminar los picos, gracias a la integración de todo tipo de aportes de energía de renovable tales como geotermia superficial, solar térmica y fotovoltaica, y biomasa, así como de recursos actualmente no explotados como son los calores residuales disponibles en las ciudades que proceden de la refrigeración de infraestructuras de transporte, de centros de datos, y de grandes comercios, y de las redes de aguas residuales. La recuperación de estos calores, además, evita o reduce el consumo de energía que se hace necesario para evacuarlos al ambiente.

Paralelamente, la integración de las redes eléctricas y térmicas permitiría el almacenamiento de excedentes de generación renovable no gestionable en forma de calor, para ser utilizado cuando fuese necesario.

Además, al igual que las redes eléctricas, las redes térmicas de BT y MBT pueden recoger calores residuales de sus clientes y convertirlos en prosumidores, sacando así el máximo partido de las Infraestructuras para no desperdiciar ningún recurso energético.

Aún teniendo muchas ventajas, este sistema de distribución de energía térmica se enfrenta a ciertas necesidades de desarrollo tecnológico y reducción de costes.

En cuanto a equipos, hay que avanzar en cambiadores de calor de altas prestaciones, emisores de calor de baja temperatura, elementos o sistemas de medida de calor de bajo coste y sensibles a pequeños saltos de temperatura en el fluido caloportador, sistemas de almacenamiento de calor estacionales y de corto plazo, así como subestaciones de intercambio bidireccional, con posibilidad de elevación de temperatura para el agua caliente sanitaria.

La mejora de los sistemas de predicción de demandas y excedentes térmicos de los edificios e instalaciones, es también necesaria para optimizar la gestión de la energía y permitir minimizar la capacidad de su acumulación de corto plazo.

Vinculado a la figura de prosumidor de energía térmica, son necesarias tecnologías de comunicación y control que coordinen los diferentes elementos de consumo y generación de calor, tecnologías de auditoría como Blockchain para garantizar la cantidad de energía intercambiada, y la integración de elementos de ciberseguridad.

Todas estas tecnologías se encuentran en avanzados niveles de disponibilidad tecnológica (TRLs 6 a 8) y **precisan de apoyo de las administraciones para el desarrollo y puesta en el mercado en proyectos de demostración** que, además, permitan examinar nuevos modelos de negocio adaptados a las características técnicas y demandas de los usuarios, que los hagan competitivos.

También **es preciso el desarrollo normativo** facilitador de estos sistemas, sobre todo, en lo tocante a la concesión de permisos y licencias de forma simple y rápida, aspecto que precisa de protocolos claros, simples y estandarizados, que puedan ser aplicados por la administración competente.

Para integrar edificios existentes en redes de este tipo, se hace necesario sustituir los elementos emisores para adaptarlos a los niveles de temperatura y sería muy recomendable también haber realizado una mejora del aislamiento para reducir sustancialmente la demanda de calor.

Las redes de calor de BT y MBT **son la solución de climatización más adecuada desde todos los puntos de vista para nuevos desarrollos urbanos** en los que se debe prever espacio para los elementos de captación, especialmente de energía solar, de almacenamiento y de las redes de distribución. Los edificios nuevos irán equipados con elementos emisores de calor de baja temperatura, válidos para calefacción y refrigeración, por lo que la conexión a estas redes no precisará de ninguna modificación adicional.

Anexo I. Proyectos relacionados reportados por los autores

TECNALIA

Objeto del contrato	Descripción de los servicios prestados
1. SMARTENCITY Towards Smart Zero CO2 cities across Europe	Proyecto europeo, liderado y coordinado por TECNALIA, toma como demostrador un barrio de la ciudad española de Vitoria-Gasteiz desarrollando actuaciones significativas en materias de rehabilitación, energía y movilidad principalmente. http://smartcitynetwork.eu/
2. REPLICATE Renaissance of Places with Innovative Citizenship and Technology (Renacimiento de Lugares con Ciudadanía y Tecnología Innovadora)	El objetivo principal del proyecto es el desarrollo, la validación a través de la monitorización de una serie de proyectos de implementación en tres ciudades faro (San Sebastián - España, Florencia – Italia and Bristol – Inglaterra). Diseño e implementación de una red térmica en San Sebastian. https://replicate-project.eu/
3. Making City: efficient pathway for the city transformation: enabling a positive future (Ruta de la eficiencia energética para la transformación de la ciudad: posibilitar un futuro positivo)	Desarrollo e implementación de redes térmicas de distrito para conseguir distritos positivos. https://makingcity.eu/
4. DECARB CITY PIPES 2050	Hojas de ruta de transición hacia redes urbanas de calor y frío energéticamente eficientes y sin emisiones de carbono. https://decarbcitypipes2050.eu/
5. ATELIER: AmsTERdam BiLbao citizen drivEn smaRt	Proyecto Lighthouse (demostración de soluciones de eficiencia energética a escala de ciudad o distrito que pretenden ser referencia a nivel europeo). https://smartcity-atelier.eu/
6. RELATED: Red térmica de Distrito Renovable de Baja Temperatura	En el proyecto se realiza una intervención global sobre la red térmica del complejo de la Ertzaintza en Iurreta (Bizkaia), dando servicio a calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria y piscina http://www.relatedproject.eu/
7. in-SARE: Transformación de edificios en generadores de energía mediante creación de una nueva red térmica inteligente de baja temperatura basada en integración de nuevos productos y tecnologías no invasivas”	Desarrollo de una Red Térmica Inteligente de Baja Temperatura, para producción solar térmica, que permita reducir el consumo agregado de los edificios y sus costes de operación

ESTE DOCUMENTO SE HA DESARROLLADO EN EL MARCO DE LAS AYUDAS A LA CONVOCATORIA CORRESPONDIENTE AL AÑO 2020 DE PLATAFORMAS TECNOLÓGICAS Y DE INNOVACIÓN DEL PROGRAMA ESTATAL DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN ORIENTADA A LOS RETOS DE LA SOCIEDAD (PLAN ESTATAL I+D+I 2017-2020)

ENTIDAD SOLICITANTE: PLATAFORMA TECNOLÓGICA ESPAÑOLA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

REFERENCIA PROYECTO: PTR2020-001201

