

Módulo 3: Producción de calor

Módulo 3.4

Evaluación económica y medioambiental

SHaKE – Intercambio de calor y conocimientos sobre comunidades energéticas

Erasmus+ KA220-HED: Asociaciones de cooperación en la educación superior

Institución responsable: Universitat Jaume I de Castellón

Autores: Ghad Alarnaout-Alarnaout, Dr. Adrián Mota-Babiloni

Fecha: mayo de 2026

Versión 1.1



SHaKE

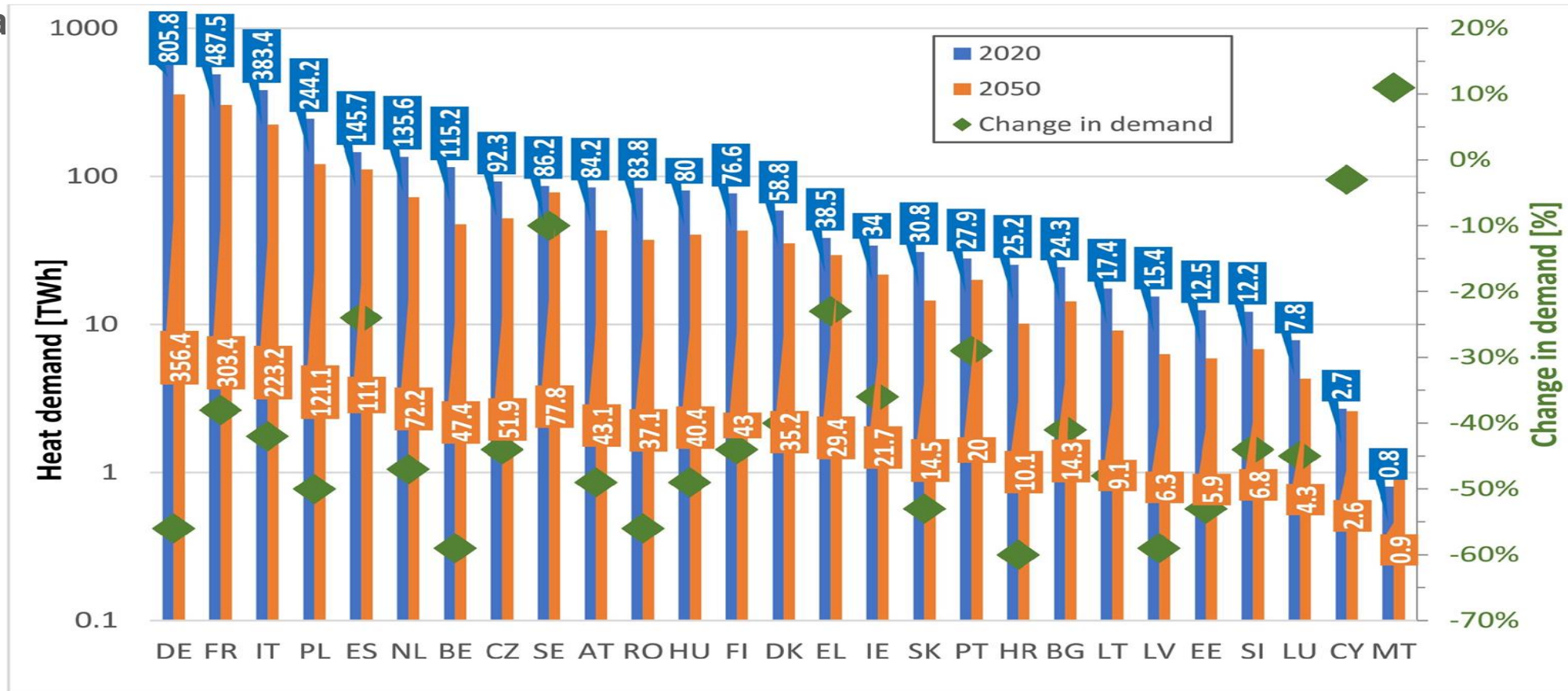
Sharing Knowledge on Energy Communities



3.1. INTRODUCCIÓN

Calefacción urbana

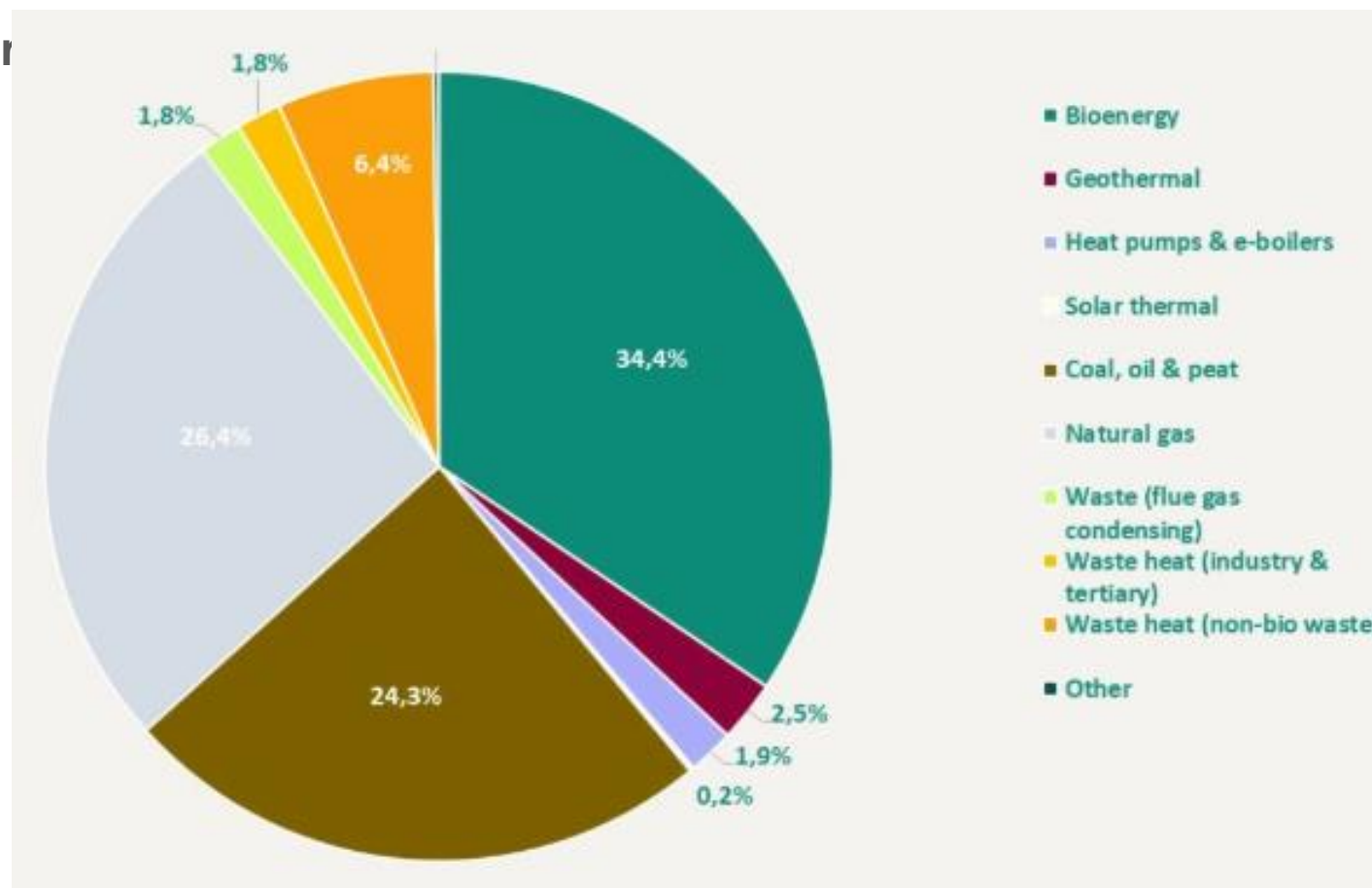
Niveles de demanda de calor útil (TWh) en 2020 y 2050, y los cambios relativos en los sectores residencial y terciario (eje Y secundario) según el escenario más optimista.



3.1. INTRODUCCIÓN

La calefacción urbana en Europa

Fuentes de energía en la calefacción urbana europea en 2022.



3.2. ANÁLISIS ECONÓMICO EN PROFUNDIDAD DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CALOR

Análisis económico - Introducción:

Definición:

El análisis económico en la producción de calor evalúa la rentabilidad, la viabilidad financiera y la sostenibilidad a largo plazo de las diferentes tecnologías.

· **Indicadores clave:**

Gastos de capital (CAPEX)

Gastos de explotación (OPEX)

Coste nivelado de la calor (LCOH)

Rentabilidad de la inversión (ROI)

Período de amortización

3.2. ANÁLISIS ECONÓMICO EN PROFUNDIDAD DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CALOR

Gastos de capital (CAPEX):

El gasto de capital (CAPEX) hace referencia a las inversiones realizadas por una empresa en activos fijos a largo plazo, como edificios, maquinaria y tecnología, que son esenciales para su funcionamiento y crecimiento. Estas inversiones pueden clasificarse en dos categorías principales:

- CAPEX de mantenimiento: inversiones destinadas a mantener o reparar los activos existentes para garantizar su correcto funcionamiento.
- CAPEX de expansión: inversiones centradas en la adquisición de nuevos activos o en la mejora de los ya existentes para aumentar la capacidad de producción o acceder a nuevos mercados.

Entre los componentes típicos del CAPEX se incluyen:

- **Equipos**
- **Instalación**
- **Infraestructura**
- **Costes de integración de sistemas**

3.2. ANALISIS ECONOMICO EN PROFUNDIDAD DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CALOR

Gastos de explotación (OPEX)

Los OPEX incluyen los costes recurrentes para el funcionamiento y mantenimiento eficientes de un sistema de calefacción y refrigeración centralizados (DHC). Los componentes clave son:

- **Energía/combustible:** los costes suponen un gasto significativo que se ve influido por las fluctuaciones del precio del combustible. Las fuentes renovables ofrecen costes más estables a largo plazo.
- **Mantenimiento:** Abarca inspecciones, reparaciones e intervenciones imprevistas para garantizar la fiabilidad.
- **Costes de mano de obra:** Salarios y prestaciones del personal operativo, que suelen representar entre el 30 % y el 50 % del total de los OPEX.
- **Supervisión del sistema:** software, análisis y formación para el seguimiento del rendimiento en tiempo real, lo que mejora la eficiencia y reduce los costes.

3.2. ANÁLISIS ECONÓMICO EN PROFUNDIDAD DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CALOR

Levelized cost of heat (LCOH):

The Levelized Cost of Heat (LCOH) is a metric that evaluates the average cost of producing heat over a heating system's lifetime. It contains all relevant expenses, including initial capital investment, operational and maintenance costs, and fuel expenditures, normalized over the total heat output. This metric enables a consistent comparison across different heating technologies and systems.

Definition & Formula:

The LCOH is calculated using the following formula:

$$\text{LCOH} = \frac{\sum_{t=1}^n \left(\frac{I_t + O_t + F_t}{(1+r)^t} \right)}{\sum_{t=1}^n \left(\frac{Q_t}{(1+r)^t} \right)}$$

Where:

I_t = Investment expenditures in year t

O_t = Operations and maintenance costs in year t

F_t = Fuel costs in year t

Q_t = Heat produced in year t

r = Discount rate

n = Expected lifetime of the system

3.2. ANÁLISIS ECONÓMICO EN PROFUNDIDAD DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CALOR

Rentabilidad de la inversión (ROI) y periodo de amortización

En el contexto de los sistemas de calefacción y refrigeración urbanas (DHC), la evaluación de indicadores de eficiencia como el coste por MWh de calor producido y el retorno de la inversión (ROI) junto con los períodos de amortización es esencial para valorar su viabilidad económica y su rendimiento.

Coste por MWh de calor producido:

El coste por megavatio-hora (MWh) de calor producido en los sistemas de DHC varía en función de factores como las fuentes de energía, la eficiencia del sistema y las condiciones económicas regionales. Por ejemplo, un estudio sobre sistemas eficientes de DHC en la UE puso de relieve que el coste por MWh puede variar significativamente en función de la combinación de fuentes de calor y tecnologías de generación.

Rentabilidad de la inversión (ROI) y períodos de amortización:

Los gastos de capital iniciales, los costes operativos y las fuentes de ingresos influyen en el ROI y los períodos de amortización de los sistemas de calefacción y refrigeración centralizados. Un informe sobre los factores que determinan los costes en los sistemas de calefacción urbana señaló que los sistemas de calefacción y refrigeración centralizados neerlandeses, por ejemplo, presentan variaciones en el coste por MWh producido, lo que puede afectar al ROI global y a los períodos de amortización.

3.2. ANÁLISIS ECONÓMICO EN PROFUNDIDAD DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CALOR

Aspectos destacados: estudios de casos y comparación económica

Corea del Sur:

- Los sistemas de calefacción urbana de mayor tamaño reducen los costes medios gracias a las economías de escala.
- La eficiencia en términos de costes mejora a medida que aumenta el tamaño del sistema.

Cogeneración frente a bombas de calor: rendimiento económico:

- **Cogeneración:** eficiencia de aproximadamente el 70 %, menores costes operativos, pero elevados costes de inversión (entre 1 250 y 3 300 dólares/kW).
- **Bombas de calor:** menores costes operativos, la eficiencia depende del COP y de la fuente de electricidad, pero también tienen unos costes iniciales elevados.

Europa:

- La calefacción urbana permite la integración a gran escala de energía con bajas emisiones de carbono.
- Su expansión aumenta la flexibilidad, la eficiencia y la rentabilidad.

Conclusión:

- La ampliación de los sistemas de calefacción y refrigeración urbanísticas mejora la eficiencia y reduce los costes, lo que favorece la calefacción y la refrigeración urbanas sostenibles.



GE Vernova. (17 de octubre de 2023). La central de calefacción urbana de Naepo, en Corea del Sur, inicia su funcionamiento comercial, impulsada por los equipos de ciclo combinado de clase H de GE Vernova [Comunicado de prensa]. <https://www.gevernova.com/news/press-releases/south-koreas-naepo-district-heating-plant-starts-commercial-operation-powered-by-ge>

3.2. ANALISIS ECONOMICO EN PROFUNDIDAD DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CALOR

Análisis comparativo de costes:

Factores que influyen en los costes de cada sistema

Sistemas de cogeneración:

Costes de combustible: El precio y la disponibilidad del combustible principal (por ejemplo, el gas natural) influyen directamente en los gastos operativos.

Gastos de capital (CAPEX): Altos costes iniciales debido a los requisitos de equipamiento, instalación e infraestructura.

Costes de mantenimiento: Es necesario un mantenimiento periódico para garantizar un rendimiento óptimo, lo que se suma a los gastos operativos.

Bombas de calor:

Costes de electricidad: Los costes operativos dependen de los precios de la electricidad y de la eficiencia del sistema.

Costes de instalación: Los gastos relacionados con el equipo y la puesta en marcha pueden ser considerables, especialmente en el caso de sistemas que requieren una red de conductos extensa o instalaciones geotérmicas.

Variabilidad del rendimiento: La eficiencia puede disminuir a temperaturas extremas, lo que podría aumentar los costes operativos.

3.3. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE CALOR

Impacto medioambiental: Introducción:

Factores clave analizados

Una EIA suele examinar una serie de factores para evaluar la huella medioambiental de un proyecto:

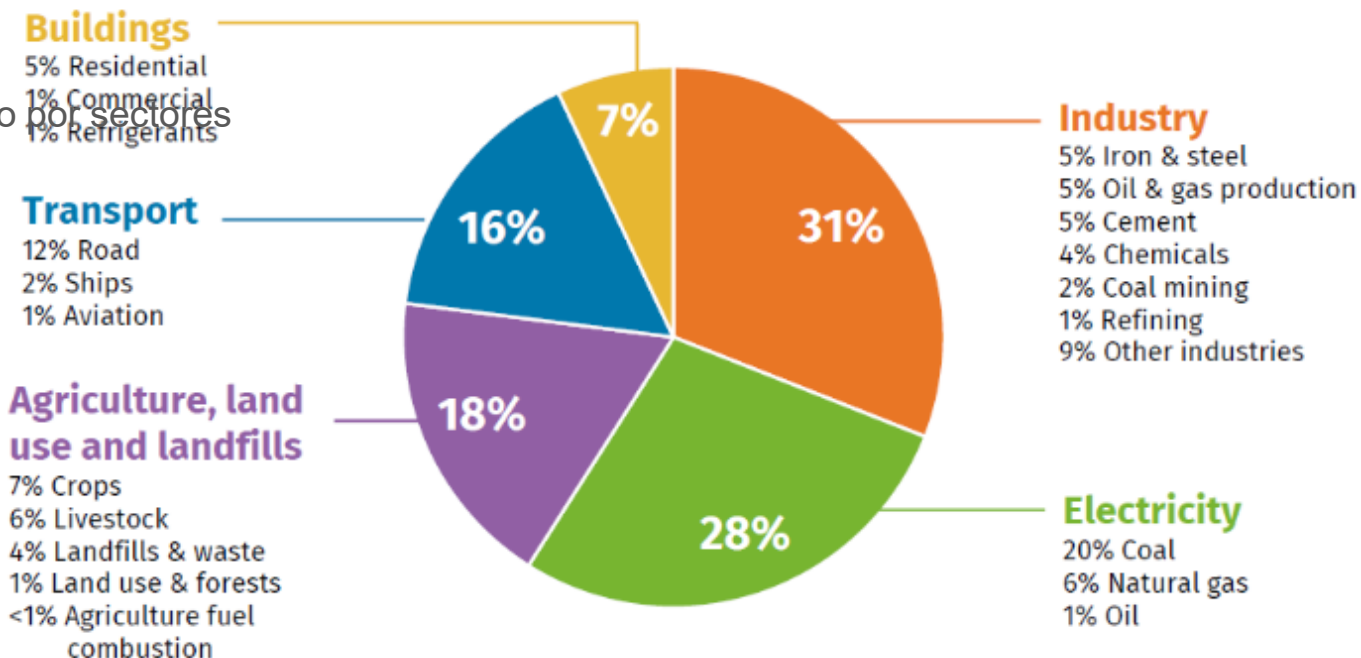
- **Escala y naturaleza del proyecto.**
- **Características del emplazamiento.**
- **Posibles impactos medioambientales.**
- **Efectos acumulativos.**
- **Medidas de mitigación.**
- **Marco normativo.**

3.3. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE CALOR

Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI):

Emisiones bajas o nulas con bombas de calor

Distribución de las emisiones de gases de efecto invernadero por sectores

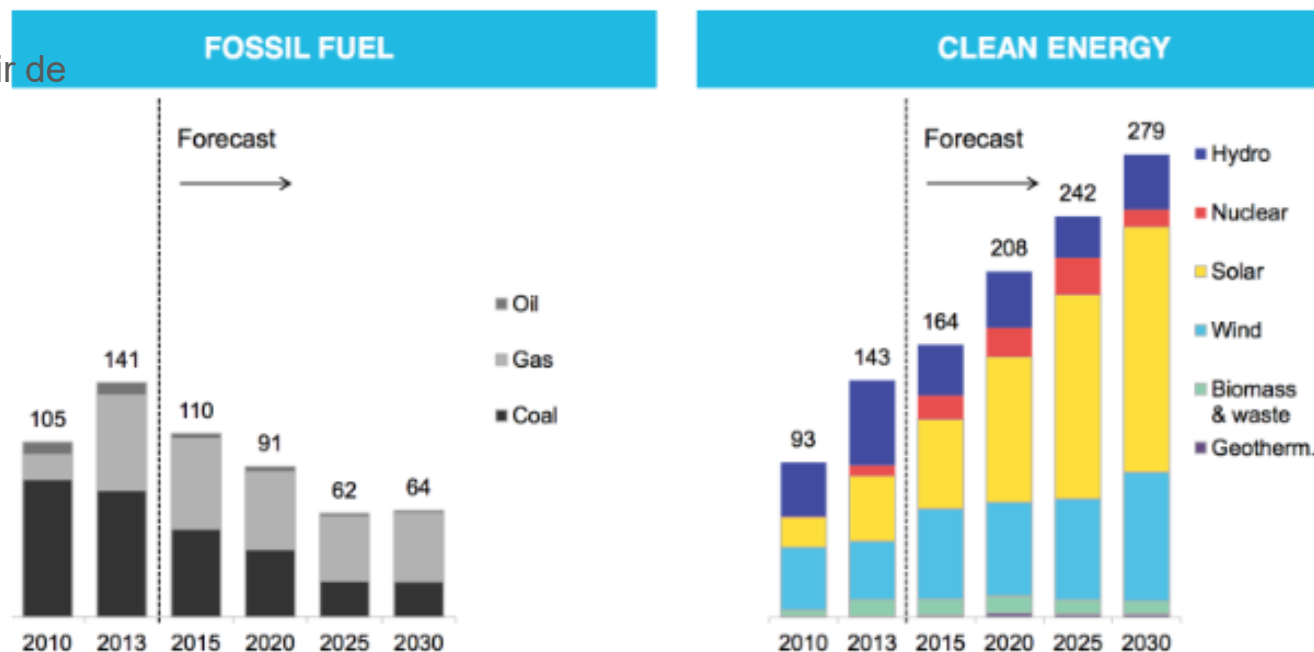


3.3. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE CALOR

Utilización de recursos

Eficiencia y sostenibilidad

Previsión de la capacidad de generación de energía a partir de combustibles fósiles frente a la de energías limpias



3.3. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE CALOR

Emisiones de los sistemas de cogeneración frente a las bombas de calor

Sistemas de cogeneración:

- Emiten NO_x , SO_x y partículas, especialmente cuando se utilizan combustibles fósiles.
- Son más eficientes que los sistemas independientes, pero siguen contribuyendo a la contaminación atmosférica.
- Las emisiones varían según el tipo de combustible y la tecnología.

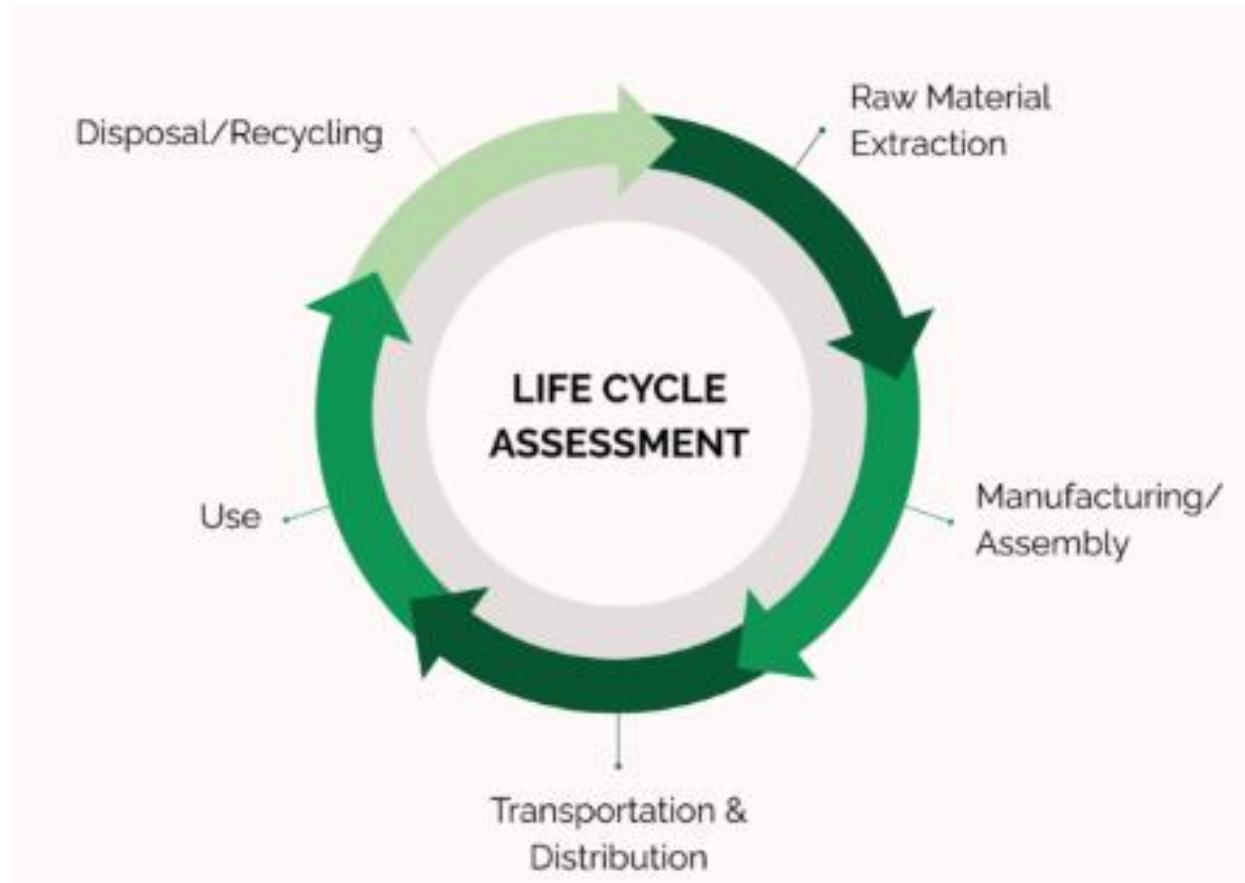
Bombas de calor:

- Casi ninguna emisión in situ (NO_x , SO_x , partículas).
- El impacto medioambiental depende de la fuente de electricidad.
- Son más limpias a medida que las redes eléctricas se pasan a las energías renovables.

3.3. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE CALOR

Análisis del ciclo de vida (ACV)

Ciclo de producción de la ACV



3.4. TENDENCIAS DEL MERCADO Y DEL SECTOR, PRECIOS Y COMPETENCIA EN EL MERCADO DE LA COGENERACIÓN Y LAS BOMBAS DE CALOR

Tendencias del mercado – Introducción

Evolución de la producción de calor y las bombas de calor

Evolución de la calefacción:

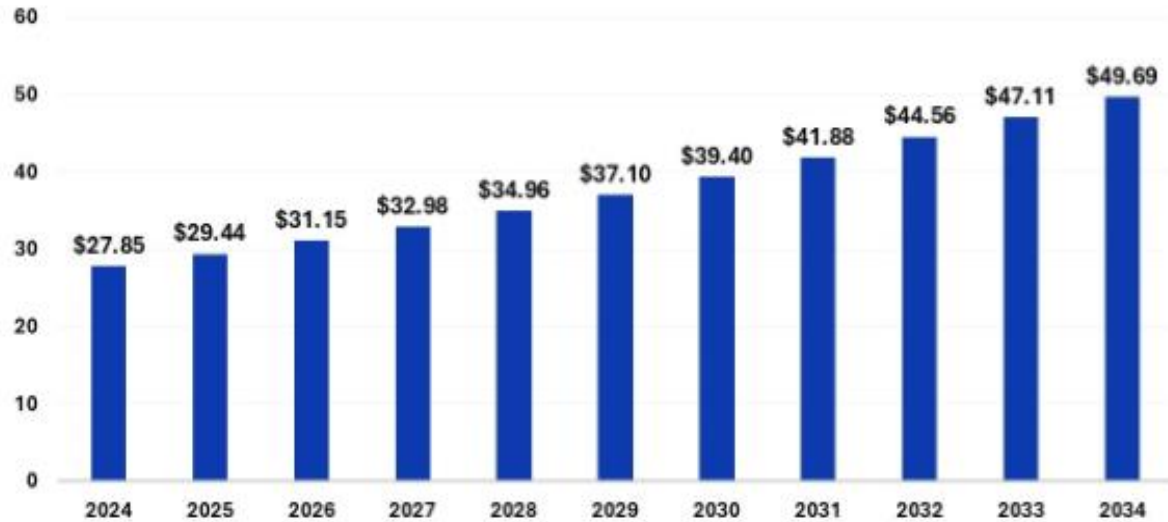
- Transición de los sistemas de carbón a tecnologías modernas y eficientes.
- La calefacción por vapor y eléctrica mejoró el control y la eficiencia.
- Reciente tendencia hacia sistemas sostenibles, especialmente las bombas de calor.

Bombas de calor:

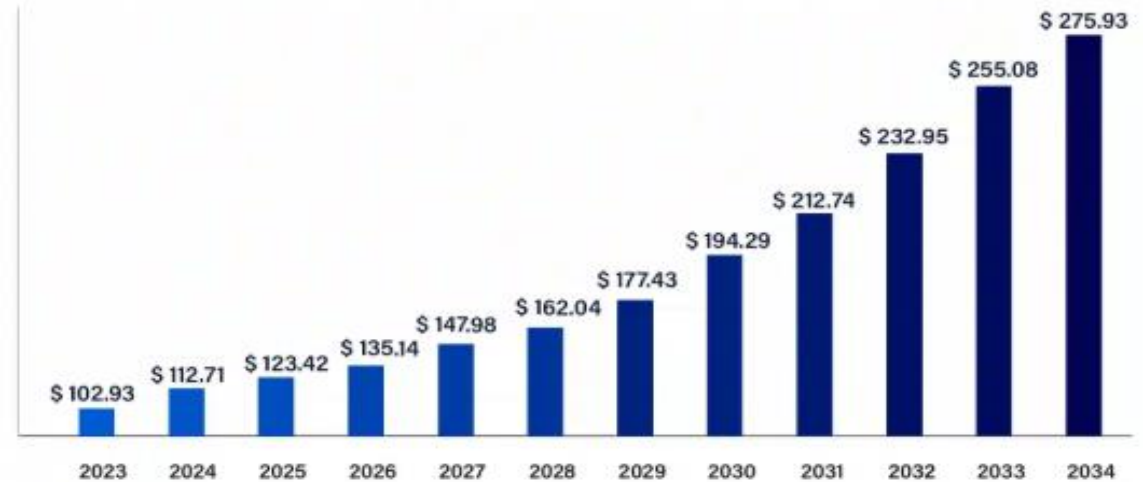
- Representaron alrededor del 10 % de la calefacción de espacios a nivel mundial en 2021.
- Su crecimiento se debe a su alta eficiencia y al uso de energías renovables.
- En 2024, las ventas en Europa cayeron un 23 % debido a factores políticos y económicos.
- Las ventas en el Reino Unido aumentaron un 63 %, lo que pone de manifiesto las diferencias regionales en su adopción.

3.4. TENDENCIAS DEL MERCADO Y DEL SECTOR, PRECIOS Y COMPETENCIA EN EL MERCADO DE LA COGENERACIÓN Y LAS BOMBAS DE CALOR

Cogeneración frente a bombas de calor



Tamaño del mercado de la cogeneración de 2024 a 2034 (miles de millones de dólares)



Tamaño del mercado de las bombas de calor de 2023 a 2034 (miles de millones de dólares)

- Bombas de calor (HP): impulsadas por la electrificación y la descarbonización, reducen las emisiones de CO₂ al sustituir la calefacción basada en combustibles fósiles.
- Tecnología de las HP: mejora rápidamente (p. ej., compresores de velocidad variable), mayor eficiencia y fácil integración.
- Papel de las HP: ofrecen mejores resultados con electricidad renovable o de bajo coste, y su importancia es cada vez mayor en los sistemas energéticos flexibles con bajas emisiones de carbono.
- Sistemas de cogeneración: se centran en una alta eficiencia total (~80 %) mediante la generación simultánea de calor y electricidad.
- Tendencia de la cogeneración: evolución hacia la integración con energías renovables y el funcionamiento híbrido con bombas de calor para la optimización del sistema.

Precedence Research. (2024). Mercado de sistemas de recuperación de calor residual: análisis global del sector, tamaño, cuota, crecimiento, tendencias, perspectivas regionales y previsiones para 2024-2034. <https://www.precedenceresearch.com/waste-heat-recovery-system-market>

3.4. TENDENCIAS DEL MERCADO Y DEL SECTOR, PRECIOS Y COMPETENCIA EN EL MERCADO DE LA COGENERACIÓN Y LAS BOMBAS DE CALOR

Líderes del sector, dinámica de precios e impacto de la tecnología

Principales actores del mercado

GE: importante proveedor de sistemas de cogeneración con sistemas fiables y de alta eficiencia.

Siemens Energy: líder alemán que ofrece soluciones de cogeneración para diversos sectores.

Veolia: empresa francesa que ofrece servicios integrados de energía y cogeneración.

Wärtsilä: empresa finlandesa innovadora con una fuerte presencia en el mercado de la cogeneración.

2G Energy: especialista alemán en tecnología avanzada de cogeneración.

Precios y dinámica del mercado (2019-2022)

Aumentos de los precios de la energía:

- Electricidad: +6–14 % | Gas natural: +22–46 %
- Gasóleo de calefacción: +35 % | Propano: +33–50 %

El aumento de los precios del gas → menor rentabilidad de la cogeneración.

Electricidad estable o a la baja → impulsa la adopción de bombas de calor.

Integración de micro-cogeneración + bombas de calor + almacenamiento térmico + energía fotovoltaica → eficiencia energética superior al 130 %.

La mejora del rendimiento reduce los costes operativos.

Bombas de calor: amortización de hasta 16 años, lo que favorece el crecimiento del mercado a largo plazo.

3.5. INSTRUMENTOS POLITICOS Y MARCOS REGULADORES DE LA COGENERACIÓN Y LAS BOMBAS DE CALOR

Instrumentos políticos y marco global

Contexto global

- Las políticas tienen como objetivo limitar el calentamiento global a 1,5 °C mediante la descarbonización de la calefacción.
- Su aplicación varía según la región, en función de las condiciones económicas y políticas.

Iniciativas de la UE

- Plan REPowerEU:
 - 20 millones de bombas de calor para 2026
 - 60 millones para 2030 → reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

Retos del Sur Global

- Los elevados costes de financiación frenan los proyectos de energía limpia.
- COP29 y G20: hacer hincapié en la financiación climática (impuestos sobre el carbono, canjes de deuda).
- Las políticas deben adaptarse a cada región para garantizar una adopción sostenible.

Marcos normativos (UE)

- RED II: ≥ 32 % de energía renovable para 2030.
- EED: +32,5 % de eficiencia energética para 2030.
- Normas nacionales: adaptar los objetivos de la UE a nivel local (por ejemplo, *la EnEV* alemana para edificios).

3.5. INSTRUMENTOS POLITICOS Y MARCOS REGULADORES DE LA COGENERACIÓN Y LAS BOMBAS DE CALOR

Subvenciones, fijación de precios del carbono e impacto en el mercado

- Subvenciones e incentivos
- Subvenciones: reducen los costes de inversión iniciales.
- Créditos fiscales (ITC, PTC): fomentan la instalación y el funcionamiento de energías renovables.
- Tarifas reguladas de alimentación a la red (FiT): garantizan ingresos a los productores de energía renovable.

Impacto en el mercado

- Mayores tasas de adopción y expansión del mercado gracias a la reducción de los costes.
- Fomenta la innovación y la competitividad a largo plazo.
- Reducción gradual de la dependencia de las subvenciones a medida que las tecnologías maduran.

Mecanismos de fijación de precios del carbono

- Sistemas de comercio de derechos de emisión (ETS): las empresas negocian derechos de emisión; los límites máximos impulsan las reducciones.
 - Ejemplo: el RCDE de la UE, el mayor mercado mundial de carbono.
- Impuestos sobre el carbono: aumentan el coste de los combustibles fósiles → reducen las emisiones.
 - Ejemplo: el impuesto sobre el carbono de Suecia → importantes recortes de emisiones.
- Ambos instrumentos afectan a los costes operativos y fomentan la innovación más limpia.

3.6. CONSIDERACIONES DE FUTURO

Transiciones energéticas futuras: descarbonización e innovación

Retos de la descarbonización

- Transición hacia fuentes de calor renovables (solar, geotérmica, calor residual).
- Barreras: infraestructura, inversión y capacidad de almacenamiento.
- Ejemplo: los sistemas geotérmicos requieren un control avanzado de la temperatura.

Innovación y tecnología

- Las bombas de calor avanzadas, el almacenamiento térmico y los sistemas con bajas emisiones de carbono permiten un crecimiento sostenible.
- Ejemplo: Las bombas de calor de nueva generación mejoran la integración con las energías renovables.

Modelos de negocio y financiación

- Las asociaciones público-privadas (APP) y los bonos verdes financian la transición hacia las energías renovables.
- Objetivo: reducir los riesgos financieros y promover la inversión sostenible en calefacción urbana.

Objetivos de cero emisiones netas para 2050

- La UE y EE. UU. se han comprometido a alcanzar emisiones netas cero para 2050.
- Requisitos: integración a gran escala de las energías renovables, almacenamiento de energía y redes inteligentes.
- Ejemplo: Pacto Verde de la UE → reducción del 55 % de las emisiones para 2030 y cero emisiones netas para 2050.

3.6. CONSIDERACIONES DE FUTURO

Transición de la cogeneración basada en combustibles fósiles

- Situación actual: las centrales de cogeneración utilizan gas natural, carbón y petróleo → principales fuentes de CO₂.
- Futuro: cambio a biomasa, energía solar térmica, energía geotérmica e hidrógeno verde.
- Ejemplo: el sistema danés de calefacción urbana está pasando a la biomasa y al calor residual (neutro en carbono para 2030).

Avances tecnológicos

- Bombas de calor de temperatura ultraalta (UHTHP): funcionan a más de 100 °C para uso industrial y de calefacción urbana.
 - Ejemplo: *Energiepark Mainz* (Alemania) – eficiencia superior al 100 %.
- Cogeneración avanzada con biocombustibles e hidrógeno: funcionamiento con bajas emisiones de carbono o sin emisiones.
 - Ejemplo: *central de cogeneración de Hannover* que utiliza hidrógeno como combustible para generar calor neutro en carbono.

Integración en la red y flexibilidad

- Gestión de la demanda (DSM): los consumidores ajustan su consumo en función del precio y la oferta.
- Almacenamiento térmico: equilibra la demanda de calor y las fluctuaciones de la red.
- Ventajas: menores costes, prevención de la congestión y mejora de la eficiencia del sistema.

3.6. CONSIDERACIONES DE FUTURO

Resiliencia climática

- La variabilidad meteorológica afecta a la demanda de calefacción (inviernos suaves frente a olas de frío extremo).
- Soluciones: operaciones flexibles, almacenamiento térmico, respaldo con energías renovables (biocombustibles, H₂).
- Objetivo: sistemas de calefacción urbana fiables y adaptables.

Resiliencia económica

- Diversificar las fuentes de energía, aplicar una tarificación flexible y redes inteligentes para garantizar la estabilidad.
- Centrarse en la inversión a largo plazo y en la optimización de los costes del ciclo de vida, en consonancia con los objetivos de descarbonización.

Redes de calefacción preparadas para el futuro: proyectos clave

- Reino Unido – Green Gas for London: biogás + calor residual para una calefacción urbana sin emisiones de carbono.
- Copenhill (Copenhague): planta de valorización energética de residuos que calienta 150 000 hogares; objetivo de neutralidad en carbono para 2025.
- Red de calefacción inteligente de Ámsterdam: integra energía solar, geotérmica y almacenamiento térmico con control digital.

Impacto

- Descarbonización: combina energías renovables e innovación para crear sistemas con bajas emisiones de carbono.
- Resiliencia y flexibilidad: suministro estable en un clima cambiante.
- Escalabilidad: Diseñada para su ampliación y la integración de tecnologías futuras.

3.7. CONCLUSIONES

Conclusiones

- **Aspectos económicos y medioambientales:**
 - Económicos: Los sistemas de calefacción urbana reducen la dependencia de los combustibles fósiles, disminuyen los costes operativos y generan ingresos a través de incentivos y créditos de carbono.
 - Medioambientales: La adopción de tecnologías renovables y la recuperación del calor residual contribuyen a la descarbonización de la calefacción y a la reducción de la huella de carbono.
 - Eficiencia: Las redes inteligentes y las tecnologías avanzadas mejoran la adaptabilidad del sistema y la eficiencia energética.
- **Importancia de las políticas y tendencias futuras:**
 - Políticas: Las políticas de apoyo, como las subvenciones, la tarificación del carbono y las normas energéticas, son esenciales para acelerar la adopción.
 - Tendencias futuras: Las bombas de calor de temperatura ultraalta, la cogeneración con biocombustibles e hidrógeno y las redes inteligentes marcarán el futuro de la calefacción urbana.
 - Resiliencia climática: La flexibilidad en el diseño del sistema garantiza la fiabilidad en condiciones climáticas cambiantes.



¡Gracias!

Módulo 3.4 – Evaluación económica y medioambiental
SHaKE – Compartir calor y conocimientos sobre comunidades energéticas

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

Desarrollado por la Universitat Jaume I de Castellón

Dr. Adrián Mota-Babiloni | mota@uji.es
Ghad Alarnaot-Alarnaout | alarnaot@uji.es



Co-funded by
the European Union

