Aalborg Universitet

Integrating low-temperature renewables in district energy systems

Guidelines for policy makers

Bertelsen, Nis; Mathiesen, Brian Vad; Djørup, Søren Roth; Schneider, Noémi Cécile Adèle; Paardekooper, Susana; Sánchez García, Luis; Thellufsen, Jakob Zinck; Kapetanakis, John; Angelino, Luca; Kiruja, Jack

Publication date:
2021

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Link to publication from Aalborg University

Citation for published version (APA):
Bertelsen, N., Mathiesen, B. V., Djørup, S. R., Schneider, N. C. A., Paardekooper, S., Sánchez García, L., Thellufsen, J. Z., Kapetanakis, J., Angelino, L., & Kiruja, J. (2021). *Integrating low-temperature renewables in district energy systems: Guidelines for policy makers*. International Renewable Energy Agency.

General rights
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from vbn.aau.dk on: July 07, 2025

AALBORG UNIVERSITY
DINAMARCA

IRENA
International Renewable Energy Agency

INTEGRACIÓN DE RENOVABLES DE BAJA TEMPERATURA EN REDES DE ENERGÍA URBANA

DIRECTRICES PARA RESPONSABLES POLÍTICOS

Con el apoyo de:

Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety

Copyright © IRENA 2021

A menos que se indique lo contrario, esta publicación y el material presentado en la misma son propiedad de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) y están sujetos a derechos de autor por parte de IRENA. El material de esta publicación se puede usar, compartir, copiar, reproducir, imprimir y/o almacenar libremente, a condición de que se atribuya claramente a IRENA y se indique que está sujeto a derechos de autor (© IRENA) y se incluya el año. El material contenido en esta publicación atribuido a terceras partes podrá estar sujeto a derechos de autor de terceros y a condiciones de uso y restricciones distintas, e incluso restricciones relativas a cualquier uso comercial.

Este documento resume la publicación de IRENA y Universidad de Aalborg (2021) *Integrating low-temperature renewables in district energy systems: Guidelines for policy makers*, Agencia Internacional de Energías Renovables, Universidad de Aalborg, Abu Dhabi, Copenhague (ISBN: 978-92-9260-319-9).

Citación: IRENA y Universidad de Aalborg (2021), *Integración de renovables de baja temperatura en redes de energía urbana: Directrices para responsables políticos*, Agencia Internacional de Energías Renovables, Universidad de Aalborg, Abu Dhabi, Copenhague.

ISBN: 978-92-9260-319-9

Acerca de IRENA

La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, por sus siglas en inglés) es una organización intergubernamental que apoya a los países en su transición hacia un futuro energético sostenible y actúa como la principal plataforma de cooperación internacional, centro de excelencia y repositorio de conocimiento sobre políticas, tecnologías, recursos y financiación de las energías renovables. IRENA promueve la adopción generalizada y el uso sostenible de todas las formas de energía renovable, incluyendo la bioenergía, geotérmica, hidroeléctrica, oceánica, solar y eólica para lograr el desarrollo sostenible, el acceso a la energía, la seguridad energética, y un crecimiento y prosperidad bajos en carbono. *www.irena.org*

Acerca de la Universidad de Aalborg

La Universidad de Aalborg se creó en 1974. El departamento de planificación de la Universidad de Aalborg lleva a cabo una investigación en varios campos, incluida la planificación energética. El grupo de investigación de planificación energética sostenible (SEP, por sus siglas en inglés) del departamento de planificación de la Universidad de Aalborg cuenta con más de 25 años de experiencia con un enfoque interdisciplinar de la planificación energética sostenible en combinación con aspectos tecno-económicos, geográficos y sociopolíticos. *www.en.plan.aau.dk/research+groups/SEP/*

Agradecimientos

IRENA agradece las valiosas contribuciones de los miembros de IRENA y la Universidad de Aalborg, además del grupo asesor de expertos constituido ad hoc por estas mismas entidades, a partir de la constitución de la coalición Global Geothermal Alliance (GGA) y otras instituciones del sector de la calefacción y refrigeración urbana. Se recibió información de los siguientes expertos: Eirikur Bragason (Arctic Green Energy), Leoni Paolo y Ralf-Roman Schmidt (Austrian Institute of Technology – Center for Energy), Wang Weiquan (Asociación China de la Industria de Energías Renovables – CREIA), Isabel Cabrita y Maria Carla Lourenco (Dirección General de Energía y Geología – Portugal), Olivier Racle (Engie), Samra Arnaut (Enova – Bosnia), Eloi Piel (Euroheat & Power), Bojan Bogdanovic y Greg Gebrail (European Bank for Reconstruction and Development), Catherine Hickson (Geothermal Canada), Christiaan Gischler (Banco Interamericano de Desarrollo – BID), Marit Brommer (Asociación Internacional de Energía Geotérmica – IGA), Jure Cizman (Jozef Stefan Institute – Slovenia), Annamaria Nador (Oficina Húngara de Minería y Geología), Paul Bonnetblanc (Ministerio de Transición Ecológica y Solidaria – Francia), Paul Ramsak (Agencia Holandesa de Cooperación – RVO), Jón Örn Jónsson (Reykjavik Geothermal), Christian Holter (SOLID solar thermal systems), Sebastien Danneels (Ayuntamiento de Stoke-on-Trent – Reino Unido), Celia Martinez y Zhuolun Chen (UNEP), Astu Sam Pratiwi y Marc Jaxa Rozen (Universidad de Ginebra), Elin Hallgrimsdottir y Joeri Frederik de Wit (World Bank ESMAP) y Emin Selahattin Umdu (Universidad de Yasar – Turquía). También se obtuvo información valiosa por parte de los colegas de IRENA Fabian Barrera, Yong Chen, Jinlei Feng, Imen Gherboudj, Seungwoo Kang, Paul Komor y Toshimasa Masuyama. Los participantes del evento "Integration of Low-Temperature Renewable Energy Sources into District Heating and Cooling Systems" que tuvo lugar en Serbia en diciembre de 2019 también aportaron información valiosa utilizada para enriquecer el contenido de este informe.

En el sitio web de IRENA puede encontrar las presentaciones del taller:
https://irena.org/events/2019/Dec/Energy-Solutions-for-Cities-of-the-Future

Contribuciones:

Este informe se ha desarrollado bajo la tutela general de Gurbuz Gonul y Salvatore Vinci (IRENA) y con el apoyo técnico de Brian Vad Mathiesen (Universidad de Aalborg). Ha sido elaborado por Luca Angelino y Jack Kiruja (IRENA), Nis Bertelsen, Brian Vad Mathiesen, Søren Roth Djørup, Noémi Schneider, Susana Paardekooper, Luis Sánchez-García, Jakob Zinck Thellufsen y John Kapetanakis (Universidad de Aalborg). Amjad Abdulla (IRENA) ha aportado consejos valiosos.

Respaldo de IKI

Este informe forma parte del proyecto Energy Solutions for Cities of the Future, respaldado por el organismo International Climate Initiative (IKI). El Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania (BMU) apoya esta iniciativa en base a una decisión adoptada por el Bundestag alemán.

Para más información o enviar una consulta: publications@irena.org

Este informe está disponible para descargar en ***www.irena.org/publications*** y ***www.energyplan.eu/irena/***

Exención de responsabilidad

Esta publicación y el material que figura en ella se proporcionan «tal cual», para fines informativos.

IRENA ha tomado todas las precauciones razonables para verificar la fiabilidad del material presentado en esta publicación. Ni IRENA ni ninguno de sus funcionarios, agentes, proveedores o licenciatarios de datos u otros contenidos de terceros ofrecen ninguna garantía, ni siquiera en lo relativo a la exactitud, la integridad o la idoneidad para un propósito particular o el uso de este tipo de material, o en relación con la no violación de derechos de terceros, y no aceptan ninguna responsabilidad en relación con el uso de esta publicación y el material ofrecido en la misma.

El material contenido en la presente publicación no representa necesariamente los puntos de vista de los Miembros de IRENA, ni supone un apoyo a ningún proyecto, producto o proveedor de servicios. Las designaciones empleadas y la presentación del material de la presente publicación no significan la expresión de ninguna opinión por parte de IRENA sobre la situación jurídica de ninguna región, país, territorio o ciudad o zona ni de sus autoridades, ni en relación con la delimitación de sus fronteras o límites.

Integración de renovables de baja temperatura en redes de energía urbana

Directrices para responsables políticos

ÍNDICE

GRÁFICOS 6
TABLAS 7
RECUADROS 8
FOTOGRAFÍAS 8
ABREVIATURAS 9
RESUMEN EJECUTIVO 11
INTRODUCCIÓN 14

PARTE A: RESUMEN DEL SECTOR DE LA CALEFACCIÓN Y LA REFRIGERACIÓN 21

A.1 HACIA UN SECTOR DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN DESCARBONIZADO: DESBLOQUEO DEL POTENCIAL DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA, LA ENERGÍA URBANA Y LA ENERGÍA RENOVABLE 22

A.1.1 La necesidad urgente de abordar la calefacción y la refrigeración 23

A.1.2 Sistemas de energía y suministro de calefacción (y refrigeración) sostenible del futuro 26

A.2 RESUMEN DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE PARA DHC Y PRINCIPALES TECNOLOGÍAS FACILITADORAS 31

A.2.1 Fuentes de energía renovable (y de calor residual) y tecnologías para la calefacción urbana 31

A.2.2 Fuentes de energía renovable para la refrigeración urbana 37

A.2.3 Principales tecnologías facilitadoras 38

PARTE B:

DIRECTRICES PARA RESPONSABLES POLÍTICOS SOBRE REDES DE ENERGÍA URBANA DE BAJA TEMPERATURA 46

B.1 DESARROLLO DE PLANES ESTRATÉGICOS DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN **47**

B.1.1 Necesidad de acción local, regional y nacional reforzada mutuamente **47**

B.1.2 Creación de un suministro de energía sostenible con la planificación estratégica de calefacción y refrigeración **49**

B.1.3 Definición del alcance y propósito de la planificación estratégica de calefacción y refrigeración **51**

B.2 PARTICIPACIÓN DE LAS PARTES INTERESADAS **55**

B.2.1 Identificación y coordinación de las partes interesadas **55**

B.3 EVALUAR Y REALIZAR UN MAPA DE LA DEMANDA DE CALEFACCIÓN (Y REFRIGERACIÓN) Y DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS **62**

B.3.1 Cartografía de la demanda de calefacción y refrigeración **63**

B.3.2 Identificación de recursos locales de calor **66**

B.3.3 Cuantificación y evaluación de potenciales de ahorro de calor frente a suministro sostenible **73**

B.3.4 Establecimiento de escenarios para el suministro de calor **75**

B.4 INTEGRACIÓN DEL SUMINISTRO A BAJA TEMPERATURA EN LOS EDIFICIOS EXISTENTES Y EN LAS REDES DE CALEFACCIÓN URBANA **78**

B.4.1 Evaluación de la compatibilidad con el parque inmobiliario existente **78**

B.4.2 Evaluación de la compatibilidad con la red de calefacción existente **84**

B.5 TRATAMIENTO DE LOS RETOS TÉCNICOS EN LA EXPLOTACIÓN DE FUENTES DE ENERGÍA A BAJA TEMPERATURA **87**

B.5.1 Energía geotérmica **87**

B.5.2 Energía solar térmica **90**

B.5.3 Calor residual **91**

B.5.4 Refrigeración gratuita **91**

B.6 HABILITACIÓN DE CONDICIONES REGULATORIAS, FINANCIACIÓN Y MODELOS DE NEGOCIO **93**

B.6.1 Estructuras de propiedad **94**

B.6.2 Precio del suministro de DHC **97**

B.6.3 Normativa **98**

B.6.4 Financiación **102**

LISTA DE COMPROBACIÓN **111**

REFERENCIAS **112**

GRÁFICOS

Figura ES1: Marco esquemático para la integración de renovables de baja temperatura en redes de energía urbana **13**

Figura 1: Las redes de energía urbana que utilizan fuentes renovables contribuyen a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible **15**

Figura 2: Diagrama esquemático de una red de energía urbana que utiliza varias fuentes de energía **16**

Figura 3: Evolución de las tecnologías de energía urbana, sus temperaturas de funcionamiento y ejemplos de fuentes de energía **17**

Figura 4: Estructura de la guía **20**

Figura 5: Número de mandatos e incentivos normativos de energía renovable, por tipo, 2014-19 ..... **23**

Figura 6: Tres perspectivas clave para el papel de los edificios en futuras redes de energía sostenible rentables **25**

Figura 7: Cuotas estimadas de equipos de calefacción en edificios residenciales y del sector de servicios en el mundo durante 2019 operados por tecnología; se excluye el uso tradicional de la biomasa **25**

Figura 8: Desglose del consumo total final de energía realizado por vector energético en 2017 y en el escenario de transformación energética de 2050 ..... **27**

Figura 9: Interacción entre sectores y tecnologías en un sistema de energía inteligente **27**

Figura 10: Transición desde la calefacción individual basada en combustibles fósiles hacia la calefacción urbana de cuarta generación **28**

Figura 11: Costes totales de calefacción urbana y sinergias de ahorro de calor para sistemas de energía en los 14 países europeos responsables del 90 % de la demanda calorífica de la UE **29**

Figura 12: Minas de carbón abandonadas: proyecto de calefacción urbana del Pozo Barredo (Mieres), Asturias, España **32**

Figura 13: Coste de instalaciones solares montadas en tejado y suelo en Dinamarca **34**

Figura 14: Redes de refrigeración urbana en París (Francia) **38**

Figura 15: Funcionamiento de una bomba de calor por compresión **39**

Figura 16: Funcionamiento de una bomba de calor por absorción **40**

Figura 17: Competitividad del suministro entre varias fuentes de calor renovables y de baja emisión de carbono y el potencial del almacenamiento estacional para superar la competencia **42**

Figura 18: Conceptos del almacenamiento térmico estacional **43**

Figura 19: Coste del almacenamiento estacional **44**

Figura 20: Aplicaciones de red de energía urbana en varios entornos urbanos **50**

Figura 21: Clasificación de las partes interesadas según su nivel de influencia e interés **55**

Figura 22: Costo de la transmisión de calor .. **62**

Figura 23: Diagrama de una red de energía urbana que usa varias energías **66**

Figura 24: Ejemplo de producción diaria de calor por parte de una red de calefacción urbana híbrida que utiliza almacenamiento térmico **67**

Figura 25: Aplicación de mapa solar de tejados en el condado de Los Ángeles (Estados Unidos) **71**

Figura 26: Enfoque para evaluar el nivel viable de ahorro energético **73**

Figura 27: Cadena de valor de la eficiencia energética desde la energía primaria hasta la energía útil **74**

Figura 28: Esquema de sistemas de calefacción de espacios directos e indirectos **79**

Figura 29: Potencia calorífica que requiere un piso mal aislado con diferentes programaciones de calefacción **81**

Figura 30: Preparación de ACS al nivel de un edificio (izquierda) y al nivel de un piso (derecha) **83**

Figura 31: Croquis de una derivación de combinación para integrar una red a baja temperatura en una red convencional **85**

Figura 32: Planificación local/estratégica del calor en el contexto de la normativa nacional e internacional y coherencia con múltiples intereses y necesidades **93**

Figura 33: La red de energía urbana: una estructura vital que conecta unidades de suministro y consumidores **94**

Figura 34: Ejemplo de desarrollo de calefacción urbana en áreas con unas TIR altas y bajas **103**

Figura 35: Relación entre un plan de mitigación de riesgos y la madurez del mercado geotérmico **105**

Figura 36: Factores que conforman un plan de gobernanza de la calefacción urbana **109**

TABLAS

Tabla 1: Principales ventajas y rol de las fuentes de calor residual de energía renovable y las tecnologías facilitadoras en el sistema de energía **45**

Tabla 2: Modelo de matriz para crear un mapa del marco regulador público para la planificación de calor **48**

Tabla 3: Posibles partes interesadas, su papel en la SHCP y estrategia para su participación **56**

Tabla 4: Escenarios de desarrollo para la calefacción urbana de nueva generación y modificaciones potenciales necesarias en los elementos del sistema **74**

Tabla 5: Ventajas y desventajas de las subestaciones directas e indirectas **79**

Tabla 6: Retos principales y soluciones posibles para explotar fuentes de calor residual o renovables a baja temperatura en la DHC **92**

RECUADROS

Recuadro 1: Aalborg (Dinamarca): Visión de la energía de Aalborg para 2050 ..... **52**

Recuadro 2: Zhengzhou (China): planificación de calor estratégica en un área nueva **53**

Recuadro 3: El papel de la principal parte interesada **58**

Recuadro 4: Groß-Gerau (Alemania): una estrategia acertada para la participación de las partes interesadas **60**

Recuadro 5: Datos abiertos para estudios preliminares: el caso de Suiza..... **64**

Box 6: Herramientas para la cartografía de la demanda de calefacción y refrigeración **65**

Recuadro 7: Herramientas para evaluar el uso del potencial de los recursos geotérmicos ... **70**

Recuadro 8: Herramientas para evaluar el uso del potencial de los recursos solares térmicos..... **71**

Recuadro 9: Herramientas para evaluar el uso del potencial de los recursos de calor residual **72**

Recuadro 10: Herramientas para la planificación de calefacción y refrigeración urbana **76**

Recuadro 11: En cascada: red de calefacción urbana geotérmica de varias temperaturas en París (Francia)..... **89**

Recuadro 12: Algunos ejemplos de modelos de propiedad..... **96**

Recuadro 13: Marco regulador para la calefacción urbana geotérmica Recomendaciones principales del proyecto GeoDH..... **100**

Recuadro 14: Jinan (China) **104**

Recuadro 15: Programa del EBRD de energía urbana renovable en los Balcanes occidentales **105**

Recuadro 16: Planes de mitigación de riesgos geotérmicos **106**

Recuadro 17: Desarrollo de proyectos de energía renovable financiables: IRENA Project Navigator. **108**

FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Contaminación atmosférica en Mongolia..... **22**

Fotografía 2: Plantas de energía solar con colectores solares planos en Løgumkloster (Dinamarca) (izquierda) y CSP con concentrador cilindro-parabólico en Brønderslev (Dinamarca) (derecha)..... **34**

Fotografía 3: Bomba de calor por compresión que suministra a una red de calefacción urbana en Dinamarca **40**

Fotografía 4: Almacenamiento de calor (44 000 m³) en Avedøre Kraftværket, en Copenhague (Dinamarca)..... **41**

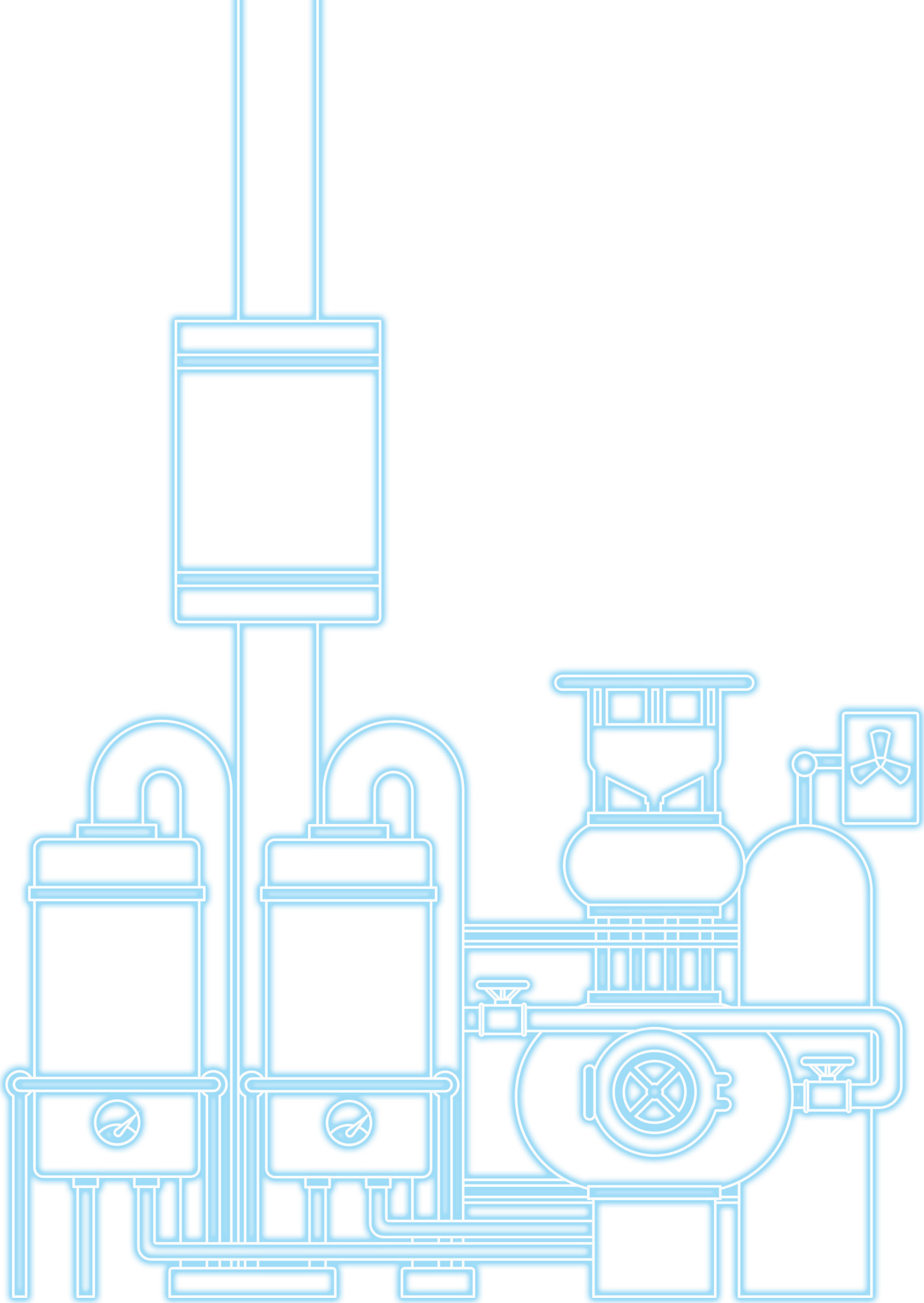
Fotografía 5: Calderas de gas en una sala de calderas de gas (izquierda) y una subestación en un edificio en Bélgica (derecha) **79**

Fotografía 6: Ejemplos de tanque de agua (izquierda) e intercambiador térmico de placas (derecha) para la preparación de ACS..... **83**

Fotografía 7: Planta de refrigeración urbana solar, Scottsdale, Arizona (Estados Unidos) (izquierda) y parte del campo de captación solar de Fernheizwerk, Graz (Austria) (derecha)..... **90**

ABREVIATURAS

AAU	Universidad de Aalborg
ACS	Agua caliente sanitaria
AIE	Agencia Internacional de la Energía
ATES	Almacenamiento de energía térmica en acuíferos
BTES	Almacenamiento de energía térmica en sondeos
CHP	Cogeneración
CSP	Energía solar de concentración
°C	Grados Celsius
CO_2	Dióxido de carbono
CoP	Coeficiente de operatividad
DHC	Calefacción y refrigeración urbana
EBRD	Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo
EJ	Exajulio
ESCO	Empresa de servicios energéticos
EUR	Euro
GEI	Gas de efecto invernadero
GJ	Gigajulio
GWh	Gigavatios/hora
HFC	Hidrofluorocarburo
hm^3	Hectómetro cúbico
IRENA	Agencia Internacional de Energías Renovables
km	Kilómetro
km^2	Kilómetro cuadrado
kW	Kilovatio
m^2	Metro cuadrado
m^3	Metro cúbico
mm	Milímetro
MTES	Almacenamiento de energía térmica de mina
MW	Megavatio
MWh	Megavatio/hora
O&M	Operación y mantenimiento
PETA	Atlas térmico Paneuropeo
PPP	Colaboración público-privada
PTES	Almacenamiento de energía térmica de pozo
ReDEWeB	Energía urbana renovable en los Balcanes Occidentales
REN21	Red Política sobre Energía Renovable para el siglo XXI
SEP	Planificación energética estratégica
SHCP	Planificación estratégica de calefacción y refrigeración
SIG	Sistema de información geográfica
SITG	Portal del sistema de información territorial (Ginebra)
TES	Almacenamiento de energía térmica
THERMOS	Sistema de optimización y modelización de recursos de energía térmica
TIR	Tasa interna de retorno
TWh	Teravatios/hora
UE	Unión Europea
USD	Dólar estadounidense
VTR	Válvula termostática de radiador



RESUMEN EJECUTIVO

La reducción de las emisiones por parte del sector de la calefacción y refrigeración es un factor crítico a la hora de mitigar el cambio climático y reducir la contaminación atmosférica. En este sentido, los sistemas de calefacción y refrigeración urbana pueden contribuir a incrementar el uso de energías renovables, aumentar la eficiencia energética, disminuir el uso de combustibles fósiles en el sector de la climatización y mejorar la calidad del aire en zonas urbanas.

Tradicionalmente, los sistemas de calefacción urbana se han creado a altas temperaturas para satisfacer la alta demanda de calor por parte de edificios con un aislamiento deficiente. Para lograr las altas temperaturas necesarias en la mayoría de los casos, se necesita usar combustibles fósiles. No obstante, en la nueva generación de redes de energía urbana, la innovación tecnológica, la digitalización y las tendencias actuales hacia edificios con mayor eficiencia energética pueden permitir un desarrollo más amplio de tecnologías de energía limpia, como la energía hidráulica, la energía solar térmica y la energía geotérmica de baja temperatura, así como fuentes de calor residual. Estas fuentes están ampliamente disponibles a nivel local en muchas regiones. Aun así, permanecen sin explotar en gran medida porque no son compatibles de forma inmediata con la actual infraestructura de energía urbana ni el parque inmobiliario existente.

El uso de fuentes de energía renovable de baja temperatura y calor residual sostenible en las redes de energía urbana se ve obstaculizado a menudo por barreras como las siguientes:

- falta de datos
- insuficiente conocimiento y concienciación sobre las mejores tecnologías disponibles
- falta de conexión con estrategias de renovación de edificios
- competencia desleal de los sistemas de calefacción individuales basados en combustibles fósiles o sistemas de refrigeración eléctricos
- costes iniciales altos
- limitaciones presupuestarias a nivel municipal
- regulación inadecuada y procedimientos de autorización largos

Con este contexto, el presente documento ofrece directrices a los políticos y ejemplos de soluciones y herramientas disponibles que facilitan el uso de fuentes de calor renovables de baja temperatura en redes de energía urbana nuevas y existentes. También se ofrece un resumen de las aplicaciones para calefacción y refrigeración urbana, y las tecnologías facilitadoras que utilizan energía renovable de baja temperatura. Esta guía se centra en los sistemas que utilizan energía solar térmica, geotérmica e hidráulica que se producen con bajas temperaturas, así como en los sistemas con bombas de calor. La biomasa, que representa la fuente de energía renovable dominante en la calefacción urbana, no presenta grandes retos de integración técnica con la infraestructura existente que se produce a altas temperaturas. Por lo tanto, la integración de la biomasa en la calefacción urbana no será el tema principal de este informe.

A continuación se enumeran las principales recomendaciones:

Desarrollar planes de calefacción y refrigeración estratégicos basados en factores políticos claros e identificar los principales agentes que participarán en el proceso. Las autoridades locales pueden dirigir este proceso, pero necesitarán un gran apoyo de los gobiernos nacionales si quieren lograr objetivos ambiciosos e instaurar un marco facilitador.

- A nivel nacional, proporcionar marcos regulatorios y de gobernanza adecuados, y establecer la dirección para la implementación de todo el sistema energético y el papel de la energía urbana en la descarbonización y el desarrollo sostenible.
- Mejorar las competencias que necesita la fuerza de trabajo, incluidos aquellos involucrados en tecnologías de energía renovable individual y, en algunos mercados, la modernización de la infraestructura de energía urbana.
- Desarrollar planes de calefacción y refrigeración estratégicos locales y determinar las partes implicadas y en qué términos, así como la forma en que se les hará partícipes del proceso.
- Facilitar la aceptación pública de la transición a un sector de calefacción y refrigeración de baja emisión de carbono y la implementación de proyectos de energía urbana basada en las renovables. Esto podrá ser logrado si incluye a ciudadanos, si muestra transparencia y si eleva la concienciación sobre los méritos de las redes de energía urbana y las tecnologías renovables.

Crear escenarios técnicos basados en la demanda de calefacción y refrigeración y mapas de recursos.

- Mejorar la recopilación de datos sobre la demanda de calefacción y refrigeración haciendo mediciones reales en los edificios o usando herramientas existentes para estimar la demanda a través de modelos descendentes o ascendentes.
- Evaluar los recursos de calor disponibles para su uso en la calefacción y refrigeración de edificios por medio de herramientas existentes como los sistemas de información geográfica o mediante la creación de atlas de calor. La información generada por el uso de estas herramientas puede utilizarse para respaldar la planificación y la inversión en redes de energía urbana.
- Asegurar que los escenarios avanzados para el desarrollo de calefacción y refrigeración estén en línea con los objetivos a largo plazo.

Integrar el cambio de suministro, la modernización de la red y los planes de renovación de edificios para lograr un nivel de rendimiento óptimo (tanto a nivel técnico, como socioeconómico) y evitar desconexiones y efectos del monopolio.

- Alinear el desarrollo de energía urbana y eficiencia energética en edificios y crear sinergias entre ambos factores. Por ejemplo, diseñar esquemas por barrio en los que se implementen medidas de eficiencia energética en la oferta y la demanda simultáneamente. Incentivar prácticas de mayor eficiencia energética trasladando el pago basado en el consumo a todos los clientes.
- Implementar medidas en los barrios existentes para reducir las temperaturas de funcionamiento de los sistemas que ya estén en uso y de las nuevas redes de calefacción urbana. Esto se puede realizar i) a nivel de edificio, introduciendo sistemas de control, rediseñando el equipamiento de calefacción, modernizando las fachadas y mejorando su eficiencia energética, rediseñando los sistemas de preparación y subestaciones de agua caliente sanitaria, etc.; y ii) a nivel de red, aislando tuberías, incorporando tecnologías de refuerzo de temperatura, implementando medidas para bajar las temperaturas de retorno, evitando caudales más elevados que podrían dañar la red, etc.

Promover el uso de fuentes de energía renovable disponibles de forma local para calefacción y refrigeración haciendo frente a los retos intrínsecos.

- Fomentar la capacidad de desarrollo de proyectos sólidos de energía renovable y hacer frente a los retos técnicos en la integración y funcionamiento de fuentes de baja temperatura en redes de energía urbana nuevas y existentes.
- Asegurar el aplicar las mejores prácticas en el uso de fuentes locales de energía renovable. Estas mejores prácticas generan el uso más asequible y sostenible de los recursos, *p. ej.*, la reinyección para energía geotérmica o el almacenamiento térmico estacional para energía solar térmica.

Garantizar que se establezcan condiciones regulatorias favorables, opciones de financiación de apoyo y modelos de negocio.

- Considerar las redes de energía urbana como infraestructura pública y asegurar una igualdad de condiciones a través de instrumentos fiscales, legislación y regulación de precios; pero teniendo también en cuenta factores externos como la emisión de gases de efecto invernadero o los contaminantes atmosféricos.

- Para vencer la incertidumbre asociada a la demanda de calefacción y refrigeración y atraer inversiones, conectar en primer lugar consumidores con alta demanda y asegurar poder explotar todo el potencial.
- Además de la financiación pública, incluidas las subvenciones, explorar la participación del sector privado y prácticas innovadoras como las asociaciones con empresas de servicios energéticos o la microfinanciación colectiva.
- Desarrolllar esquemas para reducir los riesgos de las aplicaciones basadas en renovables. Por ejemplo, promover programas de apoyo para la energía geotérmica según la madurez del mercado que reduzcan el riesgo de los inversores a la hora de perforar pozos no productivos y/o reducir la productividad de los pozos.
- Establecer un programa de gobernanza completo y transparente, con un enfoque en la propiedad, la regulación y el precio, que promueva los sistemas de calefacción y refrigeración urbana. Los sistemas deben basarse en fuentes renovables y de calor residual, y deben estar alineados con los objetivos sociales.

Figura ES1. **Marco esquemático para la integración de renovables de baja temperatura en redes de energía urbana**

INTRODUCCIÓN

Contaminación atmosférica, pobreza energética, riesgos para la salud, costes que dependen de la fluctuación de los mercados de hidrocarburos y cambio climático: estos son solo algunos de los retos asociados a los actuales sistemas de energía basados en combustibles fósiles que se utilizan en ciudades. Y la urbanización rápida podría incluso aumentar todos estos parámetros.

La calefacción es la forma de energía más utilizada en todo el mundo: supone más de la mitad de la demanda energética final. La calefacción de edificios y la generación de agua caliente sanitaria suponen la mitad del total del calor producido (AIE, 2019a). La inmensa mayoría de esta energía se produce a partir de la combustión de combustibles fósiles, lo que convierte a este sector en un contribuyente importante en las emisiones de gas de efecto invernadero (GEI), la contaminación atmosférica y los riesgos para la salud asociados, que son las principales preocupaciones de la mayoría de las ciudades en todo el mundo. Por otro lado, la demanda de refrigeración está creciendo rápidamente en todo el mundo. La demanda en refrigeración de espacios suele ser alta en países emergentes con climas cálidos, *por ejemplo,* en el Sudeste asiático, África, India y China. Por lo tanto, tanto la calefacción como la refrigeración son sectores que requieren una acción urgente. Esto se aplica sobre todo a ciudades. Hoy en día, aproximadamente la mitad (55 %) de las personas del mundo residen en áreas urbanas, una tendencia que se prevé que aumente hasta un 68 % en el 2050 (ONU, 2019).

La buena noticia es que el sector se puede descarbonizar. El potencial para aumentar la eficiencia energética de los edificios y cambiar a fuentes de energía renovable y sostenible en el nivel de suministro es elevado. Las redes de energía urbana pueden aumentar el uso de renovables, mejorar la eficiencia energética, evitar la pobreza energética, reducir la cantidad de combustibles fósiles utilizados y disminuir las emisiones de CO_2 e hidrofluorocarburos (HFC) por parte del sector de la calefacción y la refrigeración. Al hacerlo, contribuyen a que el sector de la calefacción y refrigeración cumpla con los objetivos de reducción de emisiones establecidos en el Acuerdo de París (ONU, 2015) y la Enmienda de Kigali al Protocolo de Montreal (ONU, 2016) en el sector de la calefacción y refrigeración en áreas (urbanas) de alta densidad.

Las redes de calefacción urbana ya han contribuido a una eficiencia energética alta en algunas regiones. En Escandinavia, se permite la agrupación de cargas térmicas para optimizar progresivamente el suministro de energía. Esto se logra mediante la cogeneración (CHP) y/o el uso de calor residual industrial (Galindo Fernández *et al.*, 2016). Sin embargo, para reducir la intensidad carbónica de la calefacción urbana, se necesitan esfuerzos considerables. A pesar de que la bioenergía y los recursos geotérmicos (de temperatura alta y media) jueguen un papel importante en la calefacción y refrigeración de algunas regiones, la cuota general a nivel mundial de energías renovables en calefacción urbana es mínima. En 2018, la cuota de renovables en la energía utilizada en la calefacción urbana era inferior al 8 % (AIE, 2019b).

Un aumento en el uso de energías renovables o fuentes de calor residual sostenibles en la calefacción y refrigeración urbana (DHC) tiene el potencial de contribuir de forma sustancial a los Objetivos de Desarrollo Sostenible[1] (ONU, 2015) adoptados por las Naciones Unidas (ONU) en 2015. Se incluyen la reducción de la contaminación atmosférica, un mayor acceso a tecnología energética más limpia y asequible, la creación de puestos de trabajo locales, el desarrollo de una infraestructura sostenible y la reducción de emisiones de GEI (Figura 1).

La innovación tecnológica y las tendencias actuales hacia edificios con mayor eficiencia energética y hacia el desarrollo de una nueva generación de redes de energía urbana pueden permitir un despliegue más amplio de fuentes de energía renovable de baja temperatura, como la energía solar térmica y la energía geotérmica, así como el calor residual de fuentes industriales (o comerciales). Estas fuentes están ampliamente disponibles a nivel local en muchas regiones, pero permanecen sin explotar porque no se perciben como fuentes compatibles con la infraestructura de energía urbana ni la mayoría del parque inmobiliario existente.

1 Los Objetivos de Desarrollo Sostenible para 2030 de las Naciones Unidas incluyen 17 objetivos que se pretenden lograr para conseguir un futuro mejor, más sostenible e inclusivo abordando retos mundiales en cuanto a pobreza, desigualdad, cambio climático, degradación ambiental, paz y justicia.

Figura 1. **Las redes de energía urbana que utilizan fuentes renovables contribuyen a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible**

Reducir la contaminación atmosférica y las enfermedades asociadas

Propiciar el acceso a tecnologías más limpias

Conducir a las ciudades por un camino de crecimiento ecológico

Actuar como pieza central del desarrollo hacia infraestructuras sostenibles

Contribuir a crear ciudades resilientes y eficientes en la gestión de recursos

Contribuir a la descarbonización de la calefacción y la refrigeración

La transición hacia redes de energía urbana basada en fuentes renovables y sistemas de energía inteligente que integran redes inteligentes eléctricas, térmicas y de gas requieren la activación de una serie de marcos, incluidas prácticas de planificación innovadora y herramientas de soporte, para desarrollar proyectos financiables compatibles con un sistema energético descarbonizado.

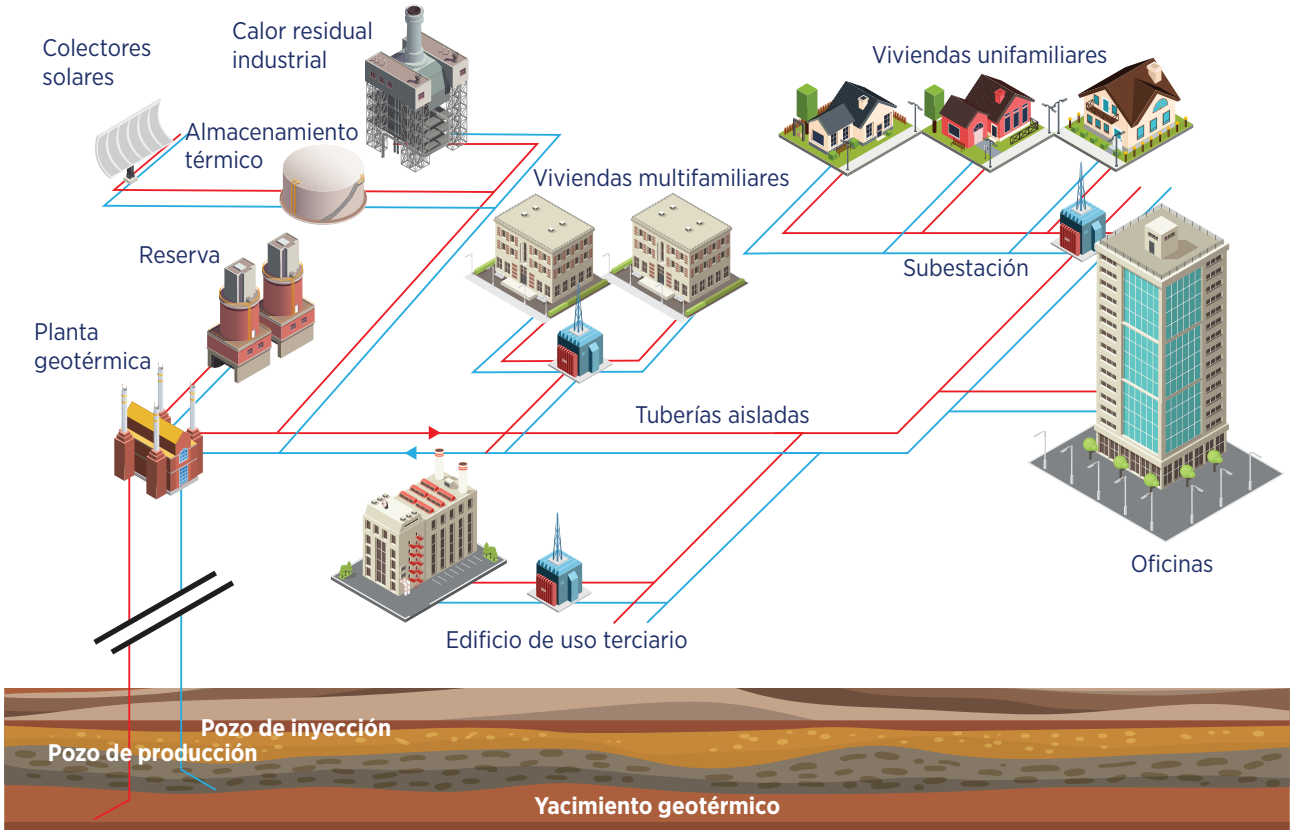
Esta guía pretende, para tal fin, aumentar el conocimiento de los responsables políticos en cuanto a prácticas recomendadas y opciones disponibles para abordar los retos principales de la incorporación de fuentes de energía renovable y fuentes de calor residual sostenible que se producen a baja temperatura en redes de DHC. Este estudio se desarrolla en el marco del proyecto Energy Solutions for Cities of the Future (Soluciones energéticas para las ciudades del futuro) y se implementa mediante un proyecto en el que colaboran la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) y la Universidad de Aalborg (AAU) dentro de la coalición Global Geothermal Alliance.[2]

> "Los edificios eficientes energéticamente y una nueva generación de redes de energía urbana podrían usar la calefacción urbana de fuentes renovables de baja temperatura"

2 www.globalgeothermalalliance.org/

Sistemas de calefacción y refrigeración urbana

Figura 2 **Diagrama esquemático de un sistema de calefacción urbana**



Nota: Esto son solo ejemplos de posibles fuentes de energía para una red de calefacción urbana.

Alcance y justificación

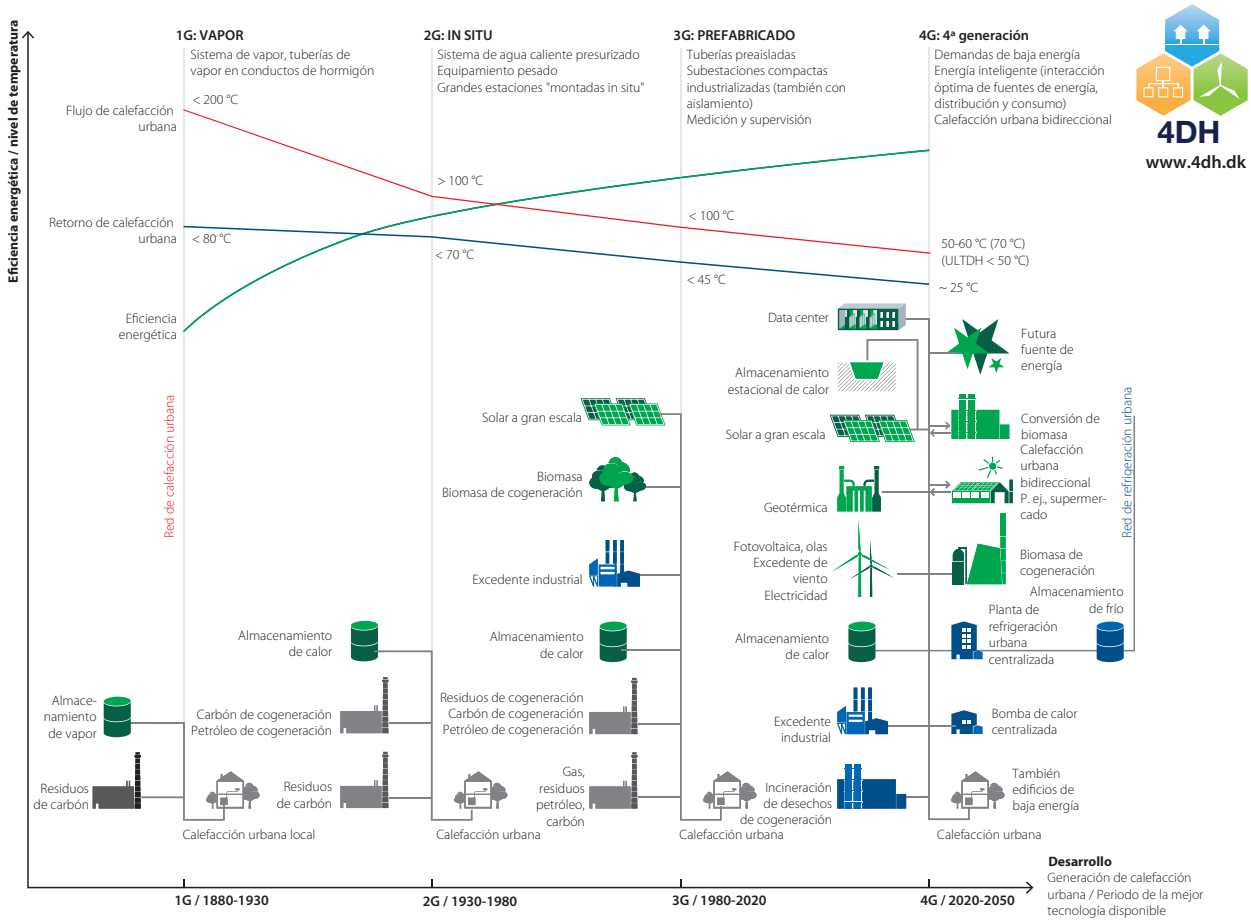
La calefacción urbana, o redes de calor, es un sistema de distribución de calor. El calor se genera en una o varias ubicaciones centrales (o descentralizadas) y se transporta a través de una red de tuberías de distribución y transmisión aisladas y equipos auxiliares. Este sistema cumple los requisitos de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) en edificios residenciales y de uso terciario. La figura anterior ilustra un ejemplo de red de calefacción urbana descentralizada que utiliza varias fuentes de energía y tecnologías: energía solar térmica, recursos geotérmicos moderados, calor residual industrial, caldera de apoyo y almacenamiento estacional. Se podrían utilizar otras tecnologías, como la cogeneración, bombas de calor y calor residual del sector de servicios.

La refrigeración urbana se puede ver como una red de calor inverso que funciona casi con los mismos principios que la calefacción urbana. La refrigeración urbana distribuye agua fría a edificios residenciales y comerciales, oficinas y fábricas.

Una ventaja clave de las redes de energía urbana es que utilizan fuentes de calor y frío que no podrían usarse en sistemas de calefacción autónomos. Las redes de energía urbana pueden acceder a energía para calefacción y refrigeración de calderas, plantas de cogeneración, bombas de calor, almacenamiento estacional o fuentes renovables como la energía geotérmica o la solar térmica. Esto se traduce en una mejor eficiencia en la generación de energía urbana y facilita la utilización del calor residual que proviene de la industria o el sector de servicios.

Los sistemas de energía inteligente pueden ayudar a desarrollar redes de energía 100 % renovable de forma más eficiente. El principio más importante tras estos sistemas es la integración de las redes eléctricas, térmicas y de gas para conseguir beneficios colaterales en los sectores y utiliza soluciones de almacenamiento asequibles (H. Lund *et al.*, 2017). Para conseguir sistemas de energía inteligente, todos los sectores relacionados con la energía, incluidos electricidad, calefacción, industria y transporte, se consideran parte de la red de energía y se integran para aprovechar las sinergias existentes entre ellos. Las redes de energía urbana son un vínculo esencial en estos sistemas de energía inteligente (Mathiesen *et al.*, 2019).

Figura 3. **Evolución de las tecnologías de energía urbana, sus temperaturas de funcionamiento y ejemplos de fuentes de energía**



Nota: 1G: primera generación de calefacción urbana; 2G: segunda generación de calefacción urbana; 3G: tercera generación de calefacción urbana; 4G: cuarta generación de calefacción urbana; CHP: Cogeneracion
Fuente: Lund et. al (2018)

El desarrollo de tecnologías subsiguientes de calefacción y refrigeración urbana (DHC, por sus siglas en inglés) ha mejorado la eficiencia y el uso de una temperatura de suministro más baja. Los sistemas de calefacción urbana de primera generación se caracterizaban por un suministro de alta temperatura que provenía del vapor, los sistemas de segunda generación utilizaban agua caliente bajo presión, y los sistemas de tercera y cuarta generación funcionan con temperaturas de distribución más y más bajas. En el caso de los sistemas de refrigeración urbana, el desarrollo tecnológico ha sido el siguiente: la primera generación usaba refrigerante como fluido de distribución y, a partir de la segunda generación, se utiliza agua, lo que supone temperaturas de suministro potencialmente más elevadas y fuentes de energía más disponibles (Lund *et al.*, 2018). Esta tendencia hace posible incluso compartir la red de distribución de calefacción urbana y de refrigeración urbana en aquellos países con estaciones separadas de suministro de calefacción y refrigeración.

"Baja temperatura" no se refiere a un rango específico de temperatura en términos absolutos, sino que depende de la fuente de energía en cuestión o del conjunto de temperatura en la red de energía urbana. En una ciudad o distrito concreto, las diferentes fuentes de calor local disponibles no permiten lograr los mismos regímenes de temperatura de funcionamiento en las redes de calefacción urbana. Los combustibles –fósiles (como el gas) o renovables (como la bioenergía)– pueden alcanzar varios cientos de grados y, por lo tanto, conseguir fácilmente una temperatura de 100 °C (grados Celsius) en el vector de calor. Por el contrario, tales temperaturas son más difíciles de lograr a partir de fuentes como la energía geotérmica superficial o de la recuperación de calor residual no convencional (por ejemplo, de la refrigeración de centros de datos). Otras fuentes, como la energía solar térmica, el calor residual industrial, las bombas de calor de gran escala, etc., ocupan muchos rangos de temperatura intermedios. Cuanto más baja sea la temperatura de funcionamiento de la red, mayor será el rango de fuentes de energía explotables y más potencial habrá para incluir fuentes limpias y descarbonizadas.

Los combustibles –fósiles (como el gas) o renovables (como la bioenergía)– pueden alcanzar varios cientos de grados y, por lo tanto, conseguir fácilmente una temperatura de 100 °C (grados Celsius) en el vector de calor. Por el contrario, tales temperaturas son más difíciles de lograr a partir de fuentes como la energía geotérmica superficial o de la recuperación de calor residual no convencional (por ejemplo, de la refrigeración de centros de datos). Otras fuentes, como la energía solar térmica, el calor residual industrial, las bombas de calor de gran escala, etc., ocupan muchos rangos de temperatura intermedios. Cuanto más baja sea la temperatura de funcionamiento de la red, mayor será el rango de fuentes de energía explotables y más potencial habrá para incluir fuentes limpias y descarbonizadas.

El término "baja temperatura", en esta guía, se refiere al rango de temperatura de las fuentes de energía. Las fuentes de energía por debajo de 100 °C se considerarán de baja temperatura, ya que pueden suministrar a redes de energía urbana de tercera y cuarta generación, que son el tema principal de esta guía.

El uso de redes de DHC varía enormemente según países, regiones y ciudades. En algunas ciudades, las redes de energía urbana se han heredado del siglo XIX, mientras que en otras, se han construido recientemente con las tecnologías más avanzadas. Se pueden encontrar altas tasas de implementación de calefacción urbana en la mayoría de las ciudades de algunas regiones, como en algunos países del este europeo, la Federación Rusa y el norte de China. Por ello, existen varios tipos de mercados de calefacción urbana en todo el mundo: mercados nuevos y emergentes (*por ejemplo,* Reino Unido y Países Bajos), mercados de calefacción urbana tradicional con sistemas de generaciones más antiguas (*por ejemplo,* Europa oriental, China) y mercados maduros y en expansión. Cuando se trata de la refrigeración urbana, el mercado es amplio y crece rápidamente, especialmente en la región del Consejo de Cooperación para los Estados árabes del Golfo.

No obstante, solo una pequeña parte en todo el mundo de la energía usada para la calefacción y refrigeración de espacios se suministra por medio de redes de energía urbana. La mayoría proviene de sistemas independientes en cada edificio (Werner, 2017). Además, las redes de calefacción urbana existentes utilizan principalmente combustibles fósiles para la generación de calor y frío, lo que resulta en emisiones de carbono altas. Estos combustibles fósiles, asimismo, sufren procesos de combustión con gran densidad de partículas, lo que genera contaminación atmosférica y problemas de salud asociados.

Para cumplir su papel en las futuras redes de energía sostenible (renovable), las redes de DHC deben:

- utilizar recursos de baja temperatura para suministrar calor y frío en edificios existentes, nuevos y renovados
- tener pérdidas térmicas bajas en la red de distribución
- integrar fuentes de calor renovables, como la energía solar térmica y la energía geotérmica, así como el calor residual de baja temperatura
- ser uno de los componentes del sistema de energía inteligente que integra fuentes de energía renovable variables y promueve la eficiencia energética
- desarrollarse teniendo en cuenta la planificación energética local, los esquemas de políticas y los costes del sistema
- contribuir al desarrollo de los sistemas de energía sostenibles del futuro (Lund *et al.*, 2018).

La naturaleza local y fragmentada de la calefacción y la refrigeración convierte a este sector en algo complejo. Por ello, la formulación de políticas nacionales eficaces es todo un reto. Asimismo, esta especificidad del sector de la calefacción y la refrigeración otorga un papel principal a las autoridades locales. Estas tienen a su disposición capacidades diferentes para desarrollar redes de energía urbana: a través de la planificación energética y urbana, el desarrollo de una normativa apropiada, la garantía de financiación, la puesta en marcha de infraestructura energética urbana y la conexión de energía urbana a edificios públicos.

A pesar de la naturaleza local de la planificación energética urbana, esta debería coordinarse desde los niveles regional y nacional para lograr objetivos sociales más amplios. Por tanto, esta guía presentará una serie de prácticas recomendadas y herramientas y soluciones disponibles que los gobiernos locales y nacionales pueden aplicar en contextos diferentes para lograr la integración de fuentes de energía renovable de baja temperatura en redes de DHC nuevas y existentes, teniendo en cuenta varios contextos locales y marcos nacionales.

Esta guía pretende complementar informes anteriores desarrollados por algunos socios, como el publicado por District Energy in Cities Initiative coordinado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2015) y otros que se pueden encontrar en la sección de referencias. Además, pretende compartir ideas prácticas y recomendaciones entre mercados de calefacción y refrigeración urbana desarrollados y emergentes.

> "La planificación energética urbana es local por naturaleza, pero necesita una coordinación a escala regional y nacional para lograr objetivos sociales más amplios"

Metodología

Este estudio se basa en:

- una revisión de la literatura, incluidos estudios anteriores de IRENA y AAU sobre la energía urbana y futuras redes de energía
- una selección de casos prácticos de proyectos y redes de energía urbana en ciudades de tamaño medio (con una población de 30 000 a 1 millón) que son el tema principal del proyecto Energy Solutions for Cities of the Future
- un proceso de consulta con un grupo de expertos que provienen de los gobiernos, la industria, la academia, organizaciones intergubernamentales y bancos de desarrollo multilateral.

Estos métodos se usaron para identificar, de la manera más completa y concreta posible, la forma de superar los retos y ofrecer posibles soluciones para integrar la energía renovable de baja temperatura en la DHC.

La diversidad de capas institucionales en el sector de la energía y la distribución variable de competencias a nivel nacional, regional y local de un país a otro delimita el nivel de detalle que se puede lograr en las directrices globales desarrolladas en esta guía. No obstante, se pueden deducir algunos retos generales en relación con las propiedades de las fuentes renovables de baja temperatura y la tecnología energética urbana. Estos se han agrupado y tratado en función de temas importantes.

Esta guía se estructura tal como se muestra en la figura 4.

La parte A de esta guía "Resumen del sector de la calefacción y la refrigeración" se divide en dos secciones. Parte A, Sección 1 pretende explicar los retos a los que se enfrenta el sector de la calefacción y refrigeración a nivel mundial y cómo las redes modernas de DHC con fuentes de calor residual y renovables de baja temperatura juegan un papel importante en la transición hacia sistemas de energía renovables.

Parte A, Sección 2 ofrece un resumen de las aplicaciones de energía renovable en DHC y las tecnologías facilitadoras.

La parte B "Directrices para responsables políticos sobre redes de energía urbana de baja temperatura" se divide en seis secciones.
Parte B, Sección 1 propone un modelo para la planificación estratégica de calefacción y refrigeración como primer paso para aumentar la cuota de energía renovable en redes de DHC.

Parte B, Sección 2 detalla las prácticas recomendadas para involucrar a las partes interesadas en el proceso de planificación estratégica de calefacción y refrigeración en el desarrollo de proyectos de DHC.

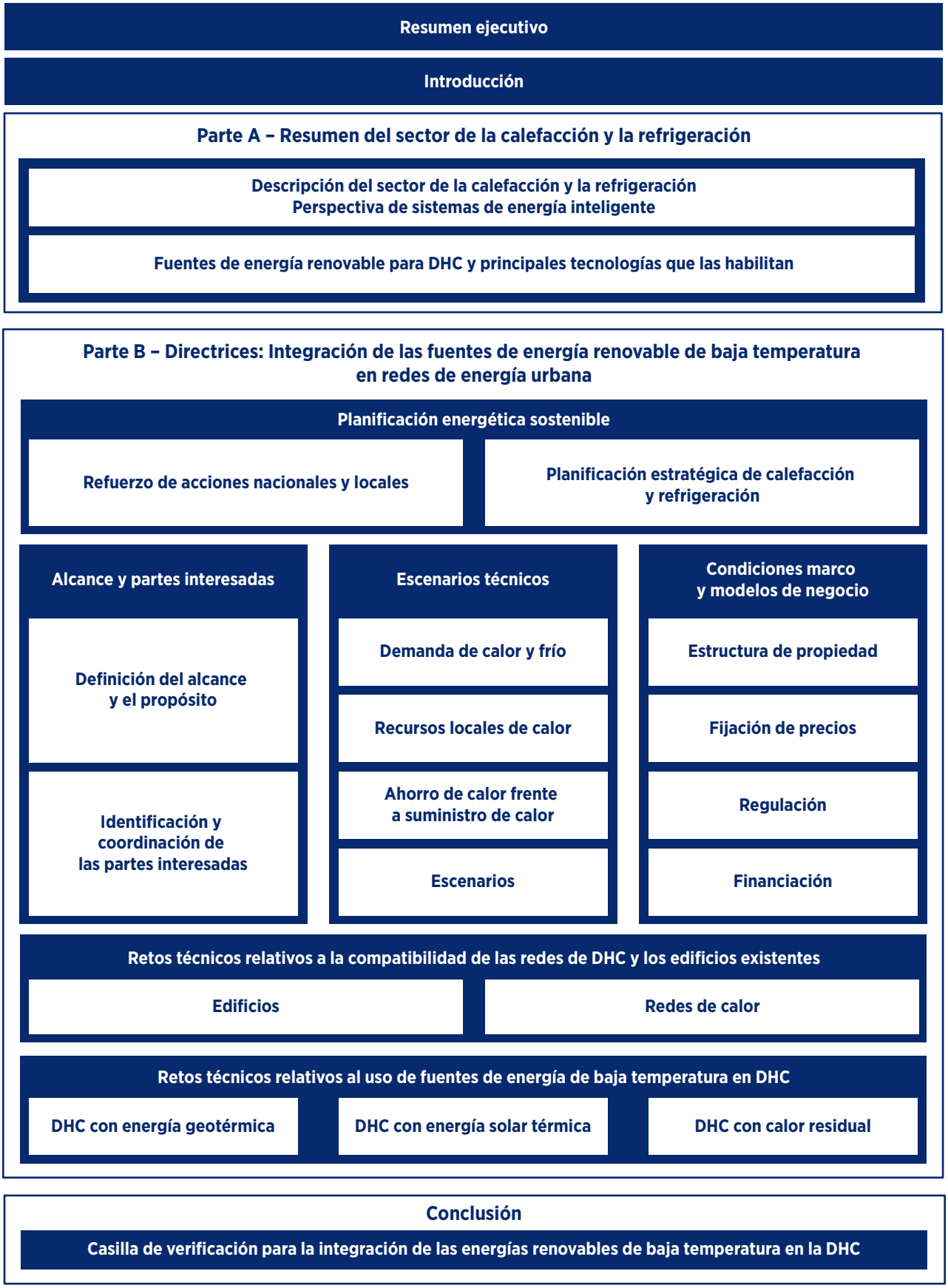
Parte B, Sección 3 describe retos, opciones y herramientas disponibles a nivel nacional, regional y local para evaluar la demanda de calefacción y refrigeración, crear mapas de los recursos energéticos y cuantificarlos, y establecer escenarios técnicos para un suministro térmico sostenible que incluya fuentes de energía de baja temperatura en DHC.

Parte B, Sección 4 describe los principales retos técnicos a la hora de integrar el suministro de baja energía en edificios y redes urbanas ya existentes.

Parte B, Sección 5 resalta las opciones existentes a la hora de superar algunos de los principales retos de la integración y uso de energía geotérmica, energía solar térmica y calor residual en DHC.

Parte B, Sección 6 explora las diferentes opciones de regulación y precio, así como los modelos empresariales y de financiación para redes de DHC.

Figura 4. **Estructura de la guía**



PARTE A:

RESUMEN DEL SECTOR DE LA CALEFACCIÓN Y LA REFRIGERACIÓN

Esta parte ofrece un resumen del estado del sector de la calefacción y refrigeración, en el que predominan los combustibles fósiles, lo que produce contaminación atmosférica y emisiones de GEI. Se tratarán los factores que influyen en la transformación de los actuales sistemas de energía hacia la sostenibilidad y se resaltará la visión de los sistemas de energía del futuro. La transformación de los sistemas de energía recibirá el respaldo del uso de fuentes de energía renovable (y calor residual) disponible localmente junto con tecnologías existentes.

A.1 Hacia un sector de calefacción y refrigeración descarbonizado: Desbloqueo del potencial de la eficiencia energética, las redes de energía urbana y la energía renovable

Tal como se indicó en la introducción, el sector de la calefacción y refrigeración se basa principalmente en combustibles fósiles. No obstante, el sector cuenta con un gran potencial para la descarbonización. Existen diversas vías para descarbonizar las redes de suministro de calefacción y refrigeración. Se puede lograr de varias formas y resulta de una combinación de medidas aplicadas, no solo desde el punto de vista de la demanda (mediante la reducción de la demanda en edificios a través de la modernización y optimización de sistemas de edificios técnicos, por ejemplo), sino también del suministro.

Una forma sería lograr la transición en áreas urbanas de sistemas de suministro de calor y frío independientes basados en combustibles fósiles o calefactores eléctricos y unidades de aire acondicionado poco eficientes a redes de DHC. Esto aumenta la eficiencia energética y el uso de renovables o calor residual, a la vez que disminuye el uso de combustibles fósiles en el sector de la calefacción y la refrigeración.

El papel de las autoridades locales en la gestión de la transición energética crece con el tiempo. Según la ONU, se espera que los niveles de urbanización a nivel mundial alcancen cerca de los dos tercios de la población en 2050 (ONU, 2019). Este nivel de urbanización es crítico porque las ciudades fueron responsables del 60-80 % de la demanda energética mundial y del 70 % de las emisiones antropogénicas en 2018 (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, 20019). Además, la producción de energía para el ACS y la calefacción y refrigeración de espacios a través de redes de energía urbana y sistemas de energía independientes que utilizan combustibles fósiles contribuyen a una alta contaminación localizada durante periodos de alta demanda calorífica, como es el caso de ciudades como Ulaanbaatar, Mongolia (véase la fotografía 1) (Organización Mundial de la Salud, 2019).

Dado que el uso de tanta energía ocurre en la ciudad o municipio, los responsables políticos locales pueden ejercer su autoridad para conseguir un enorme impacto. Pueden, por ejemplo, promover la adopción de energías renovables en entornos urbanizados y adoptar redes urbanas eficientes y centralizadas que puedan usar energía renovable y almacenar el calor para un uso posterior (IRENA, 2019b).

Para entender mejor el papel de las redes de DHC renovables en la descarbonización del sistema energético, esta parte de la guía describe brevemente los conocimientos más avanzados sobre el sector de la calefacción y refrigeración en todo el mundo. Luego, resume la potencial eficiencia energética que ofrece un rendimiento energético mejorado por parte del cliente y muestra un nuevo diseño del sistema de suministro utilizando el potencial de desarrollo de la nueva generación de las redes de DHC que utilizan fuentes de energía de baja temperatura.

Fotografía 1 **Contaminación atmosférica en Mongolia**

Fuente: Shutterstock

A.1.1 La necesidad urgente de abordar la calefacción y la refrigeración

La naturaleza local y temporal de los recursos y las demandas térmicas dificultan el análisis del suministro de calor y frío. Asimismo, los balances energéticos convencionales y las estadísticas y datos disponibles sobre la demanda energética no ofrecen información detallada sobre los usos finales como la calefacción y la refrigeración. La falta de datos y métodos para el análisis espacial y temporal crea una desventaja para el desarrollo de tecnología de DHC en comparación con otros sistemas. En consecuencia, estas tecnologías a menudo permanecen sin explotar y pasan desapercibidas en los planes de descarbonización.

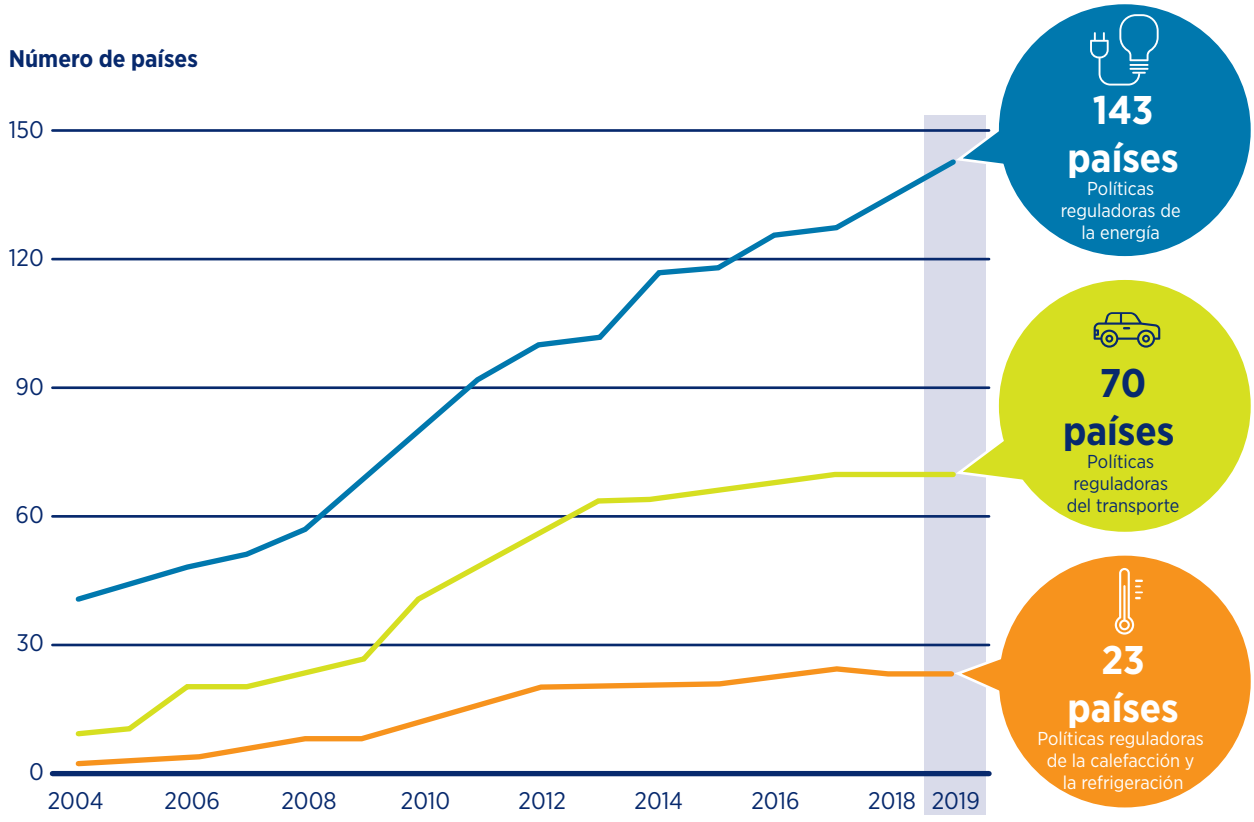
Esto se confirma también por el hecho de que la mayoría de las contribuciones determinadas a nivel nacional se centran en objetivos de energía renovable solamente para la generación de energía, tal como se muestra en la figura 5. En los últimos años, la falta de políticas de apoyo que incentiven la adopción de energía renovable para el suministro de frío y calor tanto en edificios como en la industria se ha traducido en un menor número de países que implementen incentivos reguladores o que obliguen al uso de calefacción y refrigeración renovables en comparación con los países que cuentan con una política reguladora de la energía (REN21, 2020).

No obstante, para alcanzar la deseada reducción de emisiones de carbono, se necesitará una disminución sustancial de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) en la calefacción y refrigeración de edificios y de la industria (IRENA, 2017c). IRENA (2017b) ha apuntado que se necesitará una reducción de CO_2 del -73 %, en comparación con el escenario habitual, para cumplir el Acuerdo de París.

Según el informe de 2018 Renewable energy policies in a time of transition (IRENA, AIE y REN21, 2018), IRENA, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) y la Red Política sobre Energía Renovable para el siglo XXI (REN21) han desarrollado conjuntamente la segunda edición de la publicación *Renewable energy policies in a time of transition: Heating and cooling* (IRENA, AIE y REN21, 2020). Este estudio pretende apoyar a los responsables políticos en la transición de la calefacción y la refrigeración hacia las renovables y maximizar los beneficios socioeconómicos.

Este estudio señala las experiencias y prácticas recomendadas de los países y ofrece un marco completo de políticas para superar los principales retos en el desarrollo de calefacción y refrigeración renovable para ayudar a los países a avanzar en la descarbonización y el desarrollo sostenible de este uso final.

Figura 5. **Número de mandatos e incentivos normativos de energía renovable, por tipo, 2014-19**



Fuente: REN21 (2020)

También señala algunas recomendaciones clave dirigidas a los responsables políticos para minimizar la intensidad carbónica del sector de la calefacción y la refrigeración. Entre estas, se incluye:

- Combinar la electrificación de la calefacción y la refrigeración con una generación de energía renovable para ofrecer fuentes de energía renovables asequibles. Las bombas de calor y otros aparatos eléctricos eficientes pueden mejorar la flexibilidad del sistema y facilitar la integración de cuotas más elevadas de energía renovable variable con el apoyo de estándares de rendimiento mínimo y políticas de control de calidad. Para este propósito, es necesario realizar reformas en el mercado energético, rediseñar las tarifas y actualizar la infraestructura.

- Reducir el riesgo de la exploración geotérmica para acelerar el uso directo del calor geotérmico. Entre las políticas de apoyo se incluyen una plataforma para compartir datos sobre recursos geotérmicos, un seguro del riesgo de prospección y garantías de préstamo o subvenciones para la perforación de pozos.

- Mejorar la eficiencia energética de las redes de distribución para permitir la integración de la energía solar térmica de baja temperatura, la geotermia y otras fuentes de calor renovables en las redes existentes.

Una serie de estudios previos – Connolly *et al.* (2012, 2015), Connolly *et al.* (2013a), Xiong *et al.* (2015), Paardekooper *et al.* (2018, 2020) – han demostrado que, si se considera el potencial de la eficiencia energética del sector de la calefacción y refrigeración, no solo a través del ahorro energético y las tecnologías individuales renovables y eficientes, sino también a través del desarrollo aumentado de las redes de DHC, se consigue una descarbonización más rápida y asequible del sistema energético.

Por lo tanto, existe la necesidad de mirar con detalle la "caja negra" del suministro y la demanda de calor y frío en edificios y en el sector industrial, y de desarrollar las técnicas que permitan la modelización de los requisitos térmicos de estos sectores, para así cuantificar el papel que puede jugar la energía urbana en la transición energética.

Demanda de energía térmica y eficiencia energética en edificios

La energía utilizada por los edificios supone una cuota considerable del consumo energético de la mayoría de países. La creación de edificios con eficiencia energética juega un papel muy importante a la hora de transformar los sistemas energéticos nacionales en sistemas energéticos sostenibles para el futuro, así como para reducir las emisiones de CO_2 de los combustibles fósiles.

Las mejoras en el rendimiento energético térmico – demanda de energía final por metro cuadrado (m^2) – de los edificios desde el año 2000 indican que los nuevos edificios son cada vez más eficientes y que los antiguos se están reacondicionando. No obstante, no ha habido ninguna disminución en el uso total de energía térmica desde 2010. La falta de una tendencia a la baja se ha atribuido a un aumento del acceso a la energía por parte de los países en desarrollo y a un crecimiento anual de casi el 3 % de la superficie habitable de los edificios (Alianza Global para los Edificios y la Construcción, AIE y UNEP, 2018).

Por el contrario, la refrigeración ha experimentado un fuerte crecimiento en las últimas dos décadas. La demanda de refrigeración de espacios se ha duplicado desde el año 2000 y supone al menos la mitad de la demanda pico de electricidad residencial. Beijing experimentó esta tendencia en el verano de 2017, cuando una ola de calor provocó picos diarios (AIE, 2018). A pesar de este gran crecimiento, la refrigeración sigue representando una media de menos del 6 % del uso energético en edificios de todo el mundo, aunque esto varía considerablemente de una región a otra. No obstante, existen factores que convierten a la refrigeración en general, y a la refrigeración de espacios en particular, en un tema digno de atención con respecto a la mejora en la eficiencia. El crecimiento económico de países con climas más cálidos permite el acceso a un mayor confort térmico con la refrigeración de espacios. Además, el calentamiento del clima y el efecto isla de calor en áreas urbanas aumenta la necesidad de refrigeración de las viviendas. En los próximos años, veremos una mayor demanda de refrigeración – se prevé que se duplique entre 2015 y 2050 – debido a estos factores (AIE, 2018), por lo que convertir la refrigeración en eficiente resulta un tema crucial. Más aún, las alternativas de refrigeración eficiente y limpia son una pieza clave para reducir gradualmente las emisiones de HFC, tal como exige la Enmienda de Kigali al Protocolo de Montreal (ONU, 2016). Las opciones de refrigeración urbana que incorporan refrigerantes con bajo potencial de calentamiento global juegan un papel crucial en este propósito.

Es importante que el parque inmobiliario de todo el mundo se considere infraestructura e inversión a largo plazo, ya que incluye gran cantidad de materiales y tiene el potencial de definir la demanda energética de las próximas décadas. En las economías que emergen a gran rapidez, es extremadamente importante la eficiencia y la evaluación de la calidad de los edificios nuevos. En 2018, 73 países establecían niveles de eficiencia energética para las construcciones nuevas, ya fuera de forma voluntaria u obligatoria, mediante la institución de calificaciones energéticas de las construcciones (Alianza Global para los Edificios y la Construcción, AIE y UNEP, 2019). Esto, no obstante, no soluciona completamente el problema del parque inmobiliario. Las calificaciones energéticas no existen en dos tercios de los países, que es donde se prevé el mayor crecimiento en número de edificios en el futuro. Además, la demanda energética no se puede reducir

hasta un nivel acorde con la transformación del sistema energético solamente mediante el ahorro energético o un menor uso de la energía en los edificios nuevos. Si centramos la atención en los edificios nuevos, le quitamos valor a la importancia del ahorro energético y un cambio en la tecnología de suministro de los edificios existentes.

Para lograr un sistema de energía sostenible en el sector inmobiliario, se necesitan 3 elementos (Figura 6) (Mathiesen *et al.*, 2016). Primero, para conseguir un sistema energético sostenible flexible, todo el parque inmobiliario debe lograr una mayor eficiencia energética, especialmente los edificios existentes. Segundo, para aprovechar el ahorro en la demanda de calor y electricidad, debe optimizarse el comportamiento del usuario y del edificio. Tercero, hay que considerar las opciones del suministro que abren posibilidades para la integración de la energía renovable en el sistema. Para que los edificios puedan contribuir a un futuro de energías renovables, se necesita un enfoque holístico en estos tres elementos interconectados (Mathiesen *et al.*, 2016).

Para tomar decisiones eficaces sobre el uso energético en los edificios, es crucial entender las tecnologías de suministro energético. La energía urbana tiene una función importante en esta área. Dado que estas infraestructuras tecnológicas son capaces de suministrar energía a edificios nuevos y existentes, podrán vincular los sectores térmico y eléctrico que sustentan el sistema de energía inteligente (véase Parte A, Sección 1.2) y ofrecer flexibilidad en el sistema.

Figura 6. **Tres perspectivas clave para el papel de los edificios en futuras redes de energía sostenible rentables**

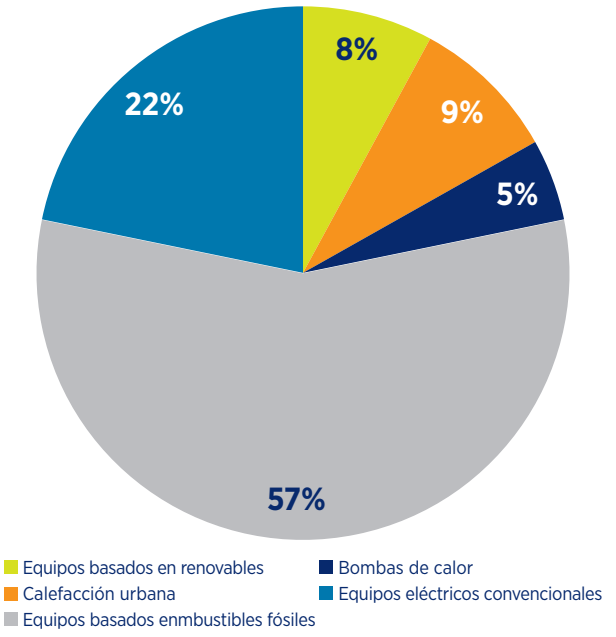
Fuente: Mathiesen *et al.* (2016)

Un sector dominado por soluciones individuales de calefacción y refrigeración con combustibles fósiles en los edificios

Las recomendaciones de ahorro energético y de cambios en el comportamiento sobre el funcionamiento del edificio van de la mano de las recomendaciones a nivel de suministro. Las tecnologías – como bombas de calor de gran escala para la calefacción urbana, unidades de almacenamiento de calor estacional y bombas de calor terrestres– y la bioenergía pueden ayudar a integrar la energía renovable en el sistema energético de forma asequible.

La cuota estimada de ventas de tecnología de calefacción para edificios residenciales y del sector de servicios durante 2019 se muestra en la figura 7. Se excluye el uso tradicional de biomasa, que aún domina el uso de calor global, ya que se utiliza en muchos países emergentes y áreas rurales. El mercado se divide así: los equipos basados en combustibles fósiles suponen el 57 % de la cuota total global de equipos de calefacción, mientras que los equipos de calefacción eléctrica convencionales suponen el 22 %, las bombas de calor individuales engloban menos del 5 % y los equipos de calefacción renovable (como los sistemas solares de agua caliente) representan el 8 %.

Figura 7. **Cuotas estimadas de equipos de calefacción en edificios residenciales y del sector de servicios en el mundo durante 2019 operados por tecnología; se excluye el uso tradicional de la biomasa**



Nota: Los equipos basados en renovables incluyen calefacción solar, equipos basados en hidrógeno y calefacción de biomasa moderna.

Basado en: Datos de la AIE (n.d.)

Las redes de calefacción urbana suponían menos del 6 % del consumo de calor global en 2018 (AIE, 2019b). Aunque esto variaba mucho de un país a otro. Europa del norte, del este y central, la Federación Rusa y el norte de China tienen una cuota mayor de redes de calefacción urbana para el calentamiento de espacios. La Federación Rusa y el norte de China representan más de un tercio del suministro de DHC.

La variación de cuotas de calefacción urbana que hay de una región a otra se debe, en algunos casos, a condiciones climáticas particulares y a la disponibilidad de fuentes de energía locales. Por ejemplo, las regiones con recursos geotérmicos favorables o con disponibilidad de calor residual que provenga de la producción de electricidad o combustible o de la incineración de residuos serán más proclives a tener redes de DHC. No obstante, un mapa extensivo del calor ha demostrado que casi todas las áreas urbanas suelen tener algún tipo de recurso calorífico disponible – ya sea un recurso renovable o la reutilización sostenible del calor (Moller *et al.*, 2018). Además, tecnologías como las bombas de calor de gran escala permiten el desarrollo de redes de DHC que utilizan fuentes de energía local de baja temperatura, que, de otra forma, no se hubieran considerado. Las diferencias en el nivel de desarrollo de calefacción urbana actual también vienen determinadas por las políticas urbanas y energéticas. Estas políticas han determinado las planificaciones tradicionales del calor y las tipologías del tejido urbano que permiten aprovechar las condiciones locales para facilitar el desarrollo de la calefacción (y refrigeración) urbana (Paardekooper *et al.*, 2018). A nivel mundial, los combustibles fósiles son la principal fuente de energía de DHC con un amplio margen, mientras que las renovables representaban menos del 8 % en 2018 (AIE, 2019b).

La demanda de refrigeración se suele satisfacer por medio de soluciones individuales, como los splits de aire acondicionado. Los sistemas de refrigeración eficientes, *por ejemplo,* los enfriadores eléctricos, se pueden obtener mediante sistemas de refrigeración urbana (AIE, 2018). Sin embargo, el suministro de frío a través de redes de energía urbana es mucho menor que el suministro de calor (Werner, 2017). Tal como se ha mencionado en la sección anterior, se ha estimado un enorme incremento en la futura demanda de refrigeración (AIE, 2018). A nivel mundial, el predominio de la refrigeración urbana viene determinado por el clima, pero, en muchos casos, sigue basándose en gran medida en la familiaridad con las prácticas de planificación de redes de energía urbana. Resulta notable que Estocolmo, en Suecia, tenga una de las redes de refrigeración urbana más grande de Europa, lo que demuestra que esta tecnología es viable incluso en países de climas fríos.

A.1.2 Sistemas de energía y suministro de calefacción (y refrigeración) sostenible del futuro

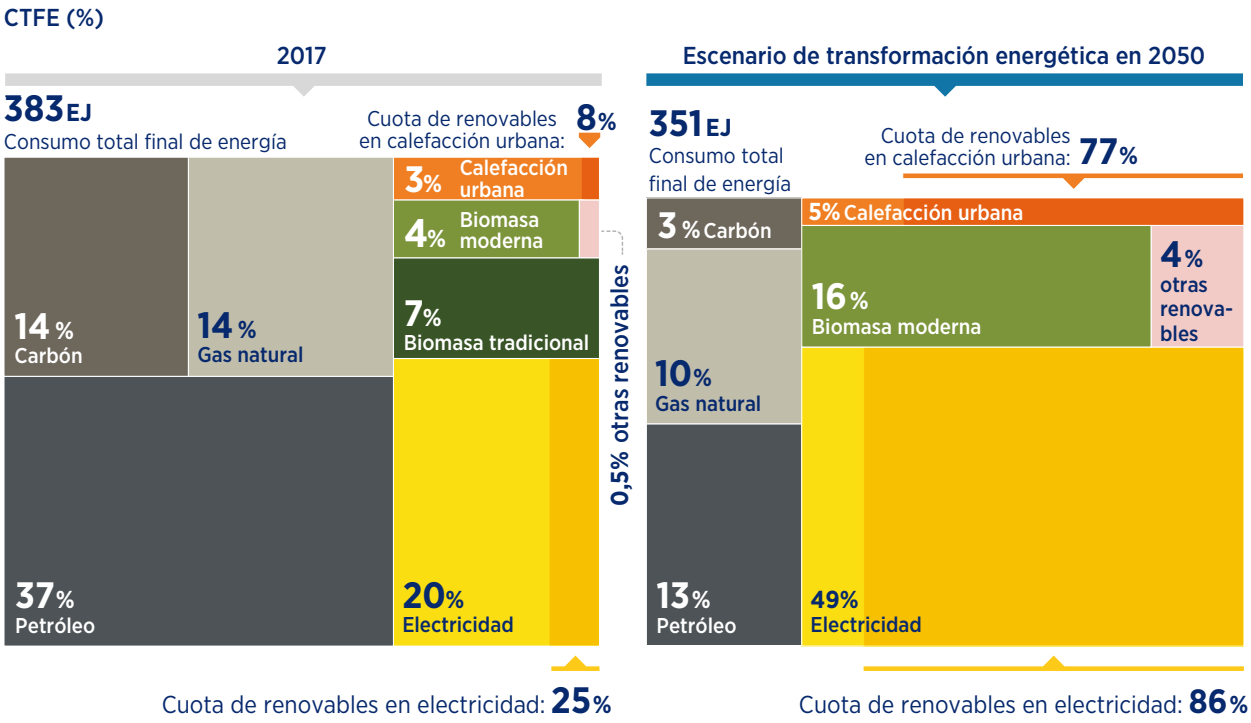
Desde un sistema de energía centralizado a sistemas de energía inteligentes

A pesar del hecho de que la mayoría de redes de DHC siguen funcionando con carbón y gas natural, las redes de energía urbana pueden permitir la integración de fuentes de calor renovables de bajo grado, incluida la geotermia, el calor residual y la energía solar térmica. Según el escenario de transformación energética de IRENA descrito en sus perspectivas mundiales de las energías renovables, la cuota de energía renovable en la calefacción urbana podría aumentar del 8 % en 2017 hasta el 77 % en 2050, tal como muestra la figura 8. Además, según este escenario, el 5 % del consumo total final de energía podría provenir de redes de DHC en 2050, desde el 3 % en 2017 (IRENA, 2020a). No obstante, algunos estudios a nivel regional han demostrado que mayores cuotas de calefacción urbana son asequibles (véase la figura 11).

La energía urbana puede contribuir enormemente a la reducción de la intensidad carbónica en el sector de la edificación y, además, ayudar en la transición hacia un sistema de energía inteligente. Tal sistema integra redes inteligentes eléctricas, térmicas y de gas. Asimismo, los sistemas de energía inteligente ofrecen flexibilidad en la generación de electricidad renovable variable por medio del almacenamiento térmico, calderas eléctricas, gas obtenido de fuentes renovables (*es decir*, tecnologías que convierten y almacenan electricidad en un combustible de gas como el hidrógeno o el metano) y bombas de calor de gran escala (David Connolly *et al.*, 2013b; Ridjan, 2015; Lund *et al.*, 2016; IRENA, AIE y REN21, 2018; Paardekooper, Lund and Lund, 2018).

La figura 9 muestra las interacciones entre las redes inteligentes eléctricas, térmicas y de gas a través de diferentes tecnologías de conversión y sistemas de recuperación. Esta multitud de conexiones significa que una serie de situaciones diferentes – *por ejemplo,* demanda alta (pico), producción de energía eólica baja, producción de energía solar alta, etc. – puede activar diferentes sistemas de producción y suministro.

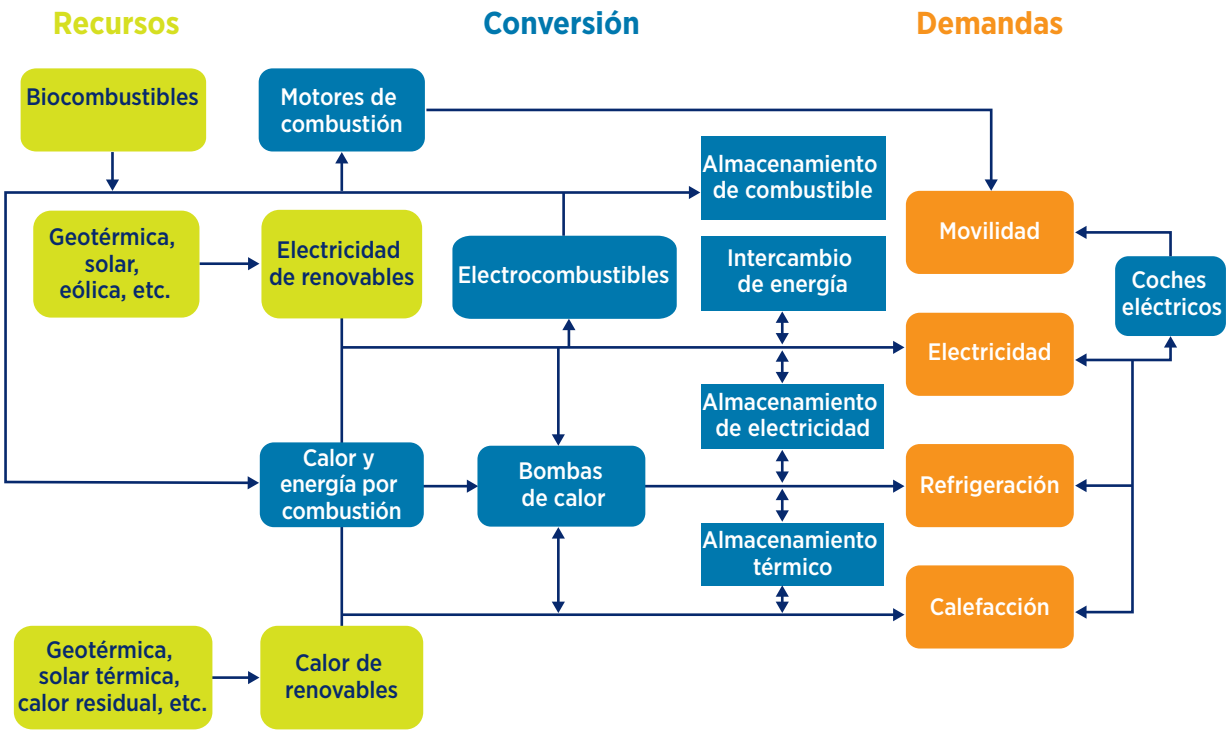
Figura 8. **Desglose del consumo total final de energía realizado por vector energético en 2017 y en el escenario de transformación energética de 2050 (EJ)**



Nota: EJ = exajulio.

Fuente: IRENA (2020)

Figura 9. **Interacción entre sectores y tecnologías en un sistema de energía inteligente**



Basado en: Paardekooper *et al.* (2018)

Cuarta generación de calefacción urbana

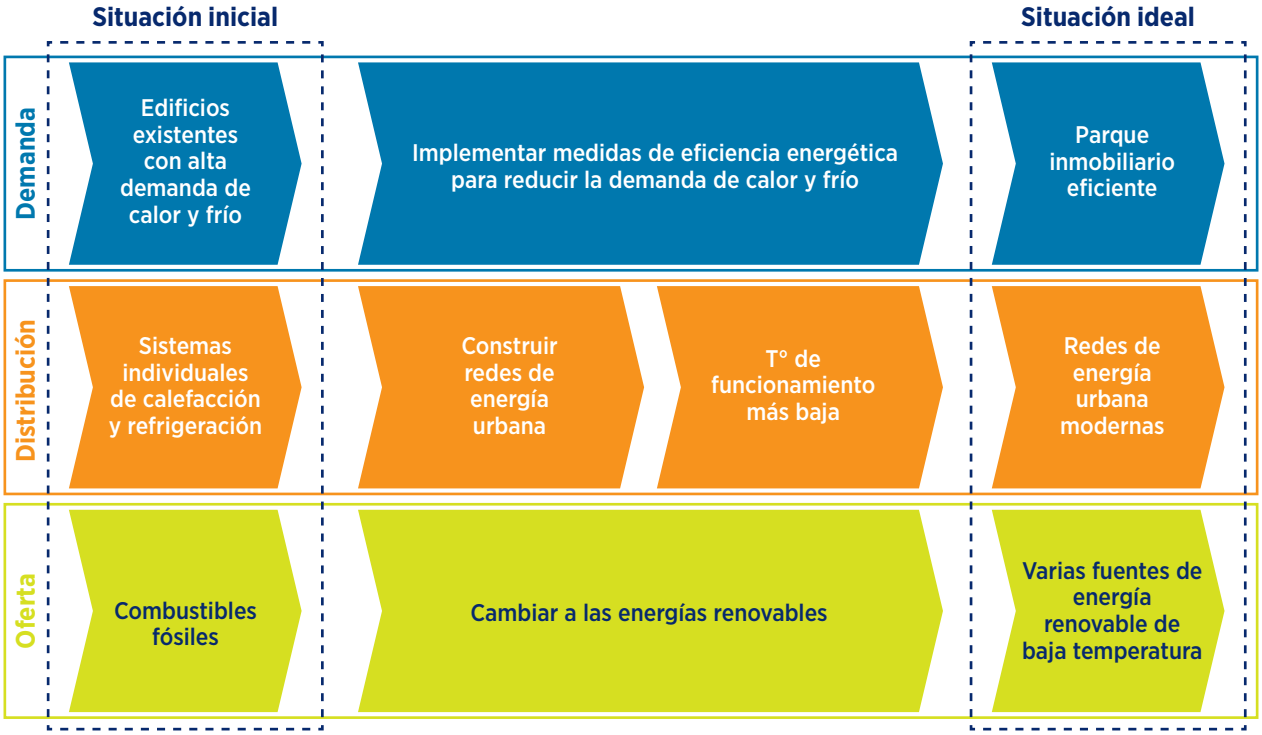
El diseño de futuras infraestructuras de energía urbana debería tener en cuenta el sistema de energía inteligente previsto (descrito en la sección anterior). El concepto de calefacción urbana de cuarta generación describe estos sistemas y tecnologías de calefacción urbana del futuro, y hace referencia a las tres generaciones que vinieron antes (Figura 3) (Lund *et al.*, 2018). La reducción de las temperaturas de suministro que se ha producido con el tiempo está estrechamente relacionada con el aumento de la eficiencia energética del sistema. A su vez, el aumento de la eficiencia se debe a una disminución en la pérdida de calor de las redes de distribución y el parque inmobiliario, así como en la capacidad de integrar nuevas fuentes de calor diferentes (*por ejemplo,* energía renovable y calor residual), tal como muestra la figura 10. La integración de nuevas fuentes de calor indica una reducción en las emisiones de CO_2 y una mayor integración con otros sectores energéticos para mejorar la flexibilidad del sistema. Las medidas de conservación y ahorro energético en las edificaciones constituyen una parte importante del desarrollo de redes de calefacción urbana de cuarta generación.

Hay que tener en cuenta que, aunque el sistema de cuarta generación sea la situación ideal, las fuentes de energía de baja temperatura pueden explotarse con sistemas de tercera generación, principalmente a través del uso de bombas de calor de gran escala. El elemento más importante es que las redes están diseñadas para funcionar con agua caliente en lugar de vapor. En cuanto a los sistemas de refrigeración, el objetivo es utilizar refrigerantes naturales en vez de refrigerantes de HFC convencionales, que deben evitarse según la Enmienda de Kigali al Protocolo de Montreal (ONU, 2016). Las redes de DHC modernas y de media escala dependerán de una variedad de fuentes locales y distribuidas, que incluye la energía renovable de baja temperatura y el calor residual.

Gran potencial de mejora con el ahorro energético (en edificaciones) y con un nuevo sistema de suministro sostenible (DHC)

A la hora de considerar cómo descarbonizar el sector de la calefacción, emerge una pregunta básica: cómo identificar un equilibrio de coste óptimo entre las inversiones en ahorro energético y las inversiones en suministro energético. Los métodos tradicionales eligen un enfoque simple de costes mínimos y se suelen centrar en los ahorros a nivel de edificación, tales como la renovación y el aumento del aislamiento. No obstante, el ahorro energético se puede conseguir en todo el sistema energético, desde la generación hasta la transmisión y el consumo – sin importar la escala

Figura 10. **Transición desde la calefacción individual basada en combustibles fósiles hacia la calefacción urbana de cuarta generación**



Nota: Las redes de energía urbana pueden reemplazar la mayoría de, si no todos, los sistemas de calefacción y refrigeración individuales en áreas de alta densidad (véase Parte B, Sección 6.4).

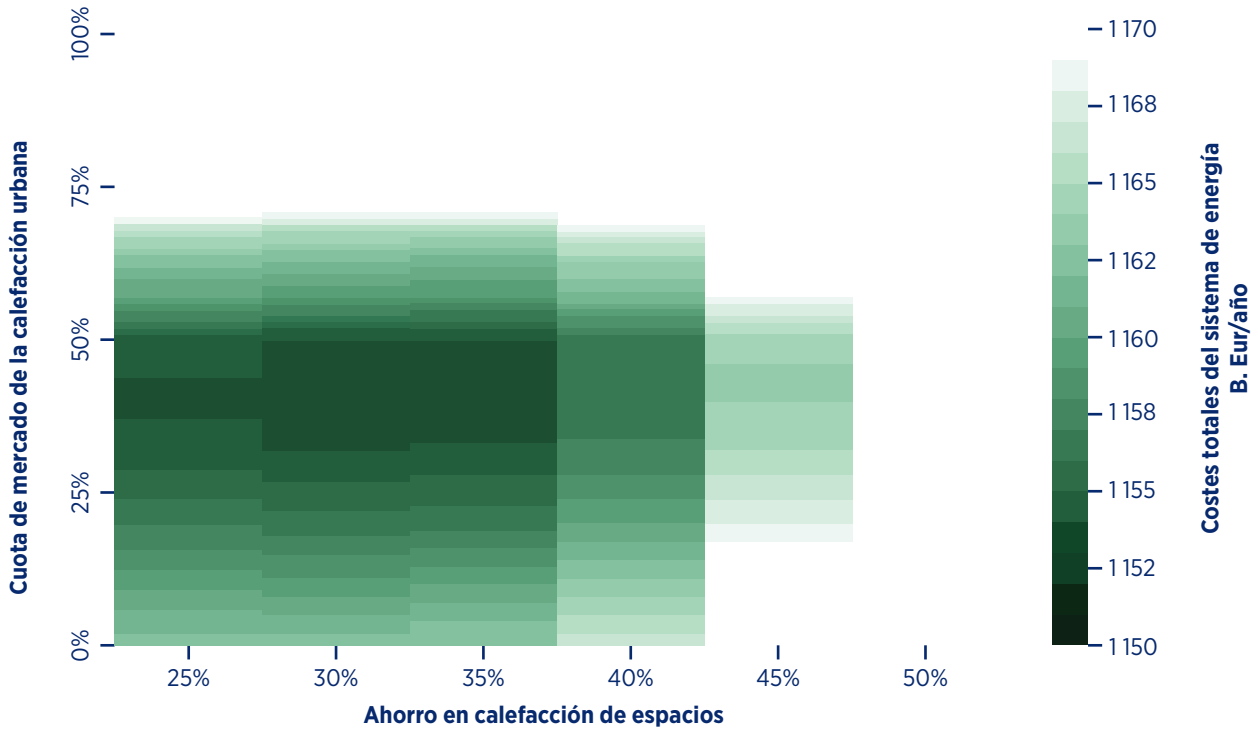
del sistema energético considerada (ya sea a nivel nacional, regional, municipal o de distrito). Habría que usar el ahorro energético con un coste mínimo menor que el del desarrollo de nuevos sistemas de suministro. Hansen (2019) argumenta que "la estimación previa de los costes (del sistema) del suministro de calor puede ser más complejo que tomar las sencillas medidas del coste normalizado de la energía (LCOE)"[3] pero, en el futuro sistema energético, los beneficios externos y las sinergias en el sistema energético convierten en necesaria esta estimación. Resulta difícil estimar el ahorro energético de, por ejemplo, usar calor residual de plantas de energía con un enfoque simple de mínimos. Este mecanismo se puede ejemplificar con una red de calefacción urbana que utilice energía geotérmica en lugar de bombas de calor en los edificios, con lo que se reduce la necesidad de capacidad eléctrica pico y la producción potencial de gas ecológico, según los sistemas climatológicos.

Estas interacciones son resultado de la complejidad e interdependencia del sistema y no se pueden captar correctamente con una evaluación de LCOE simplificada sin la modelización explícita del sistema energético en una escala de tiempo apropiada. Aquí, es necesario analizar los flujos de energía de todo el sistema energético para incluir el ahorro de los sistemas eléctrico y de calefacción.

Como ejemplo, la figura 11 muestra la cuota viable de ahorro de calor y sistemas de energía urbana en el mercado de la calefacción, teniendo en cuenta los costes totales del sistema de energía de los 14 miembros más grandes de la Unión Europea (UE), con una cuota combinada del 90 % de requisitos de calor en la UE (Mathiesen *et al.*, 2019). Muestra los resultados totales de los 14 países y las diferencias entre ellos. Por ejemplo, la República Checa, Hungría, Polonia y Rumanía pueden alcanzar un 25 % más de ahorro de calor en comparación con el objetivo de sus políticas de eficiencia energética actuales, mientras que las políticas de otros países para la eficiencia de las edificaciones ya están en marcha para minimizar los costes del sistema energético antes de 2050. Para ver una perspectiva más detallada, consulte Paardekooper *et al.* (2018).

3 El coste normalizado mide los costes de toda la vida útil de un proyecto energético dividido por su producción energética.

Figura 11. **Costes totales de calefacción urbana y sinergias de ahorro de calor para sistemas de energía en los 14 países europeos responsables del 90 % de la demanda calorífica de la UE**



HRE14: Los 14 estados miembros de la UE más grandes en cuanto a demanda de calor, con un 90 % de la demanda de calor total de la UE, estudiados en el proyecto Heat Roadmap Europe.

Fuente: Mathiesen *et al.* (2019)

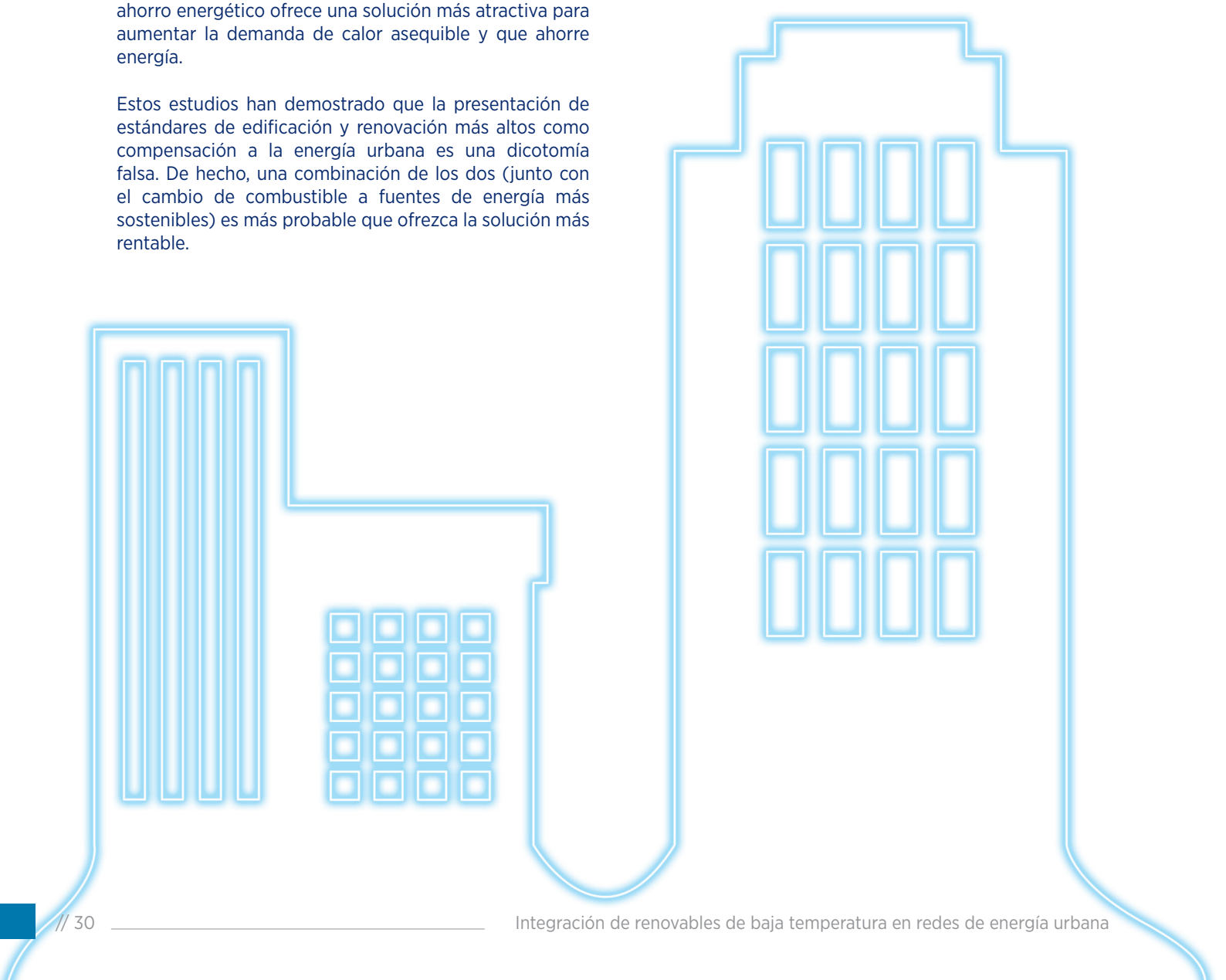
La figura 11 muestra que la inversión en suministro de calefacción urbana y ahorro energético puede suponer un coste total menor del sistema energético. La figura muestra los costes totales del sistema energético de los 14 países de la UE con la demanda de calor más alta en diferentes niveles de ahorro energético y cuotas de calefacción urbana.

Los costes del sistema energético más bajos se encuentran alrededor del 50 % de la cuota de mercado de la calefacción urbana con un 30 % de ahorro de calor a nivel europeo comparado con 2015, que se representa con el color más oscuro en el gráfico. Esto muestra la importancia de tratar los sistemas energéticos como sistemas interdependientes complejos donde existen sinergias entre los sectores de electricidad, gas y calefacción y refrigeración. En este ejemplo, esta sinergia muestra el potencial de invertir en el suministro de calefacción y ahorro de calor simultáneamente, para así reducir los costes totales del sistema energético.

Un estudio sobre China (Xiong *et al.*, 2015) también ha concluido que la combinación de la recuperación de energía, un proveedor de eficiencia energética alta y el ahorro energético ofrece una solución más atractiva para aumentar la demanda de calor asequible y que ahorre energía.

Estos estudios han demostrado que la presentación de estándares de edificación y renovación más altos como compensación a la energía urbana es una dicotomía falsa. De hecho, una combinación de los dos (junto con el cambio de combustible a fuentes de energía más sostenibles) es más probable que ofrezca la solución más rentable.

> "Las edificaciones eficientes energéticamente conectadas a un suministro de energía urbana sostenible pueden proporcionar una solución rentable"



A.2 Resumen de fuentes de energía renovable para DHC y principales tecnologías facilitadoras

A.2.1 Fuentes de energía renovable (y de calor residual) y tecnologías para la calefacción urbana

La calefacción urbana es capaz de utilizar diferentes fuentes de energía, no está atada a un solo tipo de suministro. La evolución del mercado de la calefacción urbana en Europa ilustra bien este punto. En 1990, el 50 % del calor del continente era generado por la combustión de carbón. A partir de 1990, la cuota de gas natural – que reemplazó al carbón en las plantas de cogeneración – creció hasta alcanzar casi un tercio del total de la producción de calefacción urbana. De 1990 a 2017, la biomasa aumentó hasta el 20 % y otras renovables alcanzaron el 6 % de la producción de calefacción urbana (Mathiesen *et al.*, 2019).

La DHC puede utilizar una amplia gama de fuentes de energía local que, de otra forma, no se usarían. Entre estas se incluyen el calor geotérmico, la energía solar térmica, el calor residual de procesos industriales o la refrigeración gratuita. Por tanto, estas fuentes de energía de baja temperatura son estratégicas para el desarrollo de redes de DHC y, por el contrario, el desarrollo de redes de DHC es estratégico para la explotación de fuentes de energía de baja temperatura. En las secciones siguientes se describen las principales fuentes de energía estratégicas para la DHC.

Recursos geotérmicos

La energía geotérmica es una fuente de energía renovable que se deriva del calor producido de forma natural bajo la superficie terrestre. Para generar electricidad, suelen ser necesarios recursos geotérmicos a temperaturas superiores a 150 °C. Sin embargo, tecnologías avanzadas como las plantas de energía de ciclo binario pueden explotar recursos con temperaturas inferiores (IRENA, 2017a).

Se puede acceder a la energía geotérmica perforando en la superficie de la capa subsuperficial o a más profundidad. Los recursos geotérmicos de alta temperatura se suelen encontrar en la subsuperficie profunda en áreas con un gradiente térmico alto. Los recursos geotérmicos de media y baja temperatura se suelen encontrar en la superficie de la capa subsuperficial o a más profundidad en áreas con un gradiente térmico de bajo a moderado. Por otro lado, el calor de baja temperatura almacenado en las capas superiores de la subsuperficie suele obtenerse de la radiación solar. El suelo absorbe este calor y lo distribuye mediante sistemas de aguas subterráneas (British Geological Survey, 2020).

Los recursos geotérmicos de baja y media temperatura aptos para aplicaciones de uso directo, incluida la DHC, tienen una disponibilidad mayor que los recursos geotérmicos de alta temperatura necesarios para la generación de energía (Limberger *et al.*, 2018).

La energía geotérmica que proviene de sistemas hidrotérmicos se produce en una gama de temperaturas en función del marco geológico. Se han adoptado una serie de clasificaciones para los recursos geotérmicos que dependen de las características del sistema geotérmico del que se extrae la energía. Las principales clasificaciones se basan en la temperatura, la entalpía, el estado físico de los fluidos y el marco geológico. La temperatura y la entalpía se suelen usar para clasificar recursos geotérmicos con propósitos de utilización. La clasificación de los recursos geotérmicos según la temperatura se realiza en tres niveles: baja temperatura, media temperatura y alta temperatura.

Como estos niveles de temperatura son ambiguos en sí mismos, diferentes autores han usado diferentes rangos de temperatura para cada nivel. En el contexto de las redes de DHC que utilizan fuentes de baja temperatura, los recursos geotérmicos por debajo de 90-100 °C se considerarán de baja temperatura. Con temperaturas por encima de 80 °C, la energía geotérmica se puede integrar en redes de calefacción urbana existentes sin necesidad de grandes modificaciones del sistema. Por otro lado, la utilización de recursos geotérmicos con temperaturas inferiores puede requerir la modificación de las edificaciones y redes de calefacción urbana existentes (véase Parte B, Sección 4 de esta guía).

Los sistemas geotérmicos de alta temperatura se han usado tradicionalmente en buena medida para la generación de energía y, en algunos casos, la cogeneración para aplicaciones de uso directo, como la calefacción de espacios mediante un enfoque en cascada.

Estos sistemas (que organizan el calor en cascada desde la energía de carga de base a la energía urbana) predominan en Islandia, *por ejemplo,* en la red de calefacción urbana geotérmica de Reykjavik, que suministra agua caliente a la ciudad de Reykjavik a 75 °C. Una parte de esta energía se cogenera en las centrales geotérmicas de Nesjavellir y Hellisheiði, y se canalizan hasta la ciudad. Las plantas de cogeneración geotérmica suponen cerca del 50 % de la demanda de calor pico en Reykjavik, mientras que campos de menor temperatura son responsables del resto. Más del 90 % de todas estas necesidades de calefacción de espacios en Islandia se suple con energía geotérmica (Tester *et al.*, 2015).

A diferencia de lo que ocurre con los recursos geotérmicos de alta temperatura que se encuentran en Islandia y algunos otros pocos lugares con condiciones geológicas conductivas, la mayoría de los recursos geotérmicos en el mundo son de temperaturas bajas o medias, como los que se encuentran en las cuencas sedimentarias. Mientras que los fluidos que producen algunos de los pozos en estas cuencas sedimentarias pueden superar los 100 °C (como en la cuenca panónica del sureste de Hungría), otras producen agua a 40-60 °C (como en las cuencas chinas).

La energía geotérmica para calefacción y refrigeración se obtiene, en algunos casos, de reservorios en la superficie, normalmente a menos de 1000 metros, para obtener fluidos a baja temperatura. Un ejemplo notable es la red de calefacción urbana de Boise en Idaho, Estados Unidos, que obtiene agua caliente a 66-82 °C de una serie de pozos perforados a una profundidad de 30-900 metros para calentar varios edificios residenciales y comerciales (Tester *et al.*, 2015).

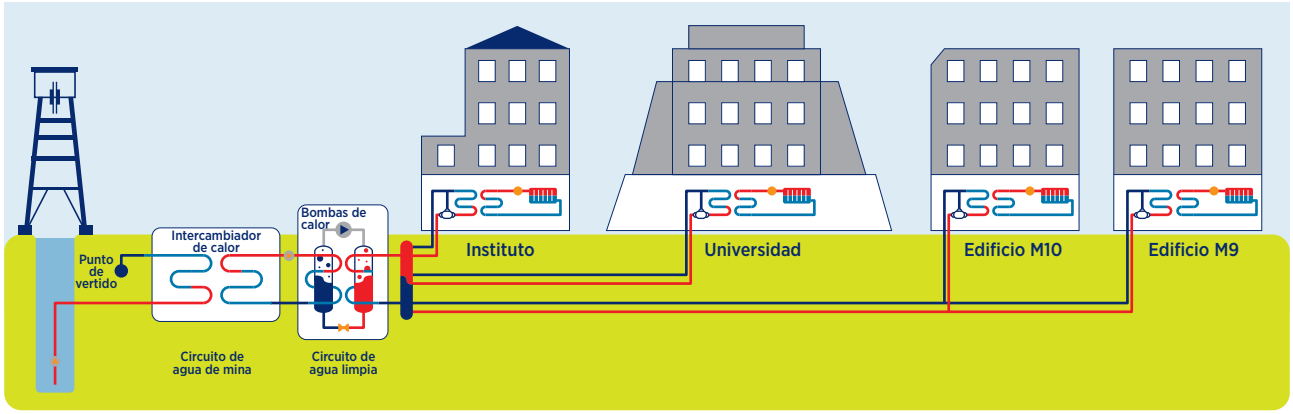
En obras más recientes, el agua termal más fresca que se puede extraer con bombas de calor para la calefacción urbana se obtiene de pozos geotérmicos superficiales. Esta estrategia de perforar pozos poco profundos se emplea para abaratar los costes de la perforación y minimizar los riesgos asociados a la perforación geotérmica profunda. Estos riesgos incluyen la incertidumbre sobre la disponibilidad del recurso en cuanto a temperatura y caudal (Tester *et al.*, 2015). Esta estrategia también podría minimizar el peligro de incrustación y corrosión de los fluidos geotérmicos, ya que los fluidos de menor temperatura en acuíferos de menor profundidad son más favorables para su uso. De todas formas, estos fluidos superficiales más frescos podrían estar vinculados a suministros de agua potable y, por tanto, suponer un peligro de contaminación y agotamiento de acuíferos destinados a otros usos (como la agricultura), por lo que debe supervisarse con cautela.

La red de calefacción urbana de Paris Saclay cuenta con pozos geotérmicos perforados a una profundidad de 700 metros para acceder a aguas geotérmicas de baja temperatura, a unos 30 °C. Mediante el uso de bombas de calor, la temperatura del agua geotérmica se eleva hasta los 45-63 °C para calentar los edificios durante el invierno. En verano, las bombas de calor se utilizan para generar agua fría a 6-12 °C para enfriar estos mismos edificios (Galindo Fernández *et al.*, 2016).

Los avances en las redes de calefacción urbana tienden al uso de recursos de baja temperatura. Por ello, se están desplegando nuevas fuentes de energía geotérmica con el potencial de los sistemas de baja temperatura, *por ejemplo*, a partir de minas de carbón abandonadas, así como bombas de calor terrestres de bucle abierto y cerrado.

Tras el fin del funcionamiento de la minería, las minas de carbón se llenan de agua subterránea con el tiempo. A causa del gradiente térmico natural de la Tierra, esta agua puede mantener una temperatura constante a lo largo del año, que suele oscilar entre 18 y 35 °C, según la profundidad. El proyecto Minewater (de Mijnwater) en Heerlen (Mijnwater BV, 2014), Países Bajos, utiliza agua a 28 °C de una antigua mina para suministrar energía para la calefacción urbana de los edificios mediante la aplicación de bombas de calor individuales que elevan la temperatura. La mina también se utiliza como disipador de calor para el excedente de calor residual y solar que proviene de la industria y de operaciones de refrigeración (Verhoeven *et al.*, 2014). Este innovador proyecto se va ampliando continuamente, impulsando así la transformación del calor (descarbonización del sector de la calefacción) en la aglomeración urbana de Heerlen. De forma similar, en Mieres, España, el proyecto de calefacción urbana del Pozo Barredo utiliza el agua bombeada de minas de carbón abandonadas, con características prácticamente constantes, como el caudal (3,96 hectómetros cúbicos por año [hm^3/año]),

Figura 12. **Minas de carbón abandonadas: proyecto de calefacción urbana del Pozo Barredo (Mieres), Asturias, España**



Fuente: Decarb Europe (2020)

la temperatura (23 °C) y la calidad. Tal como muestra la figura 12, el diseño y funcionamiento del proyecto de calefacción urbana, desarrollado en 2018, se compone de bombas de agua sumergibles, un intercambiador de calor, dos bombas de calor y una serie de conductos subterráneos conectados a un instituto, una universidad (a través de redes de alta temperatura) y 245 viviendas residenciales (a través de una red de baja temperatura).

Este proyecto sustituyó al anterior, que utilizaba calderas de gas para la calefacción de espacios. Existe un acuerdo para que la electricidad utilizada en el funcionamiento de las bombas de calor provenga de fuentes renovables. Esto conlleva una reducción de 653 toneladas de CO_2 anualmente (Lettenbichler y Provaggi, 2019). Con la extracción del calor de minas de carbón abandonadas junto con el uso de bombas de calor, se puede acceder y utilizar la energía geotérmica sin necesidad de exploración o perforación extensivas, sobre todo, en áreas donde las minas se ubican cerca de los centros de demanda de frío o calor.

De forma similar, los recursos geotérmicos de baja o media temperatura coexisten con el petróleo o el gas, y se pueden utilizar para proporcionar energía para la calefacción de espacios en áreas donde los centros de carga de calefacción de espacios se ubiquen cerca de los campos de petróleo o gas. Como ejemplo, Vermilion Energy suministra agua caliente coproducida a partir de pozos de petróleo y gas para calentar 15 hectáreas de invernaderos para el cultivo de tomates. La energía calorífica también se utiliza para satisfacer el 80 % de las necesidades de calefacción de 550 apartamentos a través de sus operaciones en Francia (Vermilion Energy, 2019). Además, los pozos de petróleo y gas ofrecen una valiosa información sobre la subsuperficie, como la formación litológica, la temperatura y la porosidad. Estos datos sirven para reducir sustancialmente el riesgo asociado a los proyectos geotérmicos, además de suponer un ahorro en el coste de la perforación exploratoria.

La viabilidad de la coproducción de pozos de petróleo y gas en funcionamiento debe revisarse antes de abandonar[4] un pozo. Los mayores retos de la extracción de energía geotérmica de pozos de petróleo y gas abandonados incluyen el coste de la reutilización de un pozo tras su abandono y el alto riesgo de que el pozo tenga escasa integridad, lo que limitaría el uso a largo plazo del pozo. Como el caudal (o porcentaje de agua) de un pozo suele registrarse en los datos de producción, se puede utilizar esta información para determinar si la reutilización del pozo supone una ventaja económica. Asimismo, la angostura de los pozos de petróleo y gas limita el uso de bombas de perforación para extraer agua para la calefacción urbana (Hickson *et al*., 2020).

4 El abandono de un pozo supone el sellado y llenado del mismo (normalmente, se coloca cemento para bloquear cualquier flujo hacia arriba o abajo que se pueda producir en el pozo).

Como alternativa a la coproducción, los pozos de petróleo y gas pueden ser adecuados para la energía geotérmica de baja temperatura para la calefacción de espacios mediante la instalación de intercambiadores geotérmicos verticales. De esta forma, se pueden extraer temperaturas de 20-70 °C o más de pozos perforados a una profundidad de 1 000 - 3 000 metros, en función de las propiedades térmicas de la roca adyacente. Sin embargo, solo se puede realizar el intercambio de calor en la superficie, y solo si la temperatura y caudal del fluido geotérmico extraído son lo suficientemente altos.

Solar térmica

La energía solar térmica consiste en captar radiación solar para producir calor. Los sistemas de energía solar a pequeña escala están muy extendidos en el uso doméstico de preparación de agua caliente y calefacción de edificios individuales en climas con buena temperatura y para aplicaciones específicas que requieren temperaturas inferiores a los 100 °C (Pauschinger, 2016). Los sistemas a gran escala son especialmente adecuados para la integración con redes de calefacción urbana debido a las economías de escala.

En función de la tecnología específica y la ubicación de la planta, se pueden establecer diferentes clasificaciones.

Existen dos tipos principales de tecnología térmica solar para el aprovechamiento de la energía solar: colectores solares planos y energía solar de concentración (CSP) (véase la fotografía 2).

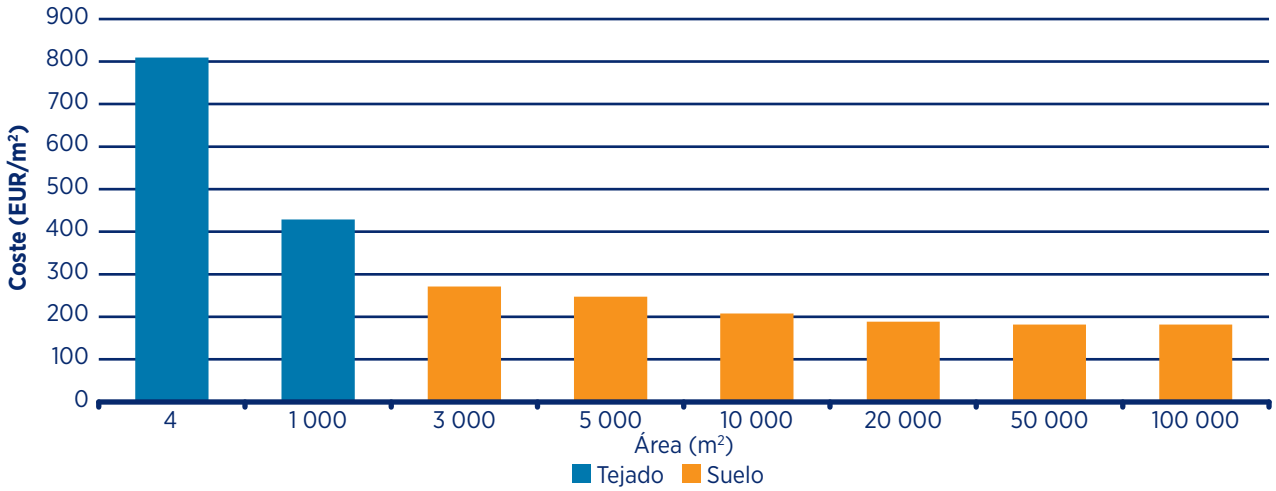
- Los colectores solares planos constan de un panel que contiene un intercambiador de calor, que transfiere la radiación que recibe a un fluido transmisor térmico. La parte frontal suele ser acristalada y la trasera está aislada para reducir las pérdidas térmicas (Duffie y Beckman, 2013; Danish Energy Agency, 2016a). El intercambiador de calor suele ser una bobina con placas absorbentes, aunque se están desarrollando nuevos diseños, como la placa absorbente multicanal. Los colectores solares planos suelen producir energía térmica por debajo de 100 °C.

- La CSP utiliza espejos para concentrar la radiación en un receptor. En función de la forma de los espejos y receptores, es posible clasificar las CSP en cuatro categorías: concentrador cilindro-parabólico, reflector de Fresnel, central solar de torre y sistema de motor de disco. A diferencia de lo que ocurre con los colectores solares planos, las CSP pueden alcanzar temperaturas muy altas, que suelen oscilar entre 300 °C y 500 °C, aunque son posibles temperaturas más altas. Esto significa que se pueden utilizar tanto para la generación de electricidad como de calor.

Fotografía 2 **Plantas de energía solar con colectores solares planos en Løgumkloster (Dinamarca) (izquierda) y CSP con concentrador cilindro-parabólico en Brønderslev (Dinamarca) (derecha)**

Fuente: Solar Heat Europe Imagen de Luis Sánchez-García

Figura 13. **Coste de instalaciones solares montadas en tejado y suelo en Dinamarca**



Fuente: Dyrelund *et al.* (2010)

La eficiencia de los colectores solares planos depende en gran medida de las temperaturas de la red de calefacción urbana. Por ello, es un gran incentivo reducir estas temperaturas. En este sentido, Averfalk y Werner (2020) han determinado un potencial de ahorro en la inversión inicial de 100 EUR (Euros) por terajulio (TJ) producido y por grado Celsius (°C) reducido en el flujo de retorno, que es una de las tecnologías más estudiadas. A diferencia de lo que ocurre con la eficiencia de los colectores solares planos, la eficiencia de las CSP no se ve afectada en gran medida por las temperaturas del vector de calor, por lo que se pueden emplear temperaturas más altas. Otra diferencia entre ambas tecnologías es que la CSP exige una configuración más complicada, ya que esta tecnología requiere que los espejos sigan el sol, mientras que los colectores solares planos suelen estar fijos.

No importa la tecnología utilizada, se pueden crear diferentes tipos de integración: centralizada y descentralizada.

- En la centralizada, el campo de captación solar alimenta el sistema de energía urbana en una única ubicación. Este es, por ejemplo, el caso de la planta de energía solar para calefacción urbana de 15 megavatios (MW) inaugurada en 2019 en la ciudad de Salaspils, Letonia, que debe satisfacer cerca del 20 % de la demanda calorífica anual en el sistema, mientras que el resto de la demanda viene suministrada por una caldera de biomasa de 3 MW (Epp, 2019); o bien, a menor escala, el caso de los 600 m² de colectores solares montados en el tejado de la residencia universitaria Wits University Junction en Johannesburgo, Sudáfrica (Kganyapa, 2019). Las plantas centralizadas pueden, a su vez, ubicarse en el suelo o encima de tejados u otras construcciones.

- En la descentralizada o distribuida, los campos de captación solar, instalados en ubicaciones adecuadas en cualquier parte de la red de DHC, se conectan al circuito principal de la DHC. Un ejemplo sería la comunidad Drake Landing Solar Community, en Alberta, Canadá, donde se han montado 798 colectores en los garajes independientes de 52 viviendas ubicadas en un nuevo barrio y conectadas mediante un conducto subterráneo al centro comunitario de energía (Drake Landing Solar Community, n.d.).

Si hay terreno disponible a un precio razonable, la opción montada en el suelo es la más barata, ya que es posible aprovechar los beneficios de las economías de escala: colectores de mayor tamaño, instalación más rápida y más estandarizada. Tal como muestra la figura 13, el coste específico de la calefacción urbana con energía solar térmica disminuye con el tamaño, y las instalaciones en tierra son mucho más baratas que las que se montan en tejados.

Dado que la radiación solar llega a todas las partes del globo, en la mayoría de países, el potencial que supone el recurso de energía solar térmica supera la actual demanda de DHC. No obstante, este potencial teórico puede verse muy restringido por la falta de espacio en tierra o tejado. China es un ejemplo de esto último: la demanda es alta, pero el espacio para los colectores solares en entornos urbanos puede ser muy limitado (IRENA, 2017b).

La producción solar sigue dos ciclos interconectados: diario y anual. En el ciclo diario, la producción es nula durante la noche y alcanza su máxima producción cerca del mediodía solar local (en un día de cielo despejado). Además, debido a la inclinación del eje terrestre, existe una variación estacional, en la que se alcanza la máxima producción durante el verano y la mínima, durante el invierno. Esta última variación depende en gran medida de la latitud de la ubicación. Las instalaciones de producción ubicadas en latitudes más bajas tendrán un patrón bastante continuo a lo largo de todo el año, mientras que las ubicadas en latitudes más altas, como las de Escandinavia, presentan un pico mucho más marcado en verano.

Esta variabilidad aconseja el almacenamiento térmico para dar cabida a la producción térmica tan variable destinada al consumo. Normalmente, las plantas de energía solar para calefacción urbana cuentan con almacenamiento diario, que adapta el ciclo del día y de la noche. Suelen estar en un rango de unos pocos miles de metros cúbicos. Por otro lado, también es posible allanar el ciclo anual por medio del almacenamiento estacional, pero requiere volúmenes mucho mayores.

A causa del coste que implica el almacenamiento estacional, la mayoría de plantas de energía solar se utilizan para satisfacer la demanda en verano que, por ejemplo, en Dinamarca, alcanza una cuota del 15-20 % de energía solar. Esto es posible, sin embargo, siempre que haya demanda de calefacción urbana durante todo el año, por ejemplo, para la producción de ACS u otra carga de base similar. Si, por el contrario, no existe consumo de calefacción urbana durante el verano, es posible que la opción solar no sea la más adecuada. No obstante, dado que el coste del almacenamiento estacional sigue bajando, la energía solar térmica es cada vez más relevante. Las plantas de energía solar térmica también pueden ofrecer refrigeración urbana. En este caso, la ventaja es que los periodos de alta producción suelen solaparse con los de alta demanda de refrigeración, lo que resulta en menos requisitos de almacenamiento y de exceso de capacidad.

Las plantas de energía solar térmica pueden ofrecer mayores cuotas de energías renovables y libres de emisiones para las redes de calefacción urbana cuando se combinan con el almacenamiento térmico (Pauschinger, 2016).

Los resultados de Mathiesen y Hansen (2017) muestran que, en Austria, Dinamarca, Alemania e Italia, el potencial general de la energía solar térmica entre países y tipos variados de sistemas de energía se encuentra entre el 3 % y el 12% de la producción calorífica total. Sin embargo, se puede satisfacer una cuota de demanda de calefacción urbana por medio del potencial de la energía solar térmica mayor que en áreas de calefacción individual. La flexibilidad que ofrece el sistema energético es clave a la hora de crear capacidad para la integración de la energía solar térmica. A su vez, esto se basa en la cuota de producción de calefacción urbana de carga base – que afecta a la capacidad que tiene el sistema de integrar la energía solar térmica – y la cuota de fuentes variables de energía renovable para la producción de electricidad. Asimismo, la conexión con el sector de la calefacción mediante bombas de calor y plantas de cogeneración resulta crucial (Mathiesen y Hansen, 2017).

Las plantas de energía solar térmica acompañadas de recursos geotérmicos de baja temperatura pueden ofrecer eficiencias operativas que benefician a ambas tecnologías. La combinación de tecnologías puede convertirlas en aplicables a un rango de situaciones más amplio que con cualquiera de ellas por separado.

Otra solución para el uso de la radiación solar supone el empleo de células fotovoltaicas, que convierten la radiación solar en electricidad. Estas se pueden utilizar en redes de refrigeración urbana con sistemas de aire acondicionado eléctricos.

Calor residual

El excedente de calor o calor residual incluye todos los flujos de calor que provienen de cualquier proceso industrial que no se pueden recuperar para el proceso en sí, pero que se pueden reutilizar con otros fines, como la DHC. Esta definición incluiría el excedente de calor que proviene de la producción de electricidad en una central eléctrica, pero, a causa de su importancia, esta fuente se suele considerar como categoría en sí misma y el término “excedente de calor” se reserva para otros procesos industriales.

Existe una multitud de procesos industriales que liberan calor al ambiente que se puede utilizar para la DHC. Fuentes convencionales incluyen refinerías, como la de Fredericia (Dinamarca) o Gothenburg (Suecia) (Frederiksen y Werner, 2013), productoras de cemento en Aalborg (Dinamarca) (Aalborg Varme A/S, 2020) y plantas de acero como la de Ravne na Koroškem (Eslovenia) (Konovšek *et al.*, 2017) o Dunkirk (Francia) (Belot y Juilhard, 2006).

Las fuentes mencionadas ofrecen temperaturas suficientemente altas y las redes de calefacción urbana las pueden utilizar directamente por medio de un simple intercambiador de calor. Es más, también se pueden usar para la producción de frío gracias a sistemas de refrigeración por absorción, que convierten el calor en frío con un consumo eléctrico muy limitado (Calderoni *et al.*, 2019) (véase Parte A, Sección 2.3).

La utilización de bombas de calor permitiría la recuperación del calor de una gama mucho más amplia de fuentes de calor cuyas temperaturas suelan estar por debajo de 70 °C. En este caso, aunque sea necesaria una bomba de calor, el uso del calor residual como fuente de calor aporta la ventaja de un consumo eléctrico menor que si se utilizara el aire como fuente de calor. Algunos ejemplos de estas nuevas fuentes no convencionales serían: centros de datos como el de Facebook en Odense, Dinamarca (Fjernvarme Fyn A/S, 2020) o Mäntsälä, Finlandia (Proyecto CELSIUS, 2020a); crematorios en Suecia (Petersen, 2017); plantas de tratamiento de aguas residuales, como la de Rødkærsbro, Dinamarca (Støchkel, Paaske y Clausen, 2017) o la ciudad de Vancouver, Canadá (City of Vancouver, n.d.); y estaciones de metro como la de Islington en Londres (Proyecto CELSIUS, 2020b). La recuperación del calor del flujo de retorno de redes de refrigeración urbana también es una opción, tal como se ha implementado en Høje Taastrup, Dinamarca (Schleiss, n. d.). De estas fuentes, los centros de datos son quizá la fuente que mayor potencial ofrece en el futuro, ya que el tráfico en Internet crece rápidamente (Jones, 2018).

En Europa, se ha estimado que las fuentes de calor residual industrial podrían cubrir al menos el 25 % de la producción potencial de calefacción urbana sin necesidad de actualizaciones, teniendo en cuenta la ubicación, la temperatura y la temporalidad (Paardekooper *et al.*, 2018). Cuando se consideran otros tipos de fuentes de calor residual de baja temperatura no convencionales, como centros de datos, supermercados, instalaciones de tratamiento de aguas residuales o ventilación de metro, el potencial real podría ser incluso mayor (Persson y Averfalk, 2018). En China, el calor residual industrial tiene el potencial de ser un recurso sustancial para redes de calefacción urbana, ya que el consumo de energía industrial supone el 70 % del consumo nacional total de energía (Xiong *et al.*, 2015).

Bioenergía

La biomasa es, con creces, la mayor fuente de calor renovable. Algunos países cuentan con gran cantidad de materias primas de la biomasa infrautilizada que el sector energético, incluidas calderas de calefacción urbana o plantas de cogeneración, podría usar (Paardekooper *et al.*, 2020). Se espera que la biomasa producida de forma sostenible en tierras existentes a partir de residuos agrícolas y bosques de producción juegue un papel más significativo en futuros sistemas de energía. El informe de IRENA sobre las perspectivas mundiales de las energías renovables muestra que la biomasa puede alcanzar el 23 % del suministro total de energía primaria mundial en 2050, principalmente para la generación de electricidad, pero también para la calefacción y el transporte (IRENA, 2020a).

La bioenergía para calefacción urbana incluye madera fresca, deshecho energético, residuos agrícolas, desperdicio alimentario, residuos industriales y productos derivados de la fabricación, y biogás (Wiltshire, 2016). El biogás se genera durante la descomposición anaeróbica de la biomasa y está compuesto fundamentalmente de metano. Por su parte, la biomasa se puede utilizar además para producir varios productos como los pellets o virutas de madera.

Los pellets de madera se producen mediante la compresión de materias primas leñosas, como el serrín, para obtener piezas cilíndricas que miden unos 70 milímetros (mm) de diámetro y 600 mm de largo. En comparación con la madera, los pellets tienen una potencia calorífica alta (10 GJ [gigajulios]/m³ [metro cúbico]), un grado de humedad bajo (< 8 %) y características de combustible homogéneo. También son fáciles de transportar. Las virutas de madera se producen rompiendo o cortando madera en piezas más pequeñas que miden 5-50 mm. Las astillas de madera tienen una potencia calorífica baja (3 GJ/m³) y un mayor grado de humedad (20-25 %) (IRENA, 2018).

No obstante, hay que prestar atención para asegurarse de que la biomasa se utilice de forma sostenible. Es probable que se necesiten grandes porciones de la biomasa (sostenible) disponible en un sistema energético completamente basado en renovables para la producción de combustibles y gases ecológicos, que, en comparación, son mucho más difíciles de producir que la calefacción y la refrigeración. Por este motivo, los sistemas de energía urbana deberían aspirar a limitar su consumo de bioenergía. Desde el punto de vista de un sistema energético, la energía urbana también juega un papel importante en la integración de otros tipos de renovables. La dependencia de la biomasa puede ser limitada en las redes de calefacción urbana, según muchos análisis sobre tecnologías de calefacción. Por ello, aunque haya que facilitar un sistema energético basado completamente en renovables, la bioenergía debería dejarse para otros sectores (Mathiesen, Lund y Connolly, 2012).

La biomasa no presenta grandes retos de integración técnica con la infraestructura existente que se produce a altas temperaturas y, por lo tanto, no será el foco de esta guía.

A.2.2 Fuentes de energía renovable para la refrigeración urbana

Se puede ofrecer un servicio de refrigeración urbana con diferentes soluciones técnicas. En particular, dos configuraciones serían:

- Refrigeración central: los sistemas de refrigeración están centralizados y se ha instalado una red de agua fría. Esta red puede ser independiente de la red de agua caliente (dedicada a la calefacción urbana) en los sistemas que ofrezcan calefacción y refrigeración, que conectan los sistemas a los usuarios.

- Refrigeración a nivel de usuario: no existe ninguna red dedicada a la refrigeración urbana, pero se utiliza la red de calefacción urbana. Los sistemas se ubican cerca de los usuarios y son alimentados por la energía térmica distribuida por la misma red.

La refrigeración urbana centralizada puede garantizarse por medio de dispositivos alimentados eléctricos (refrigeración por compresión) o térmicos (refrigeración por absorción). La refrigeración urbana a nivel de usuario solo se puede producir con unidades de refrigeración por absorción, ya que la refrigeración a nivel de usuario a través de unidades de refrigeración por compresión entra en la definición de calefacción individual (equipos de aire acondicionado individuales que no utilizan la red de distribución de agua fría o caliente y, por lo tanto, no entran dentro del perímetro de la refrigeración urbana).

Las fuentes de calor como el excedente de calor de las industrias, la energía geotérmica y la energía solar térmica se pueden utilizar con sistemas de refrigeración por absorción. En regiones con estaciones diferenciadas para el suministro de calefacción y refrigeración, esto permite redes de DHC combinadas, donde se utilice la misma fuente de calor a baja temperatura en invierno para la calefacción y en verano para la refrigeración. Este es el caso, por ejemplo, de Zhengzhou, China (véase el recuadro 2). La energía solar térmica para la refrigeración por absorción es una tecnología demostrada ya establecida (Hassan y Mohamad, 2012; Inayat y Raza, 2019).

El número de instalaciones en todo el mundo ha ido creciendo, gracias a la facilidad y capacidad con la que la refrigeración utiliza la tecnología solar (Inayat y Raza, 2019). En algunos lugares, el agua se puede enfriar, parcial o completamente, mediante el intercambio de calor por medio de recursos naturales. Este método se denomina "refrigeración gratuita" (AIE, 2018).

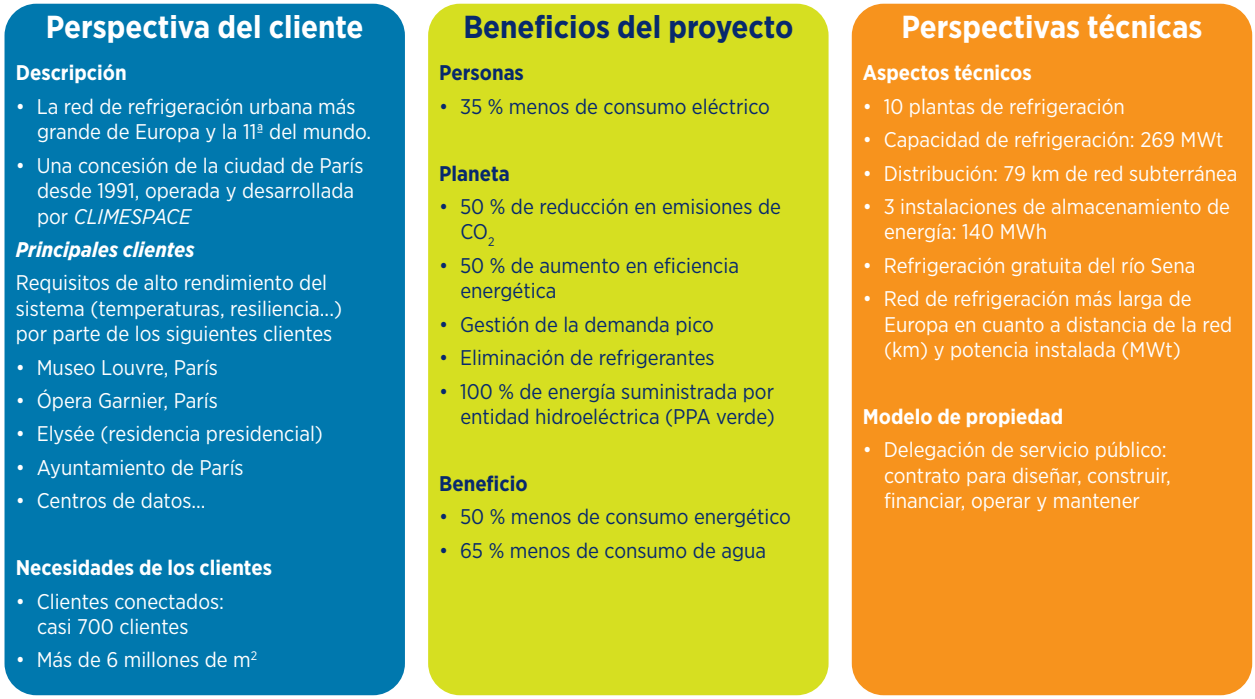
Refrigeración gratuita

Dado que la mayoría de ciudades medianas y grandes de todo el mundo están cerca de masas de agua naturales, la disponibilidad de recursos hídricos naturales para la DHC es sustancial. Los sistemas de bombas de calor de agua – que usan el agua del mar, de lagos o de ríos como fuente de calor, disipador o ambos – pueden suministrar calefacción y/o refrigeración para las redes de DHC. La forma habitual en que funciona este sistema es bombeando agua fría en la planta de refrigeración urbana, donde se extrae calor residual de la red de refrigeración urbana a través de un intercambiador de calor. Tras completar este paso, el agua se vierte en la fuente. Otra forma sería utilizar la refrigeración gratuita para almacenar una gran cantidad de nieve o hielo en un sistema de almacenamiento térmico durante el invierno y utilizarlo con fines de refrigeración durante el verano.

Gothenburg Energy (una red de DHC en Suecia) convierte la refrigeración gratuita, es decir, el agua fría del río Göta, en refrigeración urbana. O bien, suplementa la refrigeración mediante el uso del calor residual que proviene de la industria o de la incineración de desechos mediante la tecnología de absorción. Gothenburg Energy suministra agua fría a negocios y organizaciones, y ya tiene planes para extender la red de refrigeración urbana antes de 2050.

En París, la red de refrigeración urbana más grande de Europa, CLIMESPACE, suministra agua fría a clientes con un alto consumo, como edificios de grandes compañías y gubernamentales, centros comerciales, hoteles e instalaciones culturales. Entre sus plantas de producción, las tres de mayor capacidad utilizan refrigeración gratuita del río Sena (Figura 14).

Figura 14. **Redes de refrigeración urbana en París (Francia)**



Basado en: Engie (2020)

A.2.3 Principales tecnologías facilitadoras

En un sistema de energía renovable, la conversión de energía a calor puede moldear una porción importante del sector de la calefacción. Primero, la electrificación es una forma directa de utilizar la energía renovable y sustituir combustibles fósiles sólidos en el sector de la calefacción. Segundo, el uso flexible de la conversión de energía a calor posibilita el uso de más electricidad renovable (por ejemplo, durante horas de gran viento) fuera del sector de la calefacción solamente, con lo que se aumenta la capacidad de las tecnologías de electricidad renovable y se utilizan más renovables en el sector de la calefacción. Esta interconexión flexible es un mecanismo clave a través del cual la energía urbana puede apoyar la descarbonización y descontaminación (reducción de partículas) del sistema energético. Existen tres elementos esenciales para interconectar la electricidad y los sectores de la calefacción y refrigeración: bombas de calor, almacenamiento térmico y calor residual que proviene de la producción eléctrica. Además, el uso de renovables para la calefacción y refrigeración también requeriría redes de energía urbana, así como edificios con necesidades de calefacción y refrigeración.

Bombas de calor

Las bombas de calor utilizan electricidad (bombas de calor por compresión) o energía térmica (bombas de calor por absorción) como fuente de energía principal. Las bombas de calor pueden actualizar fuentes de calor de baja temperatura a niveles de temperatura más alta o para producir frío. Las figuras 15 y 16 explican el funcionamiento subyacente de estos aparatos.

Las bombas de calor por compresión usan la electricidad para mejorar una fuente de calor de baja temperatura mediante un compresor mecánico que funciona como un refrigerante (véase la figura 15 y la fotografía 3). Estos refrigerantes pueden ser naturales, como el CO_2 o el amoniaco, o bien sintéticos, como los hidrofluorocarburos (Danish Energy Agency, 2016b). Existe una tendencia hacia la utilización de refrigerantes naturales, ya que son respetuosos con el ozono y no tienen un potencial significativo para el calentamiento global (Danish Energy Agency, 2016b). De hecho, algunos países, como Dinamarca, prohíben el uso de bombas de calor con más de 10 kilogramos de refrigerante sintético (Danish Energy Agency, 2016b).

Las bombas de calor eléctricas en un sistema de energía urbana suponen una tecnología de conversión crucial entre los sectores de la electricidad y la calefacción. Las bombas de calor proporcionan flexibilidad a la hora de integrar fuentes variables de electricidad basada en renovables cuando se combinan con un almacenamiento de calor adecuado (Henrik Lund *et al.*, 2016), que las bombas de calor individuales no pueden ofrecer. Es más, el uso de bombas de calor conectadas a la red de transmisión eléctrica (alto voltaje) pueden contrarrestar las limitaciones de la capacidad de la red de distribución (bajo voltaje) y, con ello, evitar inversiones en el refuerzo de las redes o sistemas de almacenamiento alternativos más caros, *por ejemplo,* baterías electroquímicas (Andrews *et al.*, 2012). La instalación de bombas de calor de gran tamaño conectadas a redes de DHC también puede evitar las grandes pérdidas en la red de distribución que se producirían si las bombas de calor se colocaran individualmente como instalaciones independientes a gran escala en áreas urbanas (Andrews *et al.*, 2012).

La eficiencia de una bomba de calor eléctrica viene determinada principalmente por la temperatura de la fuente y la temperatura de la red necesaria, aunque existen variaciones entre fabricantes y fluidos de trabajo. Se mide con una ratio llamada coeficiente de operatividad (CoP). El CoP es, simplemente, la ratio entre el rendimiento térmico y el consumo eléctrico de la bomba de calor. Un CoP más elevado denota un consumo eléctrico menor para el mismo rendimiento térmico. Una fuente de calor de alta temperatura denota un CoP más elevado con necesidad de menos electricidad para aumentar la fuente de calor hasta la temperatura deseada por la red de calefacción urbana. Este es el principal motivo del uso de calor residual o cualquier otra fuente de calor de baja temperatura en lugar de aire o agua, que suelen estar más disponibles. Por ejemplo, una instalación de calor residual industrial de baja temperatura, un recurso geotérmico de baja temperatura o una instalación de almacenamiento de calor conectado a una central solar térmica ofrecerá calor a un coste menor que el calor ambiental, ya que los gastos en electricidad de la bomba de calor se reducirán considerablemente.

Asimismo, y sin importar la fuente de calor, las bombas de calor funcionan con mayor eficiencia (CoP más elevado) cuando se utilizan para suministrar calor a una temperatura menor en lugar de a una temperatura mayor. Esto resulta una motivación clave para cambiar de primera a tercera generación en DHC y para lograr la transición a DHC de cuarta generación. Aparte de la eficiencia, las temperaturas de funcionamiento menores facilitan una gama más amplia de tecnologías de bomba de calor, ya que muchos refrigerantes cuentan con un límite superior de temperaturas de funcionamiento.

Las bombas de calor por absorción, por otro lado, funcionan con energía térmica. Su consumo eléctrico es mínimo y, en algunos casos, nulo (Klein y Nellis, 2012). Estas máquinas aprovechan el fenómeno por el que se libera calor cuando una sustancia se absorbe en otra (*por ejemplo*, agua y amoniaco o agua y bromuro de litio) (Frederiksen y Werner, 2013). Tal como puede apreciarse al comparar el CoP de las bombas presentadas en las figuras 15 y 16, su eficiencia no es tan alta como la de las bombas de calor por compresión. Suele rondar el valor de 1,7 (Danish Energy Agency, 2016a).

Una variación de las bombas de calor por absorción son los sistemas de refrigeración por absorción, que pueden producir frío usando calor a altas temperaturas. En este sentido, hay un delimitador menor para la temperatura de la fuente de calor, que ronda los 80 °C (Klein y Nellis, 2012). El CoP, o la fracción entre la potencia de refrigeración y la aportación de calor, se limita a 0,5-0,7[5] en los tipos más comunes (Herold, Radermacher y Klein, 2016).

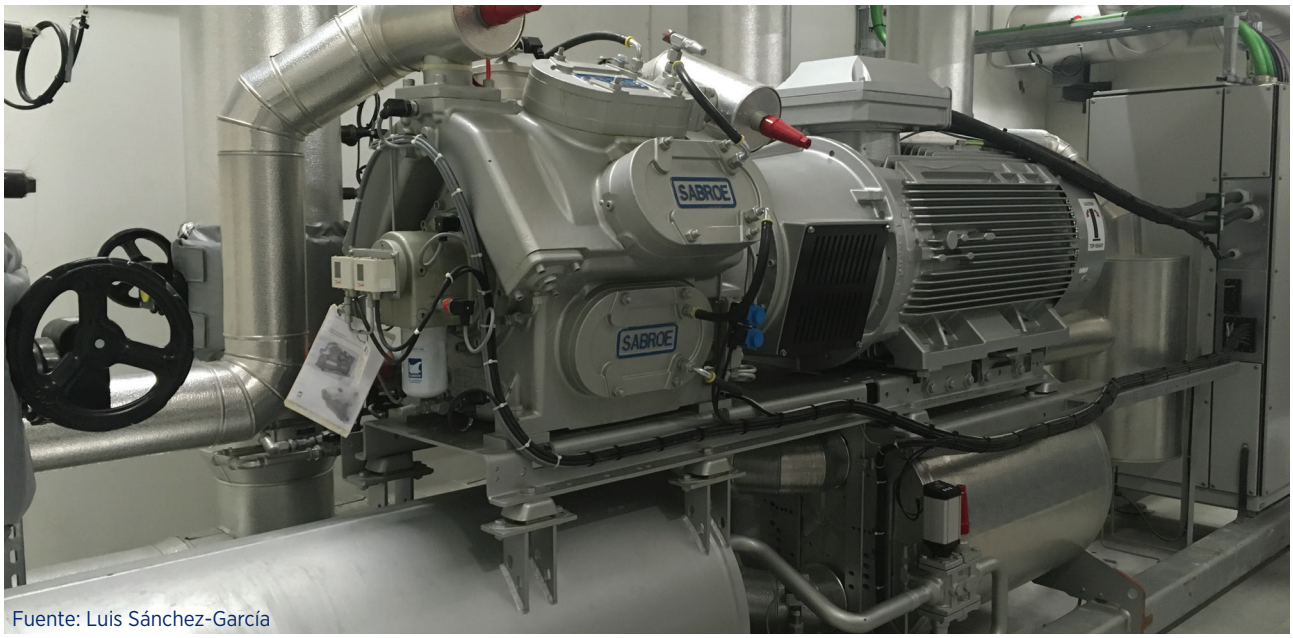
5 El CoP de los enfriadores eléctricos o por absorción es una unidad menor que las bombas de calor que funcionan a las mismas temperaturas.

Figura 15. **Funcionamiento de una bomba de calor por compresión**

kW: Kilovatio

Figura 16. **Funcionamiento de una bomba de calor por absorción**

Fotografía 3 **Bomba de calor por compresión que suministra a una red de calefacción urbana en Dinamarca**



Fuente: Luis Sánchez-García

Las máquinas por absorción ofrecen la posibilidad de aprovechar una fuente de energía térmica barata para, o bien actualizar una fuente de calor de baja temperatura y, así, aumentar la potencia térmica total, o bien para producir refrigeración. Las posibles fuentes de calor para máquinas por absorción incluyen bioenergía (calderas de biogás o biomasa), energía solar térmica (en matrices de concentración y en colectores solares planos), calor geotérmico directo, calor residual de procesos industriales o generación de electricidad mediante ciclos térmicos o incineración de desechos. De todas formas, la fuente de calor puede no ser renovable, ya que el calor se genera como subproducto del proceso y, si no se reutilizara, se desaprovecharía por disipación en el ambiente. Se puede considerar que el impacto ambiental es mínimo y su empleo elimina la necesidad de explotar otras fuentes de energía (Sanner *et al.*, 2011).

Almacenamiento térmico

Para acelerar la descarbonización de la calefacción y la refrigeración, el almacenamiento de calor (TES) juega un papel importante, especialmente en ciudades donde la densidad poblacional es lo suficientemente alta para adoptar redes urbanas. El TES permite disociar la generación de calor o frío del consumo, lo que otorga más flexibilidad a los sistemas de energía. Estas tecnologías pueden acomodar diferentes escalas de tiempo, desde un tiempo corto (por horas) hasta el almacenamiento estacional, pueden vincular mejor el suministro a la demanda, pueden reducir las restricciones y pueden evitar la necesidad de un refuerzo costoso en la red eléctrica.

El informe de IRENA *Innovation outlook: Thermal energy storage* habla de las diferentes tecnologías de almacenamiento térmico y casos de uso de redes de calefacción y refrigeración. También proyecta las necesidades para el desarrollo e innovación durante las siguientes décadas (IRENA, 2020).

El almacenamiento térmico consta de un sistema capaz de acumular energía térmica y reservarla para un uso en el futuro. El TES suele utilizar agua como fluido de almacenamiento, por su gran capacidad calorífica y bajo precio, pero también se puede utilizar el suelo. Existen otros materiales, como los materiales de cambio de fase, pero no se ha extendido su uso en las redes de DHC. En el caso del almacenamiento de frío, se ha utilizado agua fría, hielo o salmuera (Frederiksen y Werner, 2013).

El TES se puede utilizar, no solo para almacenar el calor producido en renovables térmicas como la energía solar o geotérmica, sino también para captar el excedente de viento o de la producción eléctrica fotovoltaica una vez convertido en calor gracias a una bomba de calor o una caldera eléctrica. Esta última opción tiene la ventaja de unir los sectores de electricidad y calor, lo que propicia su colaboración en el concepto de los sistemas de energía inteligente (Mathiesen *et al.*, 2015) (véase Parte A, Sección 1.2) y, por lo tanto, en una descarbonización más económica de todo el sistema de energía. Además, el almacenamiento de la energía térmica es mucho más barato que el almacenamiento eléctrico como las baterías o el almacenamiento hidráulico por bombeo (Lund *et al.*, 2016; Paardekooper, Lund y Lund, 2018).

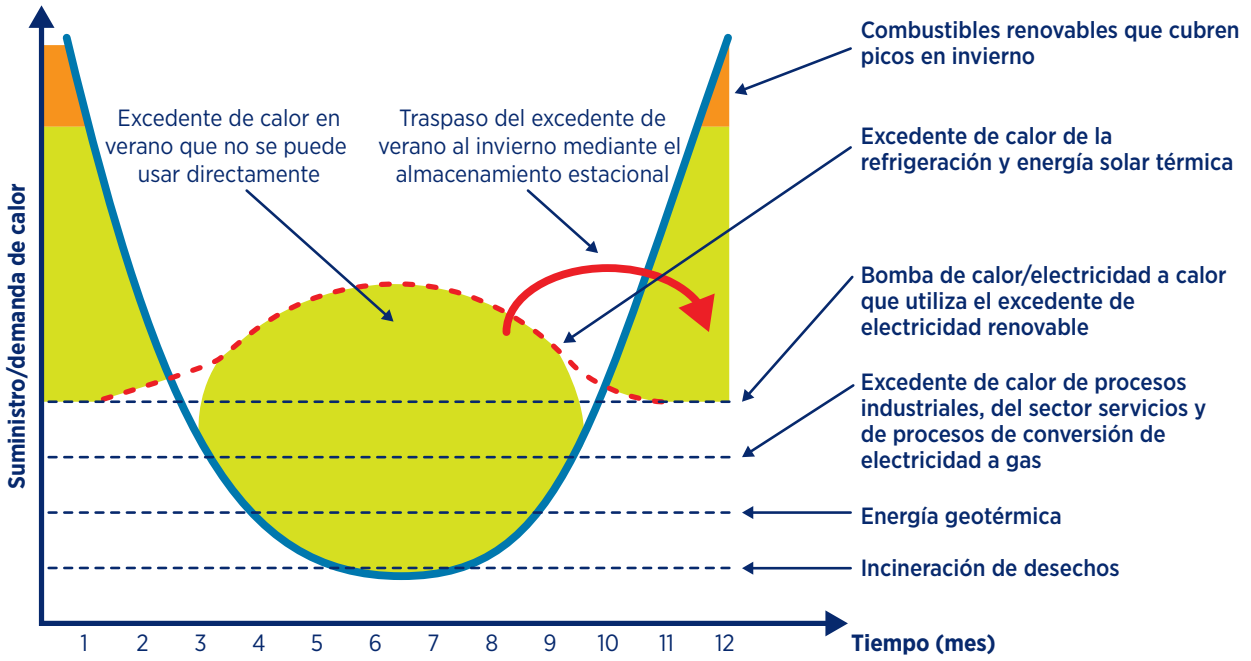
El tamaño del almacenamiento térmico varía enormemente: desde unos pocos cientos de metros cúbicos hasta cientos de miles de metros cúbicos. Al final, los tipos más comunes están compuestos por tanques de agua, como los que se muestran en la fotografía 4. Estos se han utilizado tradicionalmente para el desplazamiento de cargas en plantas de cogeneración o para el ajuste de carga diario en centrales de energía solar térmica.

Los tamaños de almacenamiento mayores permiten eliminar una barrera clave en la integración de cuotas significativas de diferentes fuentes de calor renovables (excluyendo la biomasa) en redes de calefacción urbana. Esta barrera es la discrepancia estacional entre los perfiles de demanda y suministro, y la competitividad entre ellos en verano. El excedente de calor en verano se puede acumular para la transición o el invierno, sustituyendo así las unidades fósiles (Köfinger *et al.*, 2018) (Figura 17).

Fotografía 4 **Almacenamiento de calor (44 000 m³) en Avedøre Kraftværket, en Copenhague (Dinamarca)**

Fuente: Luis Sánchez-García

Figura 17. **Competitividad del suministro entre varias fuentes de calor renovables y de baja emisión de carbono y el potencial del almacenamiento estacional para superar la competencia**



Fuente: AIT (2020) (Schmidt, Geyer y Lucas, 2020)

Las tipologías de almacenamiento a gran escala o estacional son más variadas e incluyen el almacenamiento en acuíferos, sondeos o pozos (Xu, Wang y Li, 2014), algunos de los cuales se muestran en la figura 18.

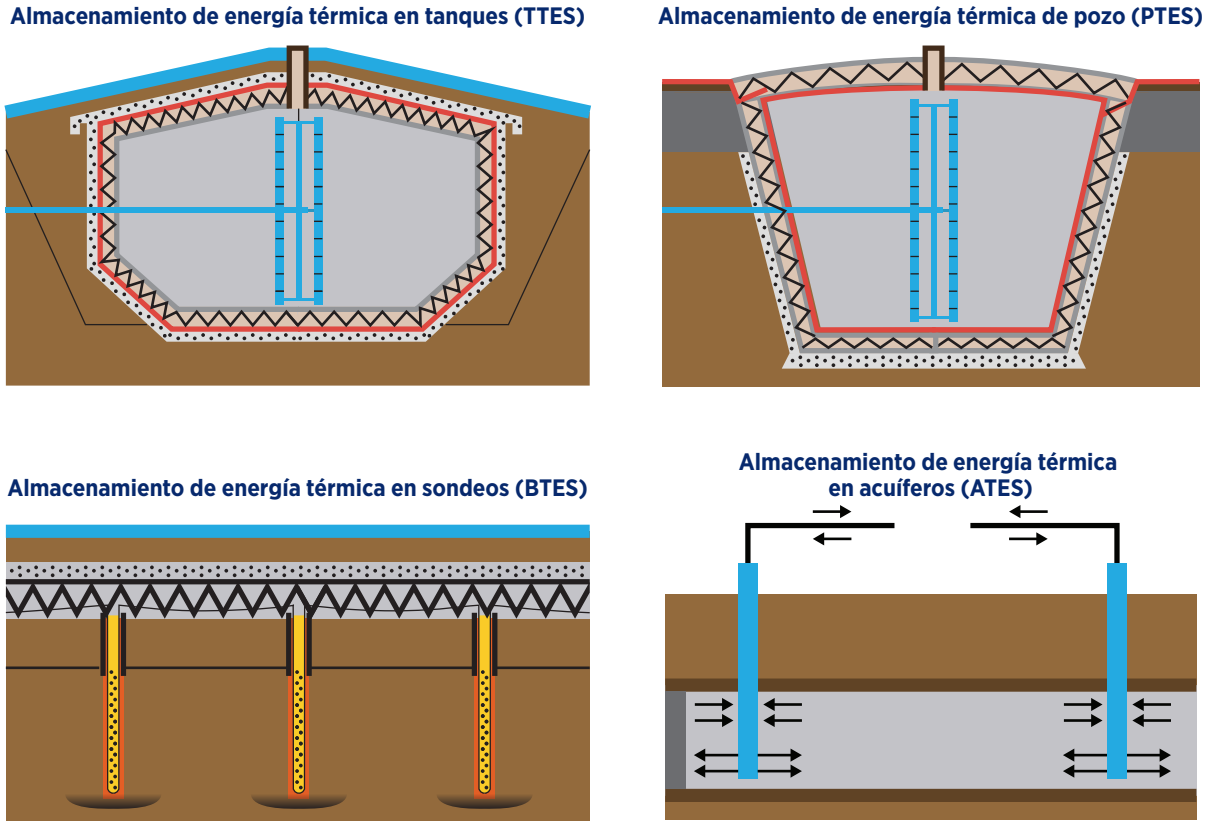
1. Almacenamiento de energía térmica en acuíferos (ATES): El calor se almacena en un reservorio de agua subterránea con una temperatura baja (< 30 °C), una temperatura media (30- 60 °C) y una temperatura alta (> 60 °C).

2. Almacenamiento de energía térmica en sondeos (BTES): El calor (hasta 90 °C) se almacena en la capa superior de 20-200 metros del suelo. Por ejemplo, el proyecto Drake Landing Solar Community en Canadá consta de 144 sondeos perforados a una profundidad de 35 metros. La energía solar que surge de 2 300 m^2 de colectores solares ubicados en tejados se almacena en estos sondeos y se utiliza durante el invierno para satisfacer el 90 % de las necesidades de calefacción de 52 edificios de alta eficiencia energética. Otro ejemplo sería el almacenamiento estacional ubicado en la ciudad danesa de Brædstrup, donde se usan 48 sondeos para almacenar calor de una planta solar cercana de 18 600 m^2 (PlanEnergi, 2017).

3. Almacenamiento de energía térmica de pozo (PTES): Unas grandes cuencas excavadas con cubiertas aisladas almacenan agua caliente de hasta 90 °C. Se han construido varios almacenes en pozos en Dinamarca, entre los que se incluyen Marstal (75 000 m^3), Dronninglund (60 000 m^3) y Vojens (200 000 m^3) (PlanEnergi, 2017).

4. Almacenamiento de energía térmica de mina (MTES): El agua en minas de carbón abandonadas o inundadas se utiliza como fuente de calor de baja temperatura para la calefacción de espacios. Las minas abandonadas de Springfield, en Canadá, y el proyecto Mijnwater en Heerlen, en Países Bajos, se utilizan como almacenamiento de calor durante el verano para acumular calor residual de edificios e industrias. Una variante del almacenamiento térmico en minas es el almacenamiento térmico en cavernas, donde se excava una caverna con el único propósito de almacenar energía térmica. Este es el caso de Lyckebo, en Suecia, que almacena energía en una caverna de 100 000 m^3 en lecho de roca (Duffie y Beckman, 2013).

Figura 18. **Conceptos del almacenamiento térmico estacional**



Fuente: Schmidt y Miedaner (2012)

El TES no solo es mucho más económico que el almacenamiento de electricidad, tal como mencionábamos antes, sino que también presenta importantes economías de escala. Por tanto, el coste específico de grandes sistemas de almacenamiento en mina es casi 20 veces menor que el coste de tanques de agua en el rango de 1000 m³. Esta reducción de costes se muestra en la figura 19.

Aún no se han implementado grandes sistemas de almacenamiento térmico en ciudades grandes. Los ejemplos mencionados suelen servir a pequeñas ciudades de unos pocos miles de habitantes. Sin embargo, se están considerando y desarrollando algunos proyectos en ciudades de mayor tamaño. Un ejemplo prominente sería el de la ciudad austríaca de Graz, donde la actual red de calefacción urbana recibe el calor de una planta de cogeneración basada en combustibles fósiles. En Graz, se está considerando la opción de proveer energía solar térmica junto con un almacenamiento estacional de alrededor de 1800 000 m³, para satisfacer el 20 % de la demanda calorífica mediante el uso de 450 000 m³ de colectores solares (Reiter, Poier y Holter, 2016). En redes de calefacción urbana, los altos costes de inversión constituyen uno de los principales retos para el desarrollo de sistemas de almacenamiento estacional, junto con el riesgo asociado causado por los periodos ampliados de amortización. En esta situación, un subsidio de producción para diferentes unidades de suministro conlleva un mejor uso del almacenamiento y la minimización de los costes de inversión y operativos (Köfinger *et al.*, 2018).

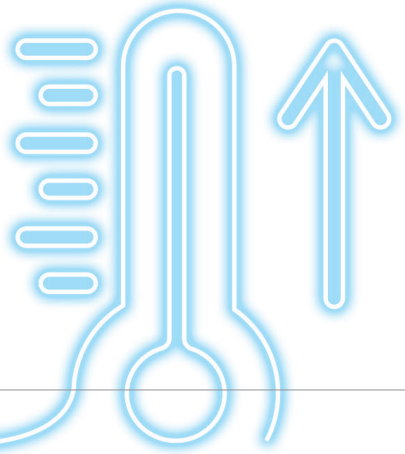
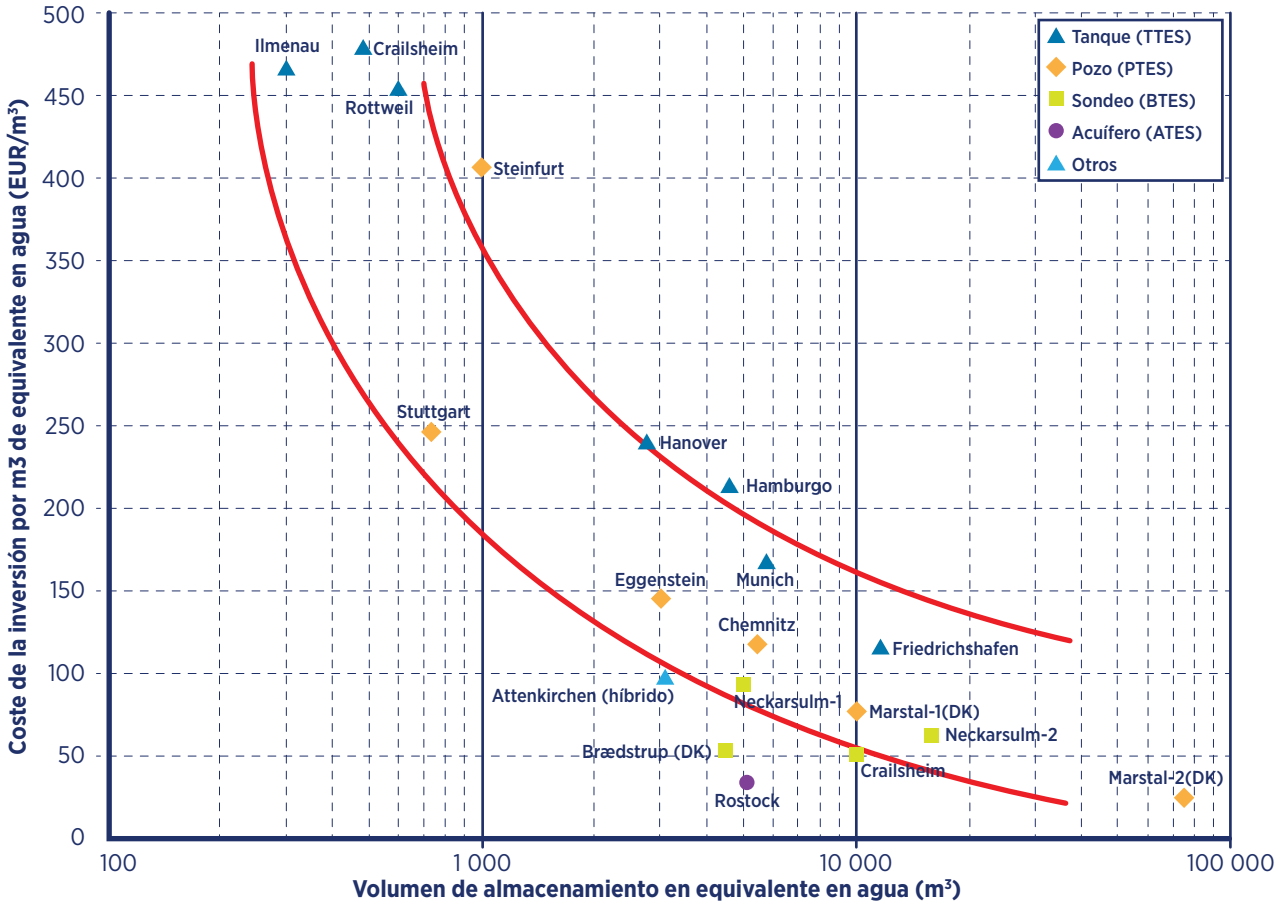


Figura 19. **Coste del almacenamiento estacional**



Fuente: Schmidt y Miedaner (2012)

La tabla 1 resume las ventajas y los roles de las principales fuentes de calor de baja emisión de carbono y las tecnologías facilitadoras en un sistema de energía inteligente.

Tabla 1. **Principales ventajas y rol de las fuentes de calor residual de energía renovable y las tecnologías facilitadoras en el sistema de energía**

		VENTAJAS	POTENCIALES	ROL EN EL SISTEMA ENERGÉTICO
FUENTES	**Geotérmica**	Está disponible de forma continuada y no depende de las condiciones climatológicas Costes de operación y mantenimiento (O&M) muy bajos	Gran potencial, especialmente para recursos geotérmicos de poca profundidad y baja temperatura (Recurso disponible a diferentes temperaturas y profundidades)	Se puede usar para la explotación centralizada en sistemas de calefacción y refrigeración urbana a gran escala
FUENTES	**Solar térmica**	Recurso sostenible Costes de O&M muy bajos Ciclo de vida muy largo	Casi en todas partes	Puede cubrir la carga de verano en sistemas de calefacción urbana Puede suministrar refrigeración en verano Se puede combinar con el almacenamiento estacional
FUENTES	**Bioenergía**	Fuente abundante y sostenible en algunas áreas	Casi en todas partes	Se puede combinar con la energía solar térmica para la calefacción urbana Puede utilizarse en otros sectores (transporte u otros fines)
FUENTES	**Refrigeración gratuita**	Abundante Costes de O&M muy bajos	Gran potencial	Puede reducir el consumo eléctrico y permitir que el agua fría evite los enfriadores
FUENTES	**Calor residual**	Uso de un recurso que, de otra forma, se perdería Coste ventajoso	Áreas industriales y comerciales	Puede reducir el consumo de energía de las fuentes alternativas de calefacción o refrigeración
TECNOLOGÍAS FACILITADORAS	**Bombas de calor**	Capacidad de utilizar energía renovable del aire, agua o suelo y calor residual de edificios y procesos para proporcionar calefacción y refrigeración	En todas partes	Puede servir como tecnología de conversión entre los sectores de la electricidad y la calefacción Pueden incrementar fuentes de calor de baja temperatura a niveles de temperatura más alta o para producir frío
TECNOLOGÍAS FACILITADORAS	**Almacenamiento térmico**	Cuesta 100 veces menos en términos de inversión por unidad de capacidad de almacenamiento en comparación con el almacenamiento de la electricidad Economía de escala	En todas partes donde haya espacio disponible y condiciones geotérmicas favorables	Integración de la producción de energía renovable variable

PARTE B:

DIRECTRICES PARA RESPONSABLES POLÍTICOS

B.1 Desarrollo de planes estratégicos de calefacción y refrigeración

B.1.1 Necesidad de acción local, regional y nacional reforzada mutuamente

Para abordar los retos relacionados con la energía de una forma coordinada e informada y con una perspectiva a largo plazo, debería implementarse una planificación energética estratégica (SEP, por sus siglas en inglés). El principal propósito de esta SEP es resolver problemas con el actual suministro de energía y formular estrategias a largo plazo y planes para la transición. En la evaluación, es necesario incluir contextos técnicos, económicos, ambientales y sociales (Krog and Sperling, 2019).

La SEP se puede llevar a cabo en diferentes niveles gubernamentales y áreas geográficas, o con diferentes enfoques tecnológicos. No obstante, la SEP también debería incluir consideraciones sobre estos diversos campos para evitar errar en la optimización de ciertas áreas.

La planificación estratégica de la calefacción y refrigeración (SHCP, por sus siglas en inglés) es diferente de la planificación de otros vectores energéticos debido a la naturaleza local de los recursos de suministro de calefacción y refrigeración.

Los objetivos climáticos y energéticos supranacionales, nacionales y regionales solo se pueden conseguir si se adoptan y se adaptan localmente. Por el contrario, las ambiciones locales deben tener en cuenta perspectivas nacionales y necesitan un marco legislativo favorable para lograr el éxito.

Por otra parte, la SHCP debe realizarse desde una perspectiva sistémica, y esto es aún más relevante en un sistema de energía renovable. Lo ideal sería que las sinergias técnicas que surgen de una perspectiva sistémica en el sector eléctrico, de calefacción y de refrigeración se reflejaran también en políticas y regulaciones, tal como destaca del proyecto Hotmaps (Hotmaps Project, 2020), que considera cómo llevar a cabo actividades de SHCP en los estados miembros de la UE.

En esa perspectiva, y antes de iniciar el proceso de SHCP, es esencial contar con un mapa del marco de políticas y regulaciones públicas para asegurar que tal proceso se incorpora y coordina en todos los niveles de gobernanza y en todas las áreas de políticas relacionadas con la energía (Djørup *et al.*, 2019a).

Por otro lado, las autoridades locales en jurisdicciones con sistemas de DHC existentes cuentan con una ventaja formidable para la acción. La SHCP permite la evaluación de la implementación de un proyecto con una perspectiva energética holística a largo plazo.

El papel de las autoridades locales en el desarrollo de DHC es multidimensional y concierne a todos los niveles de la sociedad civil: planificación energética y urbana, establecimiento de mecanismos de soporte financiero y técnico mediante la provisión de infraestructura y servicios, provisión de permisos legales para el desarrollo de redes de energía urbana e incluso la conexión de edificios públicos a redes de DHC. Todas las autoridades públicas tienen un papel. Por ejemplo, como regulador, el gobierno municipal puede aprobar políticas locales de calificación de terrenos que obliguen a la conexión de DHC (IRENA, 2016). En algunos países, las autoridades locales no se perciben a sí mismas como capaces de llevar a cabo una planificación energética o de establecer mecanismos de soporte, etc. Por ello, no creen que les corresponda implicarse directamente en la implementación de DHC. No obstante, aunque el poder regulador esté centralizado, su papel como coordinadores, facilitadores y una base de conocimientos del desarrollo de DHC en la región pueden resultar claves para el desarrollo de DHC.

> "La energía y los planes climáticos locales deben alinearse con objetivos nacionales y considerar la integración de todas las redes de energía de una ciudad"

Tabla 2. **Modelo de matriz para crear un mapa del marco regulador público para la planificación de calor**

	REGULACIÓN DEL PROYECTO	REGULACIÓN DEL CALOR Y LA CONSTRUCCIÓN	REGULACIÓN DEL SISTEMA DE ENERGÍA
REGULACIÓN LOCAL	☑	☑	
REGULACIÓN REGIONAL	☑	☑	
REGULACIÓN NACIONAL	☑	☑	☑
REGULACIÓN SUPRANACIONAL	☑	☑	☑

Fuente: Solar Heat Europe

B.1.2 Creación de un suministro de energía sostenible con la planificación estratégica de calefacción y refrigeración

La SHCP no es meramente una actividad de ingeniería, económica o política, sino que es interdisciplinar por naturaleza. El primer paso consiste en una evaluación (política) de los objetivos estratégicos que necesita lograr la red de calefacción y refrigeración: ¿cuál es el problema que hay que resolver? En muchos casos, el catalizador para comenzar una SHCP será la necesidad de objetivos en descarbonización del sistema energético o la reducción de materia particulada. No obstante, la base de esto suele ser el deseo de contar con calefacción y refrigeración asequible y, además, evitar la pobreza energética mediante la resiliencia de los precios; de alinearse con otros sectores del sistema energético y de apoyar economías locales mediante el desarrollo de mercados locales. El establecimiento de estos objetivos energéticos estratégicos antes de comenzar el proceso de SHCP a nivel político y social permite el desarrollo de un plan que funcione para necesidades y deseos a largo plazo, y permite que cada proyecto de calefacción (renovable) se alinee mejor con el proceso.

Posteriormente, para formular un plan, es necesario considerar los recursos disponibles, las demandas energéticas, los potenciales técnicos, la legislación actual, la organización del sector energético y los actores y motores políticos relacionados, entre otros. Todos estos factores influyen en las posibles soluciones y permiten la identificación de barreras. Los retos de un suministro de energía de baja emisión de carbono pueden ser, en igual medida, de naturaleza técnica, económica, política o social y, a menudo, se distribuirán entre estos factores. Es importante que el planificador energético responsable de la SHCP abra su mente y considere la importancia de todos estos contextos diversos (Mirakyan y De Guio, 2013).

La SHCP es un modelo recomendado para el desarrollo de energía urbana rentable. Identifica oportunidades y sinergias y aplica políticas a medida o incentivos financieros en los diferentes distritos de un área urbana (UNEP, 2015). Esta guía aborda estos aspectos y presenta un modelo para llevar a cabo un proceso de SHCP. Con este trasfondo, es importante que los lectores consideren los contextos locales que puedan alterar los pasos necesarios, enfoques o métodos.

Una SHCP incluye muchas áreas diferentes de experiencia, presenta un reto a la hora de aprovechar los conocimientos adecuados y requiere tales evaluaciones. La planificación incluye el conocimiento del sector de la construcción, de los recursos disponibles, del sector energético, de la legislación y del negocio. Esto suele abarcar varias áreas diferentes de experiencia en un municipio y entre oficinas que podrían no utilizarse para trabajar juntos de forma intersectorial. Se trata de un reto organizativo que debe tenerse en cuenta desde el principio. Además, en función del nivel de cambio necesario, el marco temporal de tales proyectos puede ser largo y puede verse afectado, no solo por la construcción exhaustiva, sino también por cambios políticos o la aceptación pública.

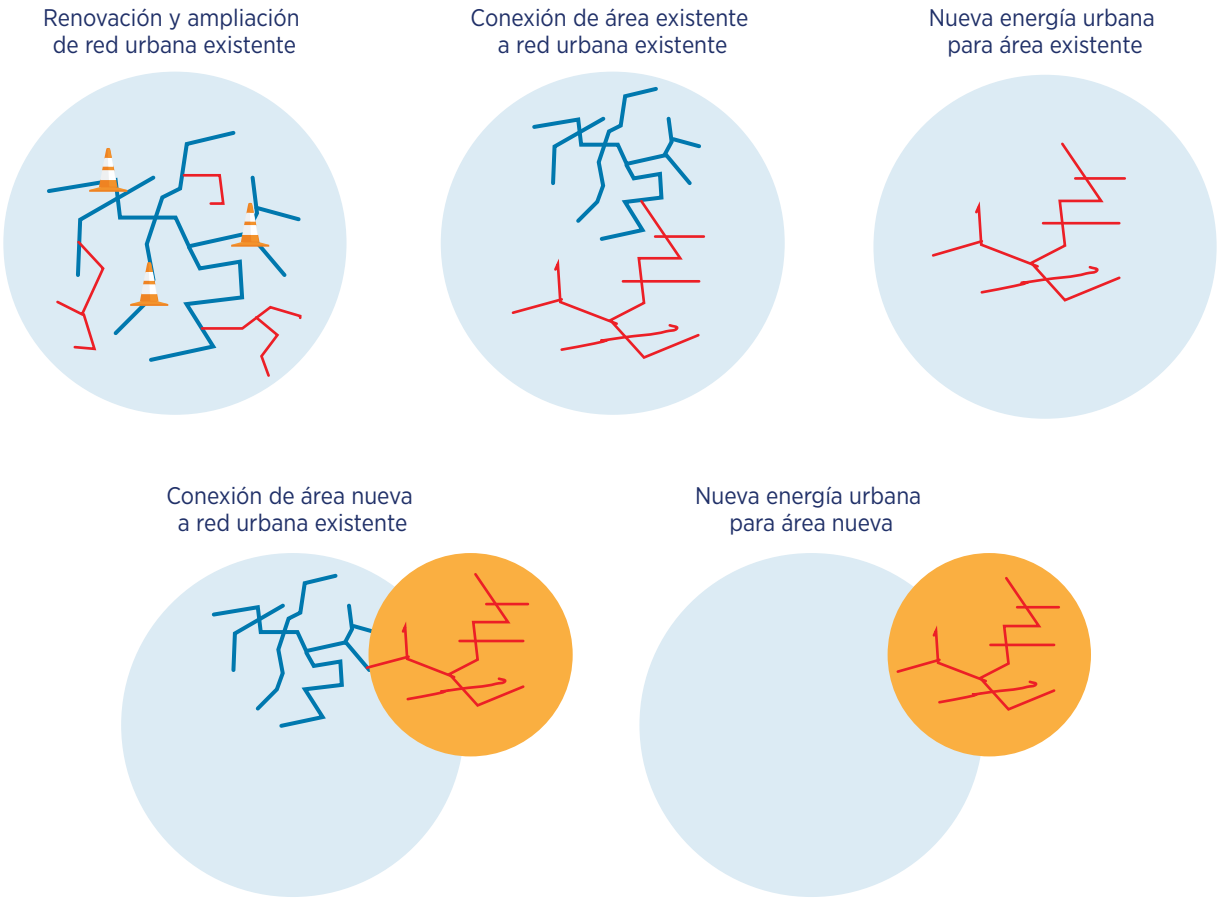
A la hora de evaluar el rol de las redes de energía urbana en la SHCP a nivel local, las principales preguntas que hay que responder se refieren al tamaño adecuado del sistema y a su organización y regulación. Este informe aborda tres fases principales en el proceso de SHCP:

- la definición del alcance de los objetivos estratégicos que aborda el plan, el desarrollo del propósito del plan, y la identificación y creación de un mapa de partes interesadas
- el análisis técnico que se puede aplicar en la búsqueda de un sistema adecuado para los objetivos estratégicos
- la evaluación de los elementos institucionales, financieros y organizativos clave, y el desarrollo de políticas que faciliten la transición

El proceso completo, así como cada uno de sus pasos, debe realizarse de forma repetitiva, con cada paso influyendo en el resto. Cada repetición especificará los detalles del plan de implementación. En particular, la construcción de los escenarios técnicos para el suministro de calor estratégico requiere un cierto número de repeticiones. Esto es necesario para identificar el equilibrio a largo plazo entre las inversiones en suministro de calor y el ahorro de calor, y para asegurarse de que los objetivos estén alineados con objetivos nacionales o internacionales. Los primeros pasos del proceso de SHCP identificarán el potencial y el rol del proyecto o proyectos de energía urbana, cuáles hay que priorizar y el potencial que tienen los sistemas existentes para dejar el combustible.

Estas fases se pueden aplicar, o bien a nivel nacional, o bien en la planificación de nuevas áreas para ampliar los sistemas actuales o en la remodelación y reconfiguración de los sistemas existentes. A nivel local, se pueden contemplar diferentes casos, ya que la energía urbana se puede suministrar tanto a edificios nuevos como existentes y, por lo tanto, se puede considerar su establecimiento en barrios nuevos o existentes. La figura 20 ilustra algunos ejemplos de aplicaciones.

Figura 20. **Aplicaciones de red de energía urbana en varios entornos urbanos**



Basado en: IRENA (2017b) y Olsen (2014)

> "La planificación estratégica de calefacción y refrigeración es un modelo recomendado para desarrollar sistemas de energía urbana rentables. Identifica oportunidades y sinergias y aplica políticas a medida o incentivos financieros en un área urbana"

Considerando las diferentes aplicaciones posibles, el proceso de SHCP tendrá diferentes enfoques en función del contexto local. En el caso de redes de DHC ya existentes, la SHCP incluiría un diagnóstico del sistema actual y una evaluación de la calidad del servicio prestado. "Calidad" es un concepto subjetivo, pero debería incluir una representación de la reducción de GEI llevada a cabo con el sistema, la satisfacción del cliente con el servicio y compensaciones por el coste de combustibles alternativos (hicrocarburo o carbón).

En áreas urbanas sin una red de DHC establecida, no suelen existir principios para la organización, propiedad y regulación de la red de calor/frío o estos están basados en otros tipos de infraestructura que no facilita de forma específica el desarrollo de una DHC. En estos casos en particular, debe considerarse y desarrollarse el establecimiento de estos principios tras investigar el potencial técnico de las diferentes tecnologías de calefacción y refrigeración en las primeras fases de la planificación. Y esto debe hacerse mediante una evaluación a nivel de ciudad y una estrategia de energía urbana (véase Parte B, Sección 6). De esta forma, los principios de gobernanza se adaptan a los objetivos estratégicos a nivel de ciudad y al potencial de DHC resultante. Así, se pueden implementar proyectos específicos en este marco, en lugar de que las barreras de la gobernanza adapten los retos del proyecto.

B.1.3 Definición del alcance y propósito de la planificación estratégica de calefacción y refrigeración

La primera parte de un proceso de SHCP se centrará en identificar los propósitos del cambio de opinión sobre el suministro de calefacción y/o refrigeración y en establecer los objetivos estratégicos. Este primer paso es muy importante e influirá en el resto de la SHCP. El propósito identificado en este paso influirá en los grupos considerados como partes interesadas, las tecnologías que se pueden utilizar y los modelos de gobernanza que se deben implementar. Esto es también un motivo por el que el bucle de retroalimentación de la SHCP es importante, ya que puede aflorar información nueva más adelante en el proceso.

Algunas de las posibles razones para desarrollar un nuevo plan de calefacción y refrigeración pueden ser la necesidad de reducir las emisiones de carbono, crear seguridad en el suministro, mejorar la eficiencia energética, reducir la contaminación atmosférica local, invertir en recursos disponibles, así como simplemente cumplir tareas reguladoras, como las evaluaciones obligatorias de los potenciales de la DHC u otras. Muchos de estos motivos pueden estar alineados y, al mismo tiempo, dirigir las agendas de los diferentes actores. Mientras un gobierno nacional podría establecer objetivos para descarbonizar el suministro de calor y así limitar el cambio climático, los gobiernos locales pueden promover cambios para disminuir la polución local o mejorar otras iniciativas "verdes" que se puedan adoptar a nivel local. Las ciudades adoptan cada vez más responsabilidades en relación con la descarbonización del consumo y/o suministro de su energía, y solicitan gobernanza y herramientas reguladores para implementar sus soluciones. Una vez identificado un propósito, estos objetivos deberían centrarse en los problemas que debe resolver un plan de calefacción y refrigeración, en lugar de pretender el apoyo a cualquier energía específica. Así, el propósito puede relacionarse con los cambios que no sean fáciles de implementar o que requieran cambios reguladores u organizativos más drásticos.

Los gobiernos locales, incluidas las ciudades, pueden ser propulsores de la transición energética y de la planificación de soluciones de energía basadas en la comunidad como contribución al logro de objetivos específicos (IRENA, 2016). En vista de la existencia de varios objetivos en conflicto, una estrategia energética debería establecer un objetivo oficial de energía renovable que aborde de forma expresa el sector de la calefacción/refrigeración. Un objetivo oficial es crítico para lograr una transición energética con éxito. El objetivo debería definir la principal fortaleza de diferentes tecnologías – incluida la energía urbana – a la hora de satisfacer los objetivos sociales, económicos y ambientales más amplios.

Es importante considerar el rol de la energía urbana en la transición hacia un sistema energético integrado formado por fuentes con baja emisión de carbono. En este contexto, la calefacción y la refrigeración pueden ser el centro de interés, pero habría que considerar también la relación de una red de DHC con otros sectores energéticos – como la electricidad, el gas o el transporte (acoplamiento sectorial) (véase Parte A, Sección 1.2).

Los planes concretos de calefacción y refrigeración suelen recibir la forma de proyectos locales a nivel de ciudad. Sin embargo, se debe integrar y coordinar una SHCP adecuada según el potencial a largo plazo del sistema energético de la ciudad, no solo el proyecto de DHC que está por llegar. Por ejemplo, es importante evitar establecer un proyecto de DHC que en 5 años no permita una ampliación sencilla o no pueda interconectarse al resto del sistema. Además, a causa de las potenciales sinergias entre los sectores, debe ser congruente con todos los niveles de gobernanza en todas las áreas políticas relacionadas con la energía. En procesos de planificación local, existe el riesgo de errar en la optimización al no coordinar esfuerzos a escalas superiores, *por ejemplo*, entre proyectos, entre regiones o a nivel nacional e internacional.

Un ejemplo de planificación con un enfoque de sistema energético integrado para una red de calefacción urbana existente sería el trabajo de SHCP llevado a cabo en Aalborg, Dinamarca. El principal objetivo de la visión de la energía de Aalborg para 2050 (véase el recuadro 1) es proponer una forma de diseñar el suministro energético de Aalborg para contribuir a una visión a largo plazo en la que Dinamarca estará 100 % libre de combustibles fósiles en 2050. El caso de Zhengzhou ilustra el proceso de SHCP en una nueva área de desarrollo (Recuadro 2).

RECUADRO 1 AALBORG (DINAMARCA): VISIÓN DE LA ENERGÍA DE AALBORG PARA 2050

El caso de Aalborg es característico de la planificación de un sistema energético integrado. La visión de la energía de Aalborg constituye un estudio de todo el sistema energético, incluido un análisis del rol y los aspectos de la calefacción urbana, y tiene en cuenta el objetivo nacional a largo plazo de terminar completamente con el consumo de combustibles fósiles para 2050.

Durante el desarrollo de esta visión de la energía de Aalborg para 2050, se tuvieron en cuenta varias opciones. Esto se realizó, en parte, para demostrar la necesidad de ahorro de calor y calefacción urbana de baja temperatura y, en parte, para mostrar el alcance de la dependencia de Aalborg en el calor residual industrial en su red de calefacción. Además, se consideró una alternativa en la que la calefacción urbana se sustituía por bombas de calor individuales.

Los resultados indicaban que la opción más económica era el uso flexible de energía para generar calor para las redes de energía urbana a través de bombas de calor combinadas con almacenamiento térmico. Bajo estas circunstancias, las cantidades de calor individual ascendían a unos 0,2 teravatios/hora (TWh) en comparación con un requisito de calefacción de 1,9 TWh. El calor residual industrial contribuye en unos 0,9 TWh de la demanda total de calefacción urbana de 1,65 TWh. El resto de la demanda la satisfaría el calor de fuentes geotérmicas, bombas de calor y plantas de cogeneración con gas.

El proceso de SEP se trataba de forma regular con representantes del ayuntamiento de Aalborg, el ministerio de energía y medioambiente, el ministerio de paisaje urbano y la empresa de suministros Aalborg District Heating. Además, ha existido un diálogo con la industria local y empresas interesadas. Este flujo de información entre las partes interesadas constituye un principio que guía el proceso de SEP. Es, además, una metodología que las autoridades pueden aplicar en la planificación de sistemas energéticos del futuro que permite la participación y el apoyo de las partes interesadas como partes coordinadas de los esfuerzos nacionales y globales (Thellufsen *et al.*, 2019).

Fuente: Shutterstock

Vista del centro y la ribera de Aalborg desde Nørre Sundby

RECUADRO 2 ZHENGZHOU (CHINA): PLANIFICACIÓN DE CALOR ESTRATÉGICA EN UN ÁREA NUEVA

El centro financiero de Longhu en la ciudad de Zhengzhou, China, es un proyecto de ampliación del distrito empresarial central de la nueva área de Zhengdong. Está destinado a albergar edificios de oficinas y residencias de gran altura con un área total construida de aproximadamente 3 100 000 m².

Zhengzhou es un caso interesante en el que se ha aplicado una SHCP a una red de energía urbana de nueva construcción, donde la calefacción y la refrigeración se consideran piezas esenciales de la infraestructura de la ciudad desde el principio. Durante la fase de planificación urbana, varios servicios públicos y empresas de suministros (aguas residuales y calefacción/refrigeración, suministro de agua y electricidad, Internet por cable, transporte) se unieron en la elaboración de la documentación general de la planificación urbana.

De esta forma, la red térmica alcanza cada área del nuevo distrito, con lo que se consigue que el sistema de energía urbana esté disponible para todos los edificios de forma rentable. Es más, la planificación combinada de la red de calefacción urbana y los suministros facilitan el uso del calor residual que proviene de las aguas residuales como fuente de calor para la red térmica.

Fuente: Shutterstock

Vista del nuevo distrito de Zhengdong, en la ciudad de Zhengzhou, China.

Durante la planificación urbana, y una vez finalizado este proceso, el gobierno local ayudó en la coordinación de las regulaciones, políticas y guías de diseño necesarias para apoyar el desarrollo del proyecto. Como parte de un enfoque estratégico, las regulaciones incluían la conexión obligatoria de todos los edificios nuevos a la red de energía urbana (Riahi *et al.*, 2017).

Tal como muestran estos dos ejemplos, tanto el gobierno local como el nacional juegan un papel importante en la planificación estratégica y, en última instancia, en la implementación del plan de desarrollo. Los gobiernos locales deben ser responsables de la coordinación de las partes interesadas y de la implementación de infraestructuras de calefacción y refrigeración. Los gobiernos regionales o nacionales deben asegurar una regulación adecuada que guíe la actuación de las autoridades locales y que siente las condiciones y límites adecuados de las acciones locales de forma coordinada (véase Parte B, Sección 6.3). Sin una dirección clara – por ejemplo, objetivos de descarbonización, objetivos de contaminación, regulación de la protección al consumidor y disponibilidad de la energía –, existe el riesgo de que los gobiernos locales aborden los problemas de forma diferente entre barrios colindantes. Por consiguiente, se pueden desarrollar planes de calefacción y refrigeración que incluyan el uso de recursos de baja temperatura, incluidos los recursos geotérmicos, con objetivos claramente definidos.

Por último, el marco temporal de la SHCP debería considerar objetivos sociales tan a largo plazo como sea posible, no solo horizontes de inversión cortos de, por ejemplo, 10 años. Al mantener un marco temporal largo, es posible analizar las diferentes formas de alcanzar los objetivos sociales. Si esto no se tiene en cuenta, existe el riesgo de que las inversiones que parecen beneficiosas hoy no encajen en el suministro energético del futuro y se conviertan en activos en desuso.

> "Tanto el gobierno local como el nacional juegan un papel importante en la planificación estratégica de la calefacción y refrigeración y, en última instancia, en la implementación del plan de desarrollo"

Resumen de recomendaciones para el desarrollo de SHCP

La planificación estratégica de la calefacción y refrigeración es el primer paso en el desarrollo y uso de fuentes de energía renovable producidas a baja temperatura tanto en sistemas de DHC existentes como nuevos. A continuación se resumen los factores clave para el éxito de un proceso de SHCP.

identificar el alcance y el propósito de la SHCP

- Decidir los objetivos estratégicos de la SHCP. El proceso de planificación estratégica de la calefacción y refrigeración podría llevarse a cabo por varios motivos (p. ej., descarbonización, minimización de la contaminación, suministro de calefacción y refrigeración asequibles, etc.). Este objetivo estratégico debería guiar el resto del proceso.

- Alinear los objetivos de calefacción y refrigeración locales con las estrategias de descarbonización nacionales si las hubiera. La planificación de la calefacción se produce a nivel municipal a causa de la naturaleza local de la utilización de la calefacción. No obstante, los planes locales deben estar alineados y controlados a nivel nacional y regional.

Abordar los problemas con el actual suministro de energía formulando estrategias a largo plazo y planes para la transición.

- Involucrar a las autoridades locales en la SHCP. Las autoridades locales juegan un papel crucial en el proceso de SHCP, incluyendo la planificación energética y urbana, la provisión de infraestructura para calefacción y refrigeración, regulación y financiación, etc.

- Asegurar el incorporar y coordinar la SHCP en todos los niveles de gobernanza y en todas las áreas de políticas relacionadas con la energía. En particular, integrar la SHCP en la planificación de un parque inmobiliario con eficiencia energética, que podría incluir algunas tecnologías que solo se pueden implementar de forma viable en agrupaciones de edificios (distrito) en lugar de en edificios individuales.

Tener en cuenta la dimensión recurrente, multidisciplinar y continua del proceso de SHCP, que es adaptable a diferentes niveles y contextos.

- Optimizar el proceso mediante un enfoque multidimensional recurrente. Para cosechar los máximos beneficios, el proceso de SHCP debe adoptar una perspectiva a largo plazo, considerar sinergias con otras redes de energía (*p. ej.*, redes eléctricas) y adoptar un enfoque multidisciplinar que incluya aspectos económicos, ambientales y técnicos.

- Adaptar el foco del proceso de SHCP al contexto local. Sin embargo, tenga en cuenta que los principios de gobernanza deben adaptarse a los objetivos estratégicos en lugar de a los retos del proyecto. Abordar las tres fases principales del proceso de SHCP: i) definir el alcance, el objetivo y el plan para la participación de las partes interesadas; ii) establecer los escenarios técnicos para un suministro de energía sostenible de forma recurrente; y iii) definir el esquema de gobernanza de DHC.

B.2 Participación de las partes interesadas

B.2.1 Identificación y coordinación de las partes interesadas

Existen muchas partes interesadas que participan en el sector de calefacción y refrigeración, todas con sus propias agendas. Las partes interesadas pueden ser consumidores con alta demanda de energía, como industria, hospitales, plantas de tratamiento de aguas residuales o invernaderos. Todos ellos presentan un alto consumo de energía y también son fuentes potenciales de calor residual. Las partes interesadas más importantes también pueden estar directamente relacionadas con el sector de la energía, como centrales eléctricas, compañías de transmisión de energía como las distribuidoras eléctricas existentes o industrias de extracción. No obstante, es posible que algunas partes interesadas no se consideren como tales cuando no se trate de su actividad principal.

Como la calefacción y la refrigeración son locales, es importante identificar y trabajar con partes interesadas locales en transiciones hacia el suministro de calefacción y refrigeración de baja emisión de carbono. Los gobiernos locales serán actores clave en la organización del proceso y en la identificación de las partes interesadas involucradas.

Es de vital importancia aclarar quién es el actor principal que liderará el proceso y, por lo tanto, el responsable de identificar e involucrar otros actores, ya que también es posible excluir partes interesadas que no encajen en el objetivo establecido. No todas las fuentes de calor encajarán en el objetivo, y los planes nacionales y locales podrían estar claramente enfrentados a ciertos actores establecidos.

Esto conlleva la necesidad de:

- identificar oportunidades para involucrar a partes interesadas que puedan jugar un papel constructivo en la realización de planes de calefacción y refrigeración
- identificar sinergias y oportunidades para redes de energía urbana rentables

Se recomienda la participación y gestión de las partes interesadas lo antes posible, especialmente para facilitar la aceptación pública. También es importante aclarar quién es una parte interesada clave y en qué parte del plan. Algunas pueden ser partes interesadas en la planificación a largo plazo, otras pueden ser partes interesadas en áreas específicas (*p. ej.*, el desarrollo de fuentes renovables particulares) y otras pueden ser partes interesadas en, por ejemplo, el desarrollo de la red en áreas ya establecidas. Esto significa que algunas partes interesadas pueden ser clave en ciertas áreas del desarrollo del sistema de DHC y ser irrelevantes en otras áreas.

La coordinación de las partes interesadas con agendas diferentes puede crear dificultades para la gobernanza, especialmente cuando existan partes interesadas con funciones y objetivos a veces divergentes. Muchas partes interesadas potenciales deberán involucrarse activamente para aumentar su interés y compromiso, o ser excluidas. Por ejemplo, es posible que un hospital no se considere un actor principal. Como su actividad es proporcionar cuidados sanitarios, y la calefacción y refrigeración solo son una pequeña parte de esta actividad, es posible que su interés no sea demasiado alto inicialmente. Por lo tanto, es necesario clasificar las partes interesadas según el nivel de influencia e interés en el proyecto para desarrollar una estrategia de compromiso, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 21. **Clasificación de las partes interesadas según su nivel de influencia e interés**

Fuente: UNIGE; según Mendelow (1981)

El papel de las partes interesadas en el desarrollo de una SHCP o en un proyecto se puede evaluar según su influencia y nivel de interés. Las partes interesadas con una gran influencia e interés son críticas para el éxito de la estrategia o el proyecto y deben identificarse y colaborar de forma estrecha lo antes posible, mientras que las de menor influencia y menor interés pueden necesitar menor participación.

El alcance y propósito de la actividad de planificación de calefacción y refrigeración es importante para plantearse la cuestión de qué actores y partes interesadas deben incluirse en el proceso. Se han de identificar las partes interesadas que es probable que se involucren en un proyecto y una estrategia de participación creada para asegurar el éxito del proyecto, tal como muestra la tabla 3. Podrá encontrar una lista extensiva de las principales partes interesadas y sus roles en los procesos relacionados con la modernización de redes de calefacción urbana en el centro y este de Europa en Čižman y Buganova (2019).

Tabla 3. **Posibles partes interesadas, su papel en la SHCP y estrategia para su participación**

PARTES INTERESADAS	ROLES / INFLUENCIA / INTERÉS	ESTRATEGIA DE PARTICIPACIÓN
Autoridades nacionales, regionales o provinciales[6]	Ofrecer condiciones del marco en términos de regulaciones, herramientas y mandato. Ofrecer de forma general los permisos y licencias que permitan seguir adelante con el proyecto. Pueden proporcionar la financiación del proyecto.	Deben participar según la política de energía nacional. Puede ser en términos de seguridad energética, salud, descarbonización, etc.
Autoridad local (municipal/civil)[6]	Controlar de forma general la implementación de la legislación. Propietario del proyecto e impulsor principal. Posee conocimientos locales importantes sobre las condiciones específicas del proyecto. Puede ofrecer los permisos que permitan seguir adelante con el proyecto. Protege los intereses de los consumidores. Es el mayor consumidor (edificios públicos).	Participación basada en los impulsores de la SHCP. Estos pueden ser demandas locales como la pobreza energética, la contaminación atmosférica y la falta de acceso a la energía. También pueden provenir de autoridades nacionales (o regionales/provinciales) en términos de evaluación obligatoria de regulación o potenciales de DHC.
Empresas de suministros/ desarrollo	Depende de su titularidad. El interés debería ser ejecutar sistemas de DHC en línea con objetivos estratégicos. Se benefician de la identificación de sinergias con otros desarrolladores.	Desarrollo de un proyecto de negocio.
Inversores e instituciones financieras	Ofrecer la financiación e inversión para el proyecto, recuperar inversiones.	Comprender los criterios de evaluación y prioridades que gobiernan las decisiones de inversión.
Organismos de investigación y sector académico	Ofrecer conocimiento (independiente) sobre nuevas tecnologías emergentes, retos y fenómenos. Pueden ofrecer evaluaciones independientes de potenciales rutas de desarrollo.	Proyectos de investigación-acción.

6 A causa de la variedad de sistemas de gobierno, los roles y las políticas relevantes del gobierno nacional aquí mencionados podrían realizarse por parte del gobierno regional, provincial o local en otro contexto (y viceversa).

Tabla 3. **Posibles partes interesadas, su papel en la SHCP y estrategia para su participación - CONTINUACIÓN**

PARTES INTERESADAS	ROLES / INFLUENCIA / INTERÉS	ESTRATEGIA DE PARTICIPACIÓN
Constructoras	Construir nuevos edificios que permitan la utilización de fuentes de baja temperatura para la calefacción y refrigeración.	Implementación de estándares o códigos de construcción. Tomar medidas para la conexión de los edificios al suministro de energía urbana.
Propietarios de edificios	Facilitar información sobre las centrales próximas al edificio. Permitir la realización de inspecciones para detectar/corregir fallos del sistema. Tomar decisiones sobre la posibilidad de optimizar los sistemas.	Implantar códigos o estándares de construcción. Establecer criterios para conectar los edificios al suministro de energía urbana.
Consumidores	Facilitar información sobre la demanda de calor. Incidir en la eficiencia del sistema con su comportamiento. Pagar las facturas. Actuar como prosumidores.	Alinear los intereses con los de los consumidores. Proteger los intereses mediante acuerdos contractuales.
Ciudadanos	Otorgar la aceptación pública. Actuar como consumidores del calor y participar en el empleo. Convertirse en inversores.	Deben incluirse en el proceso. Deben conocerse los deseos y motivaciones de este grupo.
Estudios geológicos	Facilitar información crítica sobre las condiciones geológicas y los recursos geotérmicos disponibles.	Evaluación del potencial de los recursos.
Promotores geotérmicos y solares	Poner en marcha los proyectos y facilitar indicaciones más detalladas sobre las fuentes de calor.	Necesitan seguridad para las inversiones y la gestión de riesgos. Necesitan unas licitaciones adecuadas para la exploración, los ensayos y las operaciones.
Proveedores de calor residual	Pueden proporcionar calor barato a la red.	Es necesario que comprendan las cuestiones técnicas asociadas a la recuperación de calor y las posibles implicaciones comerciales. Participación en acuerdos contractuales de “distribución de calor”.
Proveedores tecnológicos	Generar valor añadido y empleo a escala local. Apoyar el aumento de la flexibilidad de los sistemas de DHC.	Necesitan seguridad para las inversiones y la gestión de riesgos. Financiación para la investigación y el desarrollo de tecnologías sostenibles para el suministro de calefacción y refrigeración.

Una vez identificadas las partes interesadas, deben verse a sí mismas en el proceso y estar dispuestas a participar. Las partes interesadas deben percibir un beneficio de su participación en un proceso que explote calor residual, cambie a energías renovables e instale nuevas redes de energía urbana o reacondicione las existentes.

Este beneficio puede ser una justificación económica rentable, un perfil medioambiental aumentado, un suministro de energía estable, etc. El recuadro 3 resalta el papel de la principal parte interesada en dos casos diferentes en Dinamarca.

RECUADRO 3 EL PAPEL DE LA PRINCIPAL PARTE INTERESADA

Dos casos diferentes en Dinamarca resaltan la importancia de la principal parte interesada y su influencia en el desarrollo e implementación de futuras estrategias.

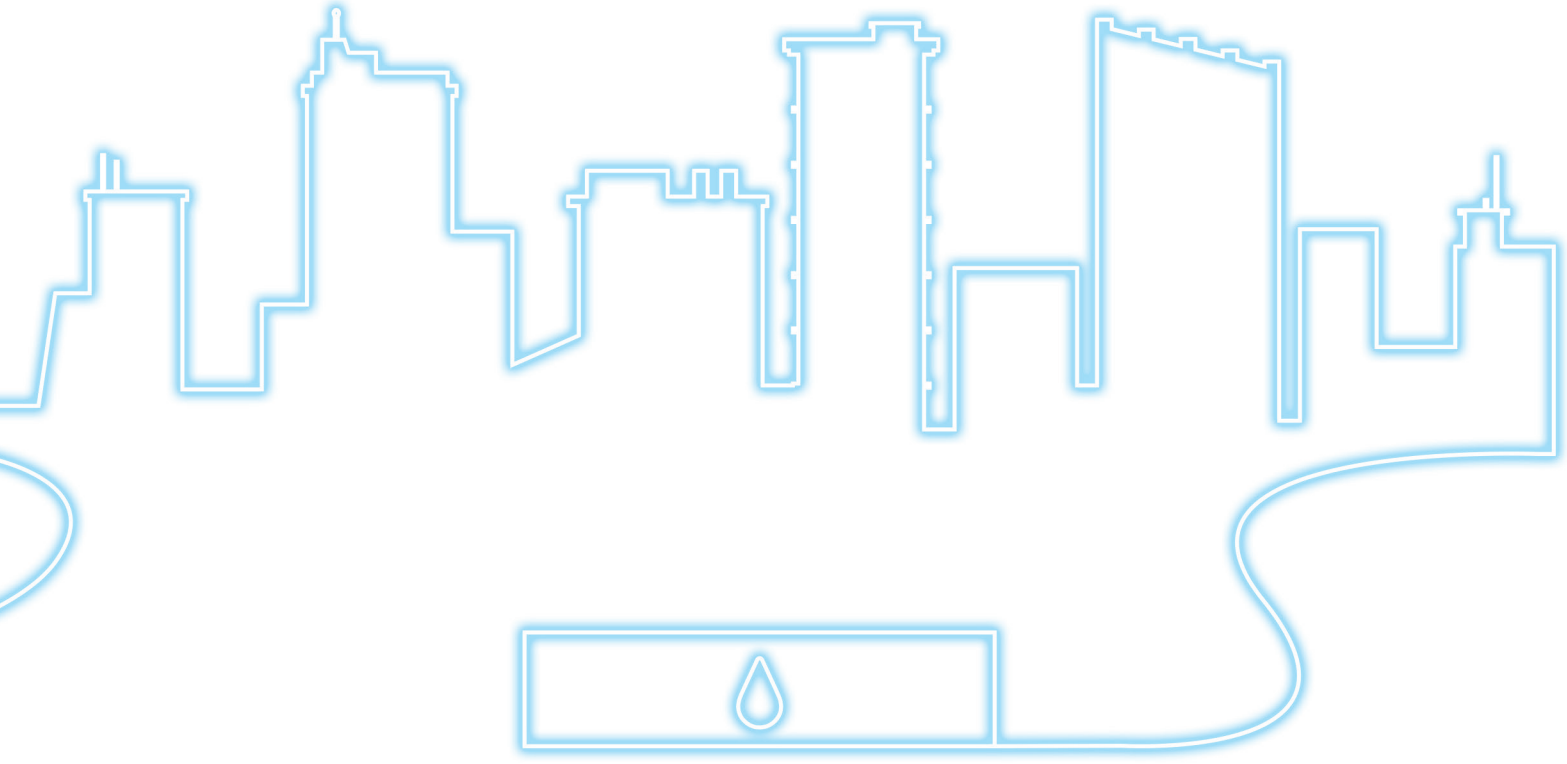
- **En Aalborg, el ayuntamiento ha adoptado objetivos ambiciosos en el plan de calor, que incluyen una producción de calor sin usar carbón para el año 2050. Como principal parte interesada, el ayuntamiento de Aalborg está decidido a implementar su plan estratégico de calor para energía verde y, por ello, decidió excluir al proveedor privado de energía y principal suministrador de calor, cuyos intereses no se adecuaban al propósito deseado de la ciudad. Por lo tanto, el ayuntamiento le compró a la empresa energética privada la planta de coproducción para DHC local, para así evitar potenciales conflictos de intereses a la hora de introducir cambios en la producción de calor calefacción y, en última instancia, sustituir la coproducción alimentada por carbón como fuente de calor.**
- **En Viborg, la empresa de suministro de calefacción urbana es una cooperativa propiedad de los consumidores y es la principal parte interesada. Esta empresa ha desarrollado una estrategia teniendo en cuenta los deseos de sus clientes. Estos deseos incluyen la estabilidad del precio, la independencia de combustibles fósiles y de la fluctuación de sus costes, la eficiencia energética de la demanda y una transición hacia la calefacción urbana de baja temperatura. La implementación de esta estrategia estaría en oposición a los intereses de la planta de cogeneración municipal que suministra calor a la red a partir de gas natural. Por lo tanto, la empresa de suministros decidió comprar la unidad de producción de calor a la municipalidad y, con ello, eliminó una parte interesada del proceso de planificación.**

En ambas ciudades, la empresa de suministro de calefacción es la parte interesada principal y aspira a la producción de calor sostenible y la implementación de una estrategia verde de calor. Ambos casos son ejemplos de intereses opuestos entre partes interesadas importantes en la DHC que pueden dificultar la transición del sistema a una operación más sostenible. En concreto, el control de la producción de calor es vital si se han de reemplazar las tecnologías o se han de abandonar los combustibles fósiles.

Para fomentar la aceptación social, habría que abordar las preocupaciones medioambientales en relación con el desarrollo de algunas renovables en ciudades. En un esfuerzo por desmitificar la energía geotérmica y abordar las preocupaciones medioambientales que pueden originarse de la resistencia social, el proyecto GEOENVI (GEOENVI, 2019) ha desarrollado una base de datos de aspectos medioambientales relacionados con proyectos geotérmicos desde el punto de vista de impactos, riesgos y medidas mitigadoras. Además, desde abril de 2020, el proyecto ha estado desarrollando una metodología armonizada para evaluar el impacto medioambiental de los proyectos geotérmicos y ha armonizado metodologías de análisis de ciclo de vida útil. El objetivo es difundir conocimientos a los responsables políticos y al público general sobre la energía geotérmica mediante la creación de una base de datos accesible públicamente sobre proyectos geotérmicos disponibles.

Debe estructurarse y detallarse la participación de las partes interesadas que se verán afectadas directa o indirectamente por la implementación de un proyecto de energía para asegurar que el proyecto aborde sus expectativas y preocupaciones. Por ejemplo, el uso de recursos geotérmicos conlleva el acceso a la subsuperficie para extraer la energía. Esto supone perforar y probar pozos geotérmicos en propiedades residenciales y áreas construidas, o cerca de ellas, lo que puede producir resistencia social al proyecto, ya que implica la movilización de equipamiento pesado, ruido durante la perforación y la posibilidad de actividad microsísmica inducida (Popovski, 2003). En este sentido, el intercambio de información sobre el proyecto y la participación de las partes interesadas, incluidos los ciudadanos, desde el mismo principio de un proyecto es de crucial importancia, tal como demuestra el caso de Groß-Gerau, en Alemania (Recuadro 4). Debido a que esta estrategia de participación de partes interesadas se ha implementado a nivel de proyecto, al desarrollar la SHCP, se pueden aplicar principios similares a nivel estratégico (a nivel de autoridades nacionales o locales).

> "La participación de las partes interesadas debe comenzar en las fases iniciales para abordar las preocupaciones y garantizar una aceptación pública generalizada"



RECUADRO 4 GROß-GERAU (ALEMANIA): UNA ESTRATEGIA ACERTADA PARA LA PARTICIPACIÓN DE LAS PARTES INTERESADAS

Tal como ha demostrado Überlandwerk Groß-Gerau GmbH (ÜWG), una empresa de suministros pública en Groß-Gerau, Alemania, la participación de las partes interesadas asegura la transparencia y la confianza mutua entre la comunidad local y el promotor geotérmico, que, a su vez, conduce a la aceptación pública del proyecto. El proceso de participación se estructuró para crear un proyecto robusto a nivel político.

La primera fase de la participación, la caracterización de un emplazamiento social, supuso reunir las visiones del público sobre el proyecto, tales como esperanzas, expectativas, miedos y percepciones. Esto se llevó a cabo a través de entrevistas y el continuo análisis de los medios.

En la segunda fase, el diálogo de las partes interesadas, los problemas identificados durante la caracterización de un emplazamiento social fueron tratados por un grupo de expertos, que provocó la participación de una gama variada de partes interesadas. A continuación, el grupo de expertos formuló solicitudes al promotor del proyecto que cubrían aspectos medioambientales, coste y beneficios, riesgos del proyecto y comunicación.
La fase final, la participación civil, incluyó al público general. Se les proporcionó información, se respondió a sus preguntas y se trataron con detalle cuestiones controvertidas. Todo esto se realizó mediante reuniones.

Al final del proceso, una encuesta indicó que la mayoría de los residentes de la zona afectada apoyaban el proyecto y preferían el desarrollo de geotermia en lugar de otras fuentes de energía (Wallquist y Holenstein, 2015; Allansdottir, Pellizzone y Sciullo, 2019).

Fuente: Shutterstock

Vista aérea de la ciudad de Groß-Gerau, cerca de Frankfurt en Hessen, Alemania

Se espera que este nivel de transparencia, junto con una participación local fuerte, aumente el conocimiento y la aceptación de proyectos de energía urbana y energías renovables.

Resumen de los retos y recomendaciones para la evaluación de las partes interesadas

Identificar e involucrar a las partes interesadas

- Identificar a las partes interesadas pertinentes para la SHCP, su interés y nivel de influencia en un proyecto de calefacción y refrigeración. Es necesario que el líder de la SHCP, normalmente las autoridades locales, tenga claro cuáles son sus motivaciones y objetivos políticos: si alguna parte interesada no coincide con el propósito general, no debe formar parte del proceso.

- Concienciar y promover la aceptación pública de la DHC como una forma de cumplir determinados objetivos sociales y ambientales. Para propiciar la aceptación pública del proceso de planificación del calor y la energía urbana, debe promoverse la participación de los responsables políticos y del público en general lo antes posible.

En lo que respecta a la promoción de fuentes de energía específicas para la DHC y al desarrollo de proyectos específicos, el operador del proyecto podría lograr la participación de las partes interesadas como se indica a continuación.

- Desarrollar herramientas y metodologías para la evaluación del impacto ambiental de la calefacción y la refrigeración y ejerza presión sobre los responsables políticos para que armonicen la legislación ambiental relativa a distintas fuentes de energía. Deben evaluarse los impactos ambientales de los proyectos de energía utilizando para ello herramientas simplificadas que promuevan la comparación con otros proyectos similares y las medidas de mitigación deben estar bien articuladas. Esto se aplica, sobre todo, a la energía geotérmica, con el fin de aumentar la transparencia en el desarrollo del sector geotérmico y de concienciar sobre los riesgos y las medidas de mitigación asociadas de los proyectos geotérmicos.

- Promover la transparencia mediante la implicación de las partes interesadas en el proceso de desarrollo con el fin de que puedan comprender las ventajas y los inconvenientes del proyecto. Puede que el público en general y los responsables políticos no posean información adecuada sobre algunas tecnologías de las energías renovables y opongan resistencia debido a los riesgos ambientales y sociales percibidos.

B.3 Evaluar y realizar un mapa de la demanda de calefacción (y refrigeración) y de los recursos energéticos

Tradicionalmente, la calefacción (y la refrigeración) no han estado sujetas a la gobernanza en numerosos países, regiones y ciudades. En la mayoría de los casos, las políticas energéticas se inscriben en políticas sectoriales centradas en la electricidad y el gas en lo que compete a la oferta y en la eficiencia de los edificios en lo que compete a la demanda. Por tanto, se carece a menudo de conocimientos sobre la situación fundamental de los sectores de la calefacción y la refrigeración. Es posible que se mida el suministro de gas y electricidad, pero solo como cifras agregadas del suministro eléctrico que combinan las demandas para cocinar, para la iluminación, la calefacción y otros usos finales. Los sistemas de energía urbana implantados sin sistemas de control y medición de la energía también suelen carecer de información sobre la demanda energética real de los consumidores. Por tanto, puede que las demandas de calefacción y refrigeración se desconozcan y sea por ende difícil utilizarlas para los fines de la planificación estratégica.

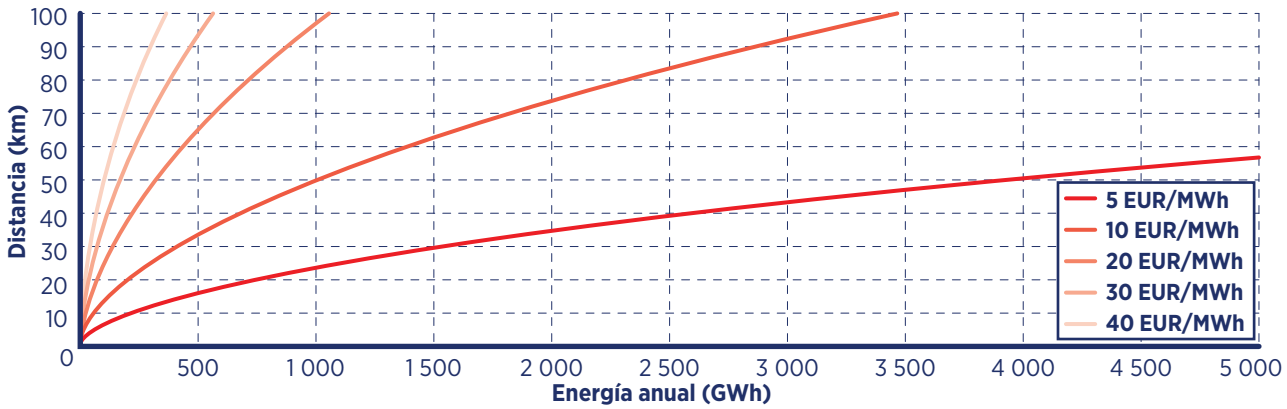
Para llevar a cabo un proceso de SHCP o un estudio de viabilidad, es necesario recabar y utilizar información y datos sobre la localización y el volumen de calefacción y refrigeración que se necesita realmente, las posibles opciones de suministro, y la situación del parque inmobiliario. También es vital incluir a otros sectores energéticos en los análisis con el fin de plasmar cambios de mayor envergadura como el aumento de los volúmenes de electricidad renovables variable, el aumento de las demandas energéticas, etc. Existen sinergias intersectoriales importantes que deben aprovecharse, y deben evitarse las suboptimizaciones en los dominios energéticos. Los datos recabados son necesarios para la formulación de escenarios técnicos que desempeñan una función crítica en la planificación estratégica. Los pasos del mapeo técnico conllevarán una cuantificación de la demanda de calor, la identificación y la cuantificación de los recursos de calor potenciales, y una evaluación e identificación de las posibilidades de ahorro de calor en los edificios.

La importancia crítica de la localización de la demanda y del suministro representa una diferencia significativa entre la planificación del calor y la planificación de otros tipos de energía. Por tanto, los conocimientos sobre la localización de los recursos de calefacción y la demanda existente de calefacción y refrigeración permiten conectar estos dos aspectos y evaluar su viabilidad. Mapear la localización y la cuantificación de la demanda de calefacción y refrigeración constituye por ende un elemento crucial de la SHCP y de vital importancia para lograr que los inversores apoyen proyectos de energía urbana con energías renovables y fuentes de calor residual.

En concreto, para los planificadores de DHC, estos conocimientos son importantes para calcular las dimensiones las redes y las capacidades instaladas. En el caso de los inversores, habida cuenta de que las redes de energía urbana constituyen unas inversiones intensivas de capital, es importante que conozcan el tamaño potencial del mercado, los volúmenes de suministro y los consumidores potenciales.

La distancia a través de la cual puede transmitirse el calor de un modo costo-efectivo depende del volumen de energía que se vaya a suministrar. En el siguiente gráfico se muestra la distancia más larga a través de la que puede transmitirse el calor a un costo unitario. Por ejemplo, se pueden enviar 2 500 gigavatios/hora (GWh) a una distancia máxima de 40 kilómetros (km) por un costo de solo 5,50 USD (dólares de los Estados Unidos) / megavatio/hora (MWh). Pero si la distancia entre la producción y el consumo fuese de 50 km, sería necesario suministrar 4 000 GWh para obtener el mismo costo unitario.

Figura 22. **Costo de la transmisión de calor**



Nota: el costo de la transmisión incluye el costo de la construcción y el costo del bombeo. Los costos de la construcción de las tuberías de calefacción urbana se han extraído de Svensk Fjärrvärme AB (2007), actualizados de acuerdo con Sánchez-García (2017) y con una amortización a 30 años con un tipo de interés del 5 %. Para el cálculo del costo del bombeo se ha asumido un precio de la electricidad de 11 USD/MWh. Por otro lado, se ha asumido que la energía transportada a través de las tuberías varía de forma sinusoidal a lo largo del año (Phetteplace, 1995).

Además, desde el punto de vista técnico conviene evitar distancias de tubería excesivamente largas. De hecho, aun en el caso de que las tuberías estén bien aisladas en el momento actual, se siguen produciendo pérdidas de calor (que pueden reducirse si se utilizan unas temperaturas de trabajo más bajas).

B.3.1 Cartografía de la demanda de calefacción y refrigeración

Los principales enfoques para empezar a desarrollar información sobre la demanda de calor son: medir la demanda real, modelizar la demanda a nivel de edificio y agregarla, y desagregar mediante la modelización espacial.

i. **Las mediciones de la demanda real permiten un conocimiento real del consumo.** Obviamente, esto forma la base más exacta de una evaluación para calefacción. Siempre que sea posible, debería adoptarse una alta resolución temporal, por ejemplo, intervalos de 1 hora. Esto ofrece conocimientos valiosos a las empresas de distribución y producción sobre la variabilidad de la carga de demanda esperada. Mejora el funcionamiento de las unidades de producción al optimizar la producción según demanda y aumenta la cooperación entre el sistema de calefacción y las fuentes variables de producción de electricidad. La medición (y unos sistemas de control adecuados) también permiten una facturación individual según consumo, lo que incentiva la reducción del consumo de energía.

ii. **Una modelización ascendente del rendimiento y el consumo de la energía en edificios permite realizar estimaciones de la demanda de calor esperada.** La modelización o estimación de la demanda de edificios, y su agregación posterior, puede ser una forma de ofrecer aportes para la toma de decisiones. Algunas ciudades, como Ginebra, en Suiza, han obligado a los propietarios de viviendas a informar de su consumo de calor. Estos propietarios cuentan con herramientas y directrices y tienen la oportunidad de contratar personas acreditadas para realizar el cálculo por ellos. La modelización o estimación necesita conjuntos de datos sobre el parque inmobiliario (ubicación, superficie, edad, principal fuente de energía, etc.). Las autoridades nacionales pueden poner a disposición de las ciudades estos conjuntos de datos, tal como se ha hecho en Suiza (véase el recuadro 5). Estas iniciativas se podrían replicar en otros países. En lugares donde no existan estos tipos de conjuntos de datos, podría ser necesario realizar estudios y trabajo de campo para establecer datos granulares suficientes para modelar las demandas de calor, lo que podría ser costoso.

iii. **La modelización descendente de la distribución espacial de las demandas de calor permite identificar áreas prioritarias.** Proyectos como PETA 4 o el cuadro de herramientas de Hotmaps ofrecen ejemplos de atlas de demanda de calor modelizada en Europa (véase el recuadro 6). Estas herramientas deben tener en cuenta no solo las políticas locales (regulación térmica de edificios públicos), sino también los comportamientos locales de los usuarios finales de frío o calor y la necesidad de temperatura del usuario final. (En el caso de edificios recientes con calefacción por suelo radiante, la necesidad de calefacción rondará los 30 °C; para los radiadores de hierro será de unos 80 °C a 90 °C). Estos modelos usan estadísticas de energía, que ofrecen la demanda de calor de un país, región o ciudad y, luego, desagrega estas demandas espacialmente para estimar los costes de la distribución de calor e identificar las áreas con alto potencial para el desarrollo de calefacción urbana, en función de la densidad y proximidad a fuentes de calor. Así se consigue el resultado menos preciso de los tres métodos, pero permite la SHCP en contextos con datos o recursos escasos.

En el caso de nuevas áreas de desarrollo, también será necesaria la modelización de las futuras demandas de calor para diseñar la futura red de DHC.

Habrá que poner especial cuidado para asegurar que las demandas se calculen de forma muy conservadora. Deberán realizarse análisis de sensibilidad.

Este conocimiento y cuantificación de la demanda de calor también debe incluir datos sobre la refrigeración y el consumo eléctrico local que necesita. Así, las ciudades podrán identificar y abordar sus retos de demanda eléctrica de forma local, en vez de depender únicamente de las mejoras y el desarrollo de una red eléctrica nacional (UNEP, 2015).

> La demanda de calefacción y refrigeración de los edificios de una ciudad se puede deducir a partir de mediciones de la demanda real, la modelización ascendente del consumo de los edificios y la modelización descendente de la demanda de calor

RECUADRO 5 DATOS ABIERTOS PARA ESTUDIOS PRELIMINARES: EL CASO DE SUIZA

- Las fuentes de datos abiertos pueden contribuir de forma significativa a la evaluación preliminar de la demanda de energía para la SHCP de la DHC. En Suiza, el portal opendata.swiss sintetiza una gran variedad de conjuntos de datos que la confederación, los cantones y los municipios pueden consultar libremente. Se incluyen datos del registro nacional suizo de edificaciones, GWR, que describe las propiedades básicas (como ubicación, superficie y principal fuente de energía) de aproximadamente 2 millones de edificios en el territorio nacional. Los conjuntos de datos locales pueden ofrecer información complementaria específica del lugar: en el cantón de Ginebra, el portal del sistema de información territorial (SITG), por ejemplo, detalla el consumo de energía para calefacción de edificios multifamiliares y de servicios públicos.

https://opendata.swiss/en/

https://ge.ch/sitg/

- Estos conjuntos de datos pueden apoyar el desarrollo de escenarios preliminares para la planificación y desarrollo de redes de DHC que integren fuentes de energía renovable de baja temperatura mediante la estimación de patrones espaciales para la demanda de energía y su evolución según condiciones futuras. Chambers *et al.* (2019) utilizó datos abiertos para crear un mapa del potencial local de futuras redes de calefacción urbana en Suiza, e indicó que los escenarios con gran eficiencia energética podrían aumentar significativamente el potencial relativo de que las redes de DHC utilicen temperaturas bajas en comparación con la DHC convencional – pero también que estos escenarios dejarían de obtener la distribución espacial de la demanda energética de los edificios. Para los responsables políticos y de la planificación, este hecho subraya la importancia de coordinar la planificación del suministro y demanda de calor para evitar un desfase entre la capacidad de las infraestructuras locales y la densidad real de la demanda energética según diferentes objetivos políticos.

- Por lo tanto, la evaluación espacial de la demanda de calor debe ir acompañada de una evaluación similar de posibles fuentes de energía renovable o calor residual – como la energía geotérmica o el calor residual que proviene de la industria. En el territorio de Ginebra, tales actividades se llevan a cabo bajo el amparo del proyecto Geothermie 2020, dirigido por el cantón de Ginebra con financiación e implantación por parte de la empresa de suministros Services industriels de Genève. Este proyecto se basa en el conocimiento existente de la subsuperficie para comprender mejor el potencial local de la energía geotérmica y para coordinar el desarrollo de este potencial junto con infraestructuras complementarias como la DHC. Los primeros resultados de este proyecto son prometedores: por ejemplo, unos sondeos de prospección en el municipio de Versoix han mostrado el potencial de los acuíferos de poca profundidad. Estos acuíferos podrían contribuir al suministro de calor renovable a la red de DHC local. Estos resultados complementarán el conocimiento existente sobre las condiciones de la subsuperficie en Ginebra, como los conjuntos de datos explícitamente espaciales sobre la conductividad térmica y la capacidad térmica, que ya están disponibles en el portal de Services industriels de Genève.

www.geothermie2020.ch/

Fuente: Freepik

RECUADRO 6 HERRAMIENTAS PARA LA CARTOGRAFÍA DE LA DEMANDA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

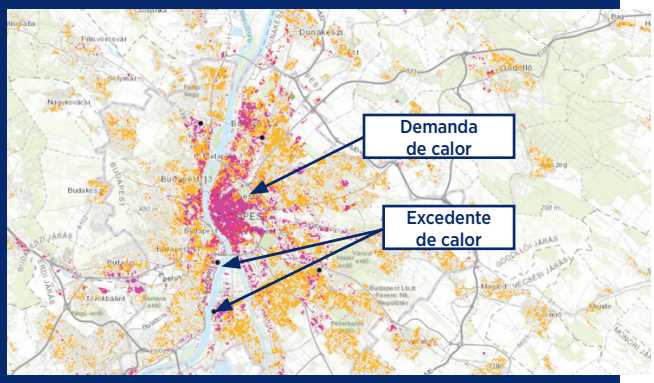
PETA 4
PETA 4 es la última versión del Atlas térmico paneuropeo (Peta), un mapa interactivo útil para la planificación de energía urbana. PETA 4 puede modelizar la demanda de calor al nivel de hectárea. También puede identificar áreas con demanda de calefacción y refrigeración que cuenten con potencial de energía urbana. El mapa incluye industrias o instalaciones con potencial de excedente de calor (residual), posibles redes de calefacción urbana y disponibilidad de fuente de calor renovable como la irradiación solar, la geotermia y la biomasa. La serie de proyectos Heat Roadmap Europe ha usado PETA 4 para cartografiar y cuantificar la distribución espacial de los elementos más significativos que constituyen el mercado europeo de la calefacción y refrigeración.

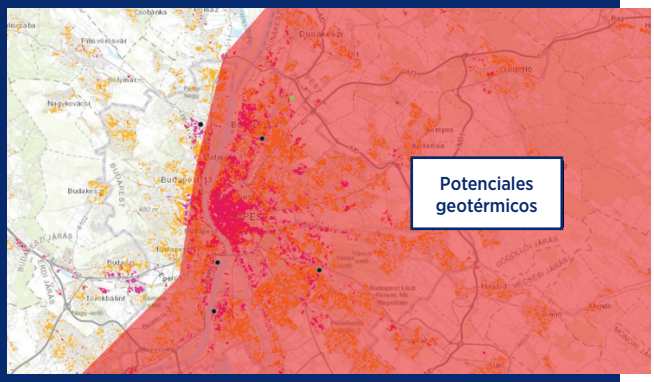
Los ejemplos de la derecha muestran las demandas de calor y el potencial excedente de calor (arriba) y el potencial geotérmico de la ciudad de Budapest, en Hungría (abajo).
https://heatroadmap.eu/peta4/

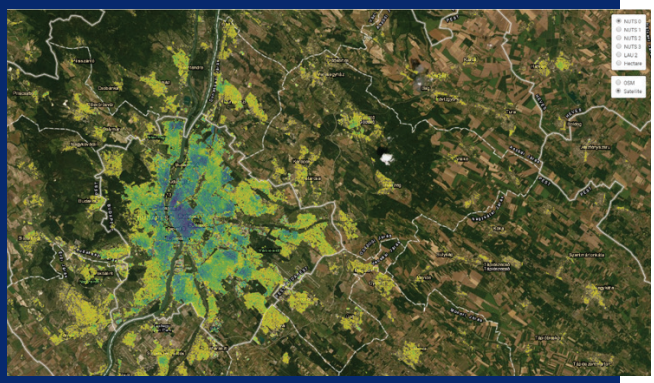
Cuadro de herramientas de Hotmaps
Los datos y la herramienta desarrollada en el proyecto Hotmaps, fundado por el programa de la UE Horizon 2020, permite a las autoridades públicas europeas identificar, analizar, modelizar y cartografiar recursos y soluciones. Este recurso ofrece una forma rentable de suministrar las necesidades energéticas de los territorios en su jurisdicción.

Ejemplos opuestos muestran las demandas de calefacción (arriba) y refrigeración (abajo) modelizadas en la ciudad de Budapest, en Hungría.
www.hotmaps.hevs.ch/map

Thermos
El sistema de optimización y modelización de recursos de energía térmica (Thermal Energy Resource Modelling and Optimisation System) es un paquete de software de código abierto basado en web diseñado para optimizar los procesos de planificación de redes de energía urbana y para apoyar la planificación general de energía sostenible. Proporciona mapas y estimaciones de la demanda de energía integrada para ciudades europeas.
www.thermos-project.eu/resources/thermos-tool/







B.3.2 Identificación de recursos locales de calor

De la misma forma que es importante entender la demanda de calor, es importante también contar con datos sobre fuentes de calor disponibles. Tal como explica la Parte A, Sección 2, las fuentes estratégicas de calor suelen ser el calor residual o las fuentes renovables. Estas fuentes suelen distribuirse a lo largo de grandes áreas, pero requieren infraestructura como las redes de distribución energética para su uso. Estos recursos suelen ser también de baja temperatura, lo que aplica ciertos requisitos a la red. Las redes modernas de energía urbana están mejor equipadas para explotar una selección más amplia de opciones de fuente de calor – con o sin bombas de calor – y para aprovechar las opciones del almacenamiento térmico (véase Parte A, Sección 2.3, "Principales tecnologías facilitadoras") y la figura 23.

Por ello, las fuentes estratégicas de calor pueden incluir renovables descentralizadas de baja temperatura como:

- el calor geotérmico
- la energía solar térmica
- el calor residual: tanto convencional como recuperado de procesos industriales o refrigeración de espacios, como en supermercados, centros de datos, etc.

También hay que evaluar los recursos bioenergéticos, ya que los sistemas combinados o híbridos pueden resultar ser una solución adecuada. Cuando hablamos de un perfil específico de demanda de calor, se suelen utilizar de forma continuada una o varias fuentes principales, y solo se moviliza una fuente de reserva cuando la demanda de calor es mayor, lo que en muchos sistemas representa solamente unos pocos días al año. En las redes de energía urbana híbridas que utilizan almacenamiento térmico, suele ser necesario utilizar una fuente de forma continuada: se usará la fuente más adecuada según su disponibilidad y coste de producción en todo momento (véase la figura 24). La solución más adecuada dependerá del contexto local. En sistemas a gran escala, se necesitan varias fuentes de energía, y ese almacenamiento térmico permite la explotación de fuentes variables de energía renovable.

Figura 23. **Diagrama de una red de energía urbana que usa varias energías**

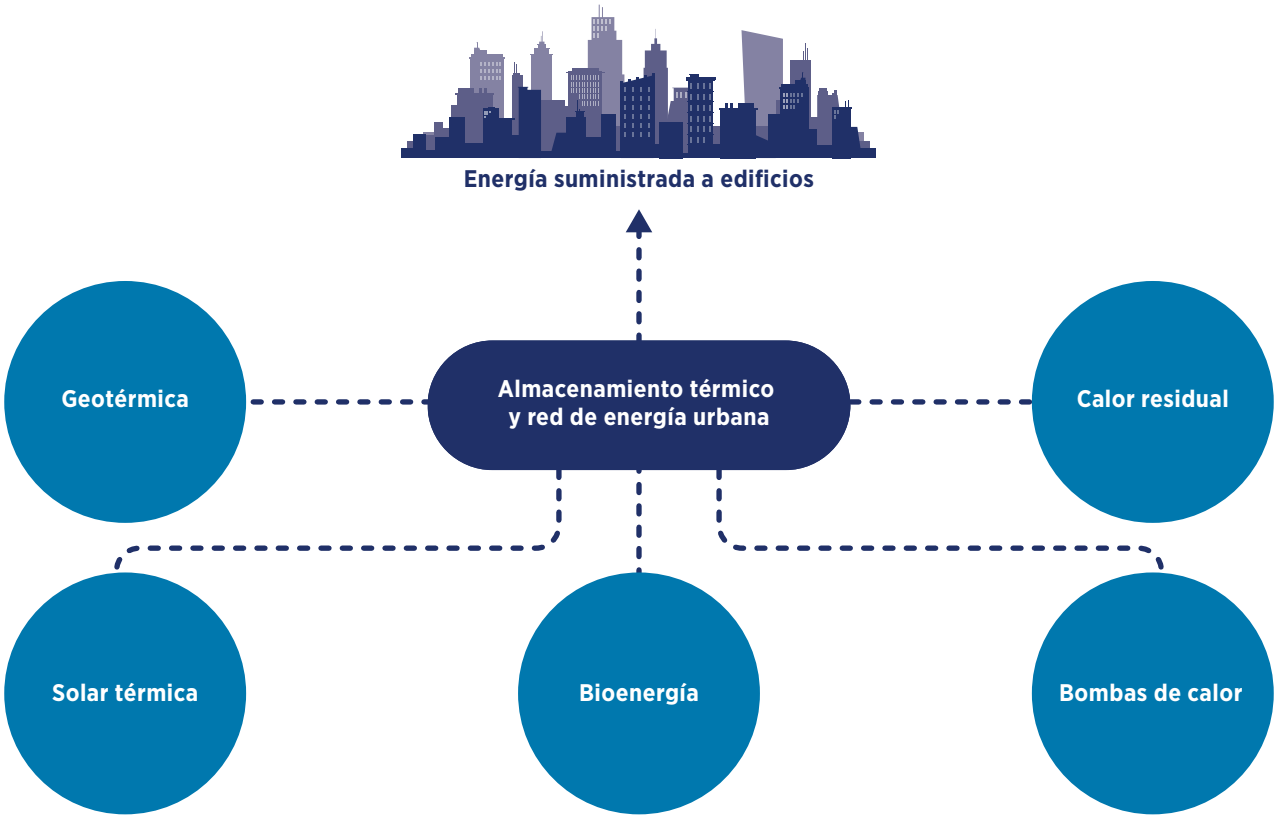
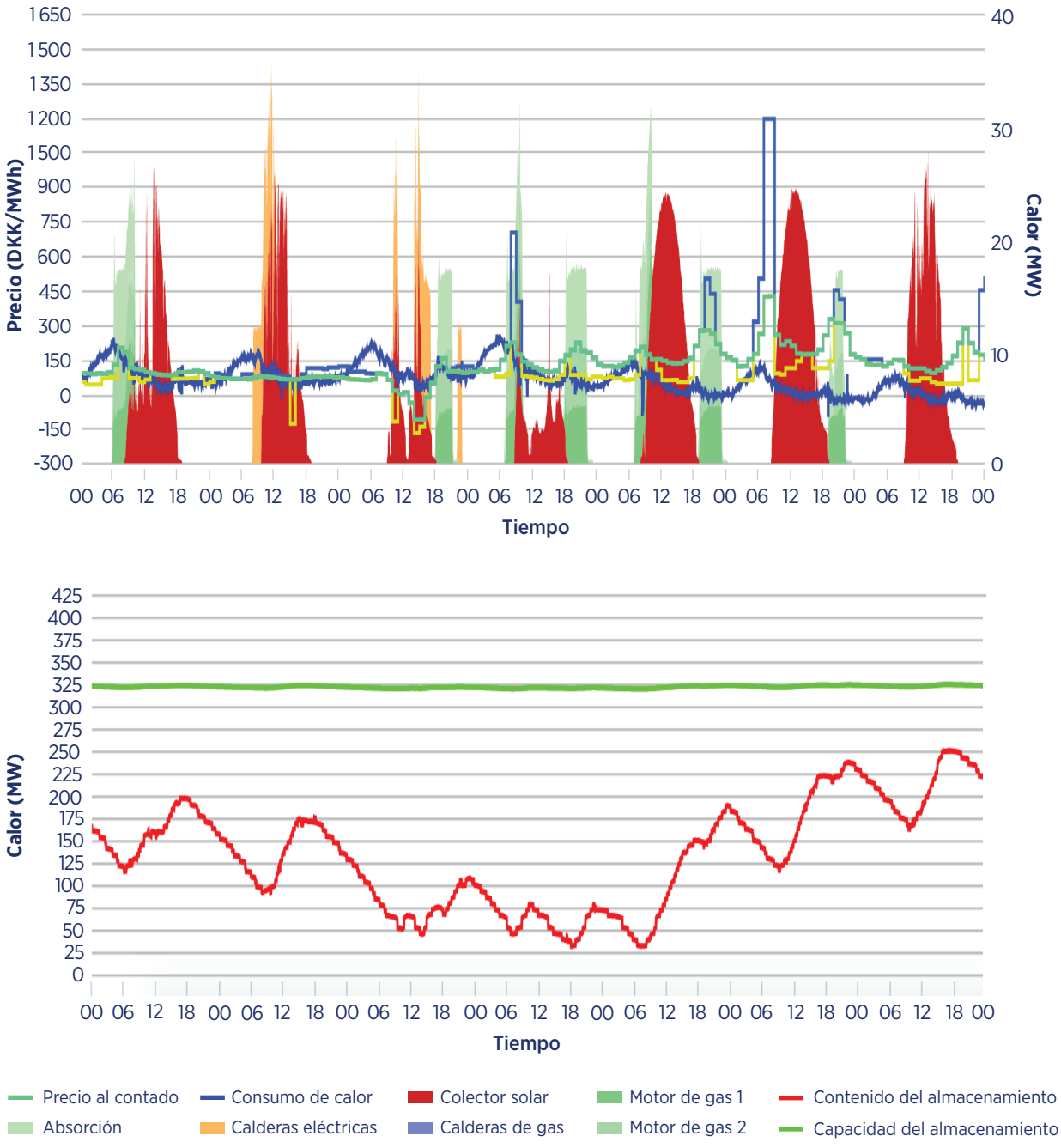


Figura 24. **Ejemplo de producción diaria de calor por parte de una red de calefacción urbana híbrida que utiliza almacenamiento térmico**



DKK: corona danesa

Fuente: EMD International (www.energyweb.dk/saeby/?english&history)

La proximidad de una potencial fuente de calor al centro de la demanda debe estimarse y representarse en un mapa. También habría que investigar la disponibilidad de suelo para el desarrollo del proyecto, información sobre el acceso al suelo y posibles conflictos sobre su uso. Asimismo, según la literatura y los datos disponibles, se puede obtener un nivel aproximado de la certidumbre con la que el recurso puede satisfacer la demanda de calefacción antes de llevar a cabo una evaluación del recurso más detallada (Lund y Lienau, 2009).

La posibilidad de explotar fuentes de calor para la calefacción y la refrigeración viene determinada por su ubicación, temperatura y las características de temporalidad del recurso:

- La accesibilidad del recurso puede verse restringida por el ámbito geográfico limitado de las áreas urbanas (por consiguiente, demanda de calor), ya que transportar pequeñas cantidades de calor a lo largo de grandes distancias no suele ser económicamente viable. Por tanto, la ubicación (distancia de la fuente de calor a la red de calefacción/refrigeración y accesibilidad del suelo) es un punto crítico. Si la fuente de calor no se encuentra cerca de la red de energía urbana, la necesidad de invertir en nuevos conductos para realizar las conexiones necesarias puede reducir la rentabilidad de la solución y llegar a convertirse en motivo para no utilizar dicha fuente de calor en la red de energía urbana (Køhler Pedersen y Holm Christiansen, 2019). Además, cuanto más largo sea el conducto, mayor será la pérdida de calor. Habría que establecer cualquier requisito regulatorio, como permitir cambios en el uso del suelo o la exploración de la fuente de energía, como en el caso de la geotermia.

- Las características del recurso de baja temperatura, que varían en función de la naturaleza de las diferentes fuentes de calor y se pueden categorizar como parámetros independientes (Køhler Pedersen y Holm Christiansen, 2019):

    - Nivel de temperatura: en función de los niveles de temperatura de las fuentes de calor y la temperatura de funcionamiento de la red de energía urbana – y de si el calor se inyecta en la línea de retorno o la de suministro de una red de energía urbana –, puede ser necesario aumentar el nivel de temperatura con una bomba de calor para cuadrar con la temperatura de la red.

    - Fluctuaciones de la temperatura: el calor residual de aplicaciones industriales con una temperatura de salida fluctuante puede ser viable. Esto se puede lograr mediante conexiones combinadas, como la entrega a la línea de suministro con niveles altos de temperatura o a la línea de retorno con un nivel de temperatura de calor residual bajo.

    - Fluctuación temporal de la producción de calor y operación anual: el calor residual de aplicaciones con una producción calorífica constante y fuentes renovables de carga de base será más fácil de integrar en una red de DHC que otros casos, como el calor residual de sistemas de aire acondicionado, que generan el excedente de calor principalmente en verano.

    - Sostenibilidad del recurso: algunas fuentes pueden decaer e incluso desaparecer con el tiempo. Este problema concierne a la geotermia y, principalmente, al calor residual. ¿Durante cuánto tiempo estará disponible el potencial de calor? Algunos centros de datos pueden funcionar durante solo un par de años, por ejemplo. En estos casos, es importante tratar la duración contractual del suministro de calor con el operador.

> "Los recursos de calor residual y renovables distribuidos requieren redes de energía urbana, a menudo con especificaciones de baja temperatura"

Geotermia

La energía geotérmica con fines de DHC se puede obtener de pozos profundos perforados para aprovechar el calor que contienen los reservorios hidrotérmicos, así como de pozos superficiales que aprovechan el calor que contiene el agua subterránea o la roca superficial. En regiones con recursos geotérmicos conocidos, el coste de la exploración puede minimizarse de forma significativa con el uso de los datos ya existentes. Esto es cierto incluso en regiones donde se extraen hidrocarburos, pero el desarrollo geotérmico está limitado. Los datos disponibles de la exploración y explotación de hidrocarburos pueden reducir los costes de prospección geotérmica convencionales. Este es el caso de la región Île-de-France (Francia), cercana a París: unos antiguos sondeos de perforación petrolífera han permitido la creación de un mapa público preciso de las capas geológicas y mediciones del gradiente de temperatura por parte de la agencia pública francesa para la energía geotérmica. Además, habría que investigar las opciones de coproducción (o la posibilidad de usar intercambiadores en pozos en desuso) (Hickson *et al.*, 2020b) como posibles opciones más económicas en áreas donde los pozos vacíos se ubiquen cerca de la posible demanda de calor. Es más, también se podría investigar el uso del calor residual que proviene de plantas de energía geotérmica existentes para DHC mediante cogeneración.

Se han desarrollado varias herramientas que ayudan a los responsables de las decisiones a nivel local y nacional a planificar el uso del potencial geotérmico. Algunas de estas herramientas, como los sistemas de información geográfica (SIG) en línea, se utilizan para estimar el potencial del recurso geotérmico según los datos disponibles. También se utilizan para estimar el potencial del uso del recurso definiendo otros parámetros relevantes, como las tecnologías más apropiadas, los centros de población existentes, la viabilidad económica y la infraestructura facilitadora existente como las redes de calefacción urbana. El recuadro 7 presenta algunos ejemplos de las herramientas de las que disponen los responsables de las decisiones para utilizar los recursos geotérmicos.

A nivel de proyecto, explorar y probar la existencia de un recurso geotérmico puede ser una actividad de un alto nivel técnico y con gran inversión de capital. La exploración geotérmica implica detectar la presencia de un recurso geotérmico adecuado en la subsuperficie, determinar su extensión física, cuantificar su contenido energético y establecer sus propiedades químicas. Esto se puede llevar a cabo a nivel nacional, regional, de reservorio o de proyecto. Las técnicas estándar para establecer la existencia de un recurso geotérmico incluyen la cartografía geológica, las mediciones geofísicas (*por ejemplo*, mediciones sísmicas, de resistividad y de gravedad), el análisis geoquímico y mediciones del flujo de calor.

Los datos que se obtienen a partir de estas técnicas se utilizan para inferir las condiciones geotérmicas de la subsuperficie, desarrollar un modelo conceptual geotérmico y estimar el potencial del recurso, todo ello seguido de la perforación. Es posible que los municipios no cuenten con la capacidad técnica necesaria para llevar a cabo estas tareas. Por ello, hay que comprometerse con socios capaces y eficaces para poder establecer el potencial técnico y comunicar claramente los riesgos y potenciales a los responsables de la decisión, la sociedad civil y los ciudadanos. A veces, la pericia necesaria para llevar a cabo esta exploración se puede encontrar en estudios geológicos provinciales, regionales o nacionales.

No obstante, se pueden conseguir y analizar datos geotérmicos utilizando programas de asistencia técnica ofrecidos por agencias provinciales, regionales, nacionales e internacionales, que podrían proporcionar este conocimiento y experiencia para analizar los datos geotérmicos Además, la guía *Geothermal Exploration Best Practice Guide*, publicada por la Asociación internacional geotérmica (IGA), propone las herramientas y técnicas más adecuadas que deben utilizar los desarrolladores geotérmicos a la hora de localizar, estimar el potencial y predecir las características de productividad de los recursos geotérmicos (IGA e IFC, 2014).

RECUADRO 7 HERRAMIENTAS PARA EVALUAR EL USO DEL POTENCIAL DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS

www.darlinge.eu/#:~:text=Welcome%20to%20the%20Danube%20Region%20Geothermal%20Information%20Platform%20(DRGIP)&text=DRGIP%20has%20two%20main%20parts,information%20on%20some%20selected%20topics.

- **Danube Region Geothermal Information Platform (DRGIP).** El proyecto DARLINGe desarrolló una metodología de estudio del recurso geotérmico en 6 países de la región del Danubio (Bosnia-Herzegovina, Croacia, Hungría, Rumanía, Serbia y Eslovenia). Los países socios ofrecieron los datos geotérmicos para el proyecto. Este era diverso en cuanto a contenido, formato, densidad y nivel de conocimiento. Los datos se utilizaron para determinar una geología regional generalizada de la llanura panónica, que se formó como resultado de una ampliación cortical y luego se llenó de material sedimentario. El sistema hidrotérmico, formado por fracturas en la roca básica y en las capas sedimentarias, así como las condiciones geotérmicas se caracterizan por un gradiente térmico promedio positivo 45 °C/km. También se desarrolló un modelo conceptual de la llanura panónica que definía la litología y porosidad de las capas sedimentarias superiores, así como la roca base, la distribución de la temperatura en la subsuperficie y el alcance del reservorio. De acuerdo con esta información, se evaluó a nivel regional el recurso geotérmico de esta región que cubre un área de aproximadamente 100 000 km² (Nador, A. *et. al*, 2019).

- **Base de datos de pozos perforados en Ginebra.** La compañía que perfora un pozo es responsable de informar a las autoridades relevantes de las características del subsuelo. *www.etat.ge.ch/geoportail/pro/?mapresources=GEOTHERMIE%2CGEOLOGIEGEOMOL%2CGEOLOGIE&hidden=GEOTHERMIE%2CGEOLOGIE_GEOMOL*

- **Plan de acción para el desarrollo de la calefacción urbana.** En Hungría, el plan de acción para el desarrollo de calefacción urbana ha evaluado el potencial para la calefacción urbana por geotermia, en el marco de una estrategia energética nacional. El plan de acción se centraba en la explotación de los recursos energéticos e incluía dos listados con ubicaciones potenciales para su desarrollo: el primero incluía los asentamientos con redes de calefacción urbana ya existentes, donde la fuente de calor actual podía reemplazarse con la energía geotérmica. El segundo incluía las ubicaciones donde la energía geotérmica satisfacía la demanda calorífica, lo que las convertía en puntos críticos para desarrollar redes de calefacción urbana basadas en recursos geotérmicos. Aunque estos listados sean producto de una investigación preliminar, se pueden usar como guía para evaluar más en profundidad el potencial de la región.

- **El visor interactivo y los servicios web de la Coal Authority.** BGS (servicio geológico británico) y Coal Authority (autoridad del carbón) han elaborado un mapa accesible en web que muestra la ubicación de minas abandonadas y sus gradientes de temperatura. *https://mapapps2.bgs.ac.uk/coalauthority/home.html*

RECUADRO 8 HERRAMIENTAS PARA EVALUAR EL USO DEL POTENCIAL DE LOS RECURSOS SOLARES TÉRMICOS

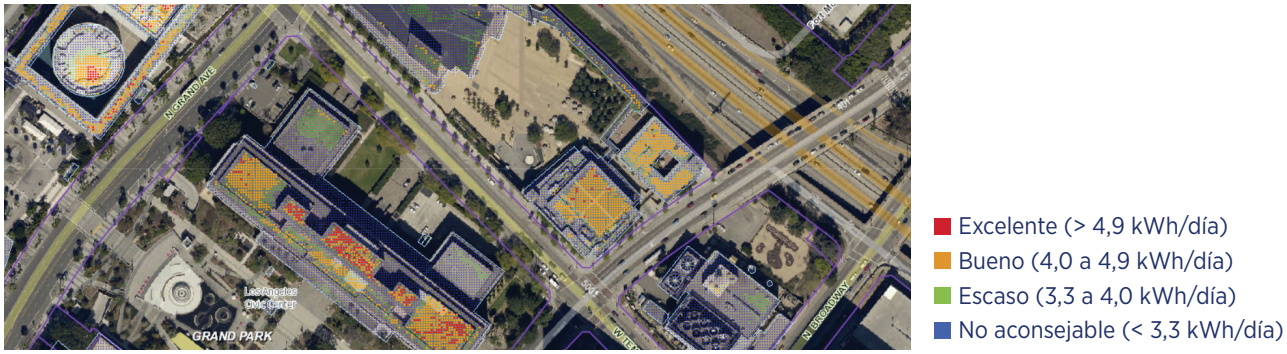
- Con el **software Meteonorm**, se pueden obtener datos sobre la radiación solar. *https://meteonorm.com/en/*
- La plataforma en línea **PVGIS (sistema de información geográfica sobre energía fotovoltaica)** ofrece datos sobre la radiación solar que se pueden usar para evaluar plantas solares térmicas. Aunque se haya creado para la energía fotovoltaica, esta plataforma permite el cálculo de la radiación solar en superficies inclinadas. *https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html*
- Los **mapas solares nacionales**, por ejemplo, aquellos desarrollados por institutos meteorológicos nacionales, se pueden usar como herramientas para la evaluación. Un buen ejemplo serían los datos disponibles en la agencia meteorológica de Australia. *www.bom.gov.au/climate/data-services/solar/index.shtml*
- El **Atlas mundial de energías renovables de IRENA** es una plataforma basada en web que permite a los usuarios ver mapas de diferentes recursos energéticos en diferentes ubicaciones e incluye mapas de radiación solar. *https://irena.masdar.ac.ae/gallery/#gallery*
- **Power Data Access Viewer** es una aplicación cartográfica basada en web que proporciona herramientas para visualizar, clasificar datos en subconjuntos y representar gráficamente, disponible en el centro de investigación de Langley, de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) de los Estados Unidos. *https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/*

Solar térmica

Para evaluar la viabilidad de plantas de calefacción (y/o refrigeración) urbana mediante energía solar, el primer parámetro que hay que considerar es el recurso solar disponible. Existen diferentes herramientas y software que pueden proporcionar esta información. Algunos de ellos se enumeran en el recuadro 8. El diseñador e instalador del sistema puede estimar la energía disponible para aprovechar en las áreas afectadas y decidir qué tecnología es la más adecuada. Hay que definir las ubicaciones disponibles para los colectores (y el almacenamiento). Se pueden considerar dos tipos de instalación de colectores: los que se montan en tejados y los que se montan en el suelo. La solución más económica suele ser la que se monta en el suelo, a menos que el precio del terreno sea elevado.

Además, la longitud del conducto hasta los lugares que demandan el calor no debe excederse demasiado para mantener un coste bajo (Schmidt y Miedaner, 2012). En lo que se refiere a colectores montados en tejados, se podrían crear catastros solares a nivel nacional, regional o local. Estos catastros son portales en línea que representan el potencial de energía solar de los tejados en ciudades y municipios. Permiten la extracción de conclusiones sobre la idoneidad de edificios individuales para la instalación de sistemas solares. Por ejemplo, el mapa solar del condado de Los Ángeles muestra el potencial de capacidad solar que tienen los tejados de los edificios en el condado de Los Ángeles (California), así como las instalaciones solares existentes y las ubicaciones de los proveedores de energía solar (Figura 25).

Figura 25. **Aplicación de mapa solar de tejados en el condado de Los Ángeles (Estados Unidos)**



Fuente: Los Angeles County (n.d.); https://apps.gis.lacounty.gov/solar/m/?viewer=solarmap

Calor residual

El potencial del calor residual para DHC depende de la demanda de calor y de la ubicación de las fuentes de calor residual. Un estudio de casos en Dinamarca mostró que, con la evaluación del calor residual por unidad de producción – en combinación con perfiles de temperatura específicos de la industria y el análisis espacial de los edificios –, el potencial no era coherente. De forma específica, las regiones industriales cercanas a ciudades de tamaño medio reciben una puntuación alta (Bühler *et al.*, 2017).

Se prevé que este sea el caso en otros países donde el calor residual esté más disponible cerca de complejos industriales, edificios de gran tamaño u otro tipo de infraestructura.

Entre los métodos utilizados para evaluar el potencial, se encuentran los estudios que incluyen cuestionarios, informes y bases de datos, y las estimaciones de enfoques combinados de arriba abajo y de abajo arriba. El recuadro 9 presenta algunos estudios y herramientas disponibles.

RECUADRO 9 HERRAMIENTAS PARA EVALUAR EL USO DEL POTENCIAL DE LOS RECURSOS DE CALOR RESIDUAL

- Los diferentes estudios llevados a cabo para recopilar datos sobre el calor residual industrial (o excedente de calor) y la estimación de su potencial a nivel nacional y por sector son herramientas útiles para explotar en mayor grado el excedente de calor y adaptar políticas estratégicas a nivel nacional o regional. No obstante, no cuentan con datos locales, que resultan vitales a la hora de identificar casos realistas y factibles para el uso del excedente de calor en la DHC (Brückner *et al.*, 2014; Miró, Brückner y Cabeza, 2015; Papapetrou *et al.*, 2018).

- El proyecto financiado por la UE ***Waste heat*** (calor residual) ofrece un manual para evaluar el potencial del calor residual y una serie de herramientas que tratan sobre inversiones, financiaciones y permisos.
  www.waste-heat.eu/

- El proyecto financiado por la UE ***ReUseHeat*** (reutilizar calor) evaluó el potencial del excedente de calor accesible en Europa a partir de cuatro fuentes: centros de datos, estaciones de metro, edificios del sector servicios y plantas de tratamiento de aguas residuales.
  www.reuseheat.eu/

- El ***Atlas térmico paneurope*** (Peta 4.3), desarrollado dentro del proyecto financiado por la UE *Heat Roadmap Europe*, proporciona datos espaciales sobre las fuentes de excedente de calor y las regiones con sinergia de calor.
  https://heatroadmap.eu/peta4/

- Herramientas y software sugeridos por la Oficina de eficiencia energética y energía renovable del Departamento de energía de EE.UU..
  www.energy.gov/eere/amo/articles/waste-heat-recovery-resource-page

- El ***proyecto Memphis*** proporciona una herramienta para cartografiar y evaluar el potencial de calor residual desde varias fuentes mediante el uso de datos de código abierto. Esto resulta extremadamente útil en la identificación de fuentes de calor residual más pequeñas y de menor grado.
  http://blogs.hawk-hhg.de/memphis/
  y
  http://cities.ait.ac.at/uilab/udb/home/memphis/

- El ***proyecto HotCity*** identifica el potencial de calor residual con un enfoque gamificado en el que los ciudadanos recopilan datos para cartografiar las fuentes de calor residual. Así, se pide a los ciudadanos que fotografíen, por ejemplo, chimeneas y sistemas de refrigeración de retorno, que realicen búsquedas en Internet, que completen estudios in situ, que usen mapas on line, etc.
  https://cities.ait.ac.at/projects/hotcity/
  (en alemán)

B.3.3 Cuantificación y evaluación de potenciales de ahorro de calor frente a suministro sostenible

Es importante tener en cuenta el ahorro energético a la hora de completar análisis para la SHCP. El ahorro de 1 kWh de energía puede ser más barato que el suministro de la misma cantidad. Un enfoque consiste en evaluar los costes marginales de diferentes medidas de ahorro energético e implantar las que son más económicas que el coste del suministro de energía sostenible. La figura 26 muestra este enfoque, que se puede aplicar a nivel nacional, regional o local.

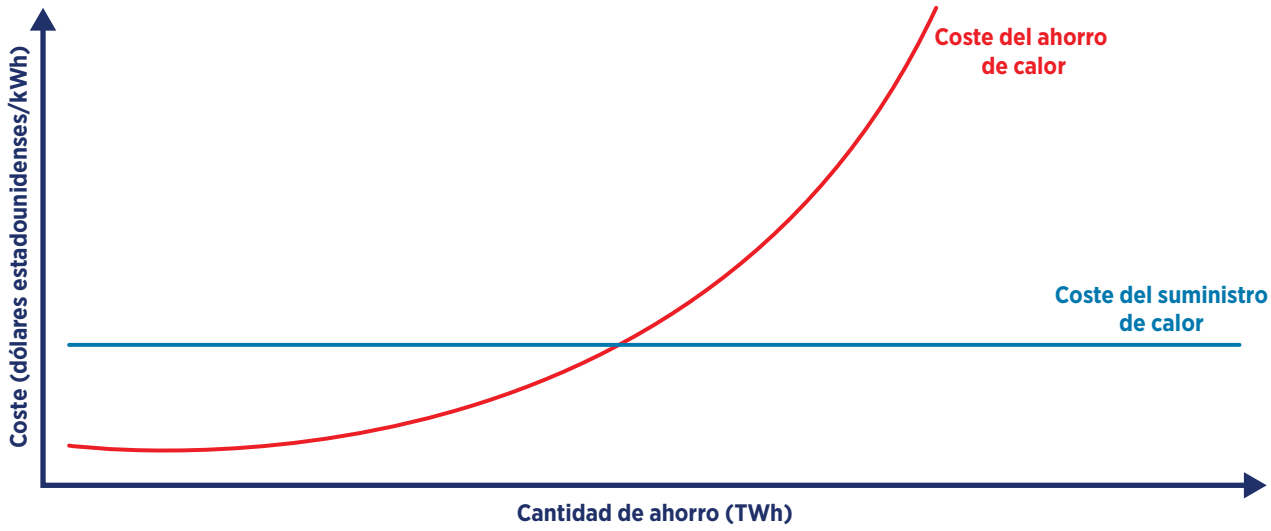
Las medidas de eficiencia energética tienen un efecto en la cadena de suministro (véase la figura 27). Una menor demanda energética se traduce también en menos capacidad necesaria en la distribución y generación del sistema energético. En el caso de proyectos de planificación o remodelación de redes de energía urbana, es de vital importancia incluir este concepto ya que se puede ir ajustando nueva infraestructura a nuevos niveles de demanda. Una menor demanda energética se traduce también en mayores cuotas de energía renovable y permite la transición de redes de energía de tercera a cuarta generación.

Las medidas de renovación de edificios se suelen implementar en plazos muy extensos debido a los elevados costes de inversión inicial, y no es siempre factible posponer la realización de un proyecto de energía urbana hasta haber alcanzado ciertos potenciales de eficiencia energética. Existen ciertas medidas aseguradas para conseguir ahorro energético (como los sistemas de control de calefacción y mediciones del calor), que permiten la facturación según consumo. Se trata de una herramienta eficaz para involucrar a los usuarios.

Se puede lograr la DHC aunque se introduzcan medidas de eficiencia energética. Tanto para redes existentes como nuevas, los edificios eficientes energéticamente pueden allanar de forma efectiva los picos y elevar el rendimiento y la viabilidad de la red de energía urbana en su conjunto. Se puede diseñar una nueva red de baja temperatura para edificios nuevos o reformados eficientes energéticamente. Esto permitirá la conexión de consumidores adicionales a la red y el descenso de la demanda pico de la red existente. El número relativamente bajo de horas por año con demanda pico suele ser el más caro en la calefacción urbana con respecto al gasto operativo y/o de capital. Esto se debe a que es posible que la capacidad requerida tenga pocas horas de carga completa al año (Trier *et al.*, 2018).

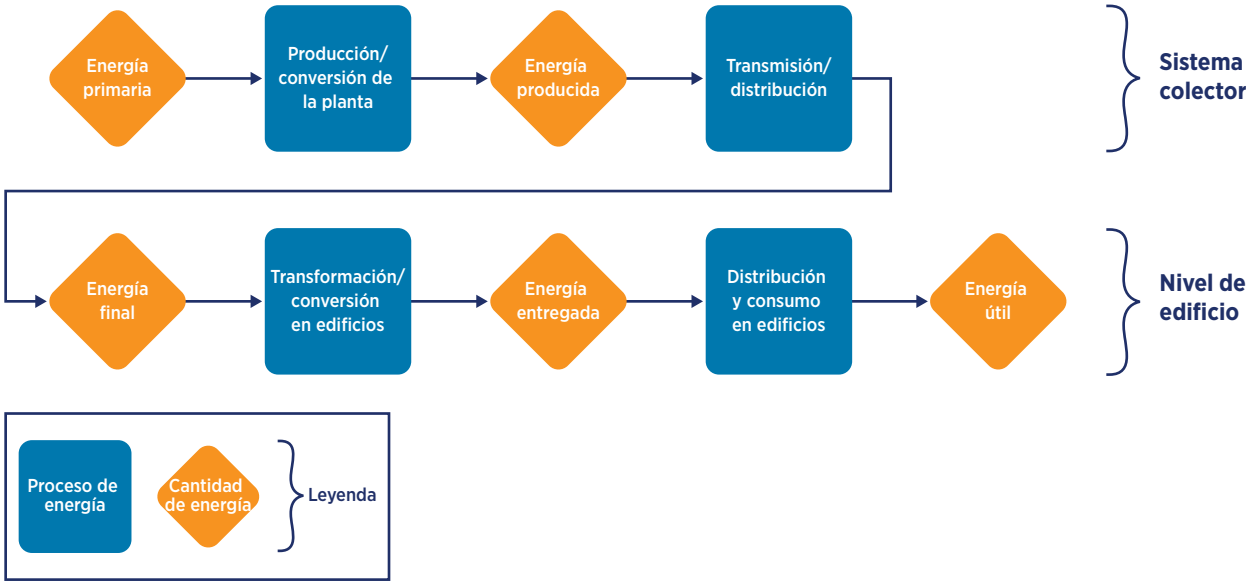
Una red de calefacción eficiente y que funcione bien facilitará la integración de fuentes de energía de baja temperatura. Estos tipos de sistemas de calefacción necesitan redes de calefacción urbana bien diseñadas, así como buenas conexiones de los consumidores e instalaciones funcionales para la preparación del ACS y la calefacción de espacios (Olsen, 2014).

Figura 26. **Enfoque para evaluar el nivel viable de ahorro energético**



Basado en: Paardekooper *et al.* (2018)

Figura 27. **Cadena de valor de la eficiencia energética desde la energía primaria hasta la energía útil**



Fuente: Mathiesen *et al.* (2019)

La transición hacia una red de calefacción urbana de nueva generación requiere un cálculo correcto de las dimensiones en cuanto a compatibilidad con el parque inmobiliario existente y el diseño correcto de redes y conexiones al consumidor. En áreas de nuevo desarrollo con edificios de bajo consumo energético, el desarrollo de redes de calefacción urbana de cuarta generación puede resultar especialmente adecuado. Sin embargo, en ciudades con una red de energía urbana ya existente, esto puede traducirse en la necesidad de adaptar instalaciones y modernizar edificios.

Se pueden anticipar tres situaciones principales: la modernización de un sistema de energía urbana ya existente, el desarrollo de un nuevo sistema de energía urbana en un área ya existente y un nuevo sistema de energía urbana en un área de nueva creación. Todas estas situaciones tienen las mismas características (ilustrado en la tabla 4).

Tal como muestra la tabla 4, la modernización de un sistema de calefacción urbana ya existente es la situación que supondrá los retos más significativos, ya que las instalaciones y la red se diseñaron para condiciones bastante diferentes. Los esquemas de las áreas urbanas nuevas serán los más sencillos de llevar a cabo, ya que tanto la red como los sistemas internos de los consumidores se pueden planificar para que funcionen con bajas temperaturas. Una nueva red en un área ya existente será un caso intermedio, ya que es posible diseñar la red para bajas temperaturas, pero será más problemático alterar las instalaciones de los consumidores en los edificios existentes.

La Parte B, Sección 4 presenta los principales elementos que deben tenerse en cuenta a la hora de evaluar y facilitar la compatibilidad de edificios ya existentes y redes de suministro de baja temperatura.

Tabla 4. **Escenarios de desarrollo para la calefacción urbana de nueva generación y modificaciones potenciales necesarias en los elementos del sistema**

	RED DE CALEFACCIÓN URBANA YA EXISTENTE	RED DE CALEFACCIÓN URBANA NUEVA
Área ya existente	**Adaptación** de las conexiones de los consumidores, subestaciones e instalaciones internas para la calefacción de espacios y el suministro de ACS. Posible necesidad de **modernizar** la red si esta no está sobredimensionada.	**Adaptación** de las conexiones de los consumidores, subestaciones y equipos para la calefacción de espacios y el suministro de ACS.
Área de nuevo desarrollo	Una temperatura de suministro baja es particularmente **adecuada** en edificios de bajo consumo energético con instalaciones de calefacción de baja temperatura, *por ejemplo,* calefacción por suelo radiante o radiadores de baja temperatura.	

B.3.4 Establecimiento de escenarios para el suministro de calor

El propósito de la estimación de demandas, suministro y potenciales para el ahorro energético es establecer un escenario que satisfaga estos límites y aproveche los recursos disponibles localmente. A la hora de establecer estos escenarios, es importante tener en cuenta varios elementos:

- el ámbito del análisis de sistemas de energía
- la perspectiva del análisis de sistemas de energía
- el marco temporal del análisis de sistemas de energía

Es importante considerar el ámbito, ya que la calefacción y la refrigeración no son partes separadas del sistema, pero deben considerarse en conexión con otros dominios energéticos, como el suministro de electricidad o gas y las demandas de transporte. Deben considerarse los potenciales del suministro, teniendo en cuenta todas las demandas energéticas, ya que habrá competición por los escasos recursos. El recuadro 10 presenta algunas herramientas de planificación evaluadas en el anexo TS1 de DHC de la AIE, incluida una herramienta de planificación simplificada para DHC que se ha desarrollado.

Es vital considerar la perspectiva del analista, ya que enfoques diferentes pueden arrojar resultados muy diferentes. Es importante diferenciar entre un análisis desde el punto de vista de la sociedad y desde una perspectiva comercial, ya que una perspectiva comercial basada meramente en los precios de mercado no tiene en cuenta todos los aspectos relevantes para una sociedad.

Una perspectiva social debería considerar aspectos como el cambio climático, la contaminación atmosférica y la creación de puestos de trabajo (Djørup *et al.*, 2019b). Tales aspectos se pueden etiquetar como factores externos. Los factores externos pueden ser difíciles de evaluar y cuantificar (especialmente, asignar un valor monetario) y, por definición, no se incluyen en los precios de mercado, que no suelen ser suficientes para un análisis exhaustivo del potencial socioeconómico.

La inclusión de todos los factores externos solo es posible en la teoría, no en la práctica. Es probable que tales evaluaciones se vean influenciadas por asuntos locales, formas de contabilidad, urgencia de impactos, etc. A continuación, se enumeran dos formas de abordar esta cuestión:

- Dejar claras y disponibles las hipótesis utilizadas en las evaluaciones. Esto permitirá la transparencia y un debate democrático sobre si es razonable o no. Y no será posible si no se formulan claramente.

- Llevar a cabo evaluaciones técnicas y económicas en varios pasos. Esto también subraya la importancia de los factores externos y mostrará, en el análisis, el lugar en el que suponen un impacto.

La evaluación socioeconómica debe valorar las posibles opciones de suministro desde una perspectiva social y ofrecer directrices a las autoridades locales y nacionales sobre los escenarios técnicos en consonancia con los objetivos y el alcance establecido en la SHCP (véase Parte B, Sección 1). Tras realizar una evaluación socioeconómica de los posibles escenarios para el suministro de calor, se puede comparar con una evaluación económica empresarial. Si las dos evaluaciones están alienadas y arrojan resultados similares, los inversores también podrán seguir adelante e invertir en los escenarios más viables para la sociedad. Si no están alineadas y ofrecen resultados diferentes (como suele ser el caso), serán los responsables políticos quienes deban evaluar dónde surgen los conflictos y por qué los dos análisis no llegan a la misma conclusión. Lo más posible es que este análisis apunte hacia los factores externos que es importante internalizar en los precios de mercado u otras barreras que entorpecen el desarrollo de nuevas tecnologías sostenibles.

> "Los escenarios de suministro de calor reflejan su marco temporal y ámbito analítico subyacentes"

RECUADRO 10 HERRAMIENTAS PARA LA PLANIFICACIÓN DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN URBANA

- Los modelos de sistemas de energía simulan el movimiento de la energía desde su fuente primaria hasta su transformación en energía útil y su transmisión hasta el uso final.

  EnergyPLAN: Un modelo ampliamente extendido para simular el funcionamiento de varios sectores en sistemas de energía nacionales.
  https://energyplan.eu

  EnergyPRO: Una herramienta para analizar proyectos energéticos desde el punto de vista medioambiental y financiero que facilita la toma de decisiones en el desarrollo de plantas energéticas nuevas.
  www.emd.dk/energypro/

  KOPTI: Un modelo para estimar la producción de energía en una ubicación donde se va a implantar calefacción urbana.

  TIMES Local: Un modelo que ofrece soluciones para la preparación de proyectos energéticos a largo plazo. Ayuda a una planificación rentable de sistemas de energía sostenibles.
  https://iea-etsap.org/

- Existen algunos factores que son complementarios en la modelización de los sistemas de energía, como la modelización termodinámica de las redes de calor, sus características hidráulicas y termodinámicas y los diferentes niveles de temperatura de las energías renovables necesarios para su incorporación a la red de calor.

  Termis: una herramienta para modelizar el funcionamiento de una red de calefacción urbana mediante la simulación de las condiciones operativas según datos de la red en tiempo real.
  https://it.kelvin.pl/en/termis-district-heating-network-management-system

- Otras herramientas de utilidad incluyen ***District Energy Concept Adviser***, que compara diferentes conceptos de energía (*por ejemplo*, calefacción urbana local y calderas de gas por condensación); ***EME Forecast***, un modelo en serie cronológica que prevé cargas de calor y electricidad; y ***Exergy Pass Online***, una herramienta analítica para la exergía del consumo de recursos por parte de los edificios.

- El **anexo TS1 de DHC de la AIE** ha desarrollado ***Easy District Analysis (EDA-Tool)***. EDA-Tool se basa en una evaluación de 12 herramientas y está prevista para su uso por parte de planificadores urbanos y empresas de suministros. Se puede utilizar para analizar aspectos energéticos, económicos y ecológicos de sistemas de energía de baja temperatura para comparar con otros sistemas de suministro de calor. EDA-Tool también se puede usar para evaluar distritos enteros.

- ***Thermos*** es una herramienta en desarrollo que combina datos y modelos de los sistemas de energía más modernos en una aplicación en web de código abierto y fácil de usar que utiliza mapas.
  www.thermos-project.eu/

  El proyecto financiado por la UE ***INDIGO*** ha desarrollado una herramienta de planificación independiente de código abierto para evaluar el rendimiento, los beneficios y el potencial de una red de refrigeración urbana. Esta herramienta permite el análisis de una red de refrigeración en un área definida que incluya un grupo de edificios.
  www.indigo-project.eu/

- La ***herramienta de planificación de INDIGO IndPT***: Un modelo para evaluar el impacto financiero y medioambiental de las redes de refrigeración urbana.
  https://zenodo.org/record/3891384

Resumen de desafíos y recomendaciones para evaluar y mapear la demanda de calefacción (y refrigeración) y los recursos energéticos

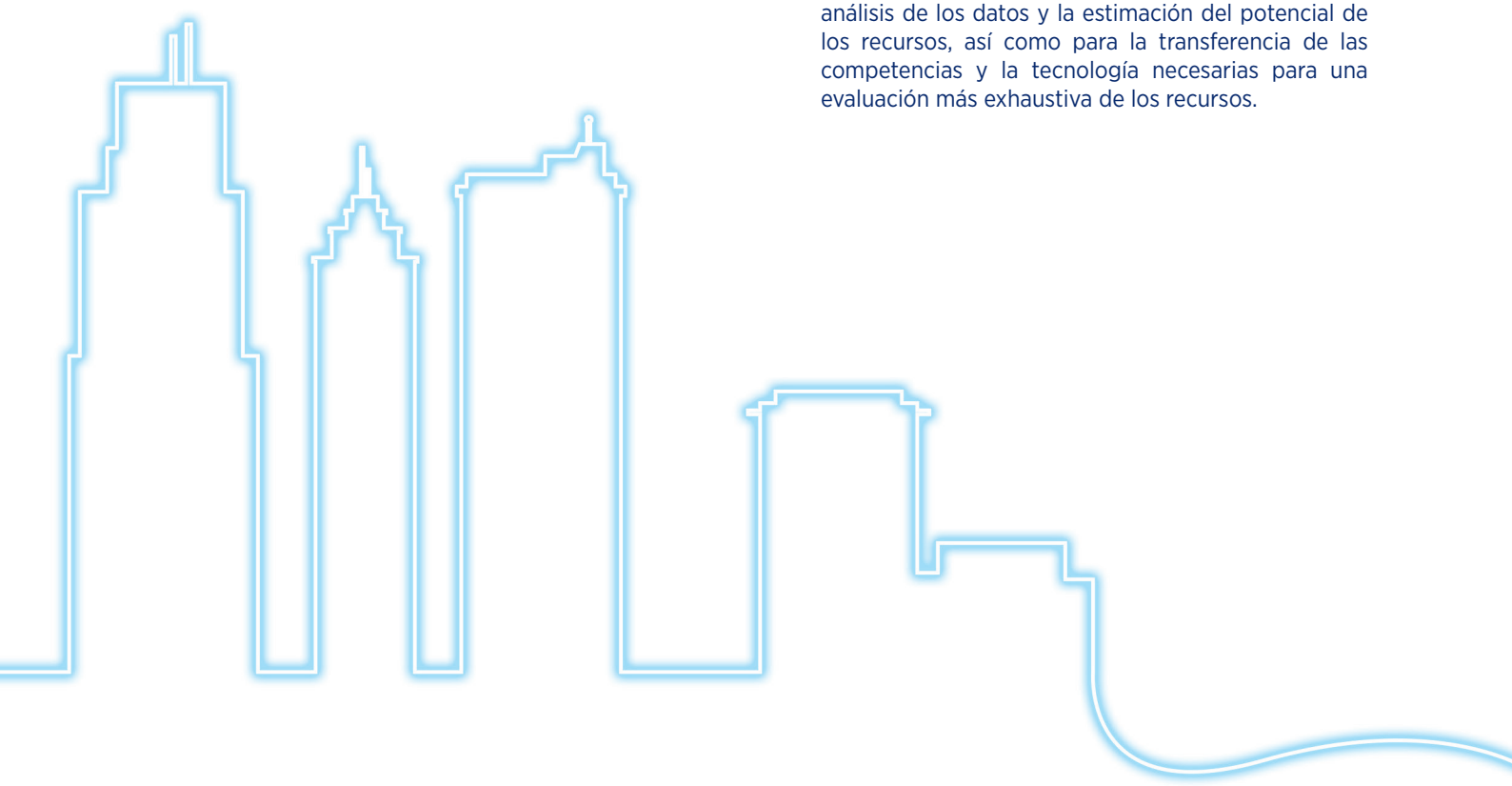
En este paso se ha descrito una metodología para la realización de una evaluación técnica del suministro de calefacción y refrigeración. La recopilación de información sobre la demanda, el suministro y los posibles ahorros —y la estimación de un equilibrio entre estos elementos— es importante. Estas actividades pueden llevarlas a cabo las autoridades para facilitar el desarrollo de sistemas de energía urbana.

- Medir la demanda real de calefacción y refrigeración para generar conocimientos sobre la distribución espacial y temporal del consumo. Esto generará seguridad para apoyar la inversión en proyectos de energía urbana con un costo de capital elevado y propiciará la medición y la facturación individuales, que son incentivos para reducir el consumo energético (especialmente en horas o estaciones pico) y para la colaboración de los consumidores. Si no se dispone de mediciones reales, modelar o estimar la demanda para aportar información para la toma de decisiones. Existen herramientas disponibles como los sistemas de información geográfica (SIG) desarrolladas para evaluar la interacción entre las demandas de calor (incluyendo los niveles de temperatura), la infraestructura disponible y los recursos de calor que deben promoverse o bien crearse si no los hubiera.

- Identificar y cuantificar los recursos de energías renovables disponibles localmente para la calefacción y la refrigeración. Existen varias herramientas disponibles que han sido desarrolladas para cuantificar los recursos energéticos locales y respaldar la toma de decisiones mediante la asociación de los recursos con la demanda.

- Considerar el potencial de ahorro de energía del sistema energético actual antes de desarrollar nueva infraestructura de suministro. Si la aplicación de medidas de eficiencia energética tiene un costo marginal inferior al del desarrollo de nueva capacidad de suministro, debe ejecutarse esta opción. No obstante, las medidas de eficiencia energética no son un sustituto de los sistemas de DHC, sino que se complementan mutuamente a largo plazo.

- Tomar decisiones sobre los escenarios técnicos para la calefacción y la refrigeración que se han de implantar con base, no solo en consideraciones empresariales o económicas, sino también, y más importante, en consideraciones socioeconómicas. Esto garantizará que los proyectos aborden objetivos sociales más amplios como la descarbonización, la creación de empleo y la mitigación de la contaminación atmosférica. En el caso de fuentes de energía como la geotérmica, que son muy especializadas y para las que puede haber escasez de expertos en materia de evaluación y cuantificación entre la fuerza de trabajo de las autoridades locales, utilice las mejores prácticas sectoriales y los servicios de asistencia técnica de empresas o instituciones especializadas para el análisis de los datos y la estimación del potencial de los recursos, así como para la transferencia de las competencias y la tecnología necesarias para una evaluación más exhaustiva de los recursos.



B.4 Integración del suministro a baja temperatura en los edificios existentes y en las redes de calefacción urbana

Desde un punto de vista técnico, la integración de nuevas fuentes de calor en los sistemas de energía urbana existentes está influenciada, en gran medida, por la diferencia de temperatura entre la temperatura de trabajo prevista en el diseño del sistema y la fuente de calor. Por ejemplo, los recursos geotérmicos de temperatura media y alta no presentan ningún impedimento en lo que respecta a su integración en los sistemas y edificios existentes. No obstante, tal vez sea necesario realizar ajustes si la temperatura de la fuente de calor es inferior a la temperatura de trabajo de la red.

Los retos técnicos que surjan con el despliegue de un sistema de calefacción urbana de cuarta generación que trabaje con temperaturas de distribución inferiores a las de generaciones anteriores (por encima de los 70° C en las generaciones primera a tercera) pueden derivarse de la red de tuberías o del parque inmobiliario, y dependerán de qué aplicación se pretenda cubrir (Volkova, Mašatin y Siirde, 2018).

La transición hacia la calefacción urbana de nueva generación exige, ante todo, un análisis de la compatibilidad con las conexiones de los consumidores. Además, es necesario considerar el parque inmobiliario, el diseño adecuado de la red y una estrategia de renovación de los edificios coherente con una estrategia para la transición hacia un suministro sostenible y a baja temperatura. Todo ello servirá para garantizar una descarbonización costo-eficiente y para evitar efectos condicionantes de soluciones que no sean compatibles con los objetivos a largo plazo (*por ejemplo,* calderas de gas de condensación). Esta evaluación también es una oportunidad para considerar la forma de integrar la refrigeración en el sistema de calefacción urbana existente.

En las siguientes secciones se detallan los retos técnicos que hay que tener en cuenta para evaluar estas compatibilidades y las posibles soluciones.

B.4.1 Evaluación de la compatibilidad con el parque inmobiliario existente

Subestaciones de calefacción urbana

Las subestaciones de calefacción urbana (o estaciones de transferencia de energía) enlazan la red de calefacción urbana con las instalaciones de los consumidores. Su función es transferir la energía térmica entre ellos abasteciendo el sistema de calefacción y la preparación del ACS del edificio.

Para lograr temperaturas bajas en el sistema, es crucial conseguir un rendimiento adecuado de la subestación, pero suele fallar. Los fallos obligan a los operadores de calefacción urbana a mantener temperaturas de suministro más altas de lo necesario y causan temperaturas de retorno superiores a las necesarias. Arreglar estos errores debe considerarse una prioridad si se han de disminuir las temperaturas. Para la detección temprana de fallos en la temperatura, habría que instalar sistemas de medición automática que permitan una supervisión continuada de las subestaciones (Frederiksen y Werner, 2013; Gadd y Werner, 2014). Otra ventaja de la supervisión de las subestaciones es que permite la facturación según el consumo realizado (Banco Mundial, 2012; Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo, 2018).

En comparación con las calderas centrales de combustibles fósiles, una gran ventaja de las subestaciones de calefacción urbana es que necesitan mucho menos espacio en los edificios, tal como se muestra en la fotografía 5.

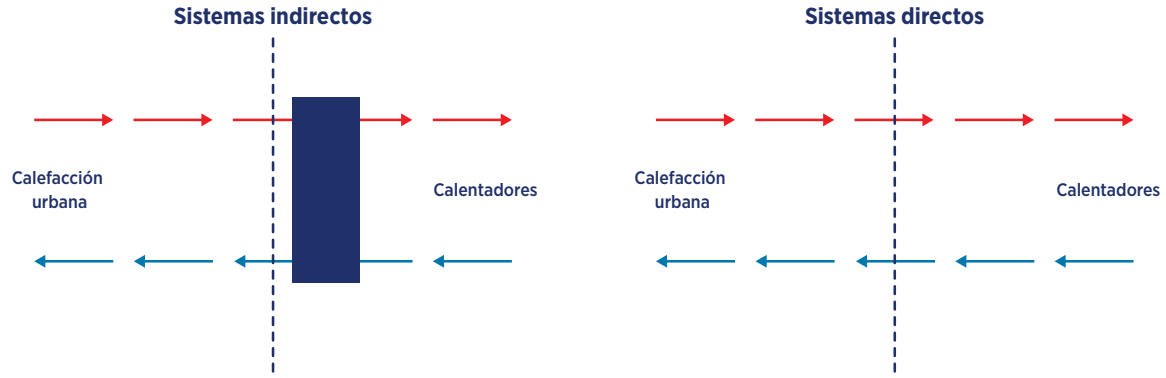
Existen múltiples variantes de subestaciones de calefacción urbana (véase, por ejemplo, Frederiksen y Werner, 2013). No obstante, este informe solo abordará las dos categorías más comunes: conexiones directas y conexiones indirectas, tal como se muestra en la figura 28. La tabla 5 enumera sus ventajas e inconvenientes respectivos. Obviamente, los sistemas directos solo se podrán aplicar cuando el consumidor cuente con un sistema hidrónico de calefacción. En el caso de los sistemas de calefacción por aire, como la comunidad canadiense Drake Landing Community (Dalla Rosa *et al.*, 2014), solo se podrán aplicar conexiones indirectas.

Fotografía 5 **Calderas de gas en una sala de calderas de gas (izquierda) y una subestación en un edificio en Bélgica (derecha)**

Fuente: Shutterstock

Fuente: Luis Sánchez-García

Figura 28. **Esquema de sistemas de calefacción de espacios directos e indirectos**



Fuente: Frederiksen y Werner (2013)

Tabla 5. **Ventajas y desventajas de las subestaciones directas e indirectas**

TIPO DE SUBESTACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Directa	• Pueden funcionar con temperaturas más bajas, ya que no hay intercambiador de calor y, por lo tanto, no hay penalización de temperatura. • Son bastante sencillos, por lo que hay menos probabilidad de error. • Son más económicos debido a su arquitectura más sencilla.	• Las presiones en la red de calefacción urbana se limitan a la presión máxima que aguanten los sistemas de calefacción de los consumidores. • Las fugas pueden provocar más daños, ya que existe un suministro casi interminable de agua de la red.
Indirecta	• Existe un límite claro entre las instalaciones de calefacción urbana y las instalaciones de calefacción de los consumidores. • Permiten presiones más elevadas en la red. • Es menos probable que se produzcan fugas de la red en las instalaciones de los consumidores.	• Su precio es más elevado a causa de su arquitectura más compleja: requieren una bomba, un tanque de expansión y un sistema de control. • Son más proclives a errores.

Fuente: Frederiksen y Werner (2013)

Calefacción de espacios

Las temperaturas necesarias para ofrecer calefacción en una vivienda o instalación del sector terciario (sector comercial y de servicios) dependen de una serie de parámetros: el aislamiento térmico de los edificios, el equipamiento de calefacción, el sistema de control y el comportamiento de los consumidores. En el caso de sistemas de calefacción central individual, el equilibrio hidráulico es también un parámetro importante. Por lo tanto, una reducción de las temperaturas de suministro en el sistema de calefacción de un edificio tendrá que abordar todos estos elementos.

Primero, los edificios con un aislamiento deficiente no solo consumen más energía para la calefacción y la refrigeración, sino que también llevan a cargas pico más elevadas, ya que su inercia térmica es bastante baja (Frederiksen y Werner, 2013). La inercia térmica juega un papel importante en la carga instantánea de un sistema, ya que los edificios con un aislamiento deficiente aumentan la demanda de energía justo después de una caída de la temperatura exterior, mientras que los edificios con un buen aislamiento tardan más en reaccionar.

La remodelación del parque inmobiliario puede traer consigo una disminución de los requisitos energéticos y una caída significativa de las cargas pico. También permite más descensos de las cargas pico gracias a la gestión de la respuesta a la demanda (Pedersen, Hedegaard y Petersen, 2017; Johra, Heiselberg y Dréau, 2019). En este último caso, el edificio se puede precalentar para evitar picos, lo que permite temperaturas más bajas durante todo el año. En este contexto, y a la hora de implantar políticas de renovación de edificios, los responsables políticos deben priorizar los edificios mal aislados y los mayores consumidores. Un enfoque a nivel urbano en la remodelación de edificios que priorice los grandes consumidores, como las viviendas sociales y los edificios públicos, puede representar también una oportunidad para conseguir que la mayor parte de la demanda se satisfaga con un nuevo sistema de calefacción y/o refrigeración urbana.

Otro beneficio de la reducción de la carga de calefacción tras la renovación de un edificio sería la reducción de las temperaturas necesarias en los equipos de calefacción, ya que las cargas de calor más elevadas requieren temperaturas más elevadas de los mismos emisores.

Segundo, es posible que los aparatos de calefacción se hayan diseñado para las temperaturas más altas permitidas por los combustibles fósiles, ya que las temperaturas más altas representan tamaños más pequeños de los aparatos de calefacción y, por lo tanto, menores costes de inversión. Este problema puede surgir independientemente de los equipos de calefacción específicos utilizados para calentar un edificio, ya sea un sistema hidrónico o por aire. En cualquier caso, será necesario un tipo de intercambiador de calor entre la red de calefacción urbana y el aire interior, por ejemplo, radiadores en un sistema hidrónico. Como caso específico, hasta la década de los 80 en Suecia, los radiadores se diseñaron para temperaturas que oscilaban entre 60 °C y 80 °C (Frederiksen y Werner, 2013).

La consecuencia de calcular de forma insuficiente las dimensiones de un equipo de calefacción es que los fluidos de baja temperatura solo se podrán usar durante las partes más suaves de la estación de calefacción (Østergaard y Svendsen, 2016a; Tunzi *et al.*, 2016; Østergaard y Svendsen, 2016b). Las normativas para la construcción de nuevas edificaciones y reformas deben promover el cálculo de tamaños más generosos para los equipos de calefacción, ya que así se podrán emplear fluidos a menor temperatura. Por ejemplo, la nueva regulación española para instalaciones de calefacción, que aún se está debatiendo, exigirá una temperatura de suministro máxima de 60 °C (España, 2020).

Se pueden tomar una serie de medidas para abordar la cuestión del tamaño insuficiente de equipos de calefacción. Entre estas se incluyen renovaciones, como la renovación de edificios mencionada anteriormente, que supondrían cargas de calor menores y, por lo tanto, permitirían directamente el uso de temperaturas más bajas. Además, los cambios en los equipos de calefacción se pueden implementar tanto si el edificio está remodelado como si no. Finalmente, se pueden realizar las alteraciones tanto en los aparatos en sí como en los equipos de control o en los patrones de los consumidores, que se abordarán a continuación.

La calefacción por suelo radiante es idónea para una temperatura de suministro baja (Averfalk y Werner, 2017; Schmidt *et al.*, 2017). No obstante, requiere una amplia remodelación que puede ser excesivamente costosa. Además, si el equipo de control no fuera el adecuado, las temperaturas de retorno podrían ser más altas de lo esperado. La instalación de radiadores de mayor tamaño podría suponer los mismos beneficios que una temperatura de funcionamiento más baja a un coste menor. Estos dispositivos pueden funcionar con temperaturas bajas de forma arbitraria y son capaces de retornar el agua de la calefacción urbana a temperaturas ligeramente superiores a la temperatura ambiente. Sin embargo, hay que formular algunas advertencias con respecto a los radiadores: hay que evitar los convectores y emplear radiadores con panel superior para permitir una refrigeración suficiente del agua (Svendsen, Østergaard y Yang, 2017).

Otra opción podría ser el uso de calefacción por aire, ya que se suele suministrar a temperaturas ligeramente superiores a la temperatura de referencia. Pero, debido al perfil de temperatura diferente dentro de una habitación, la calefacción por aire no puede lograr los mismos niveles de confort que los radiadores o la calefacción por suelo radiante (Nilsson, 2003).

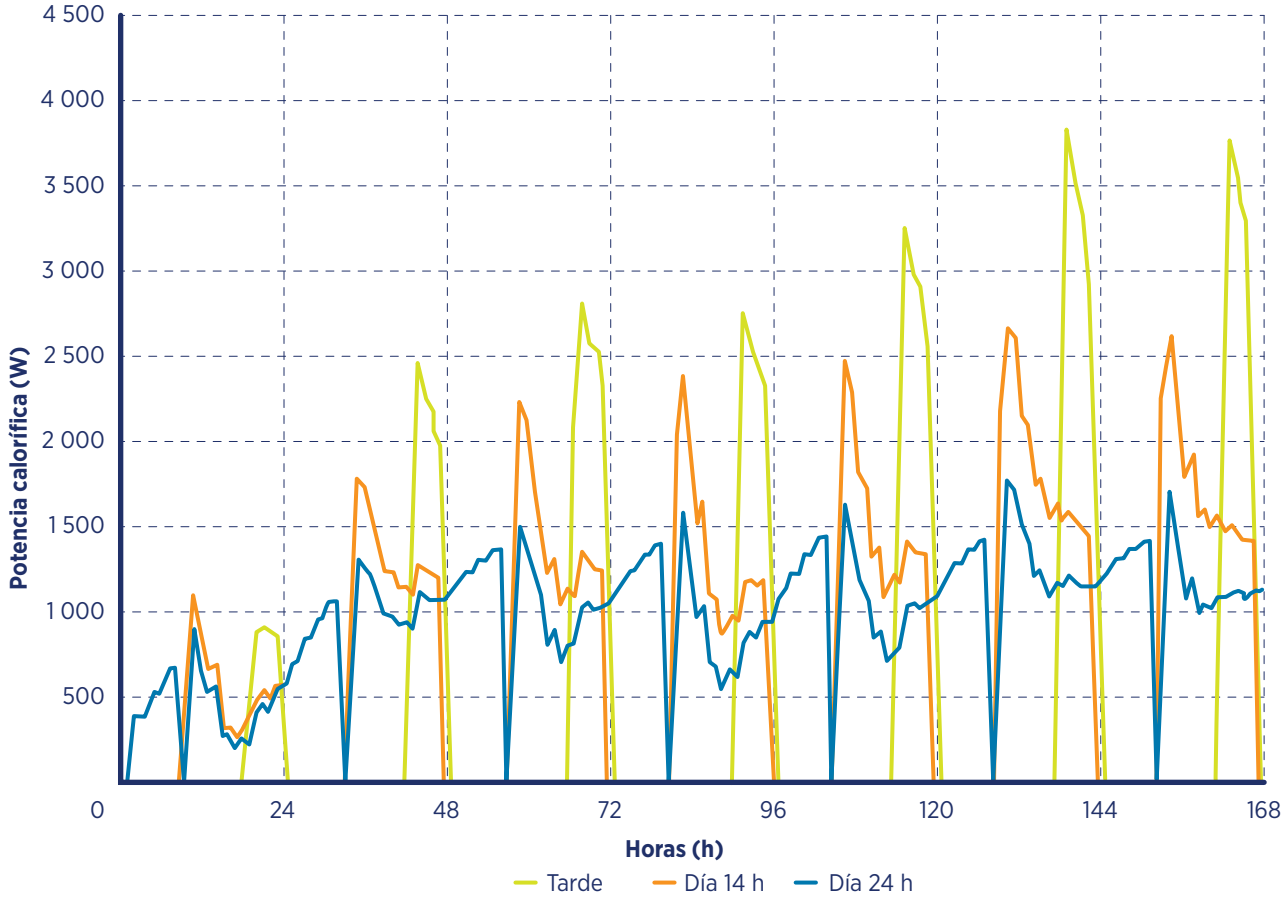
El equipo de control es crucial para el funcionamiento correcto de un sistema de calefacción. Las válvulas termostáticas y las válvulas de equilibrado automático cumplen esta función correctamente. Ajustan el flujo hasta un radiador y proporcionan la potencia calorífica necesaria, con lo que mantienen la temperatura interior establecida, pero también minimizan la temperatura de retorno a la red de calefacción urbana (Tunzi *et al.*, 2016; Zhang.*et al.*, 2017). Su ausencia puede ocasionar falta de confort, ya que la temperatura interior puede no ser suficiente o ser excesiva, y es posible que no se logre una refrigeración adecuada del agua de retorno. Esto último puede tener graves consecuencias en el rendimiento de la red de calefacción urbana, ya que es posible que la red no pueda aguantar el incremento del flujo.

El comportamiento de los usuarios también puede dificultar la implantación de sistemas de baja temperatura. Un problema frecuente es el uso de periodos de supresión de calefacción. Estos ofrecen una reducción del consumo energético cuya magnitud se verá influida en gran medida por el aislamiento térmico, pero el sistema de calefacción experimentará una carga mayor una vez que se vuelvan a conectar (Frederiksen y Werner, 2013). Se pueden observar ejemplos de este tipo de comportamiento en las redes de calefacción urbana italianas (Noussan, Jarre y Poggio, 2017; Manente *et al.*, 2019) o en los hogares belgas (Jebamalai, Marlein y Laverge, 2020). En este caso, los radiadores necesitarán temperaturas más altas de lo necesario, lo que supondrá una menor eficiencia y flexibilidad de la red (o costes más elevados en infraestructura para garantizar la flexibilidad deseada).

La figura 29 describe la potencia calorífica que requiere una vivienda con diferentes programaciones de calefacción y muestra cómo la potencia calorífica (y, con ello, la temperatura) es bastante más elevada cuando se aplican periodos de supresión de la calefacción. Por ejemplo, en la programación de tarde, el sistema de calefacción está activo durante unas pocas horas al día (5 horas).

Cuando se activa, el sistema no solo tiene que superar las pérdidas de calor, sino que también debe calentar el edificio. Si el sistema de calefacción funcionara durante periodos más largos, como en las programaciones de 14 o 24 horas, el equipo de calefacción solo tendrá que proporcionar calor para compensar las pérdidas caloríficas.

Figura 29. **Potencia calorífica que requiere un piso mal aislado con diferentes programaciones de calefacción**



Basado en: Frederiksen y Werner (2013)

La ciudad de Ravne na Koroškem en Eslovenia es un ejemplo en el que un cambio en las horas de uso ha llevado a una reducción en las temperaturas de suministro. La ciudad ha reducido la temperatura de suministro de 130 °C a 80 °C aumentando el número de horas de funcionamiento de los sistemas de calefacción.

Además, la red de calefacción urbana utiliza el excedente de calor generado durante la refrigeración del horno de arco eléctrico situado en una acería cercana (que antes se vertía al medioambiente a través de torres de refrigeración). Esta cantidad representa cerca del 40 % de todo el calor distribuido a los consumidores de la ciudad, y se prevé que esta cuota aumente a más de la mitad del total de la demanda de calor (utilizando también tubos termoconductores para recuperar el calor de procesos industriales). En la ciudad de Antwerp (Bélgica), el operador de calefacción urbana quiso abastecer a los edificios a una temperatura de 70 °C. La temperatura de suministro habitual ofrecida por las calderas de gas antes de conectarse a la red de calefacción urbana era de 90 °C. El descenso de la temperatura se logró eliminando los periodos de supresión de la calefacción.

Otra cuestión que señalan las investigaciones es el uso inadecuado de las válvulas termostáticas de radiador (VTR). La mayoría de los consumidores ignoran la forma en que deben usarse (Liao, Swainson y Dexter, 2005). Los usuarios suelen modificar la temperatura establecida constantemente, lo que conlleva una refrigeración (y/o calefacción) escasa y una falta de confort. Existen dos soluciones a este problema: las VTR electrónicas, en las que el consumidor indica la temperatura ambiente deseada, y los limitadores de temperatura que se instalan en la salida del radiador.

Los diferentes retos técnicos detallados se han analizado de forma independiente. No obstante, existen importantes sinergias entre ellos, ya que una mejora del aislamiento térmico permite una reducción de las temperaturas de un radiador sin necesidad de otras medidas.

> "Los responsables políticos deben integrar los planes de renovación de los edificios, cambio de suministro y modernización de la red con el fin de lograr un nivel de rendimiento óptimo"

Preparación de agua caliente sanitaria

Existen varias formas de producir agua caliente sanitaria (ACS). Por ejemplo, algunas subestaciones incorporan varios intercambiadores de calor instalados en cascada para aprovechar el flujo de retorno de la red de calefacción (Frederiksen y Werner, 2013). En aras de la simplicidad, este informe se centrará en las más comunes.

Independientemente de la forma de preparación de ACS específica, se pueden categorizar de la siguiente manera: preparación instantánea o con almacenamiento. En el primer caso, el agua caliente se produce y se consume casi instantáneamente, mientras que en la segunda opción, la producción está disociada del consumo. Dos opciones bastante habituales son los intercambiadores térmicos de placas para la producción instantánea y los tanques de agua para la preparación con almacenamiento (Fotografía 6).

En los tanques de agua, el agua de la calefacción urbana suele circular por una bobina interna que calienta el agua almacenada, aunque también es posible emplear un intercambiador térmico de placas con el mismo propósito (Christiansen *et al.*, 2012). La fotografía 6 muestra dos subestaciones con un tanque de agua caliente y un intercambiador térmico de placas para la preparación de ACS.

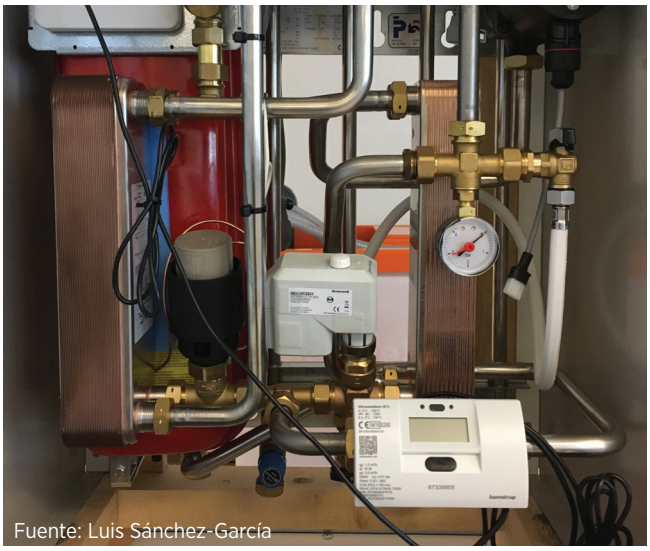
Los tanques de agua suponen dos retos en los sistemas de baja temperatura. Primero, necesitan temperaturas más altas (por encima de los 60 °C) para evitar la proliferación de bacterias (como la legionela), siempre que no se empleen otros tratamientos (Yang, 2016). Este requisito dificulta el uso de temperaturas por debajo de 65-70 °C. Al mismo tiempo, el agua de retorno que sale de los tanques de agua está apenas por debajo de los 30 °C (Thorsen y Kristjansson, 2006).

En un sistema de energía urbana, la energía entregada en un momento dado es el producto de la circulación del flujo por la red y la diferencia de temperatura entre el agua de suministro y la de retorno. Para una cierta cantidad de energía, cuanto mayor sea la diferencia de temperatura, menor será el flujo, y viceversa. Por lo tanto, resulta esencial mantener una temperatura de retorno baja que permita una reducción de la temperatura del suministro sin causar flujos demasiado elevados.

Una temperatura de retorno de los tanques de agua relativamente elevada produce un pequeño cambio de temperatura en la red de calefacción urbana. Por consiguiente, requerirá mayores flujos, bombas más grandes y un consumo más elevado de electricidad del bombeo (Thorsen y Kristjansson, 2006), lo que comprometerá la capacidad de la red de abastecer las demandas de los consumidores durante los picos de invierno.

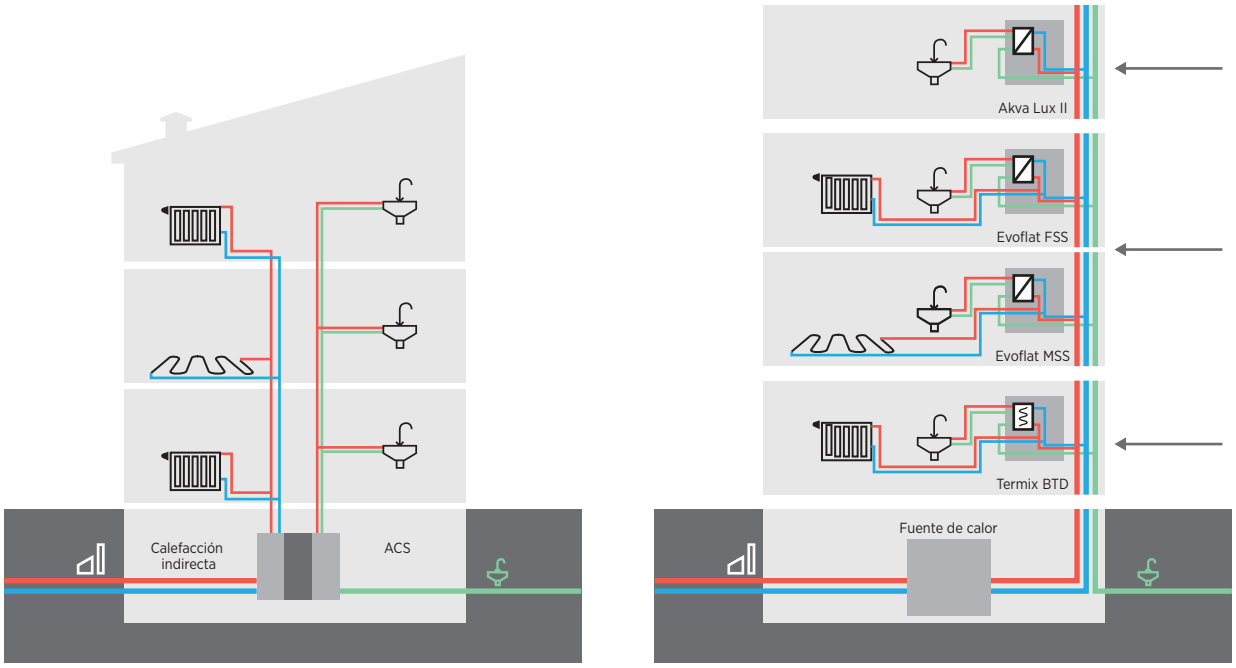
Fotografía 6 **Ejemplos de tanque de agua (izquierda) e intercambiador térmico de placas (derecha) para la preparación de ACS**

Fuente: Shutterstock



Fuente: Luis Sánchez-García

Figura 30. **Preparación de ACS al nivel de un edificio (izquierda) y al nivel de un piso (derecha)**



Fuente: Danfoss (www.danfoss.com/)

Por el contrario, la preparación de ACS instantánea resulta idónea para redes de baja temperatura, ya que los intercambiadores térmicos de placas pueden funcionar con temperaturas de suministro de hasta 50 °C, siempre que el volumen entre la subestación y el grifo sea inferior a tres litros (Brand, 2014) y, simultáneamente, retornan el agua de la red de calefacción urbana a temperaturas muy cercanas a la temperatura del agua potable recibida (Thorsen y Kristjansson, 2006).

No obstante, la producción instantánea requiere flujos más elevados en los conductos de conexión[7] entre la red de distribución y el consumidor y, por lo tanto, mayores diámetros.

7 Estos conductos de conexión suelen denominarse acometidas.

En cuanto al punto de preparación, el ACS se puede producir y almacenar de forma centralizada, a nivel de edificio, o en cada vivienda, como se muestra en la figura 30. En el primer caso, se necesita un sistema de circulación para mantener una temperatura adecuada en el punto de consumo más lejano. Por desgracia, estos sistemas presentan inconvenientes similares a los de los tanques de agua: se necesitan temperaturas elevadas para evitar el crecimiento de bacterias en el gran volumen de conductos de circulación y, por lo tanto, se pierde parcialmente el beneficio potencial que aporta el uso de intercambiadores térmicos de placas para la preparación de ACS. Es más, son mucho menos eficientes, ya que una parte considerable de la energía se pierde en el sistema de circulación (Bøhm, 2013). Los sistemas de circulación no son necesarios en la preparación descentralizada con subestaciones por vivienda.

Por consiguiente, el método preferido para aprovechar al máximo las ventajas del suministro a baja temperatura en redes de energía urbana es la preparación descentralizada con intercambiador térmico de placas (Lund *et al.*, 2017).

Las soluciones propuestas anteriormente suponen una renovación del sistema de ACS, algo que podría ser poco viable. Existen otras alternativas técnicas. Una posibilidad consiste en la utilización de tratamientos químicos (como la cloración) o físicos (como la radiación ultravioleta) para evitar el crecimiento de bacterias (Yang, 2016). Otra opción es aumentar la temperatura por medio de calderas eléctricas o bombas de calor para que la calefacción urbana no tenga que proveer de tales temperaturas elevadas (Elmegaard *et al.*, 2016).

B.4.2 Evaluación de la compatibilidad con la red de calefacción existente

Si no se aplica ninguna medida en el equipamiento de los consumidores, la reducción de la temperatura del agua de suministro irá acompañada de un aumento simultáneo de la temperatura del agua de retorno (Averfalk *et al.*, 2017) y, con ello, una caída menor de la temperatura entre los flujos de agua de suministro y de retorno. A su vez, el pequeño cambio de temperatura producirá caudales más elevados en la red. Si los conductos no están sobredimensionados, las pérdidas de presión podrían ser excesivas y superar la presión máxima soportada por las tuberías y/o superar las presiones máximas que pueden producir las bombas.

Por consiguiente, resulta crítico lograr una temperatura inferior en el agua de retorno, lo que facilitará el descenso deseado en la temperatura de suministro. Aunque las temperaturas de retorno desciendan hasta los 20-30 °C y las temperaturas de suministro se mantengan en el rango de 50-60 °C, la diferencia de temperatura será ligeramente menor que en una red de calefacción urbana convencional (40-80 °C). Así, en una red alimentada por recursos de baja temperatura para la calefacción de espacios, la temperatura de suministro podría requerir un aumento durante los días más fríos (Tol y Svendsen, 2015).

Un ejemplo donde la disminución de la temperatura de retorno supuso una caída de la temperatura de suministro lo proporciona la calefacción urbana de Viborg (Dinamarca). Esta red ha conseguido reducir la temperatura de retorno de 50 °C a 40 °C en 14 años (2002-2016) (Diget, 2019).

En algunas ocasiones, es posible reducir las temperaturas del sistema en un área determinada mientras el resto de la red sigue funcionando con temperaturas superiores. Esto ocurre, por ejemplo, cuando se erige un nuevo distrito en el que los edificios se han diseñado para funcionar con temperaturas bajas o cuando los edificios de un área determinada se han reformado. En estos casos, la temperatura del caudal de suministro se puede reducir en esas áreas específicas por medio de una derivación de combinación (Figura 31). Esto es lo que se consiguió en las ciudades danesas de Lystrup, Sønderby y Tilst (Olsen, 2014).

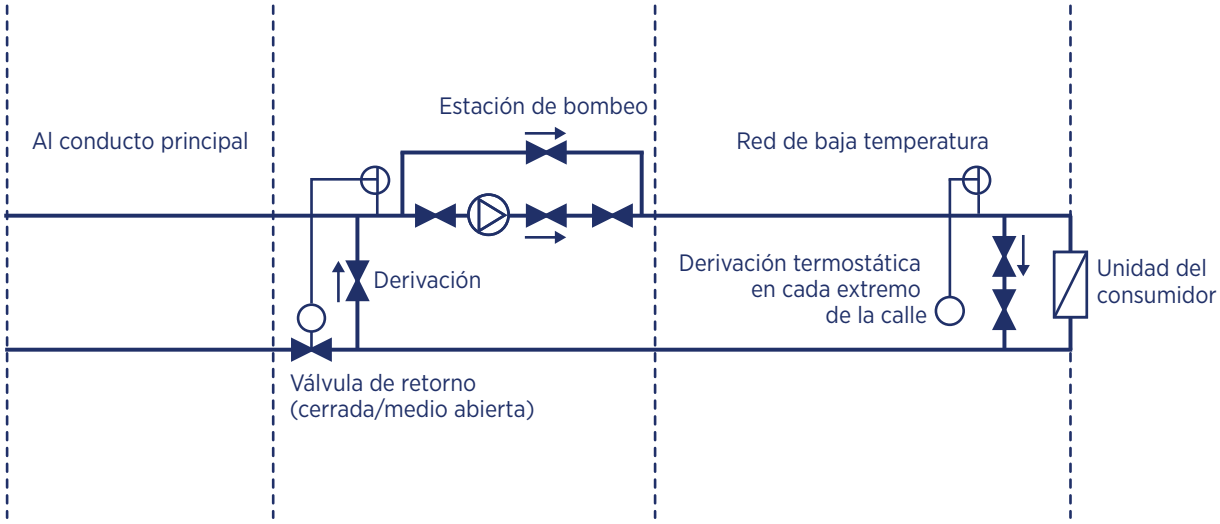
Esta estrategia hace posible una reducción de las pérdidas caloríficas en dicha zona concreta, pero no permite aprovechar al máximo las ventajas de la calefacción urbana de baja temperatura porque la temperatura de producción permanece inalterada. Una solución a este problema sería la utilización de redes paralelas con diferentes niveles de temperatura, con cada una de ellas suministrando a diferentes consumidores en función de sus necesidades.

Esta es, por ejemplo, la estrategia seguida por la red francesa en las afueras de París (Recuadro 11) y la ciudad española de Mieres (HUNOSA, 2019). Esta solución permitiría disfrutar del fruto de las bajas temperaturas en parte de la producción.

Un problema habitual que experimentan las redes de calefacción urbana es el aumento de la temperatura de retorno durante el verano. Este fenómeno indeseado se produce también en redes nuevas que abastecen edificios diseñados para funcionar con temperaturas de suministro bajas durante todo el año. Esto ocurre a causa de la derivación del agua caliente desde los conductos de suministro hasta los conductos de retorno, algo necesario en periodos de bajo consumo. Si no se llevara a cabo, la temperatura de suministro caería hasta tal punto que produciría tiempos de espera inaceptables cuando el consumidor necesitara calor de nuevo.

Este aumento, producido por diferentes causas, tiene consecuencias negativas similares a las enumeradas anteriormente: mayores pérdidas caloríficas, menor eficiencia en la producción y una capacidad de almacenamiento reducida.

Figura 31. **Croquis de una derivación de combinación para integrar una red a baja temperatura en una red convencional**



Fuente: Olsen (2014)

Se han formulado algunas propuestas para abordar este problema, incluido el baño de confort, defendido por Yang y Svendsen (Yang, 2016), y el sistema de tres tubos, sugerido por Averfalk y Werner (Averfalk y Werner, 2018).

La propuesta del baño de confort pretende enfriar el caudal derivado en el sistema de calefacción por suelo radiante del baño. Una vez enfriado, el caudal derivado vuelve a la instalación de producción por el mismo conducto de retorno que el caudal de retorno no derivado. Un problema de esta solución es que el baño se puede calentar hasta temperaturas desagradables, especialmente en países más cálidos. Además, obliga al consumidor a utilizar la calefacción por suelo radiante del baño durante todo el año, y es posible que no esté dispuesto a hacerlo.

El sistema de tres tubos no enfría el caudal derivado. En vez de eso, lo devuelve a la planta de producción a través de un conducto diferente, que permite una separación entre el caudal enfriado (conducto de retorno) y el caudal derivado (conducto de recirculación). De esta forma, el agua fría que surge de la producción de ACS no se calienta por el caudal derivado, y es posible obtener una temperatura de retorno baja a lo largo de todo el año. No obstante, este es un concepto novedoso que aún no se ha demostrado. Además, es probable que la inclusión de un tercer conducto aumente los costes de construcción de la red de calefacción urbana.

Las propiedades térmicas de los conductos también impiden la reducción de las temperaturas de suministro. Las pérdidas caloríficas caerán si se utilizan temperaturas inferiores. No obstante, si el aislamiento de la tubería no es adecuado y la caída de la temperatura entre la planta de producción y el consumidor es elevada, la temperatura en el punto del consumidor podría caer por debajo del mínimo necesario para ofrecer calefacción adecuada cuando se reduzca la temperatura de suministro en la planta de producción. En tal caso, sería necesario actualizar la red de tuberías.

Además, el uso de nuevas fuentes de calor residual podría requerir nuevos conceptos de red, ya que las temperaturas utilizables no se pueden adaptar a una red existente. La tecnología para aumentar la temperatura, como las bombas de calor, puede resultar pertinente para aumentar la temperatura de una fuente de suministro y/o aumentar la temperatura en ciertos lugares de la red durante las estaciones frías.

Resumen de los retos técnicos relativos a la competitividad de las redes de calefacción y los edificios existentes

Una nueva generación de sistemas de calefacción urbana promete utilizar un mayor volumen de la energía generada y propiciar el uso de fuentes renovables a baja temperatura. Sin embargo, la transición de los sistemas de DHC existentes a otros más modernos exige un diseño adecuado de las redes y compatibilidad con las conexiones de los consumidores y los sistemas de calefacción del parque inmobiliario. A continuación se resumen algunas recomendaciones dirigidas a las autoridades nacionales y locales para evaluar dónde y en qué medida sería más útil la rehabilitación, y para garantizar que esta se planifique estratégicamente.

Integrar los planes de renovación de los edificios y de cambio de suministro y modernización de la red con el fin de lograr un nivel de rendimiento óptimo y de evitar efectos condicionantes y desconexiones.

- Establecer una cooperación entre las distintas estrategias para lograr la eficiencia energética y la energía urbana en los edificios. Considerar, por ejemplo, un planteamiento vecinal para implantar simultáneamente medidas de eficiencia energética en el suministro y la demanda.

- Dar prioridad a los edificios mal aislados y a los mayores consumidores que requieran más energía en la ejecución de las políticas de renovación.

- Avanzar hacia la facturación basada en el consumo para todos los consumidores con el fin de promover unas prácticas más eficientes energéticamente.

Además, los operadores de energía urbana pueden adoptar las siguientes medidas, que garantizan la compatibilidad de las redes de energía urbana con el suministro a baja temperatura.

Evaluar y facilitar la compatibilidad con el parque inmobiliario existente, tanto en los sistemas de calefacción urbana nuevos como en los ya existentes en los barrios.

- Renovar el aislamiento de los edificios existentes para mejorar el rendimiento energético en el ámbito de los edificios y reducir la carga máxima en el ámbito del sistema energético. Esto propiciará la integración de las fuentes de energía locales a baja temperatura, incluidas las renovables.

- Los equipos de calefacción instalados actualmente (los radiadores) podrían no ser adaptables para un uso a baja temperatura. Por tanto, rediseñar y cambiar los equipos junto con la renovación del parque inmobiliario.

- Instalar equipos de control como válvulas termostáticas para regular el caudal y controlar los niveles de confort.

- Las bajas temperaturas en los sistemas de agua caliente pueden provocar la proliferación de bacterias (por ejemplo, legionela) en el depósito de agua. Instale opciones de producción instantánea de agua caliente sanitaria (ACS) como intercambiadores de calor de placas como solución. No obstante, en el caso de temperaturas mucho más bajas, aplique soluciones técnicas alternativas como la esterilización utilizando métodos de tratamiento químico/físico o la integración de bombas de calor o calentadores eléctricos para subir la temperatura.

- Adaptar el comportamiento humano a las mejores prácticas para la gestión de las operaciones de calefacción de un edificio con el fin de cambiar a un suministro a baja temperatura. Esto podría incluir que se evite el uso de períodos con reajustes.

- Promover nuevos conceptos de subestación.

Evaluar y promover la compatibilidad con la red de calor existente.

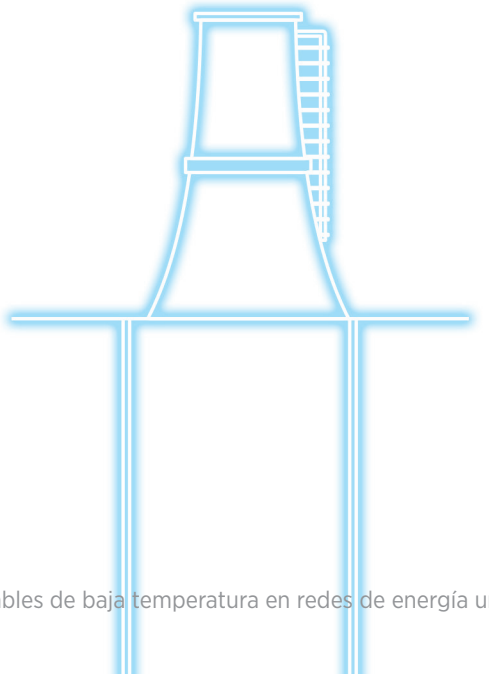
- El cambio a una temperatura de suministro inferior puede llevar a mayores caudales, que pueden dañar la red. Para evitarlo, asegurar que la temperatura de retorno del edificio hacia la red también se reduzca (*por ejemplo,* mediante la adopción del cuarto de baño de confort).

- Si la temperatura de suministro es demasiado baja para satisfacer la demanda de calefacción, incorporar tecnología de aumento (bombas de calor) para aumentar la temperatura desde una fuente de suministro o bien para aumentar la temperatura en determinados puntos de la red durante las estaciones frías o para cubrir los requisitos de máxima demanda.

- Reducir la pérdida de calor excesiva en la red para prevenir una calefacción insuficiente de los edificios. Esto se puede lograr con un aislamiento adecuado de las tuberías.

Desarrollar la capacidad local para abordar los retos técnicos para la integración de las fuentes de calor a baja temperatura en las redes existentes y el parque inmobiliario.

- Como la energía urbana y la eficiencia energética de los edificios son aspectos de carácter técnico, es necesario que las autoridades inviertan en la mejora de la especialización local.



B.5 Tratamiento de los retos técnicos en la explotación de fuentes de energía a baja temperatura

Cada fuente de calor a baja temperatura suministrada a las redes de energía urbana puede presentar unos retos concretos. Por tanto, podría ser útil investigar los retos concretos que dependan del contexto local. Estos retos pueden influir en los resultados de los escenarios técnicos, y a continuación se analizan algunas acciones recomendadas para abordarlos en relación con cada fuente de calor.

El desarrollo de la capacidad de la fuerza de trabajo local constituye un factor clave para abordar los retos técnicos relacionados con el uso de fuentes de energía a baja temperatura. Tanto las autoridades nacionales como las locales podrían aprovechar programas de asistencia técnica disponibles para la transferencia de conocimientos. Además, las autoridades podrían brindar apoyo en materia de investigación y desarrollo a los promotores de sistemas de energía urbana, quienes, a su vez, invertirían en innovación. Podría desarrollarse capacidad adicional mediante la adopción de las mejores prácticas sectoriales y la participación en foros para el intercambio de experiencias.

B.5.1 Energía geotérmica

Cuando los responsables políticos a nivel local consideren el uso de la energía geotérmica para ACS, es crítico que entiendan los beneficios y el potencial de esta energía. El potencial evaluado de la energía geotérmica debe ser adecuado para satisfacer el nivel deseado de demanda de calefacción y refrigeración. Sin embargo, la extracción continuada de fluidos geotérmicos del reservorio puede producir un declive en la productividad a causa de cambios de volumen y presión en el reservorio. Esta disminución de la productividad del reservorio se puede paliar reinyectando los fluidos de vuelta al reservorio para garantizar la sostenibilidad tras el uso de la energía por parte de la calefacción urbana u otras aplicaciones.

Estas estrategias de reinyección son imprescindibles para asegurar la sostenibilidad del recurso. Algunos proyectos emplean la reinyección total, otros no emplean la reinyección en absoluto y otros cuentan con grados diferentes de reinyección donde se reinyecta una parte del fluido. La experiencia a lo largo del tiempo ha demostrado que la reinyección prácticamente total es un determinante importante para la longevidad del recurso. Como resultado, la mayoría de las explotaciones geotérmicas utilizan la reinyección total o casi total.

El diseño más habitual de las redes de calefacción urbana geotérmicas que permiten la reinyección es el sistema doblete, donde se perforan dos pozos, uno como pozo de producción y otro como pozo de reinyección. Como ya se ha indicado, las explotaciones geotérmicas más modernas incorporan la inyección total no solo por la sostenibilidad del recurso, sino también por consideraciones medioambientales, *por ejemplo*, para evitar la carga térmica y la contaminación química producida por la descarga superficial del agua termal utilizada. Existen pocos lugares en el mundo donde las consideraciones medioambientales permitan la eliminación de grandes cantidades de agua no potable en la superficie. Una modificación del sistema doblete es el sistema triplete, en el que se perfora un tercer pozo cuando la productividad del existente disminuye considerablemente. Los dos pozos existentes se modifican y se convierten en pozos de reinyección, y el nuevo se convierte en el pozo de producción. Con un sistema triplete, la vida útil en términos económicos del proyecto geotérmico se puede ampliar (Sigfusson y Uihlein, 2015).

La mayoría de los sistemas geotérmicos del mundo son del tipo de baja a media temperatura, como las cuencas sedimentarias. Las formaciones rocosas de estas cuencas suelen ser duras (consolidadas) en las secciones más profundas, pero, en algunos casos, *por ejemplo*, la llanura panónica en Europa central, la sección superior del reservorio está formada por arena no consolidada o semiconsolidada, o por arenisca. La reinyección en este tipo de reservorios supone retos únicos. Estos retos incluyen la posibilidad de causar daños en la formación semiconsolidada, colapsar las formaciones en el diámetro del pozo o liberar partículas que se incorporarán al fluido de producción o al de inyección. Según se va reinyectando agua en el reservorio, esta se lleva las partículas arenosas sueltas, lo que obstruye los espacios porosos y, con ello, reduce la permeabilidad y la productividad de los pozos. Además, se puede producir un enfriamiento significativo de los fluidos del reservorio a causa de las altas velocidades a las que el fluido se puede mover por la reserva. Se necesita una supervisión estricta de las temperaturas del reservorio para detectar el avance térmico si el movimiento del agua reinyectada hacia el pozo de producción es demasiado rápido.

La reinyección y la gestión del reservorio geotérmico requieren un conocimiento de la hidrología y geología de estos sistemas. Una gestión adecuada del reservorio permitirá determinar la presión correcta que se debe usar en la reinyección de los fluidos al reservorio para minimizar los daños a la formación. Al mismo tiempo, la presión de la reinyección seleccionada y la colocación de filtros adecuados en los intervalos evaluados de los pozos asegurará que la movilidad de las partículas de arena en el reservorio se mantenga al mínimo para así evitar la obstrucción de las zonas permeables. Asimismo, el espacio entre los pozos de producción y los pozos de reinyección debe elegirse cuidadosamente

para garantizar que los fluidos reinyectados cuenten con el tiempo necesario para calentarse antes de alcanzar el pozo de producción. Así, se evitará una progresión rápida del avance térmico, que podría suponer un enfriamiento significativo del reservorio (GeoCom, 2013). El desarrollo de un proyecto y la producción a largo plazo suelen requerir ajustes en la estrategia de inyección para evitar el enfriamiento del sistema. La supervisión del recurso es parte de una gestión a largo plazo del sistema para garantizar su sostenibilidad.

Cuando las sustancias disueltas en los fluidos geotérmicos se precipitan a causa de los cambios termodinámicos del fluido (presión y temperaturas), las propiedades químicas del fluido cambian y se pueden depositar minerales en las superficies de los equipamientos y los pozos, lo que produciría "incrustaciones". Los depósitos no comprobados y la incrustación podrían reducir significativamente la eficiencia del equipo, como el intercambiador térmico, o estrechar el diámetro de los conductos y limitar el caudal.

Los depósitos en los pozos geotérmicos o en las formaciones rocosas también pueden reducir la productividad de los pozos geotérmicos. De forma similar, debido a una interacción de los fluidos geotérmicos con elementos químicos del subsuelo, su pH podría variar de forma significativa. Los fluidos geotérmicos ácidos reaccionan con el material metálico utilizado en la construcción del equipo y se produce corrosión (IRENA, 2019a). La consecuencia de los retos asociados a los fluidos geotérmicos es un aumento en los costes de operación y mantenimiento (O&M) de los proyectos.

Una forma de minimizar la incrustación es el control estricto de la temperatura y la presión del fluido. Si el fluido geotérmico se enfría a una temperatura inferior a la temperatura (o presión) de saturación de las sustancias disueltas, se producirán los depósitos. Con pocas excepciones, cuanto mayor sea la caída de la temperatura, mayor será la tasa de depósitos. Es recomendable asegurar que los fluidos geotérmicos se presuricen en todo momento para evitar los gases.

Las caídas de la presión producen cambios en el pH, una situación que podría causar la precipitación de las sustancias disueltas. Además, no se recomienda la mezcla de fluidos específicos de un reservorio geotérmico con fluidos de otros reservorios porque esto causará una alta tasa de precipitación.

Hay más probabilidad de que esto ocurra en la extracción y la inyección de fluido en sistemas en cuencas sedimentarias. Las formaciones geológicas que hay encima y debajo de la formación productora son químicamente diferentes y su mezcla podría producir precipitación mineral.

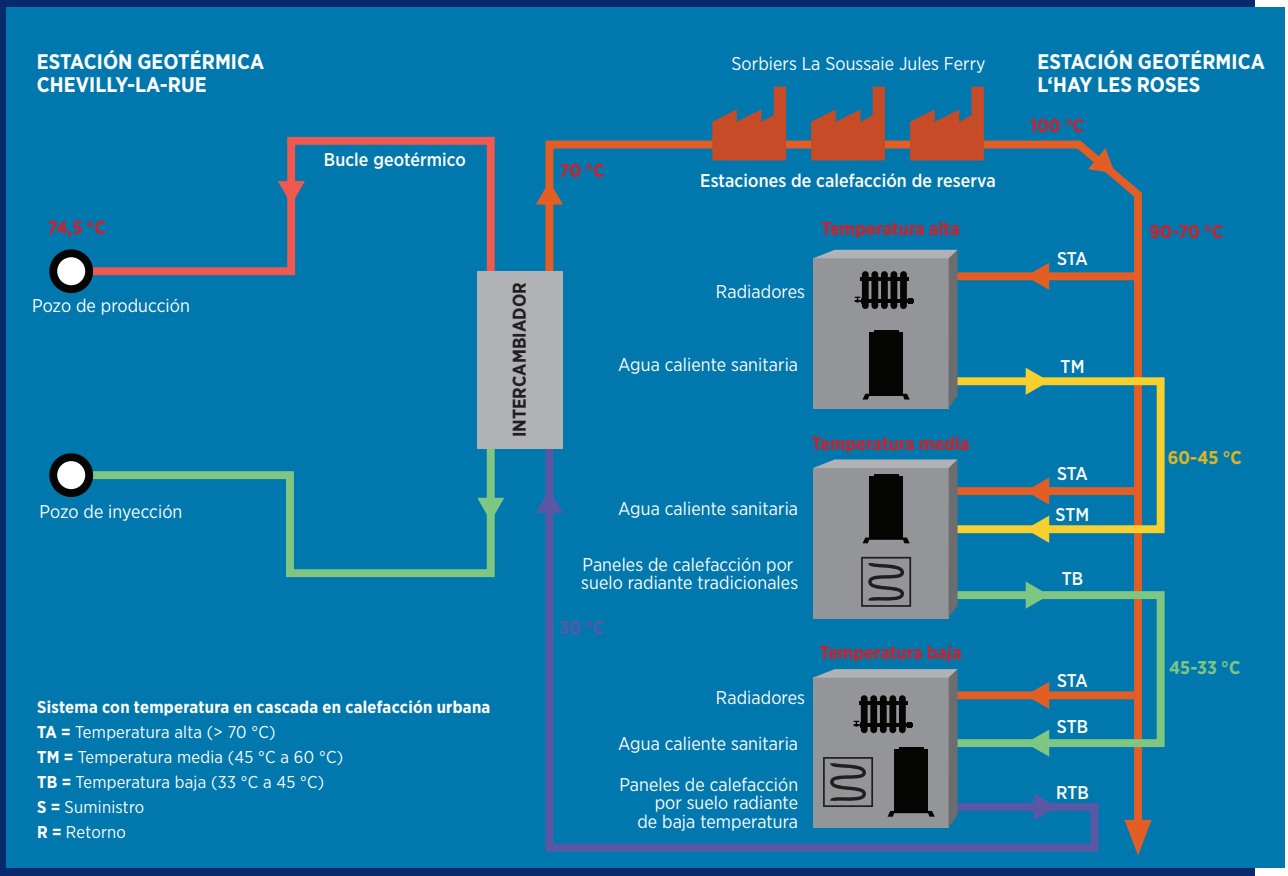
Cualquier depósito que se produzca en la superficie del intercambiador térmico puede eliminarse de forma mecánica a intervalos programados o usando químicos para disolver las escalas y así no comprometer la eficiencia de los equipos. Asimismo, los métodos químicos como el ajuste del pH del fluido geotérmico y el uso de desincrustantes pueden reducir la tasa de precipitación e incrustación, tanto en los pozos geotérmicos como en la formación (Brown, 2013). En los casos de fluidos geotérmicos altamente corrosivos, deberían seleccionarse materiales que resistan la corrosión, como el titanio, para el intercambiador térmico y, potencialmente, el entubado y la boca del pozo.

El desarrollo y utilización de la energía geotérmica puede producir actividad microsísmica. Esto es altamente preocupante, especialmente en proyectos ubicados cerca de áreas construidas. Entre las causas de la actividad microsísmica están la extracción y la reinyección de fluidos, la estimulación del reservorio y la perforación. Un mejor conocimiento de las propiedades geológicas del reservorio, , tanto la roca como el fluido, podría contribuir a minimizar y gestionar la actividad microsísmica (GEOENVI, 2020).

Para aumentar la eficiencia y recuperar el máximo calor posible de la fuente geotérmica, una red de calefacción urbana geotérmica puede estructurarse en forma de cascadas de 2 o incluso 3 niveles. Las cascadas funcionan según prioridades. Primero, el agua caliente alimenta los procesos industriales o edificios que requieran niveles de temperatura más alta; a continuación, los edificios que requieran niveles de temperatura media y, por último, los edificios más recientes que requieran los niveles de temperatura más baja. El recuadro 11 describe un ejemplo en el área de París.

La cooperación internacional y asociaciones multilaterales como la Global Geothermal Alliance pueden resultar cruciales para transferir conocimientos, abordar barreras y apoyar mercados emergentes. Un ejemplo de tal cooperación es el programa GOSPEL (Geothermal Serbian Pilot projects for Heat and Electricity), financiado con fondos públicos franceses, que aprovecha la experiencia industrial francesa y el conocimiento local serbio para identificar al menos tres proyectos de energía geotérmica viables (Mouchot *et al.*, 2019). Otra alternativa es que los países puedan usar instalaciones de asistencia técnica ofrecidas por instituciones de desarrollo. Un ejemplo sería el programa de desarrollo de energía geotérmica GeoFund, ofrecido en 2006 por el Banco Mundial a Europa y Asia central. Este programa supuso una subvención de 25 millones de dólares estadounidenses, de los cuales se usó 1 millón y medio para la asistencia técnica del proyecto geotérmico de Armenia y 810 000 para ofrecer asistencia técnica regional a través de la Asociación internacional geotérmica (IGA) (Wang *et al.*, 2013).

RECUADRO 11 EN CASCADA: RED DE CALEFACCIÓN URBANA GEOTÉRMICA DE VARIAS TEMPERATURAS EN PARÍS (FRANCIA)



El subsuelo de Île-de-France es rico en energía geotérmica. La empresa de suministros SEMHACH opera en los municipios de las afueras de París Chevilly-Larue, L'Haÿ-les-Roses y Villejuif, e implanta una red de calefacción urbana de varias temperaturas en cascada, donde existen cinco niveles diferentes de temperatura, incluida la temperatura del conducto de transmisión.

El agua termal en la red de calefacción urbana comienza en las centrales de energía, recoge el calor de las calderas y, con una temperatura alta, suministra primero a los intercambiadores de calor de los edificios más antiguos, que cuentan con un requisito de temperatura más alta. El caudal de retorno con temperatura media es lo suficientemente alto para suministrar calor a otros edificios antiguos con una demanda de calefacción inferior a la de los primeros y que, por lo tanto, necesita una temperatura menos elevada. Finalmente, el segundo conducto de agua, con una temperatura de retorno menor, sirve a los edificios más eficientes, así como a invernaderos y piscinas, que son instalaciones de baja temperatura.

Por consiguiente, el agua de retorno final en la central tiene una temperatura muy baja de 30 °C. Con respecto al ACS, esta se suministra a alta temperatura en todos los casos y retorna a la red con temperaturas bajas o muy bajas.

Este sistema en cascada mejora el uso de la energía geotérmica, ya que la temperatura de retorno final (segundo retorno) es lo suficientemente baja para extraer una mayor cantidad de calor geotérmico en la central de energía. La variedad de temperaturas otorga a los clientes la opción de elegir la temperatura más adecuada según sus necesidades (radiadores, suelos radiantes, paneles, etc.). Y lo más importante, a través de esta estructura de red, se maximiza la eficiencia en el uso de la energía producida.

B.5.2 Energía solar térmica

La energía solar térmica es, por naturaleza, estacional y variable. Esto puede llevar a una situación en la que exista un bajo suministro de energía solar y una alta demanda de calefacción de espacios en los edificios durante el invierno. En verano (cuando la carga de calefacción urbana suele ser baja) las plantas de energía solar tienen su producción más alta. Aunque esto puede hacer que las plantas de energía solar térmica sean adecuadas para la refrigeración urbana. Si se desean fracciones solares elevadas, se puede incorporar un almacenamiento térmico de gran tamaño. En Dinamarca, se han construido varios almacenes en pozos con este fin, como los de Dronninglund o Marstal. Otro ejemplo sería la comunidad Drake Landing Solar Community en Alberta, Canadá, donde el excedente de energía solar se almacena cerca, en rocas y suelo de la subsuperficie, durante el verano y se utiliza en invierno para calentar hogares y negocios (Drake Landing Solar Community, n.d.). La energía solar térmica se puede usar en combinación con otras fuentes de energía para suministrar parte de la demanda de calefacción en sistemas híbridos. Este es el caso, por ejemplo, de Salaspils, Letonia, donde una planta de calefacción urbana solar térmica de 5 MW se combina con una caldera de biomasa de 3 MW para ofrecer el 85 % de la calefacción urbana de la ciudad.

Otro reto al que se enfrenta esta energía es la necesidad de grandes espacios abiertos en las ciudades para instalar las plantas de energía solar para calefacción a gran escala montadas en el suelo. Una alternativa sería ubicarlas en áreas adyacentes a las ciudades y acoplarlas a la red de calefacción urbana (Lund *et al.*, 2018). Cuando haya que adquirir terrenos para establecer sistemas de calefacción urbana solar, cuestiones como la oferta y la demanda, como los planes de los propietarios de las tierras, afectarán al coste. Los costes de los terrenos pueden ser superiores cerca de las áreas urbanas, por lo que debe realizarse una estimación de la distancia óptima a la que se pueden ubicar los colectores. Esta distancia exigirá un mayor estudio y es más probable que tenga sentido en proyectos de mayor escala (Trier *et al.*, 2018).

Algunas ubicaciones alternativas para los colectores térmicos o las instalaciones de almacenamiento térmico podrían ser los tejados de los centros comerciales y aparcamientos (aunque esta solución es muy difícil de integrar en redes de calefacción urbana y debería plantearse únicamente en instalaciones nuevas), tierras contaminadas, zonas colindantes a las rutas de tráfico y cuencas de tratamiento de aguas residuales, entre otros (Battisti, 2018) (Fotografía 7).

Cuando se inicie un proyecto de calefacción urbana solar en ciudades con calefacción urbana ya existente, habrá que enfrentarse a dos problemas principales. El primero es que la carga de verano suele estar ya "ocupada" porque la empresa de suministro de ACS utiliza el calor de la producción de energía u otras fuentes de calor residual, lo que resulta en un excedente de energía térmica solar. El segundo es que resulta difícil y caro encontrar ubicaciones para los paneles solares (Sørensen, 2017). Para superar estas dificultades, el almacenamiento térmico debe ser a menudo una parte del sistema de ACS. En tal caso, la energía solar térmica a gran escala puede ser una solución rentable, ya que se trata de una de las tecnologías de calor más económicas.

Es posible que exista una diferencia radical en la temperatura de los componentes de un sistema solar térmico. El uso de una temperatura operativa más alta puede aumentar aún más esta diferencia. Es esencial que todos los componentes y conexiones en el sistema tengan la capacidad de aguantar la expansión y contracción asociadas a las variaciones de temperatura (Schmidt y Miedaner, 2012). Es más, el sistema solar térmico debe ser capaz de afrontar el peor de los escenarios: en el que una fuerte irradiación solar puede durar demasiado. Para evitar el sobrecalentamiento (con los daños que produce), el circuito de captación puede extenderse durante la noche, enfriando así una parte del volumen del tanque. Este ejemplo muestra que se puede reconsiderar un diseño incluyendo el enfriamiento nocturno. No obstante, esta recomendación solo se puede aplicar en plantas con cierto volumen de almacenamiento térmico (Heller, 2001).

Fotografía 7 **Planta de refrigeración urbana solar, Scottsdale, Arizona (Estados Unidos) (izquierda) y parte del campo de captación solar de Fernheizwerk, Graz (Austria) (derecha)**

Fuente: SOLID Solar Energy Systems GmbH

B.5.3 Calor residual

Según un estudio reciente (Schmidt, Geyer y Lucas, 2020), se pueden distinguir las siguientes barreras técnicas: i) un desfase temporal en la disponibilidad del calor residual y la demanda de calor, incluida una competencia del suministro en la mayoría de fuentes de calor renovables durante el verano; ii) un desfase de calidades. Esta última se refiere a algunas fuentes de calor residual, que son una combinación de uno o de todos los siguientes aspectos: un bajo nivel de temperatura, un volumen relativamente pequeño y/o una presencia discontinua. El uso del almacenamiento térmico y las bombas de calor puede resolver algunos retos técnicos. No obstante, estos necesitan inversiones adicionales y pueden suponer retos financieros.

La mayor complejidad operativa puede provenir de la necesidad de instalar capacidades de reserva para gestionar el riesgo de alteraciones involuntarias en el suministro de calor residual, incluido el calor residual de baja temperatura, que depende del uso de una bomba de calor. Pueden surgir otras complicaciones debidas a las estandarizaciones limitadas (tanto contractuales como técnicas) y la participación de más partes interesadas.

B.5.4 Refrigeración gratuita

Los retos técnicos a los que hay que hacer frente al utilizar agua de lagos, ríos o mares para la refrigeración gratuita suelen afectar a la seguridad de la vida acuática, la calidad del agua, la biocorrosión y la corrosión (Proyecto CELSIUS, 2019). Un buen sistema de filtrado protege la vida marina y disminuye los efectos de la biocorrosión. Otras soluciones para evitar la biocorrosión son: i) el uso de químicos, como el cloro, ii) procesos avanzados de oxidación y iii) tratamientos no químicos como el choque térmico. Algunos estudios también han demostrado que un aumento del caudal del agua de refrigeración puede dificultar la acumulación de depósitos en el intercambiador de calor.

La evaluación del sistema anticorrosión más adecuado debe basarse en consideraciones medioambientales y normativas existentes sobre las cantidades permitidas de vertidos químicos. El sistema anticorrosión debe optimizarse según las diferentes estaciones, ya que la cantidad de materia orgánica en el agua depende de la estación. Así se minimizará el vertido al medioambiente (Proyecto CELSIUS, 2019).

Resumen de los retos técnicos y recomendaciones para la explotación de fuentes de energía a baja temperatura

A continuación se resumen las principales recomendaciones dirigidas a las autoridades nacionales y locales y los operadores de sistemas de DHC para abordar los retos técnicos de la explotación de fuentes de energía a baja temperatura.

Desarrollar la capacidad para abordar los retos técnicos asociados a la utilización de fuentes de calor residual o renovables a baja temperatura

- Desarrollar una masa crítica de expertos, entre ellos, autoridades públicas, en tecnologías de energías renovables, *por ejemplo,* energía geotérmica y solar térmica.
- Invertir en la mejora de la especialización local de la fuerza de trabajo para garantizar el buen funcionamiento de las redes de energía urbana. Esto no solo contribuye a la optimización del funcionamiento de las redes, sino que también garantiza que los problemas técnicos se aborden con una alteración mínima del suministro energético.

Para el buen funcionamiento de los sistemas de energía urbana, es necesario que los operadores apliquen las siguientes medidas en sus proyectos.

Asumir las mejores prácticas para el funcionamiento de los sistemas de energía basados en la energía geotérmica.

- Asumir las mejores prácticas sectoriales relativas a la gestión de reservas así como al funcionamiento y el mantenimiento de los equipos de los sistemas de energía urbana basados en la energía geotérmica. Estas mejores prácticas incluyen la reinyección de los fluidos geotérmicos gastados para la sostenibilidad de la reserva y estrategias de ingeniería para gestionar la incrustación y la corrosión.

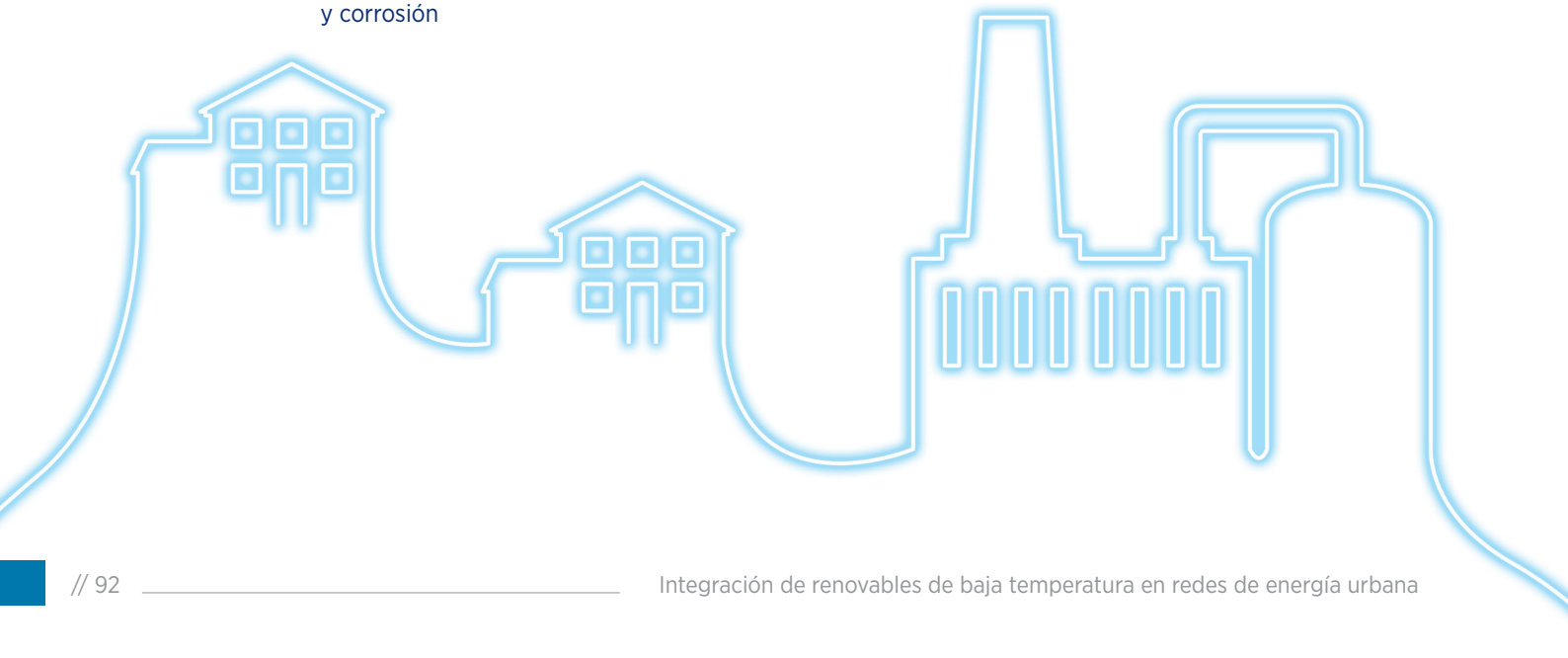
Implementar soluciones para gestionar las fluctuaciones en el suministro de energía solar térmica y calor residual para evitar la inestabilidad de la red.

- Integrar el almacenamiento de energía térmica a gran escala en las redes de DHC para permitir la captura del excedente de calor como la energía solar térmica y el calor residual producidos en momentos de baja demanda y su almacenamiento para utilizarlo después, cuando aumente la demanda.
- Desarrollar estrategias para garantizar que el suministro de energía urbana no se vea alterado, por ejemplo, la celebración de contratos a largo plazo para el suministro de calor residual a la red de energía urbana.
- La fluctuación de la producción y la temperatura en el lado del suministro es un escenario muy probable en el caso de las fuentes de energía a baja temperatura locales. En tales casos, utilice bombas de calor para elevar la temperatura, garantizando así que se siga cubriendo la demanda de calefacción de los consumidores.

La tabla 6 resume los principales retos técnicos y las diferentes opciones para la energía geotérmica, la energía solar térmica y el calor residual.

Tabla 6. **Retos principales y soluciones posibles para explotar fuentes de calor residual o renovables a baja temperatura en la DHC**

FUENTE	RETOS PRINCIPALES	SOLUCIONES POSIBLES
Geotérmica	Alto costo de inversión Riesgo de fallos en la perforación Riesgo de pérdida de productividad con el paso del tiempo Riesgo de incrustaciones y corrosión	Establecer sistemas de garantía para la productividad de los pozos y los riesgos del recurso geotérmico Realizar estudios geocientíficos extensivos Supervisar las reservas y gestionar los recursos (especialmente de inyección) Mantener la temperatura de los fluidos geotérmicos por encima de la temperatura de saturación de las sustancias disueltas durante el intercambio de calor, hacer un mantenimiento regular de los intercambiadores de calor y otros equipos, hacer un tratamiento de los fluidos geotérmicos utilizando métodos químicos (*por ejemplo*, desincrustantes) para reducir el índice de precipitación e incrustaciones
Solar térmica	Desfase entre la disponibilidad estacional y las demandas Altos costos de inversión Temperatura de restricción Restricción de espacio	Garantizar el uso en sistemas que tengan una demanda de ACS Utilizar energía solar térmica para suministrar refrigeración cuando exista un desfase entre el suministro y la demanda de calefacción Incorporar almacenamiento de calor para atender el excedente de energía solar térmica Utilizar espacios alternativos, *por ejemplo,* tejados, balsas de aguas residuales, antiguos vertederos, etc.
Calor residual	Sostenibilidad del residuo Fluctuación de las condiciones del suministro	Elaborar acuerdos contractuales para garantizar el suministro Incorporar almacenamiento de calor en la red Combinar conexiones para llevar una temperatura alta a la línea de suministro y una temperatura más baja a la línea de retorno
Refrigeración gratuita	Conservación de la calidad del agua y la vida acuática Riesgo de incrustaciones y corrosión	Filtrado Procesos de antiincrustación



B.6 Habilitación de condiciones regulatorias, financiación y modelos de negocio

Como se demuestra en la siguiente figura, un proyecto de DHC está sujeto a la regulación originada o ejecutada a nivel local, nacional o subnacional (provincial/estatal). Además, a ese proyecto también le afectan los reglamentos generales sobre calefacción y construcción, así como la legislación que rija la extracción de recursos hídricos subterráneos (en el caso de los proyectos geotérmicos), el uso del suelo (especialmente en el caso de los proyectos de energía solar térmica) y los sistemas de energía. A menudo, en los proyectos de calefacción y refrigeración urbana se solapan varios ámbitos de especialización, como la renovación y el tipo de edificios, la zonificación, el suministro de energía, el mantenimiento de carreteras para la instalación de las tuberías, etc. Todas estas políticas también vienen determinadas por la legislación a todos los niveles de gobierno.

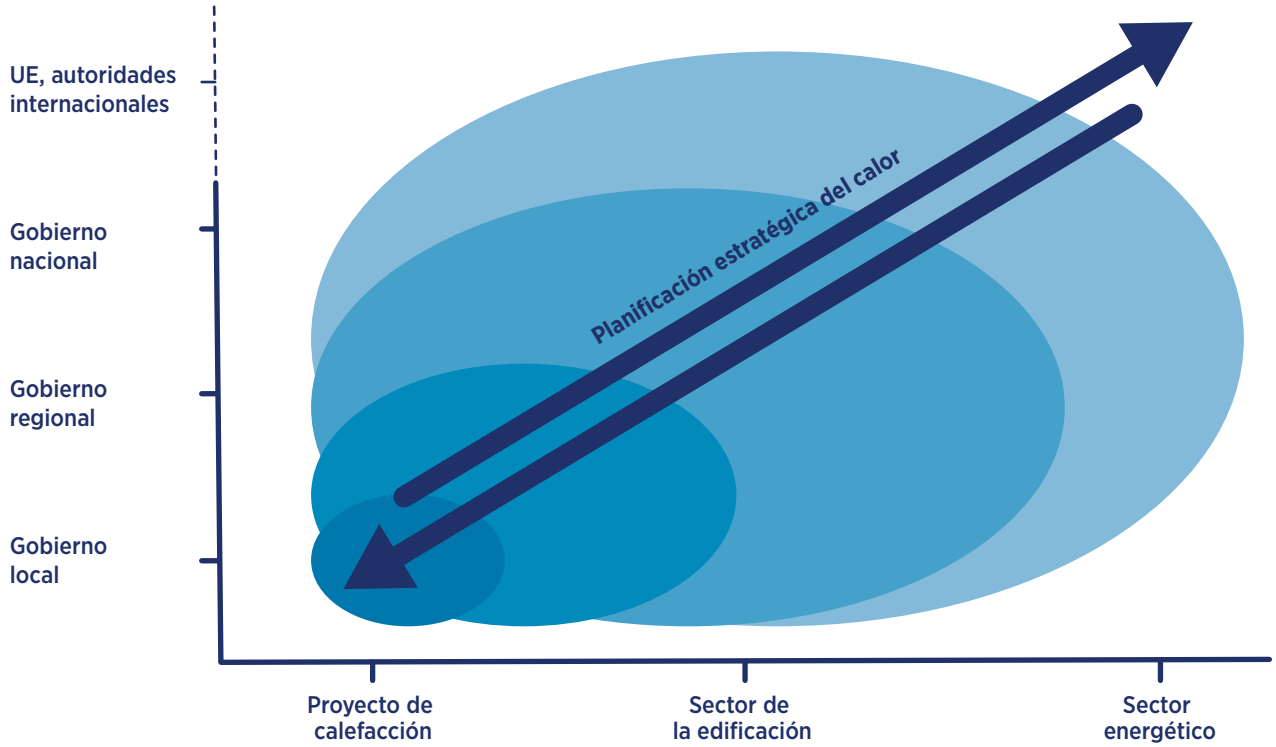
Es necesario que las autoridades nacionales y locales establezcan medidas tanto financieras como reguladoras para garantizar que los beneficios de los sistemas de DHC se plasmen en los regímenes de precios establecidos. Al mismo tiempo, los regímenes existentes deben garantizar que no los sistemas de DHC no se vean desfavorecidos a causa de los subsidios (directos o indirectos) para otras fuentes de energía.

La ejecución de un proyecto nuevo de energía urbana (o de cambio de combustible en el caso de los combustibles fósiles) suele requerir unas inversiones sustanciales que debe proporcionar un inversor, frente al gasto en equipos individuales que se distribuye entre un amplio grupo de consumidores o inversores. En relación con otras opciones, los sistemas de energía urbana basados en fuentes de calor residual y energías renovables pueden verse desfavorecidos por los regímenes de fijación de los precios de la energía, las estructuras del mercado y unos elevados costos de capital iniciales. Por ello, es importante evaluar el proyecto de energía urbana con una perspectiva a largo plazo, puesto que pueden ser difícil que alcancen un umbral de rentabilidad en un marco temporal reducido.

Los sistemas de energía urbana basados en energía solar térmica a baja temperatura, geotérmica o un sistema híbrido exigen modelos de negocio adaptados a cada proyecto concreto. Dicho modelo debe garantizar un rendimiento financiero para todas las partes interesadas y obtener unos beneficios socioeconómicos superiores a los previstos.

Teniendo esto presente, la selección de la estructura de propiedad y los modelos de regulación de los precios influye en las opciones que pueden aplicarse para integrar las fuentes de energía a baja temperatura en los sistemas de energía urbana.

Figura 32. **Planificación local/estratégica del calor en el contexto de la normativa nacional e internacional y coherencia con múltiples intereses y necesidades**



B.6.1 Estructuras de propiedad

Existen cuatro modelos principales de propiedad de los sistemas de energía urbana: del consumidor, pública, privada (comercial) y colaboración público-privada (PPP) (Djørup *et al.*, 2019a). En la práctica, se pueden encontrar modelos híbridos de estas cuatro formas, especialmente en la estructura público-privada. Estas estructuras de propiedad pueden existir en un mercado competitivo o como monopolios. La cuestión de la propiedad se aplica a los dos componentes principales de un sistema de energía urbana: la red de transmisión y distribución y las unidades de producción.

Propiedad de las redes de transmisión y distribución

La figura 33 ilustra el papel de la red de energía urbana como una infraestructura vital que permite a los productores de DHC distribuir el calor y frío producidos a los consumidores. Las redes son la infraestructura que permite funcionar al sistema.

Los sistemas de energía urbana plantean una cuestión central relacionada con la propiedad de las redes de distribución y transmisión. Esto es principalmente lo que conforma la situación de monopolio, ya que controla el acceso a la entrega de energía. Merece la pena considerar dos factores importantes: primero, quién cuenta con la participación mayoritaria y, segundo, el retorno anticipado de la inversión. Hay que tener en cuenta si las redes de distribución de la energía urbana son propiedad pública o privada, y quién cuenta con la participación mayoritaria. La propiedad pública suele ser garantía de que las redes se utilizarán como infraestructura pública, mientras que las compañías privadas considerarán las redes como una inversión y exigirán un retorno. Esto nos lleva al segundo aspecto: el retorno de la inversión exigido. Debido a que las redes de energía urbana exigen una gran inversión de capital y cuentan con vidas útiles largas, el requisito de ofrecer una alta tasa interna de retorno (TIR)[8] podría ser una barrera a la hora de establecer redes de energía urbana que cubran toda la ciudad. Esto se explica más detalladamente en la Parte B, Sección 6.4. Mientras que las compañías privadas usarán una TIR del 10-15 %, las inversiones públicas podrían considerar una TIR del 3-5 %, con una perspectiva socioeconómica. Este hecho desplazará drásticamente las posibilidades y justificaciones económicas de expansión de las redes de energía urbanas.

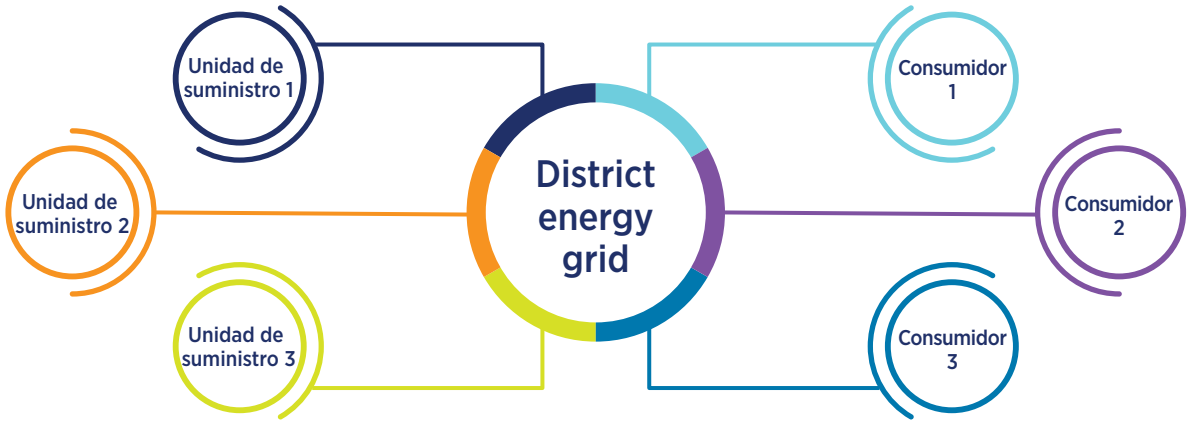
La gobernanza de las operaciones de la red de distribución es un aspecto central que hay que considerar para mitigar tendencias monopolísticas cuando haya una única entidad propietaria de la red de suministro, que suele ser el caso. Los monopolios de infraestructuras son comunes y suelen gobernarse con altas tasas de éxito. Algunos ejemplos son las redes eléctricas, redes de gas, suministro de agua y autovías. Lo importante es que se gobiernen con el bien común en mente y que no se administren para maximizar beneficios.

Propiedad de las unidades de producción

En grandes redes con varios productores, se puede asegurar una competitividad bajo ciertas condiciones que permitan a todo el sistema funcionar de la forma más eficiente posible, pero esto resulta difícil en redes más pequeñas con solo un productor. Por consiguiente, la parte de producción de la DHC suele ser un monopolio, por lo que, en la mayoría de los mercados, se enfrentará a la competitividad de fuentes individuales (*por ejemplo*, bombas de calor y/o calderas individuales). En redes de DHC alimentadas con energía de baja temperatura, esta situación tiene probabilidades de cambiar. Con la introducción de nuevos recursos geotérmicos, bombas de calor, energía solar térmica y calor residual, habrá muchos más productores que puedan alimentar la red de DHC, con lo que se limitará la situación de monopolio del suministro.

8 La TIR es un valor que se calcula para evaluar la rentabilidad de posibles inversiones. Se puede comparar con un índice mínimo o tasa de descuento y necesita estar, al menos, a un nivel similar al coste medio ponderado del capital para que indique una inversión potencialmente rentable.

Figura 33. **La red de energía urbana: una estructura vital que conecta unidades de suministro y consumidores**



El tipo adecuado de propiedad

El modelo de propiedad puede suponer un impacto significativo en la consecución de un proyecto, sobre todo, en la motivación de distribución por parte de los consumidores. Los motivos de los proyectos de DHC de propiedad pública o privada suelen ser diferentes, fundamentalmente, en cuanto a inicio, desarrollo y financiación. Por ejemplo, un proyecto de DHC de propiedad pública tiene más probabilidades de perseguir precios más bajos del calor y beneficios medioambientales y socioeconómicos que un proyecto de propiedad privada, que se centrará en gran medida en maximizar los beneficios de la empresa. Los proyectos de DHC propiedad de los consumidores suelen buscar los precios del calor más bajos posibles.

Las estructuras de monopolio no plantean necesariamente un problema con la propiedad pública o del consumidor si se asegura una coherencia de intereses. La propiedad pública o del consumidor debe interesarse en suministrar calor al precio más bajo posible. El aumento del precio de la calefacción en busca de rentabilidad solo produciría una devolución de los beneficios a los mismos consumidores de calefacción (si se combina con una normativa real sobre precios).

En el caso de la propiedad pública, los beneficios podrían utilizarse en otras áreas públicas, como educación, transporte o sanidad. Si esto se permite, los consumidores de calor esencialmente financiarán otras áreas públicas a través de sus facturas de calefacción. Al final, se trata de una cuestión política que, si se adopta, puede causar una percepción negativa de los sistemas de calefacción urbana si se aumentan los precios a causa de otros gastos públicos.

Independientemente del modelo y tipo elegidos, la transparencia en la inversión, el precio y la financiación resulta de vital importancia. Para establecer y mantener la confianza pública en las infraestructuras con monopolio, debe hacerse público el sistema de financiación utilizado. Las estadísticas nacionales de precios que comparan las empresas de suministros bajo diferentes parámetros también son útiles, ya que permiten a los consumidores ver su empresa de suministro en comparación con otras.

La propiedad privada suele tener un objetivo principal: gestionar precios para maximizar beneficios. Esto supone un conflicto con los consumidores, que están interesados en los precios más bajos posibles, y es un problema habitual de los monopolios. La regulación de los precios puede controlar el problema del gasto del promotor público en otras áreas públicas y el deseo de los promotores privados de obtener el máximo beneficio.

Propiedad pública

- **Beneficios:** Su interés suele estar en línea con los intereses de la población local, e incluso puede incluir otras consideraciones como la pobreza energética, la descarbonización o la pureza del aire. La propiedad pública suele suponer una ventaja para alinear los intereses públicos y las decisiones sobre inversión y planificación. Mientras que las compañías privadas buscarán una máxima rentabilidad, las compañías públicas pueden basar sus decisiones en beneficios públicos.

- **Desafíos:** Los gobiernos locales podrían ver incentivos en la maximización de la rentabilidad en los casos en que las ventas de calor contribuyan a otros gastos públicos como la educación, la sanidad o las obras viales. También pueden existir problemas de confianza si se percibe que el gobierno local no es capaz de gestionar un proyecto de calefacción urbana. En el caso de una baja confianza en el gobierno, o de estructuras de gobierno no eficientes, la propiedad pública sufrirá. En cualquier suministro que sea de propiedad pública, la transparencia, la gobernanza democrática y la rendición de cuentas serán factores centrales en una operación de DHC eficiente.

Propiedad del consumidor

- **Beneficios:** Como los propios consumidores son los propietarios, sus intereses están alineados y no hay motivo para incluir un margen de beneficio en las ventas de calor, ya que esto repercutiría directamente en los consumidores.

- **Desafíos:** Puede resultar difícil involucrar un número suficiente de consumidores locales para alcanzar realmente una masa crítica de consumidores locales involucrados. Los sistemas de calefacción urbana propiedad de los consumidores también requieren experiencia profesional para asegurar un uso y desarrollo óptimos del sistema.

Propiedad privada

- **Beneficios:** Si se asegura una competitividad suficiente, las empresas privadas tendrán un incentivo para optimizar el funcionamiento, el desarrollo y la inversión en el sistema. A menudo, las empresas privadas cuentan con acceso al capital, que puede no estar disponible para la propiedad pública o del consumidor. Pero esto también está relacionado con el régimen normativo y, en algunos países (*por ejemplo*, Dinamarca), las empresas de suministros de propiedad pública tienen acceso a préstamos garantizados públicamente.

- **Desafíos:** Puede resultar difícil asegurar estructuras de mercado y suficiente competitividad en los sistemas de calefacción urbana. Por lo tanto, será muy probable que deban existir regulaciones de protección al consumidor para controlar la propiedad privada. Puede resultar difícil supervisar y hacer cumplir estas regulaciones de precios, ya que es posible que las autoridades públicas no tengan acceso a toda la información operativa en manos de la compañía privada.

Colaboración público-privada (PPP)

- **Beneficios:** El sector público puede asumir riesgos que el sector privado no esté dispuesto a asumir y el sector privado aporta innovación en el desarrollo. El proyecto podría atraer también fuentes de financiación, como subvenciones y concesiones, a las que el sector privado no tendría acceso.

- **Desafíos:** La complejidad de los acuerdos de gobernanza sobre inversión, precios y financiación puede llevar a una falta de confianza en este tipo de estructura de propiedad.

El recuadro 12 presenta algunos casos que ilustran las diferentes categorías de propiedad.

RECUADRO 12 ALGUNOS EJEMPLOS DE MODELOS DE PROPIEDAD

- En **Aalborg (Dinamarca)**, la empresa de suministro de calefacción urbana pertenece al municipio, que también posee la red térmica y es responsable de la distribución del calor. Tras comprar la principal unidad de producción de calor a una compañía energética privada, el suministro propiedad del municipio se ha embarcado en la implantación de una estrategia de energía verde para 2050. Su objetivo intermedio para 2028 es contar con una producción de calor sin combustibles fósiles, lo que se traduce en la sustitución de la unidad de cogeneración alimentada con carbón.

- La ciudad de **Hamburgo (Alemania)** decidió asumir de nuevo el control del sistema de calefacción urbana tras vendérselo a una compañía energética privada. El gobierno local, con el apoyo público como asunto de política de la ciudad, inició una serie de reuniones con el proveedor privado, que acabaron con la recompra de las plantas de producción energética y la red de distribución. El principal motivo era la descarbonización del sector de la calefacción de la ciudad y la contribución a la política de transición energética alemana (Energiewende). Desde septiembre de 2019, la nueva compañía municipal que se fundó ha estado al cargo del sistema de calefacción urbana y controla aproximadamente el 80 % del sector de la calefacción dentro de los límites de la ciudad. El objetivo de la transición incluye la sustitución del carbón y la introducción de fuentes de calor renovables y calor residual.

- La ciudad de **Viborg (Dinamarca)** destaca como caso interesante de distribuidor de calefacción propiedad del consumidor, que promueve de forma activa el uso de tecnologías nuevas y eficientes energéticamente para suministrar calor a sus consumidores como parte de la transición a la calefacción urbana de baja temperatura. Esto se realizó aduciendo que la fusión de la producción y la distribución del calor permitiría inversiones en fuentes de calor renovables descentralizadas que, de lo contrario, habrían supuesto un conflicto con los intereses de una entidad independiente. La compañía de suministros convenció al ayuntamiento para vender su participación en la planta de coproducción para DHC propiedad del municipio.

- En **Lendava (Eslovenia)**, el sistema de DHC lo gestiona una empresa privada (Petrol) que posee la red (conductos) y la producción de energía geotérmica (pozo de producción y pozo de reinyección), así como las calderas que cubren la carga pico. El sistema de calefacción urbana lo gestiona una PPP (bajo un contrato de concesión). Con respecto al precio, la agencia energética eslovena ha establecido la regulación de precios de calefacción urbana. Esta regulación se lleva a cabo en virtud de la ley sobre la forma de establecer los precios de la calefacción urbana, que establece los criterios y las bases del precio inicial del calor y sus cambios a causa de las variaciones de costes subvencionables.

B.6.2 Precio del suministro de DHC

La mayoría de los sistemas de suministro de energía urbana requieren alguna forma de regulación de precios para proteger a los consumidores de la situación de monopolio. Es vital que los precios reflejen el suministro recibido y que exista transparencia en la estructura y niveles de precios establecidos. Sin transparencia y sin confianza en que se han establecido precios correctos, los consumidores perderán la confianza en el suministro de energía urbana, que, después, sufrirá a causa de un funcionamiento pobre y es posible que entre en una espiral negativa con desconexiones, aumentando así el precio y la falta de satisfacción.

El precio pagado por el consumidor debe cubrir todos los costes necesarios relacionados con el suministro de calefacción y/o refrigeración. Por ello, las tarifas de calefacción deben incluir costes fijos y variables.

Costes fijos:
- inversión en las instalaciones de producción
- inversión en la red de DHC
- coste de la financiación
- depreciación de los equipos
- costes administrativos

Costes variables:
- coste de O&M de las instalaciones de producción
- O&M de la red de DHC
- costes del combustible

La eficiencia de las instalaciones de producción, las pérdidas de calor en la red, los precios del combustible y la electricidad, los impuestos, el soporte financiero y las subvenciones pueden afectar a los costes de la calefacción. En general, el coste del combustible con impuestos incluidos supone la proporción más elevada de los costes. Por ello, los precios también deben estructurarse en función del nivel de consumo, además de los costes fijos y de capacidad. Para incentivar la eficiencia energética y satisfacer la demanda de energía, los consumidores deben pagar por cantidad de energía consumida (facturación según consumo), y no solo según una tarifa plana (Djørup et al., 2020). El despliegue de contadores de energía donde sea viable financieramente es, por ejemplo, un elemento central de la Directiva de eficiencia energética de la UE (Artículos 9-11) (Parlamento Europeo, 2018b).

Generalmente, existen tres modelos principales de la regulación de precios: costes reales, límite de precio y la no regulación de precios (Djørup et al., 2019a).

> "Los mecanismos para establecer los precios deben asegurar la transparencia para mantener la confianza del consumidor"

Precios según coste real

Este modelo se utiliza, por ejemplo, en el sector de la calefacción urbana en Dinamarca. Estipula que en el precio de la calefacción únicamente se pueden incluir los costes relacionados con la producción y distribución de calor a los consumidores. Esto incluye la depreciación de activos y la financiación de los costes para asegurar que las compañías de calefacción urbana sean capaces de mantenerse y desarrollarse a corto y largo plazo.

- **Beneficios:** Este modelo funciona bien cuando los intereses están alineados con mantener los precios bajos. Es una ventaja porque desanima a las autoridades públicas para que no utilicen los beneficios generados por el suministro de energía urbana en otras áreas de gasto público.

- **Desafíos:** Este modelo no controla el aumento del gasto en, por ejemplo, O&M, el aumento del tiempo de depreciación o el aumento de salarios. Estos aspectos son áreas donde se podría introducir la maximización de los beneficios. El éxito de una política de precios de coste real se basa en un acceso igualitario a la información sobre la forma en que se establecen los precios, ya que pueden surgir problemas en situaciones en las que las autoridades reguladoras públicas no tengan acceso a toda la información necesaria sobre la estructura de precios.

Límite de precio

El principio de límite de precio se utiliza en los sistemas de calefacción urbana holandeses. Fija un precio permitido máximo en las ventas de calor, que se suele establecer según el valor de referencia de los tipos de suministro de calor. En Países Bajos, el límite de precio se fija según el coste del suministro de calor basado en gas natural. Estipula que el precio de la calefacción de un proveedor de calefacción urbana no puede superar el valor de referencia del suministro de calor. Una variante del límite de precio es permitir un cierto porcentaje de retorno a los propietarios.

- **Beneficios:** Se trata de un modelo sencillo que asegura que los precios permanecen por debajo del umbral establecido por los responsables políticos. También promueve la eficiencia de las compañías de DHC, ya que no se podrán cubrir las inversiones o el gasto que aumentarían los precios del calor por encima de este umbral.

- **Desafíos:** Se trata de un modelo bastante rígido que no suele incluir las condiciones locales. Tampoco asume la influencia de los precios globales del gas natural ni de cómo la caída de los precios puede afectar negativamente al coste del suministro de calor donde el gasto en capital y el gasto operativo del proyecto estén basados en precios más elevados. Esto podría gestionarse con legislación específica. El modelo también conlleva la cuestión de cuál es un precio de referencia factible. ¿Es el gas natural un valor de referencia útil en un mercado global? ¿Existe algún mecanismo para incluir el precio del carbón? ¿Podría establecerse el precio como el coste de las instalaciones de calefacción renovable individual o bombas de calor? También incluye el incentivo de fijar precios de DHC justo por debajo del precio de referencia para maximizar los ingresos. El límite de precio se basa en un acceso igualitario a la información sobre la forma en que se establecen los precios y pueden surgir problemas en situaciones en las que las empresas no cuentan con mejor información que las autoridades públicas.

Sin regulación de precios

Un modelo sin regulación de precios suele combinarse con una regulación de conexión no obligatoria. Por lo tanto, los clientes que pagan tarifas elevadas en una red de DHC son libres de elegir otras opciones de suministro, incluidos sistemas individuales. En este modelo, las compañías de DHC tendrán que convencer a los consumidores de la calidad y bajo precio de su producto antes de que los consumidores se conecten. Este es el caso en Gothenburg, Suecia.

- **Beneficios:** Este es un método sencillo que no requiere regulaciones detalladas y que puede aportar precios eficientes si se utilizan los mecanismos (de competencia) adecuados.

- **Desafíos:** Este modelo no tiene en cuenta de forma suficiente la caída de los precios de los promotores o los precios marcados por los clientes que se conectan a las redes de DHC. No suele ser fácil cambiar redes de calefacción y solo será rentable después de largos periodos de tiempo. También supone un riesgo significativo para las compañías de DHC, ya que no conocen con certidumbre el tamaño de su mercado. Además, existe el riesgo de no tratar de forma eficiente con la situación de monopolio en las redes de DHC.

En países sin una tradición de redes de suministro de energía urbana, puede ser un reto definir tarifas de calor y acuerdos de compra de calor. Es crucial que tales precios y tarifas se fijen de forma transparente para que el consumidor pueda ver todo por lo que está pagando. Esto incluye especificar los costes del combustible, las inversiones, O&M, beneficios, salarios, etc. También es importante contar con una autoridad independiente para fijar valores de referencia que pueda comparar los precios de las diferentes empresas de suministros y resaltar o penalizar los precios excesivos o las irregularidades en el precio.

Dos cuestiones centrales a la hora de determinar la regulación de los precios son la capacidad de hacer cumplir esos precios y la disponibilidad de la información. El principio del coste real está limitado por un acceso desigual a la información sobre producción, financiación y costes de O&M. De ahí que pueda ser difícil para un regulador de precios independiente valorar los precios de forma correcta. Por ello, es importante considerar la cuestión de la propiedad junto con la regulación de los precios. Además, el acceso a las estadísticas de precios es también importante, ya que permite la comparación entre empresas de suministros.

Al final, el precio del suministro de DHC dependerá de condiciones locales, la regulación y la práctica. Lo que suele ser importante es que los responsables políticos elijan mecanismos de precios que reflejen los costes de producción y de capacidad, que sean competitivos y que muestren transparencia. Así, se podrá generar confianza en las opciones de suministro urbano.

B.6.3 Normativa

Normativa de DHC

La legislación y normativa sobre DHC es un tema muy amplio imposible de abarcar en este informe. Solo se ofrecerá una muestra general de enfoques diferentes.

En términos generales, hay tres tipos de gobernanza de calefacción (y refrigeración) urbana (Werner, 2004):

- legislación específica sobre calefacción (y/o refrigeración) urbana
- sin legislación específica sobre calefacción urbana, pero con algunos instrumentos fiscales
- sin legislación específica sobre calefacción urbana y sin instrumentos fiscales

Algunos países con una larga historia de calefacción urbana, como Polonia, Hungría o Estonia, han desarrollado una legislación específica para la calefacción urbana (Werner, 2004). Otros países regulan el sector de la calefacción (y/o refrigeración) urbana mediante una legislación general sobre calefacción (y/o refrigeración) u otra legislación, como la que trata sobre eficiencia energética, suministro energético o el medioambiente. Algunos otros países no tienen ninguna regulación de calefacción de ningún tipo.

La regulación debería asegurar una igualdad de condiciones, ofrecer estabilidad a largo plazo, asegurar el diseño del sistema de menor coste y gestionar beneficios y daños medioambientales . Para conseguir una igualdad de condiciones, debe abordar, por ejemplo, la distorsión del precio de la energía que proviene de diferentes tipos de suministro, como los precios del gas residencial subvencionado. Tal como se ha mencionado, las redes de DHC deben considerarse una infraestructura, junto con las redes de electricidad, gas o agua.

En algunos países, una serie de requisitos complejos regula las aplicaciones y los largos procesos de evaluación y aprobación, incluida la remodelación de las redes existentes. Esto aumenta la incertidumbre de los inversores, que se puede traducir en un coste más elevado. Por ello, los responsables políticos a nivel nacional o local deben garantizar procedimientos de autorización simplificados y rápidos.

Estos responsables políticos deben considerar también una forma para que esta regulación pueda mejorar la transparencia y promover la presentación de información correcta a los consumidores. Por ejemplo, la versión revisada de la Directiva sobre fuentes de energía renovables de la UE (Artículo 24.1 Directiva 2018/2001/EU) exige a las autoridades nacionales de la UE que se aseguren de que los consumidores finales de la energía reciban información sobre la eficiencia y proporción de renovables en las redes de DHC que los abastecen. Esta información debe ser fácilmente accesible; por ejemplo, se puede mostrar en las facturas de energía, en los sitios web de los suministradores o bajo solicitud. Esta medida puede inspirar a los responsables políticos más allá de la UE a aumentar la concienciación de los consumidores sobre la implantación de renovables y mejoras en la eficiencia energética.

Además, la regulación debería asegurar un diseño del mercado que promueva el diseño del sistema de energía socioeconómico más barato. Se trata de una tarea difícil que debe revisarse continuamente. Pero este diseño del mercado debería promover también las tecnologías identificadas como viables para la sociedad a la hora de establecer los escenarios técnicos tal como se ha indicado en secciones anteriores. Por último, la regulación y el diseño del mercado deben gestionar y abordar los factores externos más importantes. Es crucial que los responsables políticos desarrollen un diseño del mercado que refleje objetivos sociales importantes, como la pureza del aire, la descarbonización o el acceso a la energía.

Regulación de la energía geotérmica

El desarrollo de los recursos geotérmicos para proporcionar calor (y frío) y electricidad se regula, en la mayoría de los países, mediante leyes de minería, leyes de agua, leyes de protección medioambiental, leyes geológicas, leyes de recursos renovables y regulaciones sobre el uso del suelo. En algunos casos, se han adoptado leyes específicas sobre geotermia (Rupprecht et al., 2017).

Un elemento clave de las regulaciones geotérmicas es la definición de la energía geotérmica. En la UE (Artículo 2, Directiva 2009/28/EC), la energía geotérmica se define como “la energía almacenada en forma de calor bajo la superficie de la Tierra”. A nivel nacional, no obstante, no hay definición legal estándar, ya que las diferentes autoridades definen el recurso de forma diferente.

La propiedad de los recursos geotérmicos en la mayoría de las jurisdicciones se confiere a los gobiernos nacionales o regionales.

Las licencias geotérmicas más comunes emitidas por las autoridades para regular las actividades geotérmicas incluyen licencias de exploración, licencias de explotación, licencias de sondeo y licencias de generación. Los aspectos regulados de la energía geotérmica incluyen el derecho de acceso al recurso, los derechos y obligaciones del uso del agua geotérmica (extracción y reinyección), las perforaciones y la protección medioambiental.

Con el propósito de creación de regulaciones, los recursos geotérmicos se clasifican de forma diferente para asegurar que se aplica el nivel adecuado de regulación. Esta clasificación tiene en cuenta diferentes aspectos del recurso, tales como:

- las propiedades geotérmicas del agua geotérmica (temperatura, presión, etc.)
- la profundidad del sondeo y la extracción
- el uso final (generación de electricidad, calefacción y/o refrigeración)
- la capacidad instalada de la planta de calor y/o electricidad

Para facilitar el cambio de combustible a energía geotérmica, las leyes y regulaciones que gobiernan la extracción del recurso geotérmico (o mineral o agua) juegan un papel importante. No obstante, a veces se consideran demasiado débiles o demasiado complejas para atraer inversiones.

Muchos países no cuentan con políticas específicas sobre la utilización geotérmica para calefacción (y/o refrigeración), como hojas de ruta o reglas sobre licencias. Un primer paso es definir y clasificar claramente los recursos geotérmicos.

A este respecto, un buen ejemplo sería Italia, donde se han diferenciado tres clases de sistemas de energía geotérmica. Estas clases son los sistemas de alta temperatura (> 150 °C), los sistemas de temperatura media (150-90 °C) y los sistemas de baja temperatura (< 90°C). Además, todos los sistemas de bomba de calor geotérmica con una capacidad inferior a 2 MWt y con pozos perforados a una profundidad de hasta 400 m se consideran "recursos de agua" y no necesitan una licencia de exploración y producción (Angelino et al., 2016).

Esta clasificación puede ser un requisito previo para asegurar que los proyectos pequeños y los pozos más superficiales (*por ejemplo*, hasta 400 m de profundidad) se benefician de procedimientos de autorización simplificados en comparación con otros proyectos de mayor envergadura para recursos de alta entalpía.

El desarrollo de un régimen de licencias geotérmicas dedicado y simplificado podría atraer más inversiones y un mayor número de proyectos. En este contexto, el proyecto GeoDH financiado por la UE ha propuesto un marco regulador ideal para la calefacción urbana geotérmica que se puede adaptar a contextos específicos (véase el recuadro 13).

RECUADRO 13 MARCO REGULADOR PARA LA CALEFACCIÓN URBANA GEOTÉRMICA: RECOMENDACIONES PRINCIPALES DEL PROYECTO GEODH

- Las leyes nacionales y locales deben incluir una definición de los recursos de energía geotérmica y términos relacionados.
- Deben garantizarse los derechos de propiedad.
- Los procedimientos administrativos para la obtención de licencias geotérmicas deben ser adecuados a su propósito: deben simplificarse siempre que sea posible y la carga asumida por el solicitante debe reflejar la complejidad, el coste y los posibles impactos del proyecto de energía geotérmica propuesto.
- Las reglas sobre los procedimientos de autorización y obtención de licencias deben ser proporcionadas y simplificadas, y deben transferirse a la administración regional (o local) si fuera adecuado.
- Debe reducirse el proceso administrativo.
- Las reglas para la calefacción urbana deben ser lo más descentralizadas posible para poder adaptarse a contextos locales y deben estipular un nivel mínimo de energía obligatorio de las fuentes renovables.
- Debe establecerse una autoridad de concesión de licencias geotérmicas única.
- La información sobre los recursos geotérmicos adecuados para las redes de calefacción urbana geotérmica debe estar disponible y debe accederse a ella con facilidad..
- La calefacción urbana geotérmica debe incluirse en la planificación y estrategias de energía local, regional y nacional.
- Los responsables políticos y funcionariado deben estar bien informados sobre la energía geotérmica.
- Hay que formar a técnicos y empresas de servicios energéticos (ESCO) sobre las tecnologías geotérmicas.
- Hay que informar y consultar al público sobre el desarrollo de proyectos de calefacción urbana geotérmica para conseguir su aceptación.
- La legislación debe pretender proteger el medioambiente y establecer prioridades en el uso del subsuelo.

http://geodh.eu/wp-content/uploads/2012/07/D-3.5-GEODH-Regulatory-Framework-17-02-2014.pdf

Fuente: GeoDH (2014)

Regulación de la energía solar térmica

La instalación de colectores solares suele requerir el permiso de las autoridades locales. En el caso de colectores solares montados en el tejado, es posible que se apliquen restricciones (especialmente en el caso de edificios antiguos y en áreas históricas). Normalmente, el único permiso necesario es el permiso de construcción (Sørensen *et al.*, 2012).

En cuanto a las plantas solares montadas en el suelo, el impacto visual puede ser una cuestión relevante a causa de las peculiaridades del paisaje y leyes restrictivas sobre el impacto visual y la protección visual. Una medida política podría ser una estandarización, a nivel regional, de los procedimientos de autorización necesarios para el desarrollo de un proyecto de calefacción urbana solar. Por supuesto, el logro de tal resultado depende de la voluntad y el compromiso políticos, así como de las competencias de la región y sus municipios. Bastante a menudo, los niveles inferiores de gobierno no pueden diseñar legislaciones que estén en contra de la ley nacional sobre el impacto visual y la protección paisajística (Trier, 2018).

Se pueden utilizar varias estrategias para evitar o minimizar el impacto de los sistemas solares en el paisaje. Estas estrategias incluyen el uso de terrenos degradados y el establecimiento conjunto de sistemas solares y terrenos agrícolas (Fritsche *et al.*, 2017).

La planta de un sistema de calefacción urbana solar necesita un permiso medioambiental porque suelen contener glicol. Es importante identificar las condiciones especiales en las que la autoridad nacional pueda tener derecho a veto. Los intereses del agua potable son un ejemplo de este tipo de condiciones. Si el sistema necesita almacenamiento a largo plazo – como almacenes de calor en pozos o sondeos –, se necesitará también un permiso especial que asegure la protección del agua potable (Sørensen *et al.*, 2012).

Regulación del calor residual

No existe ninguna regulación que restrinja la integración del calor residual en las redes de DHC. Sin embargo, la situación del mercado de DHC varía a lo largo del mundo, lo que conlleva diferentes recomendaciones políticas en función de la situación local.

En la UE, por ejemplo, se han promulgado leyes que ofrecen incentivos a los estados miembros para acelerar la descarbonización del sector de la calefacción y refrigeración y reconocen el papel del calor residual. No obstante, en la nueva Directiva sobre fuentes de energía renovables (Parlamento Europeo, 2018a), las fuentes de calor, *por ejemplo*, el calor residual de túneles y metros, los procesos de conversión de electricidad a gas, etc., no pueden contar a favor en los objetivos renovables nacionales, ya que esto podría suponer un tratamiento desequilibrado. Es más, en la definición de calor residual, el término “inevitable” es difícil de definir porque podría relacionarse tanto con la viabilidad económica como con la técnica. La Directiva relativa a la eficiencia energética de los edificios (Parlamento Europeo, 2010) predice unos requisitos mínimos sobre el factor de energía primaria de edificios nuevos o renovados. No obstante, los estados miembros establecen este factor y, a veces, no favorece el calor residual.

Los periodos de amortización largos ocasionan dificultades económicas y financieras. Esto se debe a los costes posiblemente mayores de la inversión y, de alguna manera, a los bajos ingresos por la venta de calor, particularmente en el verano. Por ello, la falta de garantías a largo plazo sobre la disponibilidad futura del calor residual está imponiendo un riesgo de inversiones estancadas. Es más, los periodos máximos de amortización de las sociedades industriales oscilan entre 2 y 3 años, mientras que las empresas de DHC se orientan más a largo plazo; *es decir*, los periodos de amortización de hasta 20 años suelen ser aceptables. También existen divergencias sobre el valor del calor residual, *es decir*, las compañías privadas tienden a maximizar sus ganancias. Para asegurar la disponibilidad del recurso del agua residual a lo largo del tiempo, se recomienda que los contratos sean a largo plazo. La licitación pública del suministro de calor también podría ser una forma de asegurar que el calor abastecerá la red en cualquier circunstancia.

Regulaciones de la construcción

En muchos países, las regulaciones de la calefacción y refrigeración quedan cubiertas por las regulaciones de la construcción y de la eficiencia energética. Normalmente, este tipo de regulación se centra en un solo edificio y en su consumo de energía, y no en el rol del edificio dentro de un sistema de energía más amplio. Este es también el caso de las certificaciones de edificación ecológica como la certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) o BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology).

Para asegurarse de que las regulaciones de la construcción también promuevan el suministro de energía urbana, es importante que los responsables políticos y reguladores a nivel nacional y local cuenten con una perspectiva del sistema de energía y no se centren solamente en un edificio. La perspectiva de los sistemas de energía inteligente se presenta en la Parte A, Sección 1.2, mientras que en la Parte B, Sección 3.3, se presenta un enfoque de la eficiencia energética desde una perspectiva de sistema.

Un elemento central es establecer si las regulaciones y los estándares relacionados con los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios miden la energía final o la primaria. El consumo de energía final medido en el mismo edificio no tiene en cuenta las mejoras más amplias de la eficiencia del sistema de energía.

El uso de energía primaria (como una evaluación del mismo) también considera las mejoras de la eficiencia encontradas, por ejemplo, en la parte de la producción, donde las plantas de DHC mejoran la eficiencia del sistema de energía.

Asimismo, los responsables de las decisiones podrían asegurar que los requisitos mínimos de eficiencia energética y los certificados de eficiencia energética no solo valoricen la generación de energía renovable in situ, sino que también tengan en cuenta el impacto positivo del calor o frío renovable generado de forma externa y suministrado por una DHC. Los certificados de eficiencia energética también deben valorizar los edificios con DHC que provenga de fuentes sostenibles, *es decir*, esto también debe indicarse claramente.

En cuanto al edificio en sí, las regulaciones deberían exigir que los equipamientos del edificio se diseñen para su funcionamiento con temperaturas bajas, sin importar que exista una red de energía urbana en el área. Esto facilitaría una conexión ulterior del edificio a una red de energía urbana.

Es más, en mercados maduros donde exista suficiente confianza en la DHC, se podría imponer la obligación de una conexión. Este es el caso de Italia, donde las edificaciones nuevas deben estar preparadas para la calefacción urbana y tienen la obligación de conectarse a un sistema ubicado a una distancia de hasta 1 km del edificio (Ministerio de Desarrollo Económico, 2015; Costanzo *et al.*, 2018).

B.6.4 Financiación

Nuevos sistemas de energía urbana basados en energías renovables, modernización y cambio de combustible a fuentes de energía renovable en sistemas ya existentes

Los costes iniciales de capital para la construcción y remodelación de una red de DHC, así como de algunos proyectos de calor renovable, son cuantiosos. Aunque las redes de DHC deban pagarse por sí mismas, puede pasar una década o más hasta recuperar el gasto inicial (*por ejemplo*, el diseño y la construcción) y recibir algún beneficio. Por lo tanto, estos proyectos son buenas opciones para los inversores que busquen fuentes de ingresos a largo plazo seguras, en lugar de un retorno rápido de la inversión.

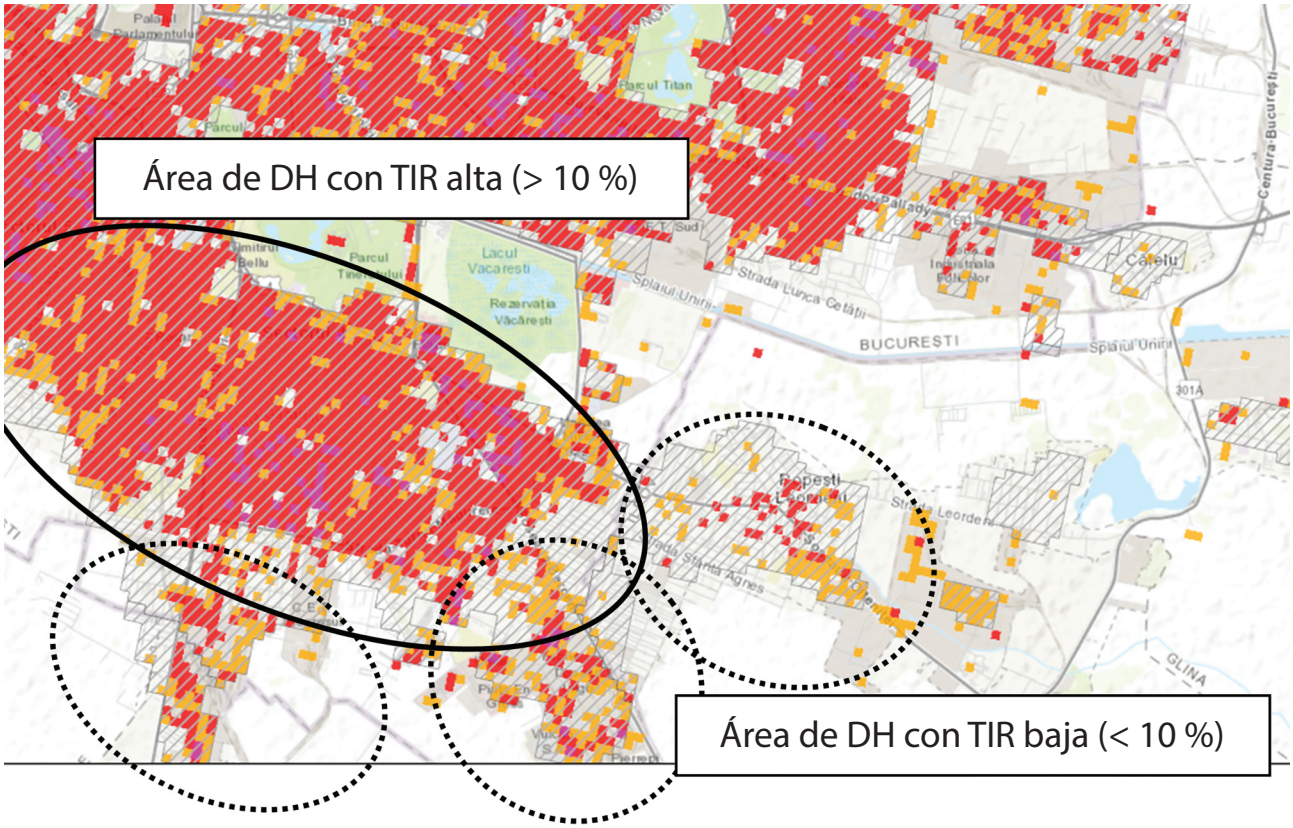
> "Los proyectos de energía urbana son buenas opciones para los inversores que busquen fuentes de ingresos a largo plazo seguras, en lugar de un retorno rápido de la inversión"

Una barrera importante para las inversiones en redes de HC puede ser la incertidumbre asociada a la demanda de calor, el potencial de las fuentes renovables o calor residual, los posibles clientes o las tasas de conexión. Debido a que las inversiones en redes de calefacción urbana tienen un marco temporal largo, debe asegurarse una estabilidad a largo plazo. Esto puede llevarse a cabo, por ejemplo, mediante contratos de concesión, zonificación y conexiones obligatorias, o la conexión de consumidores públicos así como de clientes con alta demanda.

Un enfoque para gestionar el riesgo de los proyectos de desarrollo nuevos es comenzar con los clientes conocidos por su alta demanda, como hospitales, industrias, piscinas u otras áreas donde la densidad de la demanda de calor sea estable y alta. Los clientes con un gran consumo aumentan la certeza de la inversión si firman contratos a largo plazo. Esta estrategia es también denominada "recoger la fruta más baja".

La ventaja de estas estrategias es que al comenzar con las áreas de mayor valor, se pueden colocar tuberías en el suelo. Las empresas de calefacción urbana nuevas podrán escalar la curva de aprendizaje con estos casos y podrán ampliar su cobertura más adelante. Los casos con una alta TIR permiten más margen para el aprendizaje que los casos con una TIR más baja. Por lo tanto, empezar los nuevos proyectos con las áreas más rentables puede resultar una forma importante de establecer nuevas redes.

Figura 34. **Ejemplo de desarrollo de calefacción urbana en áreas con unas TIR altas y bajas**



Nota: Las áreas son solo ejemplos y no representan ningún caso real. DH: calefacción urbana.
Fuente: AAU, según datos de PETA 4 (n.d.)

Un reto asociado al hecho de comenzar por las áreas más rentables es que los desarrolladores pueden excluir áreas menos provechosas y no conectar nunca estas áreas a las redes de calefacción urbana. La figura 34 muestra un ejemplo. Muestra un área con una alta demanda de calor y tres áreas conectadas con menor demanda de calor. Las cuatro áreas son posibles distritos para el suministro, según el mapa de PETA 4, y podrían abastecerse con la calefacción urbana (Universidad de Flensbourg, Universidad de Halmstad y Universidad de Aalborg, 2018). Si se desarrolla primero el área con una demanda alta sin la obligación de desarrollar los otros tres distritos, podría ocurrir que estas áreas quedaran sin aprovechar tras implantar la calefacción urbana en el área más rentable.

Los planificadores de DHC y los responsables de las decisiones deben considerar este dilema cuando, por ejemplo, planifiquen nuevas áreas, realicen nuevos tendidos, implanten nuevas zonificaciones de DHC, etc. Debe asegurarse que las áreas calificadas como rentables desde un punto de vista socioeconómico (véase Parte B.3.4 “Establecimiento de escenarios para el suministro de calor”), y no solo las calificadas como tales desde un punto de vista comercial, se desarrollen con el suministro de DHC.

El desarrollo de recursos de baja temperatura como la geotermia se considera financieramente arriesgado, particularmente en las fases tempranas del desarrollo, cuando existe poca información sobre el subsuelo. El riesgo geológico en estas primeras fases del desarrollo geotérmico puede suponer la perforación de pozos incorrectos a causa de la escasez o ausencia de permeabilidad.

Un proyecto geotérmico puede tener dificultades para atraer financiación hasta que se pruebe el recurso con una perforación exploratoria satisfactoria. Además, la inversión inicial requerida para desarrollar una red de calefacción urbana geotérmica suele ser mucho más elevada que con otras fuentes. Esto suele explicarse por la fase de perforación, que exige una gran inversión de capital. Es más, los proyectos geotérmicos suponen un plazo de entrega mayor.

Las fuentes de financiación tradicionales para la calefacción urbana son recursos municipales, apoyados por subvenciones y préstamos concesionales. Las subvenciones y los préstamos concesionales suelen provenir de fondos nacionales, subnacionales e internacionales, o de iniciativas a nivel de ciudad (Leoni, Geyer y Schmidt, 2020).

Las acciones gubernamentales para aumentar el atractivo de la energía renovable en redes de DHC se pueden justificar. Los instrumentos económicos y financieros pueden incluir inversiones directas (adquisiciones gubernamentales, subvenciones) como en el caso de la ciudad de Jinan, en China (véase el recuadro 14); incentivos fiscales y financieros (tarifas reguladas, impuestos o exención de impuestos); o instrumentos regulatorios del mercado (emisión de certificados verdes o blancos, bonos verdes).

Además, los programas de bancos de desarrollo pueden contribuir al soporte financiero (así como a los análisis de viabilidad). La subvención del programa Energía urbana renovable en los Balcanes Occidentales (ReDEWeB) del Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo (EBRD; sin fecha) pretende activar la inversión en energía urbana renovable en los Balcanes occidentales (véase el recuadro 15).

RECUADRO 14 JINAN (CHINA)

La calefacción urbana ha sido la principal tecnología ideada por el gobierno de Jinan para asegurar una calefacción adecuada a sus residentes desde la década de 1980. Hasta hace poco, las políticas e inversiones estatales pretendían satisfacer la creciente demanda de calor mediante la ampliación de la red y de la capacidad en un sistema basado en la producción alimentada con carbón.

En 2015, las decisiones políticas sobre calefacción urbana entraron en una nueva etapa cuyo objetivo era la aceleración de las emisiones ultrabajas de las calderas de carbón. Poco después, el marco regulador se volvió más concreto y completo, y especificaba acciones destinadas a sustituir la producción de calor mediante carbón por una "calefacción limpia". La financiación aumentó en consecuencia.

En los últimos años, China ha otorgado, en general, una gran importancia a la calefacción limpia y ha introducido una serie de políticas para promover, apoyar y acelerar la implantación de calefacción limpia. Jinan, como una de las ciudades piloto para la "calefacción limpia en invierno", ha recibido 100 millones de dólares estadounidenses al año como apoyo financiero especial por parte del gobierno central (lo que ha supuesto un total de 300 millones durante 3 años).

Bajo el amparo del ímpetu de la política nacional de calefacción limpia, Jinan elaboró un plan para una red de calefacción no contaminante para 2020. El plan incluye, aparte de la demolición o sustitución de las calderas de carbón, el uso de fuentes de calor alternativas como el calor residual de larga distancia o la geotermia. También aborda la gestión de la demanda con contadores inteligentes y con la implantación de medidas de eficiencia energética en el parque inmobiliario.

Este caso demuestra el aprovechamiento de los subsidios y políticas energéticas nacionales por parte de proyectos locales de energía urbana renovable.

Fuente: Shutterstock

Ciudad de Jinan, capital de la provincia de Shandong (China)

RECUADRO 15 PROGRAMA DEL EBRD DE ENERGÍA URBANA RENOVABLE EN LOS BALCANES OCCIDENTALES

El EBRD creó el programa ReDEWeB para apoyar el desarrollo del mercado de la energía urbana basada en renovables en la zona de los Balcanes occidentales. Los países que se benefician de este programa son Albania, Bosnia-Herzegovina, *Kosovo, Macedonia del Norte, Montenegro y Serbia.

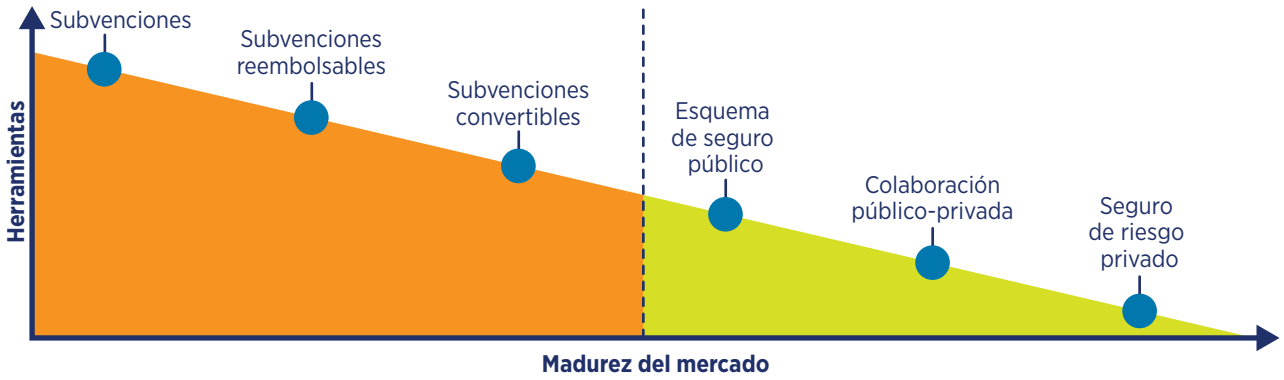
El programa se centra en el desarrollo de redes de energía urbana sostenible en contextos locales específicos de los Balcanes occidentales. Para ello:

- ayuda a los países de los Balcanes occidentales a desarrollar planes de acción de DHC basadas en renovables y lograr sus obligaciones contractuales en cuanto a energía renovable y eficiencia energética
- apoya el establecimiento de medidas políticas a nivel de ciudad que alienten la generación, el almacenamiento y la utilización de energía renovables en sistemas de energía urbana
- ayuda a los municipios y al sector privado a preparar propuestas de inversión en energía urbana, estudios de viabilidad y diseños preliminares
- organiza eventos para promocionar el intercambio de experiencias y prácticas recomendadas en el desarrollo y operación de sistemas de energía urbana
- financia o cofinancia proyectos aptos de energía urbana en los Balcanes occidentales (Lukic, 2018).

A través del programa ReDEWeB, el EBRD ofrece apoyo financiero a proyectos de energía urbana de la forma siguiente: préstamos con garantía soberana a los gobiernos nacionales, préstamos de empresas de servicios o municipios garantizados por el ayuntamiento a gobiernos locales, préstamos de cuasi sociedades de servicios a empresas de servicios y préstamos a PPP o al sector privado.

* La designación de Kosovo se realiza sin perjuicio de las posiciones sobre el estado y la resolución 1244 del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas (1999).

Figura 35. **Relación entre un plan de mitigación de riesgos y la madurez del mercado geotérmico**



Fuente: Seyidov y Weimann (2020)

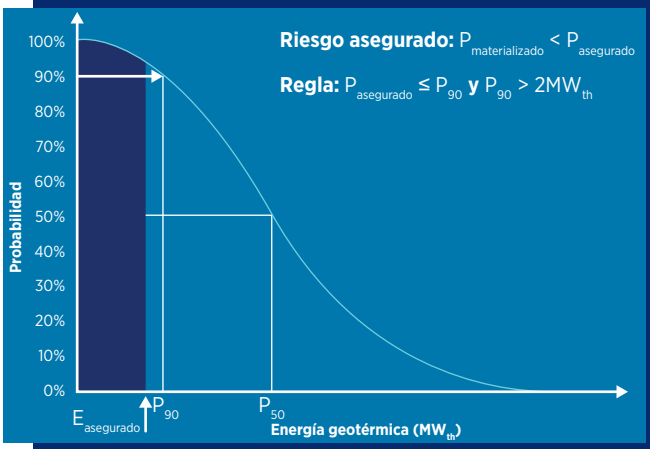
El sector privado también puede ofrecer la financiación requerida para desarrollar proyectos de energía urbana. Pero deben designarse marcos regulatorios y legales para permitir la participación del sector privado, y este debe ser transparente y previsible. Además, la estructura de la tarifa de calor debe permitir a los inversores cubrir todos los costes de funcionamiento, conseguir beneficios e incentivar los suministradores de calor más eficientes. Finalmente, las medidas políticas como tarifas reguladas e incentivos fiscales (*por ejemplo*, exenciones de impuestos, zonificación de calor y acceso preferente a la red) pueden animar al sector privado a invertir en DHC (IFC, 2014).

En cuanto a la energía geotérmica, de forma específica, un apoyo público y esquemas de productividad de pozos público-privados han contribuido a un crecimiento significativo del calor geotérmico en países como Francia y Países Bajos (véase el recuadro 16). Tal como ha demostrado el proyecto financiado por la UE GeoRisk, el tipo de mecanismos de soporte utilizados para reducir los riesgos de proyectos geotérmicos puede depender de la madurez del mercado en el país/región concreto, tal como muestra la figura 35.

En los mercados jóvenes, es posible que se prefieran mecanismos según proyecto, *por ejemplo*, subvenciones o subvenciones convertibles. Esto es debido a la dificultad que puede entrañar el hecho de atraer capital privado sin la intervención del sector público, especialmente si se persigue la reducción de los riesgos del proyecto. Los mercados más desarrollados, que cuentan con una cartera de proyectos más amplia, pueden adoptar planes de seguros públicos, planes público-privados y seguros de riesgo privados (Seyidov y Weimann, 2020).

> "La elección de los mecanismos de soporte para reducir los riesgos de proyectos geotérmicos depende de la madurez del mercado"

RECUADRO 16 PLANES DE MITIGACIÓN DE RIESGOS GEOTÉRMICOS



Fuente: (Boissavy, 2019)

Países Bajos

Un plan de mitigación de riesgos geotérmicos basado en un seguro compensa a los desarrolladores si consiguen menos producción de la esperada en los pozos geotérmicos perforados y, al hacerlo, cubren el riesgo geológico de los proyectos geotérmicos. Según este plan, se compensa al asegurado cuando la potencia de salida geotérmica obtenida de un pozo es inferior al 90 % de probabilidad (P90) esperada, tal como muestra la figura de arriba.

En los proyectos aptos, el promotor paga al plan un equivalente prémium al 7 % del total de los costes de perforación. Si el proyecto resulta completamente insatisfactorio, se compensa al promotor el 85 % del total del coste, con un límite de 11,05 millones de euros (13,26 millones de dólares estadounidenses) en la geotermia superficial y de 18,7 millones de euros en proyectos geotérmicos de gran profundidad.

Desde 2009, cuando se inauguró el plan, se han realizado 11 proyectos satisfactoriamente (hasta mayo de 2020) y se han solicitado cuatro. La cantidad total de subvenciones otorgadas hasta la fecha durante las nueve rondas de solicitudes para el plan acumulan un total de 146 millones de euros (Ramsak, 2020).

Francia

En Francia, se estableció en 2009 un fondo de calor renovable tras finalizar el plan de mitigación de riesgos que existía desde la década de 1980. El fondo de calor consta de dos componentes. Uno cubre el riesgo geológico con un fondo a corto plazo que compensa a los desarrolladores por sondeos no satisfactorios. El otro es un fondo a largo plazo que cubre las reparaciones (*por ejemplo*, la nueva perforación de pozos de reinyección en ubicaciones diferentes) del sistema geotérmico para asegurar la continuidad de su funcionamiento. Este fondo cubrirá proyectos desarrollados en el acuífero Dogger en París, así como en otras regiones, como Alsacia, el corredor del río Ródano, áreas del Mediterráneo y la cuenca aquitana.

Desde que se estableció este fondo de calor renovable, se han desarrollado diez proyectos nuevos hasta 2019. Además, los proyectos geotérmicos desarrollados en la década de 1980 también podrán utilizar el fondo para realizar más sondeos y así ampliar sus vidas operativas (Boissavy, 2019).

Podemos encontrar un ejemplo de otra opción de financiación en Canadá. Existen cuencas sedimentarias que subyacen en una parte significativa del país. Estas cuencas albergan recursos geotérmicos de baja temperatura, aunque no tienen una producción de energía geotérmica eléctrica ni un uso directo de la geotermia profunda convencional. El gobierno nacional de Canadá está invirtiendo más de 75 millones de dólares estadounidenses en varios proyectos geotérmicos (convencionales, de coproducción y no convencionales) para probar que el desarrollo geotérmico puede ayudar al país a reducir las emisiones de carbono y apoyar la transición hacia una menor dependencia en hidrocarburos y carbón (Hickson *et al.*, 2020a)

A nivel de proyecto, se ha visto un surgimiento de formas innovadoras de financiar el desarrollo y la expansión de un sistema de energía urbana.

Por ejemplo, las compañías de energía urbana pueden asociarse con una empresa de servicios energéticos (ESCO) para ofrecer directamente a los consumidores programas de ahorro energético (Leoni, Geyer y Schmidt, 2020). Vemos un ejemplo con el operador de calefacción urbana Toplana-Šabac en la ciudad de Šabac, Serbia (Jovanović, 2019). Tales programas suelen incluir una auditoría energética de las viviendas o edificios y ofrecen financiación a los consumidores que pueden devolver en sus facturas de servicios. Una vez finalizado el periodo de amortización, los clientes obtienen sus ahorros a través de facturas de energía reducidas, lo que permite a la compañía de servicios retener a sus clientes. Además, con un alto nivel de mejoras en la eficiencia, la búsqueda de opciones de suministro de energía sostenible, como la DHC basada en calor residual, puede suponer una forma rentable de satisfacer la enorme demanda energética. Esto significa que existe la posibilidad de ampliar la red de energía urbana sin tener que aumentar la capacidad de calor instalada, pero cambiando a fuentes de energía de baja temperatura.

Las ideas propuestas para conseguir modelos de negocio innovadores que persiguen la optimización de las redes de DHC con medidas en los edificios pretenden aunar esfuerzos para resolver los obstáculos económicos, sociales, tecnológicos y reguladores para disminuir las temperaturas del suministro (Leoni, Geyer y Schmidt, 2020). Estas soluciones actúan en tres puntos:

- Implican a los clientes en el logro de la eficiencia operativa del edificio. Esto se puede conseguir forjando mejores relaciones y una mayor comunicación, añadiendo estructuras nuevas de tarifas y ofertando servicios con promociones a medida.

- Financian las medidas de optimización y la detección de errores. Esto se puede conseguir con asociaciones estratégicas y plataformas de microfinanciación colectiva.

- Contratan ahorros energéticos. Esto es básico para solventar las preocupaciones relacionadas con la división de incentivos en viviendas alquiladas. El ahorro energético en un edificio se traduce en facturas de energía más bajas para el ocupante. Pero si el ocupante es un inquilino, es probable que el propietario del edificio no esté dispuesto a invertir en medidas de mejora del rendimiento energético si no percibe beneficio alguno, lo que produce una situación conocida como división de incentivos.

Asimismo, en lo que concierne a la financiación, es posible que una asociación estratégica con partes interesadas ofrezca beneficios económicos con una temperatura de funcionamiento más baja. Según Leoni, Geyer y Schmidt (2020), estas partes interesadas incluyen:

- Industrias y actividades comerciales como centros de datos que pueden suministrar energía de baja temperatura a la red de DHC, *por ejemplo* calor residual.

- Propietarios de tecnologías que son adecuadas para el funcionamiento de la DHC con temperaturas de retorno bajas, *por ejemplo* sistemas solares térmicos y bombas de calor.

- Propietarios de sistemas de información y comunicación que ofrecen soporte operativo en las redes de DHC.

- Propietarios de tecnologías y equipamiento que permiten el suministro a baja temperatura en los edificios.

- Esquemas de negocio que generan vales que la empresa de servicios de DHC puede adquirir y ofrecer a clientes “virtuosos”, en caso de desearse tal motivación (Leoni, Geyer y Schmidt, 2020).

Estas partes interesadas pueden ofrecer subvenciones para implantar una reducción de la temperatura en la DHC. El retorno de tales inversiones puede adoptar varios formatos: la venta de calor residual para aquellos que inviertan en el abastecimiento de calor residual; la provisión de tecnologías a la empresa de suministros o a los clientes para proveedores y desarrolladores de tecnología; y la venta de vales para inversores en esquemas de negocio que entreguen vales. Otras posibles colaboraciones pueden suponer empresas conjuntas.

Los proyectos de DHC suelen atraer a inversores cuyos objetivos no son simplemente maximizar el retorno, sino también promover actividades con fines éticos, sociales y medioambientales. En relación con esto, una opción de modelo de negocio potencialmente viable es ofrecer a los ciudadanos la oportunidad de comprometerse con el negocio de la DHC mediante plataformas de microfinanciación colectiva y fondos de pensiones (Candelise, 2018; Leoni, Geyer y Schmidt, 2020).

La microfinanciación colectiva es una forma de financiación alternativa en la que varias personas aportan cantidades relativamente pequeñas de dinero a un proyecto a través de plataformas en la web. Se eligió esta solución, junto con subsidios públicos, para financiar el proyecto de calefacción urbana geotérmica GeoMarne, en los municipios de Champs-de-Marne y Noisiel, en las afueras de París, Francia (Richter, 2020). Para una inversión total de 40 millones de euros, los habitantes de la región de Île-de-France aportaron 1 millón de euros.

El acceso a la financiación podría entorpecerse más por un nivel bajo de experiencia institucional y técnica, especialmente en países en desarrollo. Tal experiencia es necesaria para generar confianza en las entidades financieras de los proyectos de energía renovable. Una de las herramientas desarrolladas para abordar este reto es el Project Navigator de IRENA (IRENA, n.d.), una plataforma en línea que ofrece una guía práctica paso a paso para desarrollar proyectos de energía renovable financiables, incluidos los proyectos de energía urbana, tal como se muestra en el recuadro 17.

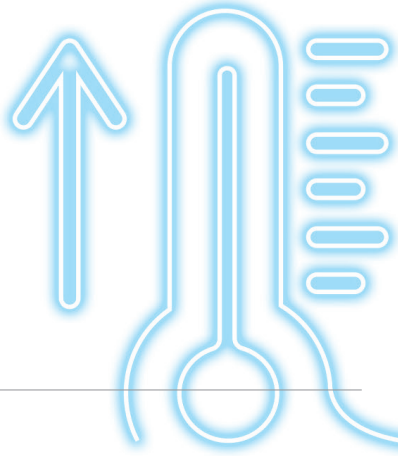
RECUADRO 17 DESARROLLO DE PROYECTOS DE ENERGÍA RENOVABLE FINANCIABLES: IRENA PROJECT NAVIGATOR

Las directrices del Project Navigator de IRENA ofrecen información crucial que ayuda a los desarrolladores a crear propuestas financiables para proyectos de energía renovable. Este navegador guía a los desarrolladores de un proyecto por las etapas habituales de este proceso. En cada fase, se describen pasos diferentes y se incluye lo que es necesario conseguir al final de dicha etapa del desarrollo.

Project Navigator describe las fases principales de toda la vida útil del desarrollo del proyecto, comenzando por la idea del proyecto hasta la construcción, O&M y desmantelamiento, e incluye acciones y resultados.

Project Navigator también ofrece casos prácticos reales, las prácticas recomendadas del sector e instrumentos financieros relevantes para cada tecnología. Es más, los desarrolladores cuentan con un espacio de trabajo y una serie de herramientas para preparar proyectos, hacer un seguimiento del progreso e identificar carencias. Los resultados se pueden exportar para su posterior procesamiento con herramientas tales como modelos financieros o listas de comprobación.

https://navigator.irena.org/index.html



Resumen de los retos y recomendaciones para facilitar condiciones marco, financiación y modelos de negocio

En este apartado se resumen los distintos modelos y retos relacionados con la propiedad, la fijación de los precios, la financiación y la regulación de los sistemas de DHC. Estos distintos factores guardan una estrecha relación y suelen tener efectos mutuos. Por ello, un promotor público o privado o una empresa de DHC deben tomar todos estos factores en consideración al mismo tiempo para generar confianza en el sistema de energía urbana.

Ante esta interconexión, se deduce que un sistema integral de gobernanza de DHC debe comprender una combinación de medidas que incluyen conocimientos locales, percepción y aceptación de la DHC, funcionamiento de los sistemas, conocimientos y prácticas de ingeniería, y acceso a los recursos. El sistema de gobernanza seleccionado debe garantizar que las inversiones sean rentables, que los consumidores se beneficien de unos precios competitivos y que se promueva la transparencia de los precios.

Establecer un plan integral de gobernanza de la energía urbana.

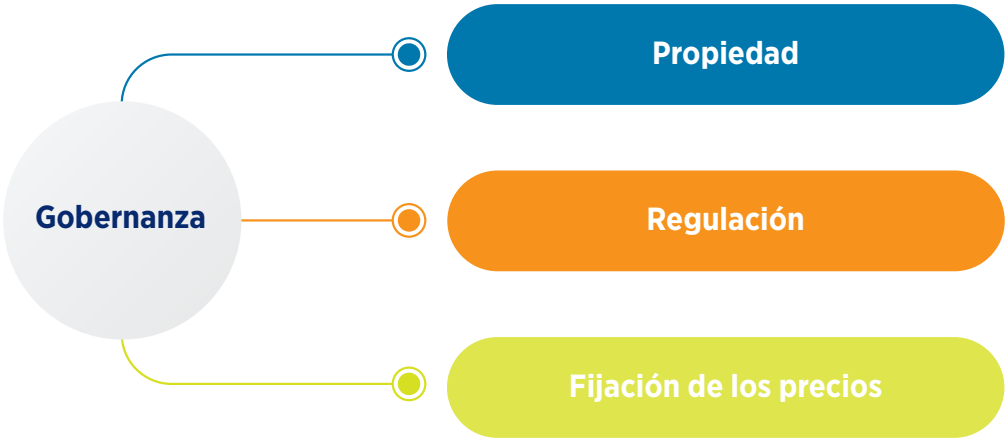
Las autoridades nacionales y locales podrían utilizar varias medidas de gobernanza en el sector de la energía urbana para lograr determinados logros económicos y sociales.

- Identificar y ejecutar un plan de gobernanza que vele por que el sistema de energía urbana genere los máximos beneficios sociales. Este plan podría conllevar una combinación de diversos aspectos como la regulación de los precios, la propiedad y la legislación. Por ejemplo, el principio del costo real ha generado unos precios bajos combinados con la propiedad pública o comunitaria en los sistemas de calefacción urbana de Dinamarca.

Garantizar la igualdad de condiciones.

Para que los proyectos de energía urbana basados en energías renovables resulten competitivos frente a otras opciones existentes para la calefacción y la refrigeración, las autoridades nacionales y locales deben desempeñar una función fundamental.

Figura 36. **Factores que conforman un plan de gobernanza de la calefacción urbana**



- Considerar las redes de energía urbana como una infraestructura pública. A menudo, suele recomendarse que la infraestructura sea, como mínimo, de propiedad parcialmente pública debido a que es frecuente que se requiera una gran inversión para establecer con éxito una empresa de energía urbana y su infraestructura conexa. De este modo se garantiza que los proyectos puedan atraer opciones de financiación de bajo costo y a largo plazo, lo que contribuye a la reducción del costo de la energía.

- Promover la competencia en los mercados de calor locales, por ejemplo, en la producción de calor por medio de licitaciones. Si en el precio del suministro compiten múltiples generadores de calor se elimina el peligro del monopolio natural y se alientan la innovación y la eficiencia en la producción, lo que redunda en una energía más barata.

- Introducir distintos instrumentos a escala nacional y local para garantizar la igualdad de condiciones: tarifas de calor, palancas fiscales, racionalización de la legislación sobre DHC, regulación y vigilancia de los precios, así como instrumentos para abordar las externalidades —por ejemplo, fijación de los precios del CO_2—. Todas las opciones para el desarrollo de sistemas sostenibles deben considerarse desde un punto de vista holístico: por ejemplo, las relativas al reglamento de construcción.

- Desarrollar un entorno propicio para los recursos de energías renovables como la energía geotérmica y la energía solar térmica mediante la eliminación de las barreras normativas y la optimización y simplificación de la normativa a escala local y nacional. Esto puede conllevar reglamentos relativos al acceso, la exploración y la explotación de los recursos geotérmicos, así como la concesión de licencias para los proyectos de energía solar térmica.

Superar las barreras a la inversión para propiciar una transición intensiva en capital.
Las autoridades nacionales y locales pueden apoyar a los operadores de energía urbana mediante la minimización de determinados riesgos asociados con los recursos energéticos con el fin de atraer mayor financiación.

- Apoyar el desarrollo de planes de seguros para reducir los riesgos de las fuentes de energía renovables como la geotérmica compensando para ello a los inversores por la perforación de pozos no productivos o por un descenso de la productividad de los pozos.

- Proporcionar financiación directa para el sector público o elabore programas de asistencia técnica. Estos fondos podrían utilizarse para evaluar la viabilidad de los proyectos, desarrollar infraestructura de energía urbana en nuevos mercados o evaluar opciones de suministro de energías renovables.

En el ámbito de los proyectos, pueden aplicarse las siguientes medidas para atraer financiación.

- Evaluar la “fruta madura”. Comenzar con los edificios públicos o los consumidores de alta demanda, garantizando, al mismo tiempo que pueda aprovecharse su pleno potencial. Esta estrategia garantiza que se aborde la incertidumbre asociada a la demanda en los nuevos avances con el fin de liberar financiación.

- Analizar prácticas de financiación innovadoras que conlleven asociaciones. Las medidas de eficiencia energética en el ámbito de los edificios podrían financiarse por medio de asociaciones con empresas de servicios energéticos, mientras que la financiación colectiva podría analizarse para aprovechar los beneficios del capital de bajo costo, *por ejemplo*, de los fondos de pensiones.

LISTA DE COMPROBACIÓN

Facilitar la integración de las energías renovables a baja temperatura en la DHC

DEFINICIÓN DEL ALCANCE, EVALUACIÓN Y PARTICIPACIÓN DE LAS PARTES INTERESADAS	MAPEO DE LA DEMANDA Y LOS RECURSOS PARA LOS ESCENARIOS TÉCNICOS E IDENTIFICACIÓN DE LOS PROYECTOS	TRATAMIENTO DE LOS RETOS TÉCNICOS CON EL PARQUE INMOBILIARIO, LAS REDES Y LOS RECURSOS ENERGÉTICOS	FACILITACIÓN DE CONDICIONES MARCO, FINANCIACIÓN Y MODELOS DE NEGOCIO
☑ Aclarar cuáles son las motivaciones y los objetivos más importantes	☑ Mapear la demanda de calor y frío utilizando datos procedentes de las mediciones o la modelización/estimación de la demanda por medio de herramientas de análisis espaciales	☑ En las zonas donde existan sistemas de calefacción urbana, evaluar la compatibilidad del parque inmobiliario existente y la red	☑ Seleccionar un modelo de propiedad que aborde eficazmente los distintos intereses de las partes interesadas
☑ Evaluar a las partes interesadas e identificar sus intereses	☑ Mapear las fuentes de energía y analizar su potencial para la energía urbana, tomando en consideración las mejores tecnologías disponibles para la explotación de las fuentes de energía a baja temperatura disponibles	☑ Integrar la modernización de la DHC y los planes de renovación de los edificios si es necesario, incluyendo la mejora de los sistemas de control, la facturación basada en la medición y el consumo y el asesoramiento al sector doméstico	☑ Seleccionar la opción correcta para la regulación de los precios con el fin de garantizar unos precios competitivos en el mercado del calor
☑ Elaborar una estrategia de participación de las partes interesadas que incluya a los ciudadanos	☑ Compensar los ahorros en términos de calor y el rediseño del suministro para evitar excesos de capacidad	☑ Evaluar la producción de ACS y otras medidas secundarias para reducir la temperatura de trabajo del sistema	☑ Mitigar el riesgo asociado a los planes innovadores de financiación/seguros y centrar primero la atención en los aspectos fáciles de abordar
☑ Llevar a cabo el proceso de participación	☑ Formular escenarios con el nivel de detalle necesario para tomar decisiones, teniendo en cuenta los objetivos sociales que motivaran el proceso de planificación energética estratégica (PES)	☑ Evaluar si se han sobredimensionado las tuberías o si se requiere un reemplazo de los sistemas de DHC existentes	☑ Garantizar la igualdad de condiciones mediante palancas financieras y la legislación, tomando en consideración las externalidades
	☑ Adoptar un enfoque recurrente para avanzar hacia un proyecto cada vez más detallado	☑ Abordar los retos técnicos de la explotación de fuentes de energía a baja temperatura	
		☑ Energía geotérmica: evaluar los riesgos de la perforación, la incrustación y la inyección, la temperatura y el flujo	
		☑ Energía solar: evaluar la disponibilidad de suelo o tejados y el almacenamiento	
		☑ Calor residual: determinar la temperatura y el flujo, la disponibilidad a lo largo del tiempo, la localización y el desfase temporal	

REFERENCIAS

Aalborg Varme A/S (2020), Årsrapport 2019 (Informe anual 2019), Aalborg, Dinamarca, *www.aalborgforsyning.dk/privat/arsrapporter/*.

AIE (2019a), Renewables 2019: Market analysis and forecast from 2019 to 2024 (Renovables 2019: análisis del mercado y previsión de 2019 a 2024), Agencia Internacional de la Energía, París, *www.iea.org/reports/renewables-2019/heat (consultado el 15 de julio de 2020)*.

AIE (2019b), How can district heating help decarbonise the heat sector by 2024? **(¿Cómo puede ayudar la calefacción urbana a descarbonizar el sector del calor para 2024?),** Agencia Internacional de la Energía, París, *www.iea.org/articles/how-can-district-heating-help-decarbonise-the-heat-sector-by-2024* (consultado el 16 de julio de 2020).

AIE (2018), The future of cooling: Opportunities for energy-efficient air conditioning (El futuro de la refrigeración: oportunidades para el aire acondicionado eficiente energéticamente), Agencia Internacional de la Energía, París, *https://doi.org/10.1787/9789264301993-en*.

Alianza Global para los Edificios y la Construcción, AIE y UNEP (2019), 2019 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector (Informe de estado global 2019: hacia un sector de edificación y construcción resiliente y eficiente de cero emisiones), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, *https://worldgbc.org/news-media/2019-global-status-report-buildings-and-construction*.

Alianza Global para los Edificios y la Construcción, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y AIE (2018), 2018 global status report: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector (Informe de estado global 2018: hacia un sector de edificación y construcción resiliente y eficiente de cero emisiones), pp. 73, *www.worldgbc.org/news-media/2018-global-status-report-towards-zero-emission-efficient-and-resilient-buildings-and*.

Allansdottir, A., A. Pellizzone y A. Sciullo (2019), Geothermal Energy and Society (Energía geotérmica y sociedad), Lecture Notes in Energy, Vol. 67, A. Manzella, A. Allansdottir y A. Pellizzone (eds.), Springer International Publishing, *https://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-78286-7*.

Andrews, D. *et al.* (2012), Background report on EU-27 district heating and cooling potentials, barriers, best practice and measures of promotion (Informe sobre potenciales, barreras, prácticas recomendadas y medidas de promoción de la calefacción y refrigeración urbana en los 27 países de la UE), *https://setis.ec.europa.eu/system/files/1.DHCpotentials.pdf*.

Angelino, L. *et al.* (2016), "Regulatory frameworks for geothermal district heating: A review of existing practices" (Marcos reguladores para la calefacción urbana geotérmica: una revisión de las prácticas existentes), Congreso europeo de geotermia de 2016 (2014), pp. 19-24.

Averfalk, H. *et al.* (2017), Transformation roadmap from high to low temperature district heating systems: Annex XI final report. (Hoja de ruta para la transformación de las redes de calefacción urbana de alta a baja temperatura: informe final del anexo IX)

Averfalk, H. y S. Werner (2020), "Economic benefits of fourth generation district heating" (Beneficios económicos de la cuarta generación de la calefacción urbana), Energy, Vol. 193, Elsevier, artículo 116727, *https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2019.116727*.

Averfalk, H. y S. Werner (2018), "Novel low temperature heat distribution technology" (Nueva tecnología de distribución de calor a baja temperatura), Energy, Vol. 145, pp. 526-539, *https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.157*.

Averfalk, H. y S. Werner (2017), "Essential improvements in future district heating systems" (Mejoras esenciales en futuras redes de calefacción urbana), Energy Procedia, Vol. 116, pp. 217 225, *https://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.069*.

Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo (2018), Making district heating happen: Empowering users through fair metering (Hacer realidad la calefacción urbana: empoderar a los usuarios con mediciones justas), *www.ebrd.com/documents/admin/making-district-heating-happen-empowering-users-through-fair-metering.pdf*.

Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo (n.d.), Renewable District Energy in the Western Balkans (ReDEWeB) programme (Programa de energía urbana renovable en los Balcanes occidentales), *www.ebrd.com/work-with-us/projects/tcpsd/renewable-district-energy-in-the-western-balkans-redeweb-programme.html* (consultado el 18 de agosto de 2020).

Banco Mundial (2012), "Modernization of the district heating systems in Ukraine: Heat metering and consumption-based billing" (Modernización de las redes de calefacción urbana en Ucrania: medición del calor y facturación por consumo), ESMAP, pp. 1-72, *https://euea-energyagency.org/wp-content/uploads/2012/03/UkraineDHreport2012e.pdf*.

Battisti, R. (2018), "How to identify suitable areas for SDH" (Cómo identificar áreas aptas para la calefacción solar urbana), Solar thermal world.

Belot, C. y J.-M. Juilhard (2006), Rapport d'information fait au nom de la délégation du Sénat à l'aménagement et au développement durable du territoire (1) sur les énergies locales, (Informe realizado en nombre de la delegación del Senado para la planificación regional y el desarrollo sostenible en París, Francia). *www.vie-publique.fr/rapport/28420-rapport-dinformation-fait-au-nom-de-la-delegation-du-senat-lamenagem*.

Bøhm, B. (2013), "Production and distribution of domestic hot water in selected Danish apartment buildings and institutions. Analysis of consumption, energy efficiency and the significance for energy design requirements of buildings" (Producción y distribución de agua caliente sanitaria en edificios seleccionados de apartamentos e instituciones en Dinamarca. Análisis del consumo, la eficiencia energética y la importancia de los requisitos del diseño energético de los edificios), Energy Conversion and Management, Vol. 67, pp. 152-159, *https://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2012.11.002*.

Boissavy, C. (2019), Report reviewing existing insurance schemes for geothermal (Informe que revisa los planes de seguros existentes para la geotermia), *www.georisk-project.eu/wp-content/uploads/2020/02/D3.1_Report-reviewing-geothermal-risk-mitigation-schemes-v2.pdf*.

Brand, M. (2014), Heating and domestic hot water systems in buildings supplied by low-temperature district heating (Redes de calefacción y de agua caliente sanitaria en edificios abastecidos con calefacción urbana de baja temperatura), Universidad Técnica de Dinamarca, Departamento de Ingeniería civil, Lyngby.

British Geological Survey (2020), Geothermal energy (Energía geotérmica), *www.bgs.ac.uk/geology-projects/geothermal-energy/* (consultado el 12 de octubre de 2020).

Brown, K. (2013), Mineral scaling in geothermal power production (Incrustaciones minerales en la producción de energía geotérmica), Informe 39, Programa de Formación Geotérmica de la Universidad de Naciones Unidas.

Brückner, S. *et al.* (2014), "Using industrial and commercial waste heat for residential heat supply: A case study from Hamburg, Germany" (Uso de calor residual industrial y comercial para el suministro de calor residencial: un caso práctico de Hamburgo, Alemania), Sustainable Cities and Society, Vol. 13, *https://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2014.04.004*.

Bühler, F. *et al.* (2017), "Industrial excess heat for district heating in Denmark" (Excedente de calor industrial para la calefacción urbana en Dinamarca), Applied Energy, Vol. 205,pp. 991-1001, *https://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.032*.

Calderoni, M. *et al.* (2019), Sustainable district cooling guidelines (Directrices para una refrigeración urbana sostenible), *www.iea-dhc.org/fileadmin/documents/Annex_XII/2020_IEA_DHC_Sustainable_District_Cooling_Guidelines_new_design.pdf*.

Candelise, C. (2018), Crowdfunding as a novel financial tool for district heating projects (Microfinanciación colectiva como nueva herramienta financiera para proyectos de calefacción urbana), *https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.27847.75682*.

Cerema (2012), Réseau de chaleur très basse température à sources multiples (Calefacción urbana de temperatura ultrabaja de varias fuentes), *reseaux-chaleur.cerema.fr/reseau-de-chaleur-tres-basse-temperature-a-sources-multiples* (consultado el 18 de agosto de 2020).

Chambers, J. *et al.* (2019), "Mapping district heating potential under evolving thermal demand scenarios and technologies: A case study for Switzerland" (Mapas del potencial de la calefacción urbana con tecnologías y escenarios de demanda térmica evolucionados: un caso práctico para Suiza), Energy, Vol. 176, Elsevier, pp. 682-692, *https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.044*.

Christiansen, C.H. *et al.* (2012), "Results and experiences from a 2-year study with measurements on a low-temperature DH system for low energy buildings" (Resultados y experiencias del estudio de 2 años con mediciones de un sistema de calefacción urbana de baja temperatura para edificios de bajo consumo energético), en el XIII Simposio internacional sobre calefacción y refrigeración urbana, Copenhague, pp. 86-93.

City of Vancouver (n.d.), False Creek Neighbourhood Energy Utility (NEU), *https://vancouver.ca/home-property-development/southeast-false-creek-neighbourhood-energy-utility.aspx* (consultado el 18 de agosto de 2020).

Čižman, J. y J. Buganova (2019), Improving the performance of district heating systems in Central and Eastern Europe: Work Package No. 5, Development of multi-level policy plans (Mejora del rendimiento de las redes de calefacción urbana en Europa Central y Oriental: paquete de trabajo nº 5, Desarrollo de planes de políticas a varios niveles).

Connolly, D. *et al.* (2015), Enhanced heating and cooling plans to quantify the impact of increased energy efficiency in EU member states (Heat Roadmap Europe 3) (Planes de calefacción y refrigeración mejorados para cuantificar el impacto de la mayor eficiencia energética en los países miembros de la UE), *https://vbn.aau.dk/da/publications/heat-roadmap-europe-3-stratego-translating-the-heat-roadmap-europ*.

Connolly, D. *et al.* (2013a), Heat Roadmap Europe 2: Second pre-study for the EU27 (Segundo estudio previo para los 27 estados miembros de la UE), Universidad de Aalborg, Universidad de Halmstad, Ecofys Germany GmbH, PlanEnergi y Euroheat & Power, *https://vbn.aau.dk/da/publications/heat-roadmap-europe-2050(306a5052-a882-4af9-a5da-87efa36efeaa).html*.

Connolly, D. *et al.* (2013b), Smart energy systems: Holistic and integrated energy systems for the era of 100% renewable energy (Sistemas de energía inteligente: era de la energía 100 % renovable), Grupo de investigación de planificación energética sostenible, Universidad de Aalborg, Dinamarca, *https://vbn.aau.dk/files/78422810/Smart_Energy_Systems_Aalborg_University.pdf*.

Connolly, D. *et al.* (2012), Heat Roadmap Europe 1: First pre-study for the EU27 (Primer estudio previo para los 27 estados miembros de la UE), Universidad de Aalborg, Universidad de Halmstad y Euroheat & Power, *https://vbn.aau.dk/files/77244240/Heat_Roadmap_Europe_Pre_Study_1.pdf*.

Costanzo, E. *et al.* (2018), EPBD implementation in Italy: Status in December 2016 (Implantación de la Directiva Europea de Eficiencia Energética en Italia: estado en diciembre de 2016), *https://epbd-ca.eu/wp-content/uploads/2019/06/CA-EPBD-IV-Italy-2018.pdf*.

Dalla Rosa, A. *et al.* (2014), EA DHC Annex X report: Toward 4th generation district heating: Experience and potential of low-temperature district heating (Hacia la cuarta generación de calefacción urbana: experiencia y potencial de la calefacción urbana de baja temperatura), *https://orbit.dtu.dk/files/105525998/IEA_Annex_X_Toward_4th_Generation_District_Heating_Final_Report.pdf*.

Danish Energy Agency (2016a), Technology data - Energy plants for electricity and district heating generation (Datos tecnológicos: plantas de energía para la generación de electricidad y calefacción urbana) (actualizado en noviembre de 2019), Copenhague.

Danish Energy Agency (2016b), Technology data for energy plants (Datos tecnológicos para plantas de energía) (capítulos actualizados), agosto de 2016, Copenhague.

Decarb Europe (2020), Grupo Hunosa: District heat from abandoned coal mine (Calor urbano a partir de una mina de carbón abandonada), *https://decarbeurope.org/2020/03/25/grupo-hunosa-district-heat-from-abandoned-coal-mine/* (consultado el 25 de marzo de 2020).

Diget, T. (2019), "Motivation tariff – The key to a low temperature district heating network" (Tarifa motivacional: la clave para una red de calefacción urbana de baja temperatura), Revista Hot & Cool, pp. 19-22.

Djørup, S. *et al.* (2020), "District heating tariffs, economic optimisation and local strategies during radical technological change" (Tarifas de calefacción urbana, optimización económica y estrategias locales durante el radical cambio tecnológico), Energies, Vol. 13, *https://dx.doi.org/10.3390/en13051172*.

Djørup, S.R. *et al.* (2019a), Definition & experiences of strategic heat planning: Handbook I (Definición y experiencias de la planificación estratégica del calor: Manual I), *https://vbn.aau.dk/da/publications/definition-amp-experiences-of-strategic-heat-planning-handbook-i*.

Djørup, S. *et al.* (2019b), Guidance for the comprehensive assessment of efficient heating and cooling (Directrices para una evaluación completa de la calefacción y refrigeración inteligente), *https://vbn.aau.dk/ws/files/302317295/Handbook_2_Guidance_for_comprehensive_assessment_of_efficient_heating_and_cooling.pdf*.

Drake Landing Solar Community (n.d.), Drake Landing Solar Community: The district heating system (Comunidad Drake Landing Solar Community: la red de calefacción urbana), *www.dlsc.ca/district.htm* (consultado el 18 de agosto de 2020).

Duffie, J.A. y W.A. Beckman (2013), Solar Engineering of Thermal Processes (Ingeniería solar de procesos térmicos), Cuarta edición, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, *https://dx.doi.org/10.1002/9781118671603*.

Dyrelund, A. *et al.* (2010), Varmeplan Danmark 2010 (Plan de calor para Dinamarca 2010), Ramboll Denmark, Copenhague.

Elmegaard, B. *et al.* (2016), "Integration of space heating and hot water supply in low temperature district heating" (Integración de la calefacción de espacios y el suministro de agua caliente en la calefacción urbana de baja temperatura), Energy and Buildings, Vol. 124, pp. 255-264, *https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.003*.

Engie (2020), Evento: IRENA, sitio web de IRENA, *https://irena.org/events/2020/May/Integration-of-low-temperature-energy-sources-into-existing-district-energy-networks-and-buildings (accessed 26 May 2020)*.

España (2020), "Propuesta de real decreto que modifica el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios". *https://energia.gob.es/es-es/Participacion/Documents/proyecto-RD-modifica-RD-reglamento-instalaciones-termicas/Modificacion-RITE.pdf*.

Epp, B. (2019), 15 MW SDH plant inaugurated in Latvia (Planta de calefacción solar urbana de 15 MW inaugurada en Letonia) *www.solarthermalworld.org/news/15-mw-sdh-plant-inaugurated-latvia* (consultado el 18 de agosto de 2020).

Fjernvarme Fyn A/S (2020), Årsberetning 2019 (Informe anual 2019), Odense, Dinamarca, *www.fjernvarmefyn.dk/media/1597/fjernvarme_fyn_aarsberetning_2019.pdf*.

Frederiksen, S. y S. Werner (2013), District heating and cooling (Calefacción y refrigeración urbana), Studentlitteratur, Lund, Suecia.

Fritsche, U.R. et al. (2017), Global land outlook working paper: Energy and land use (Documento de trabajo sobre la perspectiva global del suelo: energía y uso del suelo), *https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.24905.44648*.

Gadd, H. y S. Werner (2014), "Achieving low return temperatures from district heating substations" (Logro de temperaturas de retorno bajas de las subestaciones de calefacción urbana), Applied Energy, Vol. 136, pp. 59-67, *https://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.022*.

Galindo Fernández, M. *et al.* (2016), Efficient district heating and cooling markets in the EU: Case studies analysis, replicable key success factors and potential policy implications (Mercados de calefacción y refrigeración urbana eficiente en la UE: análisis, factores clave del éxito replicables y posibles implicaciones políticas de algunos casos prácticos), Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo, *https://dx.doi.org/10.2760/371045*.

GeoCom (2013), Reinjection to sandstone reservoirs technology showcase (Tecnología de reinyección en reservorio de arenisca), *https://geothermalcommunities.eu/downloads/14*.

GEODH (2014), Regulatory Framework for Geothermal District Heating in Europe (Marco regulador para la calefacción urbana geotérmica en Europa). *http://geodh.eu/wp-content/uploads/2012/07/D-3.5-GEODH-Regulatory-Framework-17-02-2014.pdf*

GEOENVI (2019), GEOENVI: Tackling the environmental concerns for deploying geothermal energy in Europe (Planteamiento de las preocupaciones medioambientales para implantar energía geotérmica en Europa), *www.geoenvi.eu/* (consultado el 18 de agosto de 2018).

Hansen, K. (2019), "Decision-making based on energy costs: Comparing levelized cost of energy and energy system costs" (Comparación entre el coste normalizado de la energía y los costes del sistema de energía), Energy Strategy Reviews, Vol. 24 *https://dx.doi.org/10.1016/j.esr.2019.02.003*.

Hassan, H.Z. y A.A. Mohamad (2012), "A review on solar cold production through absorption technology" (Una revisión de la producción solar de frío mediante la tecnología de absorción), Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 16, *https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.049*.

Heller, A. (2001), Large scale solar heating: Evaluation, modelling and designing (Calefacción solar a gran escala: evaluación, modelización y diseño), S. Svendsen and S. Furbo (eds), Tesis doctoral para el Departamento de construcción y energía, Universidad Técnica de Dinamarca, *https://orbit.dtu.dk/files/5300211/R-046_PhD_Thesis.pdf*.

Herold, K.E., R. Radermacher y S.A. Klein (2016), Absorption Chillers and Heat Pumps (Sistemas de refrigeración por absorción y bombas de calor), CRC Press, *https://dx.doi.org/10.1201/b19625*.

Hickson, C. *et al.* (2020), "Alberta #1: The Province's first electrical geothermal project" (Alberta; el primer proyecto geotérmico eléctrico de la provincia), en las Actas del Congreso Mundial de Geotermia 2020.

Hotmaps Project (2020), Hotmaps: The open source mapping and planning tool for heating and cooling (Hotmaps: la herramienta de código abierto para la creación de mapas y planificación de calefacción y refrigeración), *www.hotmaps-project.eu/* (consultado el 18 de agosto de 2020).

HUNOSA (2019), "Barredo Colliery" district heating (Calefacción urbana del Pozo Barredo), *www.districtenergyaward.org/wp-content/uploads/2019/09/19GDECA-Desc-DHeating-BarredoColling-Spain.pdf*.

IGA e IFC (2014), Best practices guide for geothermal exploration (Guía de prácticas recomendadas para la exploración geotérmica), *www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-at-ifc/publications/publications_handbook_geothermal-bp-2ed*.

Inayat, A. y M. Raza (2019), "District cooling system via renewable energy sources: A review" (Red de refrigeración urbana a través de fuentes energía renovables: una revisión), Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 107, Elsevier, pp. 360-373, *https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.023*.

IRENA (2020a), Global renewables outlook: Energy transformation 2050 (Perspectiva global de las renovables: transformación de la energía en 2050), Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dhabi.

IRENA (2020b), Innovation Outlook: Thermal Energy Storage (Perspectiva de innovación: almacenamiento de energía térmica), Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dhabi.

IRENA (2019a), Accelerating geothermal heat adoption in the agri-food sector: Key lessons and recommendations (Aceleración de la adopción de calor geotérmico en el sector agroalimentario: lecciones y recomendaciones clave), Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dhabi, *www.irena.org/publications/2019/Jan/Accelerating-geothermal-heat-adoption-in-the-agri-food-sector*.

IRENA (2019b), Global energy transformation: A roadmap to 2050 (Transformación global de la energía: una hoja de ruta para 2050) (edición de 2019), Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dhabi.

IRENA (2018), Solid biomass supply for heat and power: Technology brief (Suministro de biomasa para calor y electricidad: informe tecnológico), Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dhabi.

IRENA (2017a), Geothermal power: Technology brief (Electricidad geotérmica: informe tecnológico), Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dhabi.

IRENA (2017b), Renewable energy in district heating and cooling: A sector roadmap for REmap (Energía renovable en la calefacción y refrigeración urbana: hoja de ruta del sector para REmap), Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dhabi.

IRENA (2017c), Untapped potential for climate action: Renewable energy in nationally determined contributions (Potencial sin explotar para la acción climática: energía renovable en contribuciones determinadas nacionalmente), Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dhabi.

IRENA (2016), Renewable energy in cities (Energía renovable en ciudades), Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dhabi.

IRENA (n.d.), IRENA Project Navigator, Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dhabi, *https://navigator.irena.org/index.html* (consultado el 18 de agosto de 2020).

IRENA, AIE y REN21 (2020), Renewable Energy Policies in a Time of Transition: Heating and Cooling (Políticas sobre energía renovable en un momento de transición: calefacción y refrigeración), IRENA, OECD/AIE y REN21.

IRENA, OECD/AIE y REN21 (2018), Renewable energy policies in a time of transition (Políticas sobre energía renovable en un momento de transición), *www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_IEA_REN21_Policies_2018.pdf*.

Jebamalai, J.M., K. Marlein y J. Laverge (2020), "Influence of centralized and distributed thermal energy storage on district heating network design" (Influencia del almacenamiento centralizado y distribuido de energía térmica en el diseño de redes de calefacción urbana), Energy, Vol. 202, Elsevier, artículo 117689, *https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2020.117689*.

Johra, H., P. Heiselberg y J. Le Dréau (2019), "Influence of envelope, structural thermal mass and indoor content on the building heating energy flexibility" (Influencia del aislamiento, la masa térmica estructural y el contenido interior en la flexibilidad energética de la calefacción de edificios), Energy and Buildings, Vol. 183, pp. 325-339 *https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.11.012*.

Jones, N. (2018), "How to stop data centres from gobbling up the world's electricity" (Cómo detener el consumo de la electricidad mundial por parte de los centros de datos), Nature, Vol. 561, pp. 163-166, https://dx.doi.org/10.1038/d41586-018-06610-y.

Jovanović, S. (2019), Šabac district heating operator to upgrade residential buildings under ESCO model (El operador de calefacción urbana Šabac renovará los edificios residenciales bajo el modelo de ESCO), Balkan Green Energy News, https://balkangreenenergynews.com/sabac-district-heating-operator-to-upgrade-residential-buildings-under-esco-model/ (consultado el 18 de agosto de 2020).

Kganyapa, M. (2019), SA's first solar district heating system in operation at Wits Junction (Primera red de calefacción urbana solar en Sudáfrica en funcionamiento en Wits Junction), http://witsvuvuzela.com/2019/08/20/wits-solar-district-heating-system-in-operation/ (consultado el 18 de agosto de 2020).

Klein, S.A. y G. Nellis (2012), Thermodynamics (Termodinámica), Cambridge University Press, Cambridge.

Köfinger, M. *et al.* (2018), "Simulation based evaluation of large scale waste heat utilization in urban district heating networks: Optimized integration and operation of a seasonal storage" (Integración y operación optimizadas de un almacenamiento estacional), Energy, Vol. 159, Elsevier, https://dx.doi.org/10.1016/J.ENERGY.2018.06.192.

Køhler Pedersen, M. y C. Holm Christiansen (2019), Interconnection schemes for producer installations – RELaTED D2.3 (Esquemas de interconexión para instalaciones productoras), www.relatedproject.eu/wp-content/uploads/2019/03/RELaTED_D2_3_Interconnection-producers_v1.6.pdf.

Konovšek, D. *et al.* (2017), "Process of optimization of district heat production by utilizing waste energy from metallurgical processes" (Proceso de optimización de la producción de calor urbano mediante el uso de energía residual de los procesos metalúrgicos), en AIP Conference Proceedings, Vol. 1866/1, artículo 050003, https://dx.doi.org/10.1063/1.4994527.

Krog, L. y K. Sperling (2019), "A comprehensive framework for strategic energy planning based on Danish and international insights" (Un marco completo para la planificación estratégica de energía según conocimientos daneses e internacionales), Energy Strategy Reviews, Vol. 24, Elsevier, pp. 83-93, https://dx.doi.org/10.1016/j.esr.2019.02.005.

Leoni, P., R. Geyer y R.R. Schmidt (2020), "Developing innovative business models for reducing return temperatures in district heating systems: Approach and first results" (Desarrollo de modelos de negocio innovadores para reducir la temperatura de retorno en redes de calefacción urbana: enfoque y primeros resultados), Energy, Vol. 195, artículo 116963, https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2020.116963.

Lettenbichler, S. y A. Provaggi (2019), 100% renewable energy districts: 2050 vision (Distritos con el 100 % de energía renovable: visión de 2050), www.euroheat.org/wp-content/uploads/2019/08/RHC-ETIP_District-and-DHC-Vision-2050.pdf.

Liao, Z., M. Swainson y A.L. Dexter (2005), "On the control of heating systems in the UK" (Sobre el control de las redes de calefacción en el Reino Unido), Building and Environment, Vol. 40/3, pp. 343-351, https://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.05.014.

Limberger, J. *et al.* (2018), "Geothermal energy in deep aquifers: A global assessment of the resource base for direct heat utilization" (Energía geotérmica en acuíferos profundos: una evaluación global del recurso para la utilización directa del calor), Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 82, pp. 961-975, https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.084.

Lukic, M. (2018), Financing possibilities: ReDEWeB Fund (Posibilidades de financiación: fondos de ReDEWeB), 17th Energy Efficiency Coordination Group Energy Community Secretariat, 6 de junio de 2018, Belgrado, www.energy-community.org/dam/jcr:ae5ebc44-82f3-4d1d-92e6-5ace563b8614/EECG_EBRD_ReDEWeB_062018.pdf.

Lund, H. *et al.* (2018), "The status of 4th generation district heating: Research and results" (El estado de la cuarta generación de calefacción urbana: investigación y resultados), Energy, Vol. 164, pp. 147-159, https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.206.

Lund, H. *et al.* (2017), "Smart energy and smart energy systems" (Energía inteligente y sistemas de energía inteligente), Energy, Vol. 137, pp. 556-565, https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.123.

Lund, H. *et al.* (2016), "Energy storage and smart energy systems" (Almacenamiento de energía y sistemas de energía inteligente), International Journal of Sustainable Energy Planning and Management, Vol. 11, Aalborg University Press, Aalborg, pp. 3-14, https://doi.org/10.5278/ijsepm.2016.11.2.

Lund, J.W. y P.J. Lienau (2009), "Geothermal district heating" (Calefacción urbana geotérmica), International Geothermal Days, pp. 18.

Lund, R. *et al.* (2017), "Comparison of low-temperature district heating concepts in a long-term energy system perspective" (Comparación de conceptos de calefacción urbana de baja temperatura en una perspectiva de sistema de energía a largo plazo), International Journal of Sustainable Energy Planning and Management, Vol. 12, pp. 5-8, https://dx.doi.org/10.5278/ijsepm.2017.12.2.

Manente, G. *et al.* (2019), "Optimization of the hydraulic performance and integration of a heat storage in the geothermal and waste-to-energy district heating system of Ferrara" (Optimización del rendimiento hidráulico e integración de un almacenamiento de calor en la red de calefacción urbana con transformación de residuos en energía en Ferrara), Journal of Cleaner Production, Vol. 230, Elsevier, pp. 869-887, https://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.146.

Mathiesen, B.V. *et al.* (2019), Towards a decarbonised heating and cooling sector in Europe: Unlocking the potential of energy efficiency and district energy (Hacia un sector de calefacción y refrigeración descarbonizado en Europa: desbloqueo del potencial de la eficiencia energética y la energía urbana), Departamento de planificación, Universidad de Aalborg, Aalborg, www.districtenergyinitiative.org/sites/default/files/publications/towardsadecarbonisedhcsectorineufinalreport-111220191046.pdf.

Mathiesen, B.V. *et al.* (2016), Future green buildings - A key to cost-effective sustainable energy systems (Edificios verdes del futuro: clave para unos sistemas de energía sostenible rentables), Departamento de desarrollo y planificación, Universidad de Aalborg, Aalborg, https://vbn.aau.dk/en/publications/fremtidens-byggeri-n%C3%B8glen-til-et-omkostningseffektivt-og-b%C3%A6redygt.

Mathiesen, B.V. *et al.* (2015), "Smart Energy Systems for coherent 100% renewable energy and transport solutions" (Sistemas de energía inteligente para soluciones de transporte y energía renovable 100 % coherentes), Applied Energy, Vol. 145, Elsevier, pp. 139-154, https://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.075.

Mathiesen, B.V. y K. Hansen (2017), The role of solar thermal in future energy systems: Country cases for Germany, Italy, Austria and Denmark (El papel de la energía solar térmica en futuros sistemas de energía: casos de Alemania, Italia, Austria y Dinamarca), Agencia Internacional de la Energía, París, http://vbn.aau.dk/files/265304574/IEA_SHC_Task_52_STA_AAU_report_20170914.pdf.

Mathiesen, B.V., H. Lund y D. Connolly (2012), "Limiting biomass consumption for heating in 100% renewable energy systems" (Limitación del consumo de biomasa para calefacción en sistemas de energía 100 % renovable), Energy, Vol. 48/1, Elsevier, pp. 160 168, https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.07.063.

Mendelow, A.L. (1981), Envrionmental scanning - The impact of the stakeholder concept (Análisis medioambiental - El impacto del concepto de parte interesada), ICIS 1981 Proceedings, https://aisel.aisnet.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1009&context=icis1981 (muro de pago).

Mijnwater B.V. (2014), Minewater: Circular energy network of the future (Agua residual de mina: red de energía circular del futuro), www.mijnwater.com/?lang=en (consultado el 18 de agosto de 2020).

Ministerio de Desarrollo Económico (2015), Decreto interministeriale 26 giugno 2015 - Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici - Allegato 1 (articoli 3 e 4) Criteri generali e requisiti delle prest, Italy (Decreto ministerial del 26 de junio de 2015 - Aplicación de las metodologías para calcular el rendimiento energético y definir las prescripciones y requisitos mínimos de los edificios - Anexo 1 (artículos 3 y 4) Criterios generales y requisitos de rendimiento, Italia). www.sviluppoeconomico.gov.it/index.php/it/normativa/decreti-interministeriali/2032966-decreto-interministeriale-26-giugno-2015-applicazione-delle-metodologie-di-calcolo-delle-prestazioni-energetiche-e-definizione-delle-prescrizioni-e-dei-requisiti.

Mirakyan, A. y R. De Guio (2013), "Integrated energy planning in cities and territories: A review of methods and tools" (Planificación de energía integrada en ciudades y territorios: una revisión de métodos y herramientas), Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 22, Elsevier, pp. 289-297, https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.033.

Miró, L., S. Brückner y L.F. Cabeza (2015), "Mapping and discussing Industrial Waste Heat (IWH) potentials for different countries" (Mapa y análisis de los potenciales del calor residual industrial para diferentes países), Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 51, Elsevier, pp. 847-855, https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.035.

Moller, B. *et al.* (2018), "Heat Roadmap Europe: Identifying local heat demand and supply areas with a European thermal atlas" (Identificación de áreas de demanda y suministro de calor local con un atlas térmico europeo), Energy, Vol. 158, Elsevier, pp. 281-292, https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.025.

Mouchot, J. *et al.* (2019), "Geothermal energy development in Serbia: A French-Serbian collaborative project" (Desarrollo de la energía geotérmica en Serbia: un proyecto colaborativo franco-serbio), ponencia presentada en el Congreso europeo de geotermia de 2019, Den Haag, Países Bajos, 11-14 de junio, http://europeangeothermalcongress.eu/wp-content/uploads/2019/07/160.pdf.

Nador, A. *et al.* (2019), "Cascades and Calories: Geothermal Energy in the Pannonian Basin for the 21st Century and Beyond" (Cascadas y calorías: energía geotérmica en la llanura panónica para el siglo XXI y más allá), Resources, interreg Danube Transnational Programme, pp. 27-50

Nilsson, P.E. (2003), Achieving the Desired Indoor Climate: Energy Efficiency Aspects of System Design (Logro del clima interior deseado: aspectos sobre eficiencia energética del diseño de un sistema), Studentlitteratur AB, *https://books.google.dk/books?id=IMu_tgAACAAJ*.

Noussan, M., M. Jarre y A. Poggio (2017), "Real operation data analysis on district heating load patterns" (Análisis de datos de operación real en patrones de carga de calefacción urbana), Energy, Vol. 129, Elsevier, pp. 70-78, *https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.079*.

Olsen, P.K. (2014), Guidelines for low-temperature district heating, EUDP 2010-II: Full-scale demonstration of low-temperature district heating in existing buildings (Directrices para la calefacción urbana de baja temperatura, EUDP 2010-II: demostración a escala completa de la calefacción urbana de baja temperatura en edificios existentes), *https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:zI-RNXpmAEsJ:https://www.danskfjernvarme.dk/-/media/danskfjernvarme/gronenergi/projekter/eudp-lavtemperatur-fjv/guidelines-for-ltdh-final_rev1.pdf+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=ae*.

OMS (2019), "Air pollution in Mongolia" (Contaminación atmosférica en Mongolia), Bulletin of the World Health Organization, Organización Mundial de la Salud, *https://dx.doi.org/10.2471/BLT.19.020219*.

ONU (2019), World Urbanization Prospects 2018, Naciones Unidas, *https://population.un.org/wup/* (consultado el 15 de julio de 2020).

ONU (2016), "Enmienda de Kigali al Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono", Naciones Unidas, Kigali, *https://treaties.un.org/doc/Treaties/2016/10/20161015 03-23 PM/Ch_XXVII-2.f.pdf*.

ONU (2015), Objetivos de Desarrollo Sostenible, Naciones Unidas, *https://sdgs.un.org/goals*.

Østergaard, D.S. y S. Svendsen (2016a), "Replacing critical radiators to increase the potential to use low-temperature district heating – A case study of 4 Danish single-family houses from the 1930s" (Sustitución de radiadores críticos para aumentar el potencial de uso de calefacción urbana de baja temperatura: caso práctico de 4 viviendas unifamiliares danesas de la década de 1930), Energy, Vol. 110, Elsevier, pp. 75-84, *https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.140*.

Østergaard, D.S. y S. Svendsen (2016b), "Theoretical overview of heating power and necessary heating supply temperatures in typical Danish single-family houses from the 1900s" (Resumen teórico de la potencia calorífica y temperaturas se suministro de calefacción necesarias en viviendas unifamiliares danesas típicas de la década de 1900), Energy and Buildings, Vol. 126, Elsevier, pp. 375-383, *https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.034*.

Paardekooper, S. *et al.* (2020), "Heat Roadmap Chile: A national district heating plan for air pollution decontamination and decarbonisation" (Un plan de calefacción urbana nacional para la descarbonización y la descontaminación del aire), Journal of Cleaner Production, Vol. 272, Elsevier, article 122744, *https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122744*.

Paardekooper, S. *et al.* (2018), Quantifying the impact of low-carbon heating and cooling roadmaps (Cuantificación del impacto de las hojas de ruta de calefacción y refrigeración de baja emisión de carbono), Heat Roadmap Europe, Resultado 6.4, Universidad de Aalborg, Aalborg, *https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/288075507/Heat_Roadmap_Europe_4_Quantifying_the_Impact_of_Low_Carbon_Heating_and_Cooling_Roadmaps.pdf*.

Paardekooper, S., H. Lund y R.S. Lund (2018), "Smart energy systems" (Sistemas de energía inteligente), en Energy Storage Options and Their Environmental Impact (Opciones de almacenamiento de la energía y su impacto medioambiental), R. Hester y R. Harrison (eds.), Royal Society of Chemistry, pp. 228-260, *https://doi.org//10.1039/9781788015530-00228*.

Papapetrou, M. *et al.* (2018), "Industrial waste heat: Estimation of the technically available resource in the EU per industrial sector, temperature level and country" (Calor residual industrial: estimación del recurso técnicamente disponible en la UE por sector industrial, nivel de temperatura y país), Applied Thermal Engineering, Vol. 138, Elsevier, pp. 207-216, *https://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.04.043*.

Parlamento Europeo (2018a), Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, Comisión Europea, Bruselas.

Parlamento Europeo (2018b), Directiva (UE) 2018/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética, Comisión Europea, Bruselas.

Parlamento Europeo (2010), Directiva 2010/31/EU del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios, Comisión Europea, Bruselas.

Pauschinger, T. (2016), "Solar thermal energy for district heating" (Energía solar térmica para la calefacción urbana), en Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems, R. Wiltshire (ed.), Woodhead Publishing, pp. 99-120 https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-374-4.00005-7.

Pedersen, T.H., R.E. Hedegaard y S. Petersen (2017), "Space heating demand response potential of retrofitted residential apartment blocks" (Potencial de respuesta de la demanda de calefacción de espacios en bloques de apartamentos residenciales acondicionados), Energy and Buildings, Vol. 141, Elsevier, pp. 158-166, https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.035.

Persson, U. y H. Averfalk (2018), "ReUseHeat: Accessible urban waste heat" (Informe ReUseHeat (ReUtilizarCalor): calor residual urbano accesible).

PETA 4 (n.d.), Peta, el Atlas térmico paneuropeo: energía renovable - Mapa web interactivo.

Petersen, A.B. (2017), Handbook - Experiences from other urban waste heat recovery investments (Experiencias de otras inversiones de recuperación del calor residual urbano), Kolding.

PlanEnergi (2017), Long term storage and solar district heating (Almacenamiento a largo plazo y calefacción solar urbana), https://planenergi.dk/wp-content/uploads/2017/06/sol_til_fjernvarme_brochure_endelig.pdf.

Popovski, K. (2003), "Political and public acceptance of geothermal energy" (Aceptación política y pública de la energía geotérmica), Programa de Formación Geotérmica (septiembre), Universidad de Naciones Unidas, pp. 31-41, www.geothermalcommunities.eu/assets/elearning/10.7.UNU-GTP-2003-01-03.pdf.

Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (2019), Strategic plan 2020-2023: A better quality of life for all in an urbanizing world, UN Habitat (Plan estratégico 2020-2023: una mejor calidad de vida para todos en un mundo urbanizado), https://unhabitat.org/sites/default/files/documents/2019-09/strategic_plan_2020-2023.pdf.

Proyecto CELSIUS (2020a), A datacentre supplies local heating in Mäntsälä, Finland (Un centro de datos suministra calefacción local en Mäntsälä, Finlandia), https://celsiuscity.eu/datacentre-supplies-local-heating-in-mantsala-finland/ (consultado el 18 de agosto de 2020).

Proyecto CELSIUS (2020b), Heat recovery from the London Underground in Islington, United Kingdom (Recuperación de calor del metro de Londres en Islington, Reino Unido), https://celsiuscity.eu/heat-recovery-from-the-london-underground-in-islington-united-kingdom/ (consultado el 18 de agosto de 2020).

Proyecto CELSIUS (2019), Free cooling from water (Refrigeración gratuita a partir del agua), https://celsiuscity.eu/free-cooling-from-water/ (consultado el 12 de octubre de 2020).

Ramsak, P. (2020), Geothermal energy in the Netherlands (Energía geotérmica en Países Bajos), presentación para el seminario web de IRENA "Energy Solutions for Cities of the Future" (Soluciones de energía para las ciudades del futuro), 14 de mayo, https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Events/2020/May/Developing-enabling-frameworks-for-geothermal-heating---The-case-of-The-Netherlands.pdf?la=en&hash=1CB15D2845FDCC1DFDCD1EC813963940C836E9F5 (consultado el 16 de mayo de 2020).

Reiter, P., H. Poier y C. Holter (2016), "BIG Solar Graz: Solar district heating in Graz – 500,000 m² for 20% solar fraction" (Calefacción solar urbana en Graz - 500 000 m² para 20 % de la fracción solar), en Energy Procedia, Vol. 91, Elsevier, pp. 578 584, https://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.204.

REN21 (2019), Renewables 2019 global status report, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (Informe sobre el estado global de las renovables en 2019, red de políticas sobre energía renovable para el siglo XXI), www.ren21.net/gsr-2019/.

Riahi, L. *et al.* (2017), Waste for heating and cooling: How district energy transforms losses into gains: Study on district energy in cities to support Korea's Eco Energy Towns approach (Residuos para calefacción y refrigeración: cómo la energía urbana transforma pérdidas en ganancias: estudio sobre la energía urbana en ciudades para apoyar el enfoque coreano sobre ciudades energéticamente verdes).

Richter, A. (2020), Two wells for geothermal heat project successfully drilled in Champs-sur-Marne (Dos pozos para proyecto de calor geotérmico perforados con éxito en Champs-sur-Marne), ThinkGeoEnergy, www.thinkgeoenergy.com/two-wells-for-geothermal-heat-project-successfully-drilled-in-champs-sur-marne/ (consultado el 18 de agosto de 2020).

Ridjan, I. (2015), Integrated electrofuels and renewable energy systems (Electrocombustibles integrados y sistemas de energía renovable), Aalborg University, Aalborg.

Sanner, B. *et al.* (2011), Common vision for the renewable heating & cooling sector in Europe (Visión común para el sector de la calefacción y refrigeración renovable en Europa), RHC-Platform, *https://dx.doi.org/10.2788/20474*.

Schmidt, D. *et al.* (2017), "Low temperature district heating for future energy systems" (Calefacción urbana de baja temperatura para futuras redes de energía), Energy Procedia, Vol. 116, Elsevier, pp. 26-38, *https://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.052*.

Schmidt, R.R., R. Geyer y P. Lucas (2020), The barriers to waste heat recovery and how to overcome them? (Barreras para la recuperación del calor residual y cómo resolverlas) *www.euroheat.org/wp-content/uploads/2020/06/Discussion.pdf*.

Schmidt, T. y O. Miedaner (2012), Solar district heating guidelines - Fact sheet 7.2 - Storage (Directrices sobre calefacción urbana solar - Nota descriptiva 7.2 - Almacenamiento), *www.solar-district-heating.eu/wp-content/uploads/2018/06/SDH-WP3_FS-7-2_Storage_version3.pdf*.

Seyidov, F. y T. Weimann (2020), Proposal for a transition in the Risk Mitigation Schemes (Propuesta para una transición en los planes de mitigación de riesgos).

Sigfusson, B. and A. Uihlein (2015), 2014 JRC geothermal energy status report (Informe del JRC sobre el estado de la energía geotérmica en 2014), JRC99284/EUR 27623 EN, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo.

Sørensen, P.A. (2017), Implementation of solar district heating integrated in existing district heating systems in cities (Implantación de calefacción solar integrada en redes de calefacción urbana ya existentes).

Sørensen, P.A. *et al.* (2012), "Solar district heating guidelines: Collection of fact sheets" (Directrices sobre calefacción solar urbana: colección de notas descriptivas), Solar Distric Heating, *www.solar-district-heating.eu/en/knowledge-database/*.

Støchkel, H.K., B.L. Paaske y K.S. Clausen (2017), Inspirationskatalog for store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet, (Catálogo de inspiración para proyectos grandes de bomba de calor en redes de calefacción urbana), *https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Varme/inspirationskatalog_for_store_varmepumper.pdf*.

Svendsen, S., D.S. Østergaard y X. Yang (2017), "Solutions for low temperature heating of rooms and domestic hot water in existing" (Soluciones para calefacción de baja temperatura de habitaciones y agua caliente sanitaria), en Book of abstracts: 3rd International Conference on Smart Energy Systems and 4th Generation District Heating, B.V. Mathiesen y H. Lund, (eds.), Universidad de Aalborg, Copenhague, pp. 151.

Terés-Zubiaga, J. *et al.* (2015), "Energy and economic assessment of the envelope retrofitting in residential buildings in Northern Spain" (Evaluación económica y energética de la modernización de fachadas en edificios residenciales del norte de España), Energy and Buildings, Vol. 86, pp. 194-202, *https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.018*.

Tester, J.W. *et al.* (2015), "Deep geothermal energy for district heating: Lessons learned from the U.S. and beyond" (Energía geotérmica profunda para calefacción urbana: lecciones aprendidas de EE.UU. y más allá), en Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems, Elsevier, pp. 75-98, *https://dx.doi.org/10.1016/B978-1-78242-374-4.00004-5*.

Thellufsen, J.Z. *et al.* (2019), "Smart energy cities in a 100% renewable energy context" (Ciudades con energía inteligente en un contexto de energía 100 % renovable), en Proceedings for 14th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Dubrovnik, Croacia.

Thorsen, J.-E. y H. Kristjansson (2006), "Cost considerations on storage tank versus heat exchanger for hot water preparation" (Consideraciones sobre los costes de tanques de almacenamiento o intercambiadores de calor para la preparación del agua caliente), en Lectures - 10th International Symposium on District Heating and Cooling, Universidad de Hannover, Hannover.

Tol, H.İ. y S. Svendsen (2015), "Effects of boosting the supply temperature on pipe dimensions of low-energy district heating networks: A case study in Gladsaxe, Denmark" (Efectos que produce el aumento de temperatura del suministro en las dimensiones de los conductos en redes de calefacción urbana de baja energía: un caso práctico en Gladsaxe, Dinamarca), Energy and Buildings, Vol. 88, Elsevier, pp. 324-334, *https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.067*.

Trier, D. (2018), Solar district heating: Instruments for policy and legal framework (Calefacción solar urbana: instrumentos para un marco política y legal), *www.solar-district-heating.eu/wp-content/uploads/2018/10/SDHp2m_Market-monitoring_version1.0.pdf*.

Trier, D. *et al.* (2018a), Guidelines for the energy system transition - Final heat roadmap Europe guidelines for local, national, and EU lead-users (Directrices para la transición del sistema energético para usuarios locales, nacionales y de la UE).

Trier, D. *et al.* (2018b), Solar district heating trends and possibilities - Characteristics of ground-mounted systems for screening of land use requirements and feasibility (Tendencias y posibilidades de la calefacción solar urbana: características de los sistemas montados en suelo para la evaluación de los requisitos de uso del terreno y su viabilidad).

Tunzi, M. *et al.* (2016), "Method to investigate and plan the application of low temperature district heating to existing hydraulic radiator systems in existing buildings" (Método para investigar y planificar la aplicación de calefacción urbana de baja temperatura en sistemas de radiador hidráulico existentes en edificios existentes), Energy, Vol. 113, Elsevier, pp. 413-421, *https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.07.033*.

UNEP (2015), District energy in cities: Unlocking the potential of energy efficiency and renewable energy (Energía urbana en ciudades: el potencial de la eficiencia energética y la energía renovable), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, *https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/9317*.

Verhoeven, R. *et al.* (2014), "Minewater 2.0 project in Heerlen the Netherlands: Transformation of a geothermal mine water pilot project into a full scale hybrid sustainable energy infrastructure for heating and cooling" (Transformación de un proyecto piloto de agua de mina geotérmica en una infraestructura de energía sostenible híbrida a escala completa para la calefacción y refrigeración), en Energy Procedia, Vol. 46, Elsevier, pp. 58-67, *https://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.158*.

Vermilion Energy (2019), Values matter: Vermilion 2019 sustainability report, *http://sustainability.vermilionenergy.com/files/pdf/2019-Vermilion-Sustainability-Report-Web.pdf*.

Volkova, A., V. Mašatin y A. Siirde (2018), "Methodology for evaluating the transition process dynamics towards 4th generation district heating networks" (Metodología para evaluar el proceso de transición hacia redes de calefacción urbana de cuarta generación), Energy, Vol. 150, Elsevier, pp. 253-261, *https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.123*.

Wallquist, L. y M. Holenstein (2015), "Engaging the public on geothermal energy" (Implicar al público en la energía geotérmica), en el Congreso Mundial de Geotermia 2015.

Wang, X. *et al.* (2013), "Case study: Geothermal funds in Eastern Europe and Africa" (Caso práctico: fondos geotérmicos en Europa del Este y África), en Unlocking Commercial Financing for Clean Energy in East Asia, Banco Mundial, pp. 277 284, *https://documents.worldbank.org/curated/en/212781468037508882/pdf/811120PUB0Unlo00Box0379830B0PUBLIC0.pdf*.

Werner, S. (2017), "International review of district heating and cooling" (Revisión internacional de la calefacción y refrigeración urbana), Energy, Vol. 137, Elsevier, pp. 617-631, *https://dx.doi.org/10.1016/J.ENERGY.2017.04.045*.

Werner, S. (2004), "District heating system institutional guide" (Guía institucional de redes de calefacción urbana).

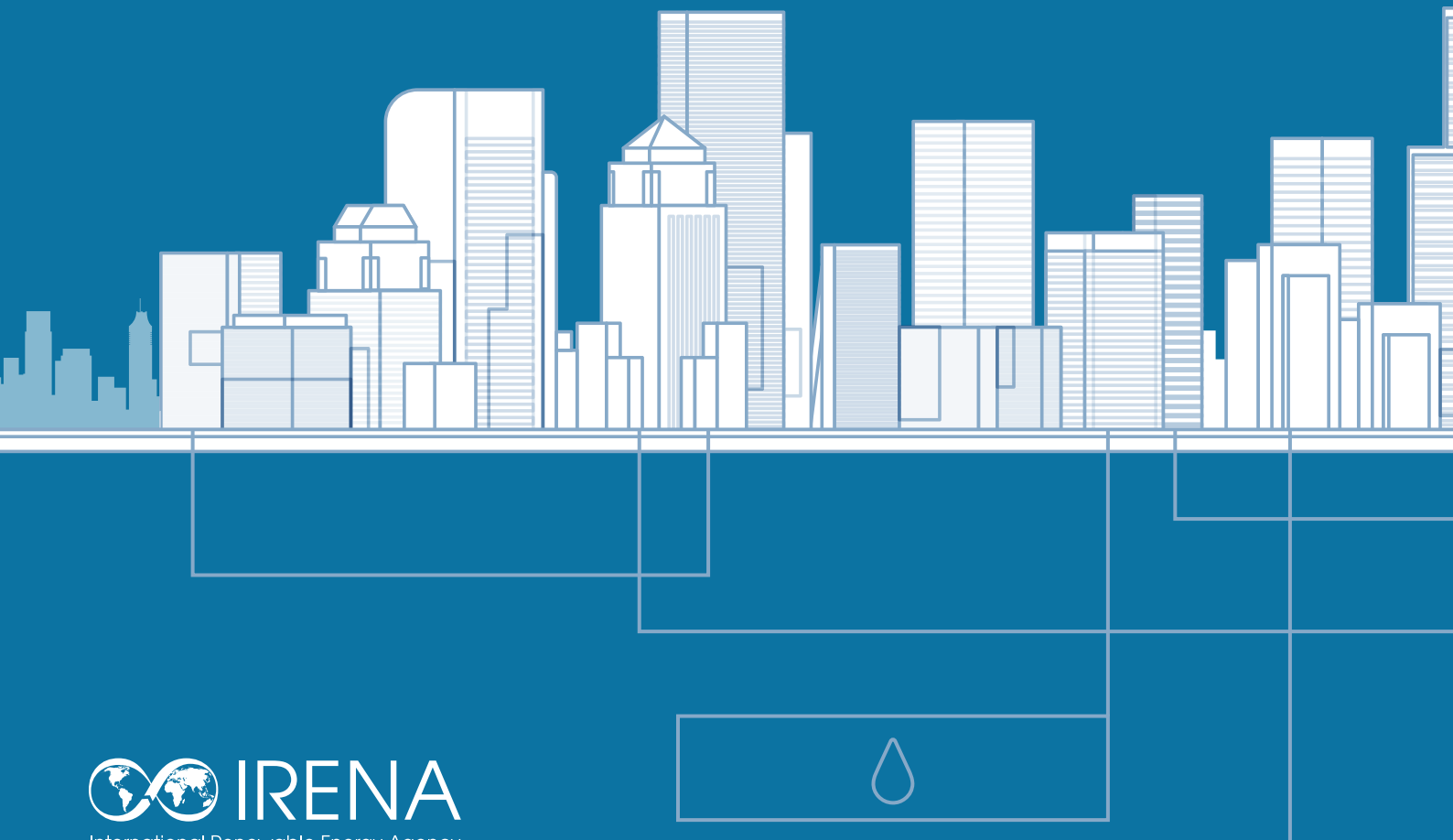
Wiltshire, R. (ed.) (2016), Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems (Sistemas avanzados de calefacción y refrigeración urbana), Elsevier, *https://dx.doi.org/10.1016/c2014-0-01422-0*.

Xiong, W. *et al.* (2015), "Heat roadmap China: New heat strategy to reduce energy consumption towards 2030" (Nueva estrategia de calor para reducir el consumo energético hacia 2030), Energy, Vol. 81, Elsevier, pp. 274-285, *https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.12.039*.

Xu, J., R.Z. Wang y Y. Li (2014), "A review of available technologies for seasonal thermal energy storage" (Una revisión de las tecnologías disponibles para el almacenamiento de energía térmica estacional), Solar Energy, Vol. 103, Elsevier, pp. 610-638, *https://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2013.06.006*.

Yang, X. (2016), Supply of domestic hot water at comfortable temperatures by low-temperature district heating without risk of Legionella (Suministro de agua caliente sanitaria a temperaturas confortables mediante calefacción urbana de baja temperatura sin riesgo de legionella), S. Svendsen y H. Li (eds.), Universidad Técnica de Dinamarca, Departamento de Ingeniería civil.

Zhang, L. *et al.* (2017), "Method for achieving hydraulic balance in typical Chinese building heating systems by managing differential pressure and flow" (Método para conseguir un equilibrado hidráulico en redes típicas de calefacción de edificios chinos mediante la gestión del flujo y la presión diferencial), Building Simulation, Vol. 10/1, pp. 51-63, *https://dx.doi.org/10.1007/s12273-016-0307-2*.



IRENA
International Renewable Energy Agency

www.irena.org

Copyright © IRENA 2021