

Módulo 1

Introducción a los sistemas de calefacción urbana

Parte del paquete educativo SHaKE sobre sistemas de calefacción y refrigeración urbanísticos

Guía

Recurso didáctico reutilizable para la educación superior y la formación profesional

Versión: 1.1
Fecha: mayo de 2026

<https://www.shakeproject-dhc.eu/>



Proyecto

Compartir calor y conocimientos sobre comunidades energéticas (SHaKE)
Erasmus+ KA220-HED: Asociaciones de cooperación en la educación superior
N.º de proyecto: 2023-1-HU01-KA220-HED-000160219

Autores

Balázs Bokor, Zoltán Takács
Universidad de Tecnología y Economía de Budapest

Editores

Eva Szalma, Balázs Bokor, Zoltán Takács

Agradecimiento por la financiación de la UE y exención de responsabilidad

Financiado por la Unión Europea. No obstante, las opiniones y puntos de vista expresados son exclusivamente de los autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea ni los de la Fundación Pública Tempus. Ni la Unión Europea ni la autoridad que concede la subvención pueden considerarse responsables de los mismos.

Coordinador

Universidad de Tecnología y Economía de Budapest, Hungría

Instituciones asociadas

Universidad Jaume I de Castellón, España
Mines Paris – PSL, Francia

Agradecimientos

Esta publicación se ha elaborado en el marco del proyecto SHaKE. El consorcio desea expresar su agradecimiento a todos los docentes, investigadores, profesionales y partes interesadas que han contribuido al desarrollo, la revisión y la mejora de los materiales educativos.

Licencia

Salvo que se indique lo contrario, este material está sujeto a una licencia Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0). Los usuarios pueden compartir y adaptar el material, siempre que se mencione debidamente al proyecto SHaKE y a los autores, se incluya un enlace a la licencia y se indiquen los cambios realizados.

Cita recomendada:

Universidad de Tecnología y Economía de Budapest. Módulo 1: Introducción a los sistemas de calefacción urbana. Proyecto SHaKE, 2026.
<https://www.shakeproject-dhc.eu/>



Guía de uso del Módulo 1

Este módulo forma parte del paquete educativo SHaKE, desarrollado para apoyar la enseñanza de los sistemas de calefacción y refrigeración urbanos (DHC) en el ámbito de la educación superior y la formación profesional.

El Módulo 1 ofrece una introducción exhaustiva a los sistemas de calefacción urbana y a su papel en las comunidades energéticas sostenibles. Presenta la evolución histórica de la calefacción urbana, desde las primeras redes basadas en vapor hasta los modernos sistemas de baja temperatura y de quinta generación de intercambio de energía. El módulo explica los principales componentes del sistema, incluyendo la producción, distribución, transferencia y consumo de calor, así como las subestaciones de calefacción urbana, al tiempo que destaca las ventajas y los retos del suministro centralizado de calor.

Se presta especial atención a la integración de fuentes de calor renovables y alternativas, como la energía geotérmica, la energía solar térmica, las tecnologías de valorización energética de residuos y la recuperación de calor residual. Se utilizan ejemplos europeos para ilustrar cómo los sistemas de calefacción urbana pueden apoyar la transición hacia sistemas energéticos urbanos con bajas emisiones de carbono.

La guía está concebida principalmente como un recurso didáctico reutilizable para educadores, profesores y formadores. Puede utilizarse como apoyo para clases magistrales, actividades de aprendizaje mixto, debates en el aula, trabajos prácticos, ejercicios introductorios basados en casos y formación para el desarrollo profesional continuo. Las diapositivas de presentación adjuntas, el banco de preguntas, el cuestionario de autoevaluación, el vídeo del módulo y el ejercicio práctico están diseñados para ayudar a los educadores a adaptar el contenido a su propio contexto docente.

Los estudiantes y los profesionales también pueden utilizar el módulo para el estudio autónomo. Al tratarse de un módulo introductorio, es adecuado tanto para quienes se inician en los sistemas de calefacción urbana como para quienes deseen repasar la terminología básica, la estructura del sistema y el desarrollo tecnológico de la calefacción urbana antes de pasar a módulos más especializados de SHaKE.

Principales temas tratados en el módulo

- Los sistemas de calefacción urbana y su papel en el suministro energético urbano
- Ventajas e inconvenientes de la calefacción urbana
- Producción de calor y suministro centralizado de calor
- La calefacción urbana en Europa
- Evolución histórica y generaciones de calefacción urbana
- Sistemas de distribución de vapor de primera generación
- Sistemas de distribución de agua caliente de segunda generación
- Sistemas de distribución de agua templada de tercera generación
- Calefacción urbana inteligente de baja temperatura de cuarta generación
- Comunidades energéticas de temperatura ambiente de quinta generación
- Subsistemas funcionales de las redes de calefacción urbana
- Subestaciones de calefacción urbana y tipos de conexión hidráulica
- Tecnologías de intercambiadores de calor en las subestaciones
- Integración de energías renovables en la calefacción urbana
- Energía geotérmica y energía solar térmica
- Valorización energética de residuos en la calefacción urbana
- Recuperación de calor residual de la industria, los centros de datos y las infraestructuras municipales
- Tendencias futuras en las redes de calefacción urbana de cuarta y quinta generación
- Consideraciones políticas y económicas para el desarrollo sostenible de la calefacción urbana



Resultados de aprendizaje del Módulo 1

El módulo está diseñado para fomentar el desarrollo de las siguientes habilidades y competencias:

- comprender el desarrollo histórico y la evolución de los sistemas de calefacción urbana, desde las redes de vapor de primera generación hasta las comunidades energéticas de quinta generación;
- identificar los principales componentes y subsistemas de las redes de calefacción urbana, incluyendo la producción, distribución, transporte, consumo y subestaciones de calor;
- comparar diferentes tecnologías y generaciones de calefacción urbana en términos de eficiencia, temperaturas de funcionamiento, infraestructura e integración de energías renovables;
- evaluar las ventajas, las limitaciones y el impacto en la sostenibilidad de los sistemas de calefacción urbana en diferentes contextos regionales y urbanos;
- analizar el papel de las fuentes de energía renovables, la recuperación de calor residual y las comunidades energéticas a la hora de apoyar la transición hacia sistemas de calefacción urbana con bajas emisiones de carbono;
- aplicar conceptos básicos de calefacción urbana a un escenario práctico de planificación municipal.

Carga de trabajo estimada

Este módulo supone aproximadamente 6,7 horas de aprendizaje, incluyendo clases magistrales, ejercicios, trabajo con casos prácticos, estudio autónomo y evaluación.

Los docentes pueden adaptar la carga de trabajo en función del nivel del curso, los materiales seleccionados y el formato de enseñanza. El módulo puede utilizarse como:

- una unidad didáctica introductoria completa,
- un conjunto de materiales lectivos seleccionados,
- un componente de aprendizaje mixto,
- un paquete de ejercicios prácticos,
- un módulo preparatorio previo a módulos SHaKE más especializados,
- o un recurso complementario para cursos ya existentes.

Actividades y horas de aprendizaje

Tipo de actividad	Tiempo asignado	Descripción
Clases magistrales	3 h	Introducción a los sistemas de calefacción urbana, ventajas e inconvenientes, producción y fuentes de calor, contexto europeo, generaciones de calefacción urbana, subestaciones, fuentes de calor renovables, valorización energética de residuos y recuperación de calor residual
Ejercicios	0,5 h	Actividad práctica basada en la comparación de las generaciones de calefacción urbana, la evaluación de fuentes de calor renovables y alternativas, y la elaboración de una recomendación para un escenario de modernización de la calefacción municipal
Casos prácticos	0,5 h	Debate sobre ejemplos europeos y del mundo real relacionados con la calefacción urbana geotérmica, la valorización energética de residuos, la recuperación de calor residual y los conceptos de comunidades energéticas



Estudio autónomo	1,5 h	Lectura independiente, revisión de secciones de la guía, preparación para el cuestionario de autoevaluación y repaso de los conceptos clave del módulo
Evaluación	0,2 h	Preguntas de elección múltiple para evaluar la comprensión de los principales conceptos, tecnologías y aplicaciones de la calefacción urbana
Total de horas de aprendizaje	6,7 h	

Destinatarios

Esta guía está dirigida principalmente a educadores, profesores y formadores que deseen utilizar o adaptar los materiales de SHaKE en sus propias actividades docentes o formativas.

Los principales destinatarios son:

- profesores universitarios de ingeniería, instalaciones técnicas de edificios, sistemas energéticos, calefacción urbana y sistemas energéticos urbanos sostenibles;
- formadores que participan en la formación profesional o continua sobre calefacción urbana y sistemas energéticos urbanos;
- educadores que desarrollen actividades de aprendizaje mixtas, modulares u orientadas a la práctica;
- personal académico que busque recursos didácticos reutilizables sobre sistemas de energía urbanos sostenibles;
- formadores y profesores que trabajan en temas relacionados con la calefacción urbana, la integración de la calefacción renovable, las comunidades energéticas, las subestaciones y la infraestructura energética urbana.

Los materiales también pueden ser utilizados por estudiantes, profesionales y personas que estudian por su cuenta y deseen profundizar en temas específicos de forma individual. Al tratarse de un módulo introductorio, no se requieren conocimientos previos avanzados sobre calefacción urbana, aunque resulta útil tener una familiaridad básica con los servicios de edificios, la termodinámica o los sistemas energéticos.

Uso recomendado para educadores y formadores

El Módulo 1 puede utilizarse de forma flexible como una unidad didáctica introductoria completa o como un conjunto de recursos didácticos seleccionados. Los educadores pueden combinar los materiales en función del nivel del curso, el tiempo de enseñanza disponible y los resultados de aprendizaje previstos.

Necesidades didácticas	Recurso sugerido para el Módulo 1
Introducción al tema	Utilice la descripción general del módulo y las diapositivas introductorias para presentar el concepto básico de la calefacción urbana y su relevancia para los sistemas energéticos urbanos sostenibles.
Preparación de los alumnos antes de la clase	Asigne secciones seleccionadas de la guía como lectura previa para actividades de aula invertida o de aprendizaje mixto.
Apoyo a las clases magistrales o seminarios	Utilice las diapositivas de la presentación para explicar los principios de la calefacción urbana, sus



	ventajas e inconvenientes, la producción de calor, el contexto europeo, las generaciones, las subestaciones, las fuentes de calor renovables y la recuperación de calor residual.
Comprobación de la comprensión	Utilice preguntas seleccionadas del banco de preguntas para debates, breves comprobaciones en clase, evaluación formativa o cuestionarios en la plataforma de gestión del aprendizaje (LMS).
Desarrollo del razonamiento aplicado	Utilice el ejercicio práctico para el trabajo en el aula, actividades en grupo, tareas para casa o breves informes escritos sobre la modernización de la calefacción urbana.
Fomentar el debate sobre la sostenibilidad	Utilice las secciones sobre energías renovables, valorización energética de residuos, recuperación de calor residual y comunidades energéticas de quinta generación para iniciar un debate sobre la descarbonización y los futuros sistemas de calefacción urbana.
Fomentar la revisión independiente	Indique a los alumnos que realicen el cuestionario de autoevaluación del módulo una vez que hayan estudiado los materiales pertinentes.
Adaptación a los contextos docentes locales	Seleccione, combine o modifique las secciones de la guía, las diapositivas, las preguntas y los ejercicios de acuerdo con el plan de estudios, el nivel de los participantes y el contexto profesional.



Itinerario recomendado para estudiantes autónomos

Los estudiantes y profesionales que utilicen el módulo de forma independiente pueden seguir la secuencia que se indica a continuación.

Paso	Actividad sugerida
Revisa la presentación introductoria	Familiarízate con los conceptos principales, la terminología y la estructura de los sistemas de calefacción urbana.
Estudia los materiales de la guía	Lee las explicaciones sobre los principios de la calefacción urbana, las generaciones de sistemas, las subestaciones, las fuentes de calor renovables y la recuperación de calor residual.
Mira el vídeo del módulo	Utiliza el vídeo del módulo y las preguntas de evaluación adjuntas para profundizar en un tema, concepto o aspecto práctico concreto del módulo.
Realiza el cuestionario de autoevaluación	Comprueba tus conocimientos sobre los conceptos clave y los principios técnicos tratados en el módulo.
Realiza el ejercicio práctico	Aplica los conocimientos adquiridos comparando tecnologías de calefacción urbana y fuentes de calor en un escenario de modernización municipal.
Revisa el banco de preguntas	Utiliza las preguntas para repasar, debatir o prepararte para la evaluación.

Materiales de apoyo disponibles

Los recursos de aprendizaje y materiales de evaluación disponibles incluyen:

- diapositivas de presentación sobre los temas del módulo;
- un banco de preguntas reutilizable;
- un cuestionario de autoevaluación a nivel de módulo;
- un vídeo del módulo con preguntas de evaluación adjuntas;
- un ejercicio práctico descargable basado en un escenario de modernización de la red de calefacción urbana de un municipio;
- preguntas de evaluación diseñadas para facilitar el autoaprendizaje, el debate en el aula y la evaluación formativa.

El ejercicio práctico puede utilizarse para el trabajo en grupo, los deberes, informes escritos breves, debates en el aula o el aprendizaje introductorio basado en proyectos. En él se pide a los alumnos que comparen las diferentes generaciones de calefacción urbana, evalúen las fuentes de calor renovables y alternativas, y formulen una recomendación para un municipio que desee modernizar su infraestructura de calefacción.



1 Índice

1	Introducción a los sistemas de calefacción urbana	10
1.1	Ventajas y desventajas de la calefacción urbana	10
1.2	Producción y fuentes de calor	11
1.3	La calefacción urbana en Europa	11
2	Evolución histórica: generaciones de calefacción urbana	12
2.1	Primera generación: distribución de vapor	13
2.2	Segunda generación: distribución de agua caliente	13
2.3	Tercera generación: distribución de agua templada	13
2.4	Cuarta generación: calefacción urbana inteligente a baja temperatura	13
2.5	Quinta generación: comunidades energéticas a temperatura ambiente	13
3	Subsistemas y tecnologías de calefacción urbana	14
3.1	Subsistemas funcionales de la calefacción urbana	14
3.2	Las generaciones de calefacción urbana en detalle	14
3.2.1	Primera generación: distribución de vapor (finales del siglo XIX – principios del siglo XX)	14
3.2.2	Segunda generación: distribución de agua caliente (1930-1970)	16
3.2.3	Tercera generación: distribución de agua templada (<100 °C)	17
3.2.4	Cuarta generación: calefacción urbana inteligente a baja temperatura (50-70 °C) con integración de energías renovables	18
3.2.5	Quinta generación: comunidades energéticas a temperatura ambiente	18
3.3	Subestaciones de calefacción urbana	19
3.3.1	Papel y función	19
3.3.2	Tecnologías de intercambiadores de calor	20
4	Energías renovables en la calefacción urbana	21
4.1	Energía geotérmica	21
4.2	Energía solar térmica	22
4.3	Valorización energética de residuos (WtE) en la calefacción urbana	22
4.3.1	La planta de Spittelau en Viena	23
4.4	Recuperación de calor residual en la calefacción urbana	26
4.4.1	Calor residual industrial	26
4.4.2	Centros de datos	26
4.4.3	Infraestructura municipal	27
5	Tendencias futuras: redes de cuarta y quinta generación	28
5.1	Objetivos de la cuarta generación	28
5.2	Visión de la quinta generación	28



6	Consideraciones políticas y económicas	29
7	Conclusión	29
	Bibliografía	31



1 Introducción a los sistemas de calefacción urbana

Históricamente, la calefacción urbana se desarrolló como respuesta a preocupaciones tanto económicas como de seguridad. Los primeros en adoptarla buscaban mejorar el aprovechamiento del combustible, centralizar las emisiones de combustión lejos de las zonas pobladas y reducir los riesgos asociados al mantenimiento de múltiples calderas de vapor a alta presión en edificios residenciales.

Desde sus orígenes a finales del siglo XIX —con pioneros como Birdsill Holly en Estados Unidos— hasta las redes actuales de cuarta y quinta generación, de baja temperatura e integradas con energías renovables, la calefacción urbana ha experimentado una transformación sustancial.

1.1 Ventajas y desventajas de la calefacción urbana

La calefacción urbana ofrece una serie de beneficios que la convierten en una opción atractiva para el suministro de energía térmica a usuarios residenciales, comerciales e industriales. Una de sus principales ventajas radica en la eficiencia económica. Al centralizar la producción de calor, los sistemas de calefacción urbana pueden aprovechar las economías de escala, lo que reduce el coste por unidad de calor en comparación con múltiples sistemas individuales más pequeños. Este enfoque centralizado también suele traducirse en menores costes de servicio, ya que las actividades de funcionamiento y mantenimiento se consolidan, lo que requiere menos recursos y personal especializado que lo que necesitarían numerosos sistemas descentralizados.

Una de las principales ventajas es que la calefacción urbana permite aprovechar energías renovables, como la geotérmica, y el calor residual, como el de las incineradoras, lo que no sería posible a nivel de edificio. La UE se ha fijado el objetivo de lograr un parque inmobiliario totalmente descarbonizado y con cero emisiones para 2050, transformando al mayor consumidor de energía de Europa en un sector climáticamente neutro. La calefacción urbana contribuye a alcanzar este objetivo, ya que una parte significativa de los consumidores de calefacción urbana no podría abastecerse de energía renovable sin un sistema centralizado de suministro de calor.

Otra ventaja importante es la mejora de la calidad del aire. Al ubicar las instalaciones de generación de calor fuera de las zonas urbanas densamente pobladas, se minimiza la exposición directa de los residentes a los productos de la combustión. Las centrales también son más adecuadas para un control preciso del rendimiento. Se pueden implementar sistemas avanzados de automatización y herramientas de previsión de la carga para ajustar la producción de calor a la demanda, lo que garantiza un funcionamiento eficiente durante toda la temporada de calefacción.

A pesar de estas ventajas, los sistemas de calefacción urbana no están exentos de inconvenientes. Uno de los retos más importantes son las pérdidas en la transmisión. A medida que el agua caliente o el vapor circulan por las tuberías de distribución, se produce inevitablemente una pérdida de calor, sobre todo en redes antiguas o cuando el calor debe transportarse a largas distancias. Los elevados costes iniciales de infraestructura constituyen otra barrera, ya que la construcción de la red necesaria de tuberías, subestaciones y sistemas de control requiere una inversión de capital considerable. Además, las redes de calefacción urbana pueden ser propensas a vulnerabilidades en un único punto; una interrupción en la fuente central de calor —ya sea por un fallo del equipo o por problemas de suministro de combustible— puede afectar potencialmente a toda la zona abastecida.

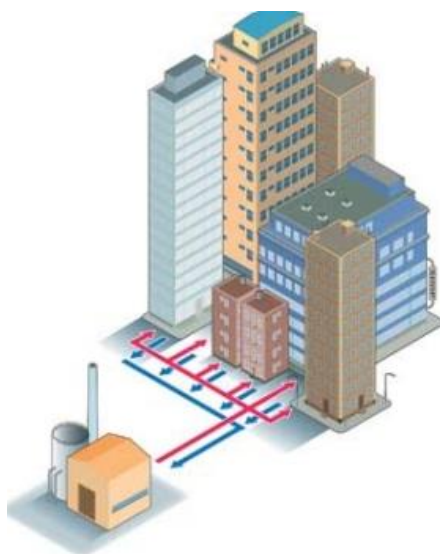


Figura1 . Figura ilustrativa de una red de calefacción urbana (decentralizedenergy)

1.2 Producción y fuentes de calor

Los sistemas de calefacción urbana pueden alimentarse mediante una amplia variedad de fuentes de calor, cada una de las cuales ofrece ventajas técnicas y medioambientales específicas. Las centrales térmicas especializadas se encuentran entre las más comunes; suelen utilizar calderas alimentadas con gas natural, biomasa o fuelóleo para generar agua caliente o vapor para su distribución. Estas centrales tienen un diseño y un funcionamiento sencillos, lo que las hace adecuadas tanto para redes pequeñas como grandes.

Un enfoque más eficiente lo ofrecen las centrales de cogeneración (CHP), que generan electricidad y aprovechan el calor residual de este proceso para la calefacción urbana. Al aprovechar la energía térmica que, de otro modo, se desperdiciaría, los sistemas de cogeneración pueden alcanzar una eficiencia global del combustible mucho mayor en comparación con la generación separada de calor y electricidad.

Cada vez más, las redes recurren a fuentes de energía renovables, como los campos solares térmicos, los pozos geotérmicos y las bombas de calor a gran escala. Estas opciones pueden reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero, al tiempo que disminuyen la dependencia de los combustibles a largo plazo. Otra fuente valiosa es la recuperación de calor residual, que captura el exceso de calor de los procesos industriales, los centros de datos o las plantas de incineración de residuos y lo dirige a la red de calefacción urbana.

Los sistemas modernos de calefacción urbana suelen emplear la integración de múltiples fuentes, combinando varias de estas tecnologías dentro de la misma red. Este enfoque no solo mejora la resiliencia del sistema —al garantizar que el suministro de calor pueda continuar incluso si una fuente deja de estar disponible—, sino que también contribuye a los objetivos de sostenibilidad al permitir una mayor proporción de calor renovable y recuperado en la combinación energética.

1.3 La calefacción urbana en Europa

El grado de implantación de la calefacción urbana varía considerablemente en todo el mundo, lo que refleja las diferencias en el clima, las tradiciones de planificación urbana y la política energética. En el norte de Europa y Escandinavia, la calefacción urbana cuenta con una larga tradición. En países como Dinamarca, Suecia y Finlandia, más de la mitad de la demanda de calefacción urbana suele satisfacerse a través de redes



de calefacción urbana. Esta prevalencia se ve favorecida por los climas fríos, las altas densidades de población en los centros urbanos y la inversión a largo plazo en infraestructuras energéticas centralizadas.

En Europa Occidental, la implantación de la calefacción urbana se ha acelerado en las últimas décadas. Países como Alemania, Francia y los Países Bajos han ampliado sus redes de forma significativa, impulsados en gran medida por las políticas de descarbonización y el deseo de reducir la dependencia de los combustibles fósiles. La integración de fuentes de energía renovables y la recuperación de calor residual en los sistemas de calefacción urbana se ha convertido en una estrategia central para cumplir los objetivos climáticos nacionales.

Por el contrario, muchos países de Europa del Este heredaron extensos sistemas de calefacción urbana de la era socialista. Estas redes a gran escala son capaces de abastecer a ciudades enteras, pero a menudo adolecen de ineficiencias, pérdidas de calor e infraestructuras obsoletas. Los programas de modernización —que van desde la mejora del aislamiento de las tuberías hasta la sustitución de calderas antiguas por sistemas basados en energías renovables— son ahora una prioridad fundamental para los responsables políticos y las empresas de servicios públicos de la región.

En toda Europa, los marcos normativos como la Directiva de la UE sobre eficiencia energética (EED), junto con los objetivos nacionales de reducción de emisiones de carbono, desempeñan un papel fundamental a la hora de orientar la expansión y la modernización de la calefacción urbana. Estas políticas fomentan tanto la mejora de la eficiencia de los sistemas como la transición hacia fuentes de calor renovables y con bajas emisiones de carbono, dando forma al futuro de la calefacción urbana en diversos contextos regionales.

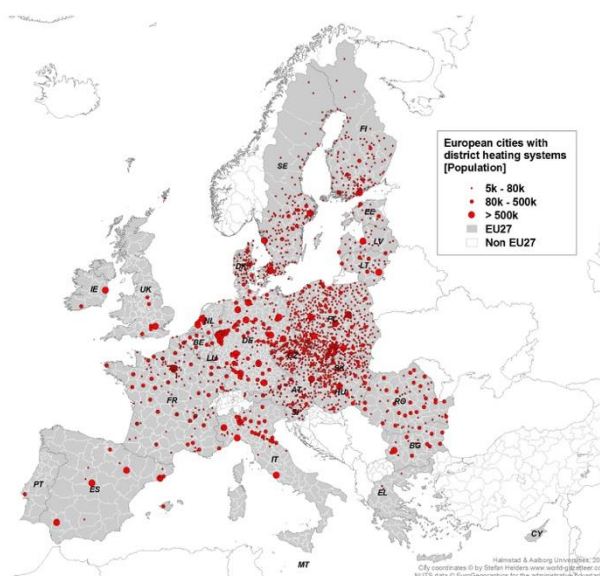


Figura2 . Mapa de la penetración de la calefacción urbana en Europa (www.solarthermalworld.org)

2 Evolución histórica: las generaciones de la calefacción urbana

La evolución de la tecnología de la calefacción urbana se describe a menudo en términos de «generaciones» diferenciadas, cada una de las cuales representa avances en los métodos de distribución de calor, los regímenes de temperatura y la integración de los sistemas. Aunque se reconocen ampliamente cuatro generaciones, ahora está surgiendo una quinta como parte de la transición energética.



2.1 Primera generación: distribución de vapor

Los sistemas de calefacción urbana de primera generación se basaban en la distribución de vapor, un concepto introducido a finales del siglo XIX en Estados Unidos. Estos sistemas suministraban vapor a altas temperaturas —a menudo muy por encima de los 100 °C— como medio de transferencia de calor. Aunque eran eficaces para suministrar grandes cantidades de calor, adolecían de importantes pérdidas en la distribución, riesgos de seguridad debidos a las altas presiones y corrosión en las tuberías metálicas. Aunque han sido sustituidas en gran medida por alternativas modernas, algunas redes basadas en vapor siguen en funcionamiento, como la que da servicio a Manhattan, en la ciudad de Nueva York.

2.2 Segunda generación: distribución de agua caliente

La segunda generación, predominante entre los años treinta y setenta —especialmente en la Unión Soviética—, pasó a utilizar como medio de transferencia agua sobrecalentada a presiones en las que el agua se encuentra por debajo de la temperatura de ebullición. Estos sistemas solían funcionar con temperaturas de suministro de entre 120 °C y 200 °C, a menudo por encima del punto de ebullición atmosférico. Aunque redujeron algunos de los riesgos de seguridad asociados al vapor, seguían adoleciendo de un control deficiente, de elevados requisitos de mano de obra para su instalación y de pérdidas de calor sustanciales durante el transporte.

2.3 Tercera generación: distribución de agua caliente

La calefacción urbana de tercera generación surgió en la década de 1970, lo que supuso una mejora significativa en cuanto a eficiencia y flexibilidad. Estos sistemas funcionaban con agua caliente a temperaturas de suministro inferiores a 100 °C e introdujeron tuberías preaisladas para reducir las pérdidas. Las subestaciones modulares se convirtieron en la norma, lo que simplificó la instalación y el mantenimiento. Las temperaturas más bajas también permitieron la integración de fuentes de energía renovables y la recuperación de calor residual, lo que hizo que estos sistemas fueran más sostenibles desde el punto de vista medioambiental.

2.4 Cuarta generación: calefacción urbana inteligente a baja temperatura

Partiendo de estos avances, la cuarta generación se centra en la distribución a baja temperatura —normalmente entre 50 °C y 70 °C— e incorpora conceptos de red inteligente. Las fuentes de energía renovables, las bombas de calor a gran escala y la recuperación de calor residual desempeñan un papel predominante. Estos sistemas son especialmente adecuados para edificios modernos y bien aislados con una baja demanda de calefacción, y sus controles digitales permiten una gestión y optimización precisas de la carga.

2.5 Quinta generación: comunidades energéticas a temperatura ambiente

La quinta generación emergente lleva este concepto un paso más allá al operar redes a temperatura ultrabaja o incluso a temperatura ambiente. En estos sistemas, cada edificio está equipado con una bomba de calor que eleva la temperatura hasta el nivel requerido. La capacidad de flujo bidireccional permite la creación de «comunidades energéticas», en las que los edificios pueden actuar tanto como consumidores como productores —prosumidores—, compartiendo calor entre vecinos y convirtiendo la red en una red térmica verdaderamente descentralizada.



3 Subsistemas y tecnologías de calefacción urbana

3.1 Subsistemas funcionales de la calefacción urbana

Distribución de calor: la asignación controlada de los flujos de calor a diferentes ramales o zonas dentro de la red de calefacción urbana, garantizando que cada zona reciba la cantidad adecuada de energía.

Transferencia de calor: el movimiento efectivo de la energía térmica a través de las tuberías de distribución aisladas desde la fuente central hasta los puntos de consumo.

Una red de calefacción urbana (DH) consta de cuatro subsistemas esenciales:

1. Producción de calor: generación centralizada mediante calderas, plantas de cogeneración, colectores de energías renovables o unidades de recuperación de calor residual.
2. Distribución de calor: la asignación y regulación del flujo de calor hacia las diferentes ramificaciones de la red.
3. Transporte de calor: transporte de energía térmica a través de tuberías aisladas hasta las zonas de consumo.
4. Consumo de calor: el uso del calor en edificios para la calefacción de espacios, el agua caliente sanitaria (ACS) o procesos industriales.

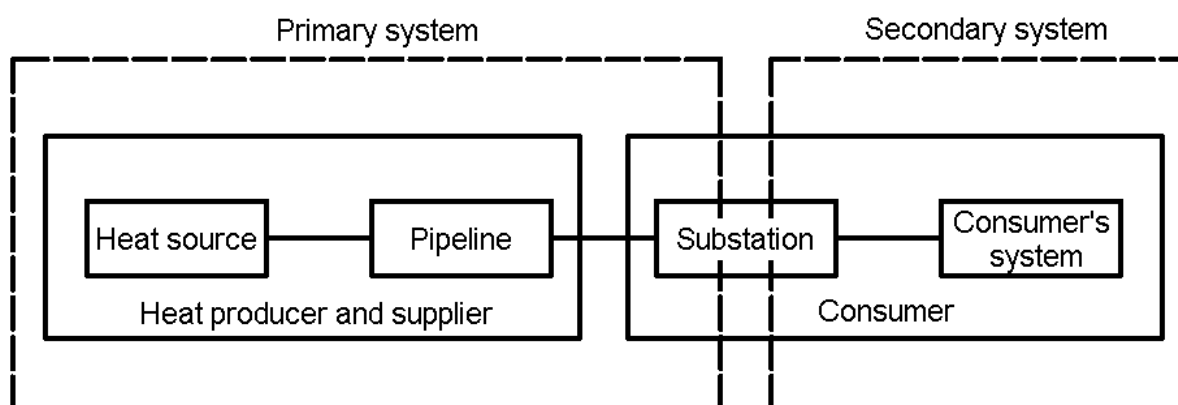


Figura3 . Subsistemas funcionales de la calefacción urbana [14]

3.2 Generaciones de calefacción urbana en detalle

3.2.1 Primera generación: distribución de vapor (finales del siglo XIX – principios del siglo XX)

El prototipo pionero de Birdsill Holly se construyó durante el invierno de 1878-1879 en Lockport, Nueva York, y suministraba vapor a las fincas vecinas. Aunque la eliminación de la necesidad de calderas individuales redujo los riesgos de explosión, los primeros sistemas se enfrentaban a fugas relacionadas con la corrosión, a elevadas pérdidas en la distribución y eran propensos a peligrosas explosiones en las tuberías que causaban heridos y víctimas mortales.

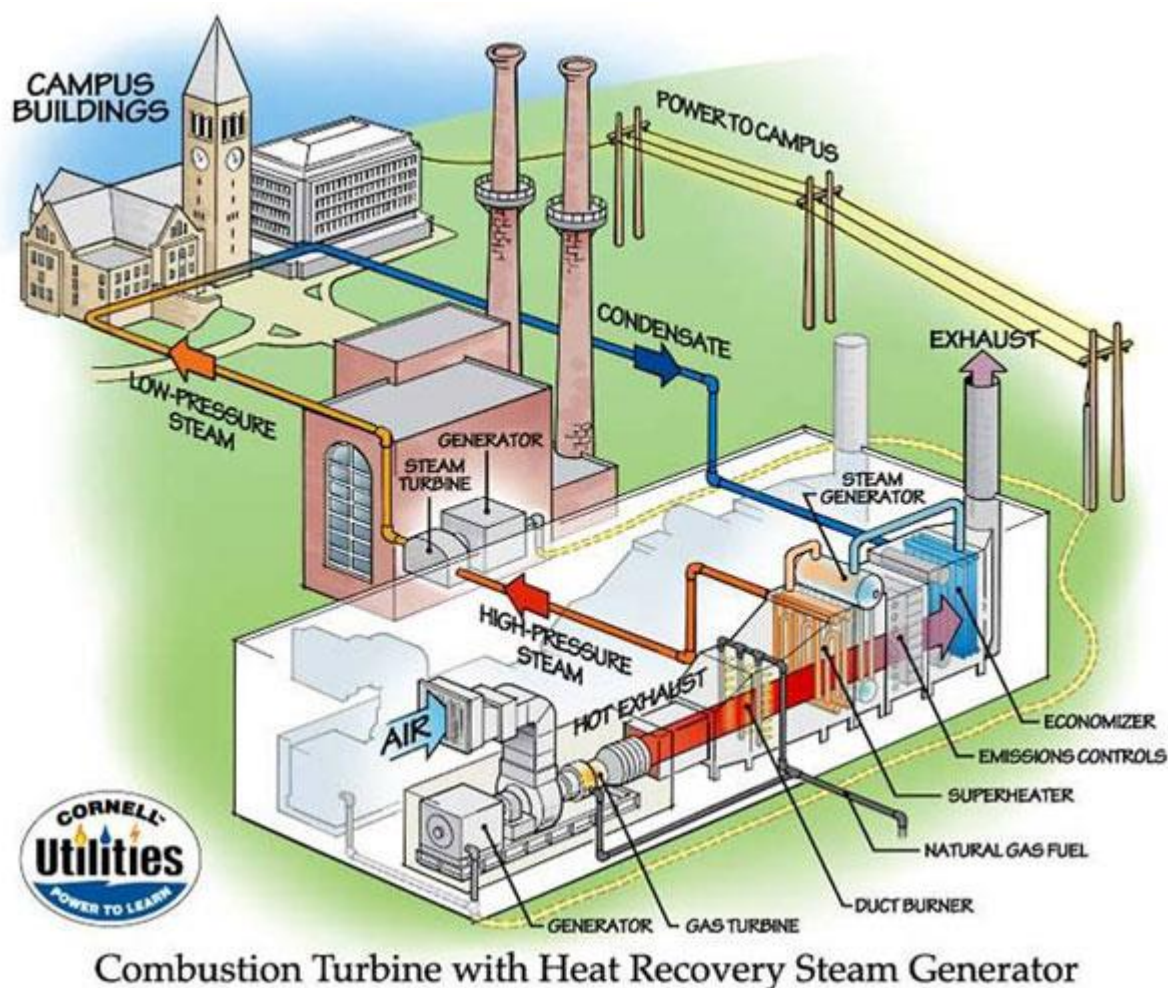


Figura4 . Figura ilustrativa de la distribución de vapor (<https://fzbellows.com>)

La forma más primitiva de calefacción urbana, conocida como sistemas de primera generación, se basaba en el transporte directo de vapor desde una central hasta los usuarios finales a través de tuberías de alta presión. El pionero de este enfoque fue Birdsill Holly, quien desarrolló uno de los primeros prototipos operativos entre 1878 y 1879 en Lockport, Nueva York. En aquella época, la distribución de vapor ofrecía claras ventajas: eliminaba la necesidad de numerosas calderas de pequeña escala en edificios individuales, reduciendo así el riesgo de explosiones de calderas en zonas urbanas densamente pobladas. Sin embargo, la tecnología también presentaba importantes inconvenientes. Se producían elevadas pérdidas térmicas debido a la altísima temperatura de distribución y a la limitada eficacia de los materiales aislantes disponibles en aquella época. La corrosión y las fugas constituían retos de mantenimiento persistentes, mientras que los riesgos de seguridad —incluido el peligro de explosiones en las tuberías— seguían siendo motivo de preocupación. A medida que la tecnología avanzaba, los sistemas basados en vapor pasaron a considerarse muy obsoletos, y la mayoría fueron desmantelados. No obstante, algunos siguen funcionando en casos concretos, como en algunas zonas de Manhattan y en ciertas ciudades europeas como Hamburgo y Copenhague, donde se han reconstruido o conservado los sistemas históricos.



Figura5 . Red histórica de calefacción urbana por vapor en Manhattan (Lizio-Katzen, sin fecha).

3.2.2 Segunda generación: distribución de agua caliente (1930-1970)

En Hungría y otras regiones, eran habituales las características tuberías aéreas con grandes curvas en U. Estos bucles estructurales absorbían la expansión térmica de las largas tuberías de acero, evitando daños mecánicos.

La segunda generación de calefacción urbana supuso un cambio de la distribución de vapor a la de agua caliente a presión, con temperaturas de suministro que solían superar los 100 °C. Estos sistemas surgieron en la década de 1930 y se mantuvieron como la opción predominante hasta aproximadamente 1970. El agua caliente se transportaba a través de tuberías de acero, a menudo instaladas dentro de conductos de hormigón, lo que proporcionaba cierta protección frente a la exposición ambiental. Este enfoque se generalizó especialmente en la Unión Soviética y Europa del Este, donde se construyeron sistemas de calefacción urbana a gran escala para abastecer a ciudades enteras. Aunque resultaban eficaces para suministrar elevadas cargas térmicas, estos sistemas presentaban limitaciones notables. La instalación requería mucha mano de obra, ya que la construcción de los conductos y la soldadura de las tuberías exigían un trabajo considerable in situ. La flexibilidad operativa era limitada, lo que hacía poco práctica la integración de fuentes de calor renovables o de baja temperatura. Las pérdidas de calor también eran mayores en comparación con generaciones posteriores, especialmente en conductos mal aislados. En algunas regiones, como Hungría, se utilizaban sistemas de tuberías aéreas con característicos codos en U para compensar la



expansión térmica, un rasgo visual característico de las redes de calefacción urbana de mediados del siglo XX.



Figura6 . Tuberías de calefacción urbana en superficie (mokshahu)



Figura7 . Las tuberías subterráneas de calefacción urbana con codos en U compensan la expansión térmica [15]

3.2.3 Tercera generación: distribución de agua caliente (<100 °C)

A partir de la década de 1970, la tercera generación introdujo importantes mejoras tecnológicas destinadas a aumentar la eficiencia y reducir las pérdidas. Las temperaturas de suministro descendieron por debajo de los 100 °C, lo que permitió el uso de tuberías de acero preaisladas que podían enterrarse directamente en el suelo sin necesidad de costosos conductos de hormigón. Esta innovación redujo los costes de instalación, minimizó las pérdidas de calor y permitió un despliegue más rápido de la red. Otro hito fue la introducción de subestaciones modulares prefabricadas, que sustituyeron los grandes intercambiadores de calor de haz



tubular de los diseños anteriores por intercambiadores de calor de placas compactos. Estas subestaciones requerían menos espacio, ofrecían un mejor rendimiento térmico y reducían la mano de obra in situ gracias al montaje en fábrica. Las temperaturas de suministro más bajas también facilitaron la integración de fuentes de energía renovables, como los colectores solares térmicos y los pozos geotérmicos. En Europa del Este, muchos sistemas antiguos de la era soviética se han modernizado desde entonces con tecnología de tercera generación para mejorar la eficiencia y la fiabilidad.



Figura8 . Subestación modular prefabricada de calefacción urbana (izquierda) (fotavhu) , tuberías preaisladas (derecha) (magyarepitok)

3.2.4 Cuarta generación: calefacción urbana inteligente de baja temperatura (50-70 °C) con integración de energías renovables

La cuarta generación se basa en las mejoras de eficiencia de su predecesora, al tiempo que adapta la calefacción urbana a los requisitos de los edificios energéticamente eficientes y a un sistema energético descarbonizado. Al funcionar con temperaturas de suministro de entre 50 °C y 70 °C, estos sistemas logran una reducción significativa de las pérdidas en la distribución y están optimizados para su integración con sistemas de control inteligentes. Mediante el uso de previsiones meteorológicas y datos de consumo en tiempo real, los operadores pueden ajustar dinámicamente la producción de calor para adaptarla a la demanda, mejorando tanto el confort como la eficiencia. Las redes de cuarta generación se integran a veces con redes eléctricas inteligentes, lo que permite equilibrar la carga entre la producción de electricidad y la de calor. El régimen de temperaturas reducidas abre oportunidades para una amplia recuperación de calor residual procedente de fuentes no convencionales, como los sistemas de refrigeración de centros de datos, el calor de la ventilación de los sistemas de metro y el calor de las aguas residuales extraído mediante bombas de calor. Un ejemplo destacado es la Aspern Smart City de Viena, donde el calor renovable, la generación combinada de calor y electricidad (CHP) y el almacenamiento térmico se combinan dentro de un marco de control totalmente automatizado.

3.2.5 Quinta generación: comunidades energéticas a temperatura ambiente

La quinta generación, actualmente en fase de adopción inicial, representa un cambio de paradigma en el diseño de la calefacción urbana. Estas redes funcionan a la temperatura ambiente del suelo o cerca de ella



(entre 10 y 25 °C aproximadamente), utilizando bombas de calor descentralizadas en edificios individuales para elevar la temperatura con fines de calefacción o para proporcionar refrigeración en verano. Esta configuración permite flujos de calor bidireccionales, lo que hace que los edificios puedan actuar tanto como consumidores como productores —los denominados «prosumidores»—, que pueden inyectar el exceso de calor a la red para que otros lo utilicen. La temperatura de funcionamiento ultrabaja elimina prácticamente las pérdidas de distribución y hace que el sistema sea altamente compatible con estrategias de almacenamiento térmico estacional y de acoplamiento sectorial, uniendo los sistemas de calefacción, refrigeración y electricidad en una comunidad energética unificada. Un ejemplo es la Red de París-Saclay en Francia, donde el intercambio descentralizado de energía y la integración de las energías renovables constituyen la columna vertebral de la infraestructura local de calefacción y refrigeración.

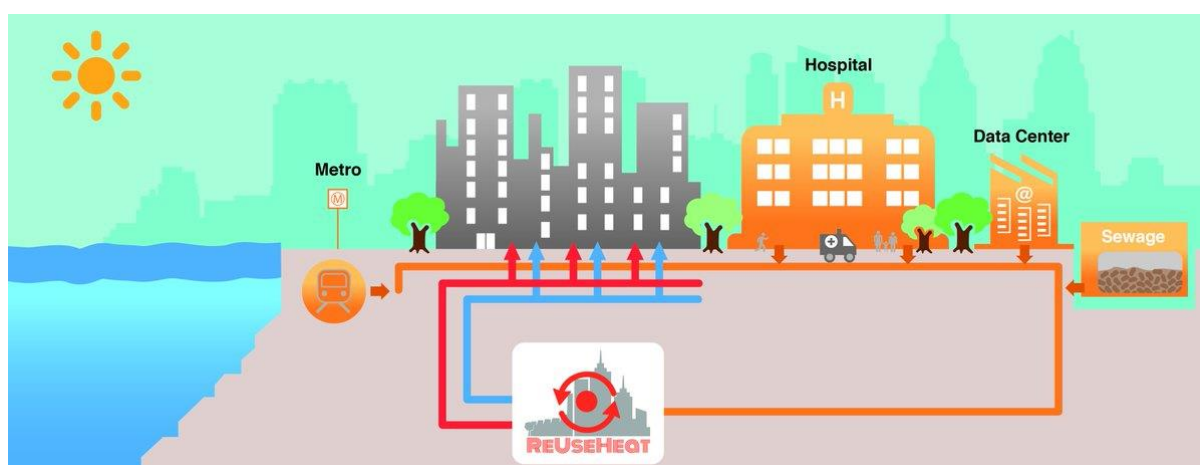


Figura9 . Diagrama conceptual de una comunidad energética de quinta generación (reuseheat)

3.3 Subestaciones de calefacción urbana

3.3.1 Papel y función

La subestación de calefacción urbana es la interfaz entre la red primaria de calefacción urbana (DH) y el sistema de calefacción interno de un edificio. Su función principal es transferir energía térmica desde la red de distribución al edificio, al tiempo que controla la temperatura de suministro, los caudales y las presiones del sistema. En la práctica se utilizan dos configuraciones principales de subestaciones. En una subestación directa, el circuito de calefacción del edificio está conectado hidráulicamente a la red primaria de calefacción urbana, lo que permite que el agua caliente de la red circule directamente a través de los radiadores o los circuitos de calefacción del edificio. Esta disposición es sencilla, pero somete al sistema del edificio a las mismas condiciones de presión de funcionamiento y calidad del agua que la red de calefacción urbana. Por el contrario, una subestación indirecta utiliza intercambiadores de calor para separar hidráulicamente el circuito del edificio de la red primaria. Esta configuración mejora la seguridad operativa, reduce el riesgo de contaminación del agua procedente de la red y ofrece una mayor flexibilidad en el diseño del sistema. Otra variante es la subestación indirecta con control de caudal variable, que ajusta el caudal primario en función de la demanda del edificio, mejorando así la eficiencia energética.

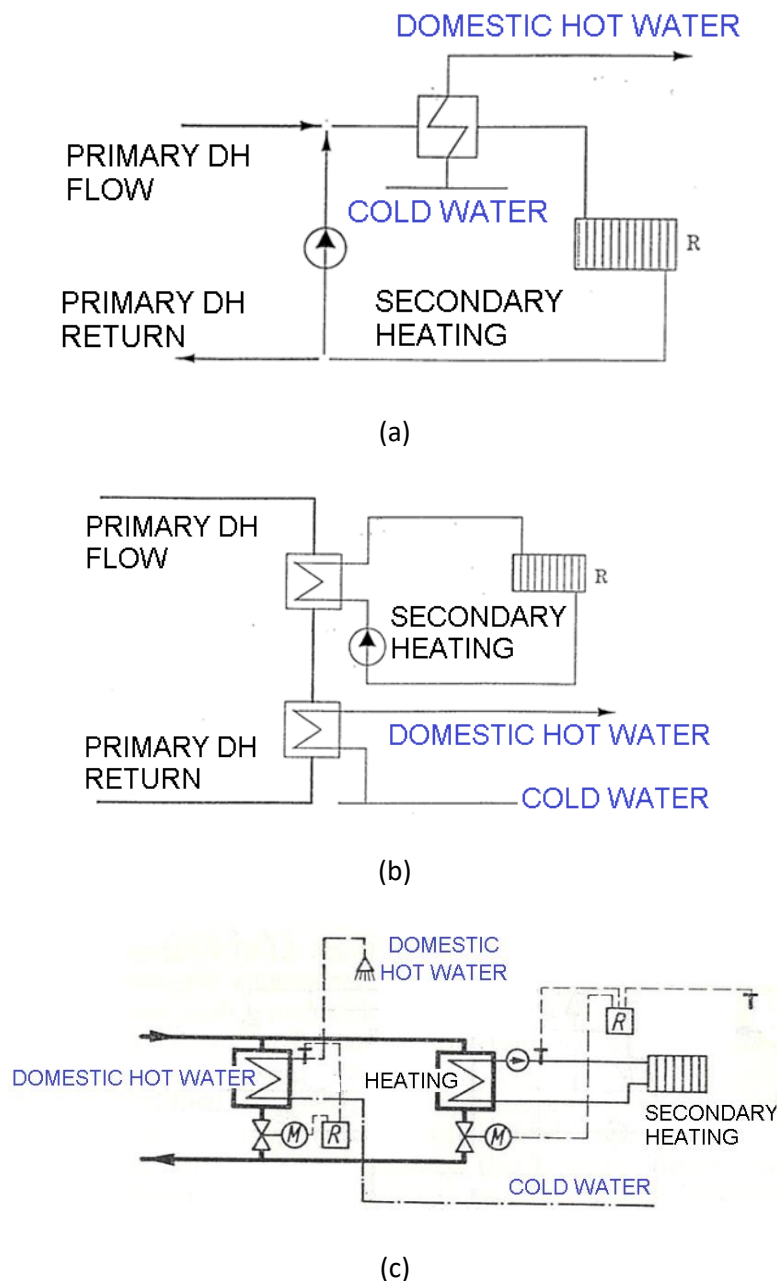


Figura10 . Tipos de conexión hidráulica a la red primaria de calefacción urbana. Directa (a), indirecta (b), indirecta con caudal variable (c) (Kiss, 1997)

3.3.2 Tecnologías de intercambiadores de calor

Históricamente, los intercambiadores de calor de haz tubular eran la tecnología estándar utilizada en las subestaciones de calefacción urbana. Aunque son robustos, estos equipos son grandes, pesados y requieren un espacio de instalación considerable. Además, suelen tener una menor eficiencia de transferencia de calor en comparación con los diseños modernos. Con el tiempo, los intercambiadores de calor de placas se han convertido en la opción preferida en la mayoría de las nuevas instalaciones. Estas unidades compactas consisten en múltiples placas delgadas y corrugadas dispuestas de manera que crean canales alternos para los fluidos primario y secundario. Su gran superficie y su geometría, que favorece la turbulencia, proporcionan una alta eficiencia térmica en un espacio reducido. Los intercambiadores de calor de placas



también son más fáciles de limpiar, mantener y ampliar, lo que los hace muy adecuados para diseños de subestaciones modulares que pueden adaptarse a los requisitos de carga cambiantes.

4 Energía renovable en la calefacción urbana

4.1 Energía geotérmica

La energía geotérmica representa una de las fuentes de calor más constantes y sostenibles para los sistemas de calefacción urbana. Su principio consiste en extraer energía térmica de yacimientos subterráneos, que puede transferirse directamente a la red de calefacción urbana o elevarse a temperaturas más altas mediante el uso de bombas de calor. En Islandia, el calor geotérmico se ha aprovechado a gran escala, y la capital, Reikiavik, cubre aproximadamente el 90 % de su demanda de calor mediante la calefacción urbana geotérmica. Más allá de la calefacción de espacios, las tuberías de retorno del sistema también se utilizan para aplicaciones secundarias, como el deshielo de la nieve y el hielo en carreteras y aceras. Las principales ventajas de la calefacción urbana geotérmica incluyen los bajos costes de funcionamiento y las emisiones mínimas de CO₂ una vez que la infraestructura está instalada. Sin embargo, su viabilidad depende en gran medida de las condiciones geológicas específicas, lo que limita su aplicación generalizada a regiones con recursos geotérmicos accesibles.

En Islandia, el excedente de agua geotérmica a baja temperatura procedente de las tuberías de retorno de la calefacción urbana se reutiliza incluso para calentar aceras y carreteras, derritiendo la nieve y el hielo para mejorar la seguridad en invierno.



Figura11 . Central geotérmica y sistemas de calefacción urbana de Islandia (nesjavellir)



Figura12 . Tras circular por el edificio, el exceso de calor geotérmico de baja calidad se utiliza para el deshielo de las carreteras (underfloor)

4.2 Energía solar térmica

Las plantas solares térmicas a gran escala también pueden integrarse en las redes de calefacción urbana, ofreciendo una fuente de calor renovable y sin emisiones, especialmente en regiones con alta irradiación solar. Los colectores solares —ya sean de placa plana o de tubos de vacío— captan la energía solar, que luego se transfiere a la red de calefacción urbana o se almacena en grandes depósitos de agua caliente para su uso posterior. El almacenamiento estacional de calor se emplea a menudo para equilibrar el desajuste entre el pico de disponibilidad solar en verano y el pico de demanda de calefacción en invierno. Un ejemplo destacado es la central de calefacción urbana solar de Marstal, en Dinamarca, que combina extensos campos de colectores solares con almacenamiento estacional de calor en fosas para cubrir una parte sustancial de las necesidades de calefacción de la ciudad. Sin embargo, los sistemas solares térmicos se enfrentan al reto de ajustar el suministro a la demanda invernal, lo que a menudo requiere la hibridación con otras fuentes de calor, como calderas de biomasa o unidades de cogeneración (CHP).

4.3 La valorización energética de residuos (WtE) en la calefacción urbana

Los sistemas de valorización energética de residuos (WtE) son tecnologías de conversión de energía que recuperan calor y electricidad útiles a partir de residuos sólidos urbanos que, de otro modo, se eliminarían en vertederos. En una instalación típica de WtE, los residuos se queman en condiciones controladas, liberando energía térmica que se utiliza para producir vapor. Este vapor puede accionar turbinas para la generación de electricidad, al tiempo que suministra energía térmica a las redes de calefacción urbana mediante procesos de cogeneración (CHP). Además de la producción de energía, las modernas plantas de WtE contribuyen a la gestión sostenible de los residuos al reducir el volumen de residuos finales, recuperar materiales reciclables de los residuos de combustión y disminuir los impactos medioambientales asociados



al vertido en vertederos. Como parte de un sistema energético integrado, las tecnologías de conversión de residuos en energía fomentan la eficiencia en el uso de los recursos, mejoran la seguridad energética y proporcionan una fuente de calor local fiable que puede complementar las tecnologías de energía renovable dentro de las redes de calefacción urbana.

4.3.1 La planta de Spittelau en Viena

El característico rediseño arquitectónico de la planta corrió a cargo del artista y arquitecto austriaco Friedensreich Hundertwasser, lo que la convirtió en un hito emblemático de Viena.

- Diseñada por el arquitecto Friedensreich Hundertwasser tras su remodelación en la década de 1990.
- Rendimiento:
 - Calefacción para 60 000 hogares.
 - Electricidad para 50 000 hogares.
 - Procesa 250 000 toneladas de residuos al año.
 - Produce 120 000 MWh de electricidad y 500 000 MWh de calor.
- Importancia: Combina la gestión de residuos urbanos con la cogeneración de alta eficiencia.



Figura13 . Planta de valorización energética de residuos de Spittelau, Viena (www.wienenergie.at)

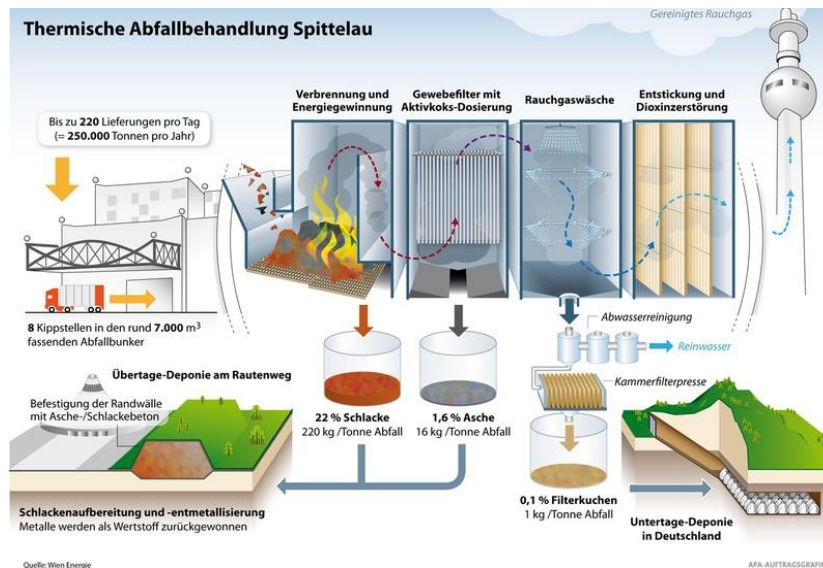


Figura14 . Esquema de funcionamiento de la planta de tratamiento térmico de residuos de Viena (www.wienenergie.at)

La figura 15 muestra la tendencia a largo plazo, que refleja la importante expansión y la transformación estructural del suministro de calefacción urbana de Viena entre 1979 y 2006. Si bien la producción total de calor aumentó drásticamente a lo largo de estas tres décadas, la composición de las fuentes de energía evolucionó hacia una mayor eficiencia y sostenibilidad. Las centrales de calefacción simples (amarillo), que en su día desempeñaron un papel más importante, se han reducido hasta apenas el 4,1 %, mientras que la generación combinada de calor y electricidad (Cogeneración) (rojo) se ha convertido en la tecnología dominante, aportando el 61,3 % del calor total. Además, la cuota de la valorización de residuos (negro) ha crecido de forma constante hasta constituir casi una cuarta parte (24,8 %) del suministro total, lo que pone de relieve el giro estratégico de la ciudad hacia los principios de la economía circular y la recuperación de energía.

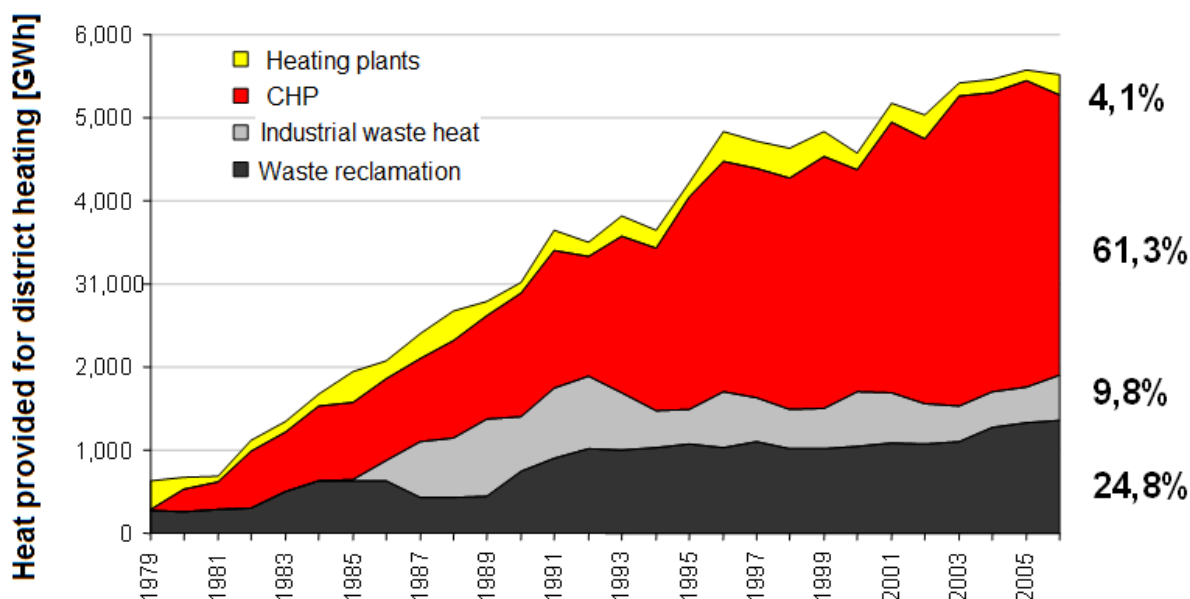


Figura15 . Evolución de las fuentes de calor utilizadas para la calefacción urbana en Viena [14]

La figura 16 ilustra el perfil de la carga térmica diaria del sistema de calefacción urbana de Viena a lo largo de 2006, mostrando cómo se utilizan las diferentes fuentes de energía en función de la demanda estacional. La carga base, representada en gris, se mantiene relativamente constante durante todo el año y se abastece principalmente mediante la incineración de residuos y el aprovechamiento del calor residual industrial, ambas opciones rentables, lo que garantiza que la demanda de agua caliente en verano se cubra con las fuentes más económicas. La zona roja representa la carga media, cubierta por centrales de cogeneración (CHP); esta capa aumenta significativamente para satisfacer las mayores necesidades de calefacción durante los meses más fríos. Por último, los picos de carga máxima, en amarillo, solo aparecen durante los días más fríos del invierno, utilizando calderas de solo calefacción como respaldo flexible para cubrir el déficit cuando la demanda supera la capacidad de los productores de la carga base y la carga media.

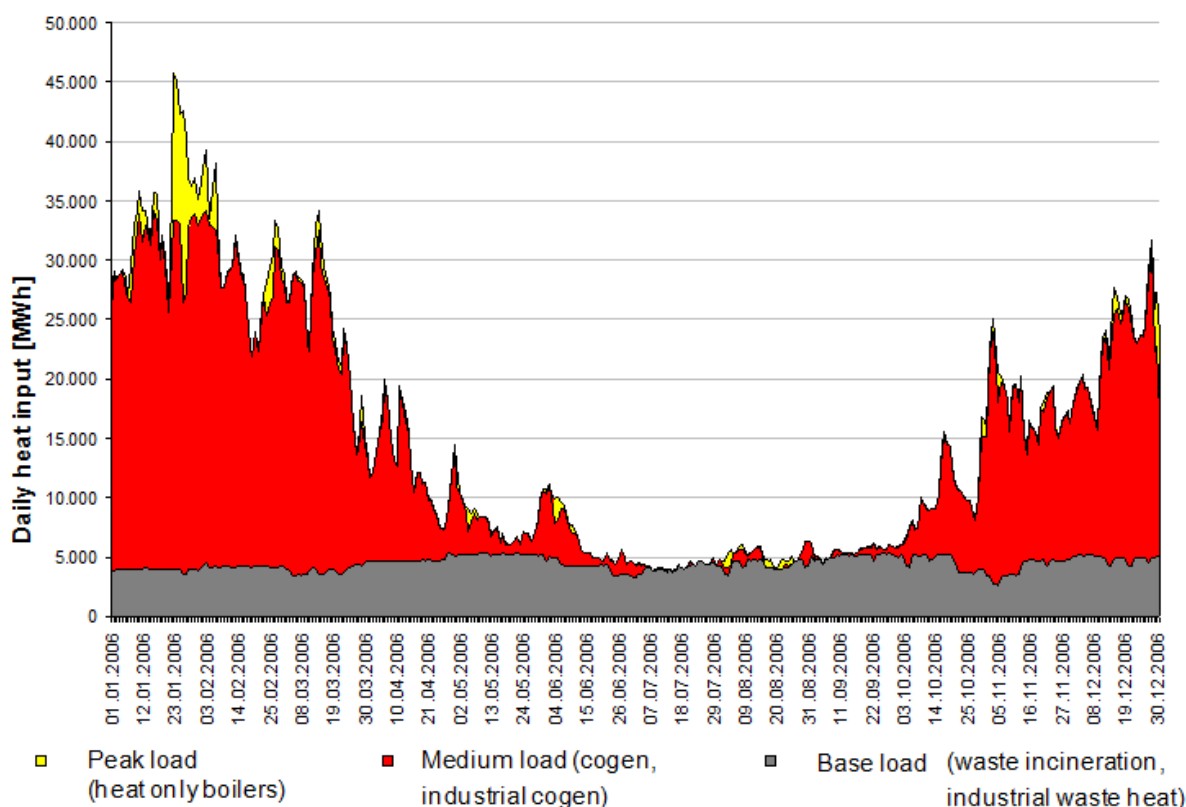


Figura16 . Cambios en el programa de producción a lo largo del año [14]

4.4 Recuperación de calor residual en la calefacción urbana

La recuperación del excedente de energía térmica de los procesos existentes representa una estrategia muy eficaz para mejorar la sostenibilidad de la calefacción urbana. Al aprovechar el calor que, de otro modo, se vería vertido al medio ambiente, la recuperación de calor residual contribuye a la reducción de emisiones, mejora la eficiencia del sistema y reduce la dependencia de las fuentes de combustible primarias. En las redes de calefacción urbana de cuarta generación, las temperaturas de suministro relativamente bajas hacen que sea técnica y económicamente viable integrar múltiples formas de calor residual de baja temperatura.

4.4.1 Calor residual industrial

Las grandes instalaciones industriales —como las acerías, las refinerías de petróleo y las plantas químicas— son fuentes importantes de calor residual recuperable. Este calor, a menudo en forma de agua a baja o media temperatura o de gases de escape, puede transferirse a la red de calefacción urbana sin consumo adicional de combustible, reduciendo así las emisiones globales del sistema. Un ejemplo destacado es la planta de cobre de Aurubis en Hamburgo (Alemania), donde el calor excedente de la producción de cobre se captura y se inyecta en el sistema local de calefacción urbana. Esta integración « » (calor a la red) da lugar a una reducción anual de aproximadamente 20 000 toneladas de emisiones de CO₂, al tiempo que sustituye a la generación de calor basada en combustibles fósiles.

4.4.2 Centros de datos

En 2010, el consumo eléctrico mundial de los centros de datos alcanzó unos 350 TWh, superando el 1 % del consumo mundial total. En la UE, el consumo pasó de 56 TWh/año en 2007 a una cifra estimada de 104 TWh/año para 2020, y los sistemas de refrigeración representan aproximadamente el 40 % del consumo



energético total. Los centros de datos de tamaño medio (1 MW de capacidad informática) pueden emitir alrededor de 3 700 MWh/año de calor recuperable, lo que equivale a unos 0,46 MWh_{th} de calor residual por cada 1 MWh_{el} consumido.

Los centros de datos son otra fuente de calor residual recuperable en rápido crecimiento, debido a su elevado y constante consumo de electricidad. En 2020, los centros de datos de la Unión Europea consumieron unos 104 TWh de electricidad, y gran parte de esta energía acabó liberándose en forma de calor a través de los sistemas de refrigeración. El calor residual, que suele tener temperaturas comprendidas entre 30 °C y 50 °C, puede captarse mediante intercambiadores de calor y valorizarse a través de bombas de calor para su uso en la calefacción urbana. La iniciativa Stockholm Data Parks es un ejemplo de este enfoque, ya que ofrece servicios de refrigeración gratuita a los centros de datos a cambio de que estos suministren su calor residual a la red de calefacción urbana de la ciudad.



Figura17 . Sala de servidores apta para la aprovechamiento del calor residual (reuseheateu)

4.4.3 Infraestructura municipal

En toda la UE, los sistemas de metro podrían suministrar, en teoría, entre 6,7 y 11,2 TWh/año de calor residual. A nivel mundial, las redes de metro abarcan 11 000 km y dan servicio a 151 millones de pasajeros al día, lo que genera importantes oportunidades de recuperación de calor de baja temperatura.

Los sistemas de transporte urbano también pueden servir como fuentes no convencionales, pero valiosas, de calor de baja temperatura. Los sistemas de metro, por ejemplo, liberan cantidades sustanciales de calor a través de los sistemas de frenado de los trenes, los equipos eléctricos y la presencia de pasajeros. En toda la UE, el potencial teórico de recuperación de los sistemas de metro se estima entre 6,7 y 11,2 TWh al año. En París, hay proyectos experimentales que recuperan el calor residual de las estaciones de metro y lo transfieren a edificios residenciales y comerciales cercanos. Del mismo modo, las redes de alcantarillado representan una fuente constante de energía térmica, con temperaturas de las aguas residuales que suelen oscilar entre los 10 °C y los 20 °C. En Colonia (Alemania), los sistemas de recuperación de calor de las aguas residuales suministran aproximadamente el 5 % de la demanda local de calefacción urbana, lo que demuestra la viabilidad de integrar el calor residual de las infraestructuras municipales en los modernos sistemas de calefacción urbana.

Solo en Alemania, el calor de las aguas residuales podría, en teoría, satisfacer el 20 % de la demanda de calefacción del parque inmobiliario, ya que las temperaturas de las aguas residuales oscilan de media entre 10 y 15 °C durante todo el año y alcanzan hasta los 20 °C en verano.



5 Tendencias futuras: redes de 4.ª y 5.ª generación

5.1 Objetivos de la cuarta generación

Las redes de calefacción urbana de cuarta generación están diseñadas para abordar tanto los objetivos de eficiencia energética como los climáticos. Un objetivo técnico fundamental es mantener bajas las temperaturas de distribución —normalmente entre 50 °C y 70 °C—, reduciendo así las pérdidas de calor, mejorando la eficiencia del sistema y permitiendo la integración de fuentes de calor renovables y recuperadas de baja temperatura. Aumentar la cuota de energías renovables en el suministro de calor es una ambición central, que se logra mediante la incorporación de energía solar térmica, fuentes geotérmicas y bombas de calor a gran escala alimentadas con electricidad renovable. Los sistemas de control inteligentes desempeñan un papel crucial, con algoritmos avanzados y previsiones basadas en la inteligencia artificial que se utilizan para optimizar el suministro en tiempo real en función de las previsiones meteorológicas y los patrones de consumo. Además, el acoplamiento sectorial —la integración de la calefacción urbana con las redes eléctricas y de refrigeración— ofrece nuevas oportunidades para equilibrar los flujos de energía, almacenar el excedente de electricidad renovable en forma de calor y mejorar la resiliencia general del sistema.

5.2 Visión de la quinta generación

La quinta generación de calefacción urbana representa una visión transformadora para los sistemas energéticos urbanos. Estas redes funcionan a temperaturas ambiente —a menudo entre 10 °C y 25 °C— y utilizan un flujo bidireccional para permitir el intercambio de calor entre edificios. Cada edificio conectado está equipado con una bomba de calor localizada que puede elevar la temperatura para la calefacción de espacios o proporcionar refrigeración en los meses más cálidos, lo que ofrece una flexibilidad excepcional. Una característica definitoria de las redes de quinta generación es la creación de comunidades energéticas descentralizadas, en las que cada participante puede actuar tanto como consumidor como productor de calor (prosumidor). Este modelo fomenta el intercambio local de energía y favorece una mayor integración de las energías renovables. Además, los diseños de quinta generación suelen incorporar soluciones integradas de almacenamiento estacional —como el almacenamiento de energía térmica en pozos, el almacenamiento en acuíferos o el almacenamiento de calor en grandes fosas— para capturar el excedente de energía durante los periodos de baja demanda y utilizarlo durante las temporadas de mayor demanda de calefacción. En conjunto, estas características crean un modelo de calefacción altamente adaptable y con bajas emisiones de carbono, capaz de sustentar las ciudades sostenibles del futuro.



Figura18 . Esquema de la comunidad energética (Paris-Saclay)

6 Consideraciones políticas y económicas

Caso práctico: el primer sistema de calefacción urbana de Budapest. El primer sistema municipal de calefacción urbana de Budapest sirvió como prueba de concepto para el suministro centralizado de calor urbano. Hoy en día, la cuestión del suministro de energía primaria de un municipio implica equilibrar el papel de la extensa red de gas natural de Hungría con la integración de fuentes de calor residual industrial, lo que genera beneficios mutuos tanto para la industria como para los consumidores urbanos.

- Directiva de la UE sobre eficiencia energética: fomenta la calefacción urbana eficiente como parte de la estrategia de descarbonización.
- Precio del carbono: Aumenta la competitividad de la calefacción urbana que utiliza fuentes bajas en carbono.
- Financiación: Las asociaciones público-privadas, los bonos verdes y los fondos de cohesión de la UE son factores clave para la mejora de las infraestructuras.

7 Conclusión

La calefacción urbana es un componente probado, adaptable y cada vez más vital de los sistemas energéticos urbanos sostenibles. Desde las pioneras redes de vapor del siglo XIX hasta las redes inteligentes de quinta generación alimentadas con energías renovables, la tecnología ha evolucionado para satisfacer las cambiantes necesidades medioambientales, económicas y sociales.

En el futuro, la calefacción urbana no solo actuará como un servicio de calefacción, sino como una infraestructura térmica urbana integrada que propiciará la resiliencia, la flexibilidad y la neutralidad climática.





8 Bibliografía

- [1] Alfa Laval: Calefacción urbana/Calefacción comunitaria,
https://www.alfalaval.com.co/globalassets/documents/microsites/heating-and-cooling-hub/application-sheets-heating/district-heating_community-heating-for-gasketed-plate-heat-exchangers.pdf
- [2] Urban Persson: «Heat Roadmap Europe 2050»
https://www.4dh.eu/resources/Urban%20Persson_Heat%20Roadmap%20EUR%202050_Nov%2020133d06.pdf?docid=205
- [3] Instituto de Estudios Medioambientales y Energéticos (EESI): El papel de la energía de distrito y la cogeneración en las soluciones de política energética y climática,
<https://www.eesi.org/briefings/view/the-role-of-district-energy-combined-heat-and-power-in-energy-and-climate-p>
- [4] <https://www.fanpage.it/esteri/paura-a-new-york-esplosione-in-strada-colonna-di-fumo-altissima-edifici-evacuati/>
- [5] <https://www.moksha.hu/utazas/pimp-my-pipe-szinez-tavho-vezeteket>
- [6] <http://www.fotav.hu>.
- [7] [En línea]. Disponible en: <http://www.magypitok.hu>.
- [8] [En línea]. Disponible en: reuseheat.eu.
- [9] R. Kiss, Manual de calefacción urbana, Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1997.
- [10] [En línea]. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/File:NesjavellirPowerPlant_edit2.jpg .
- [11] [En línea]. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%22Under-floor_heating%22_in_the_street.jpg.
- [12] [En línea]. Disponible en: <https://www.wienenergie.at>.
- [13] <https://www.chooseparisregion.org/news/combine-environmental-excellence-rd-design-sustainable-city>.
- [14] Dr. Szánthó Zoltán: Transporte de calor (Hőszállítás) — diapositivas de la clase. Universidad de Tecnología y Economía de Budapest.
- [15] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fernw%C3%A4rme_u_bogen.jpg