

Módulo 3: Producción de calor

Módulo 3.3

Cogeneración

SHaKE – Intercambio de calor y conocimientos sobre comunidades energéticas

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

Instituciones promotoras: Universitat Jaume I de Castellón

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

Fecha: mayo de 2026

Versión 1.1



SHaKE

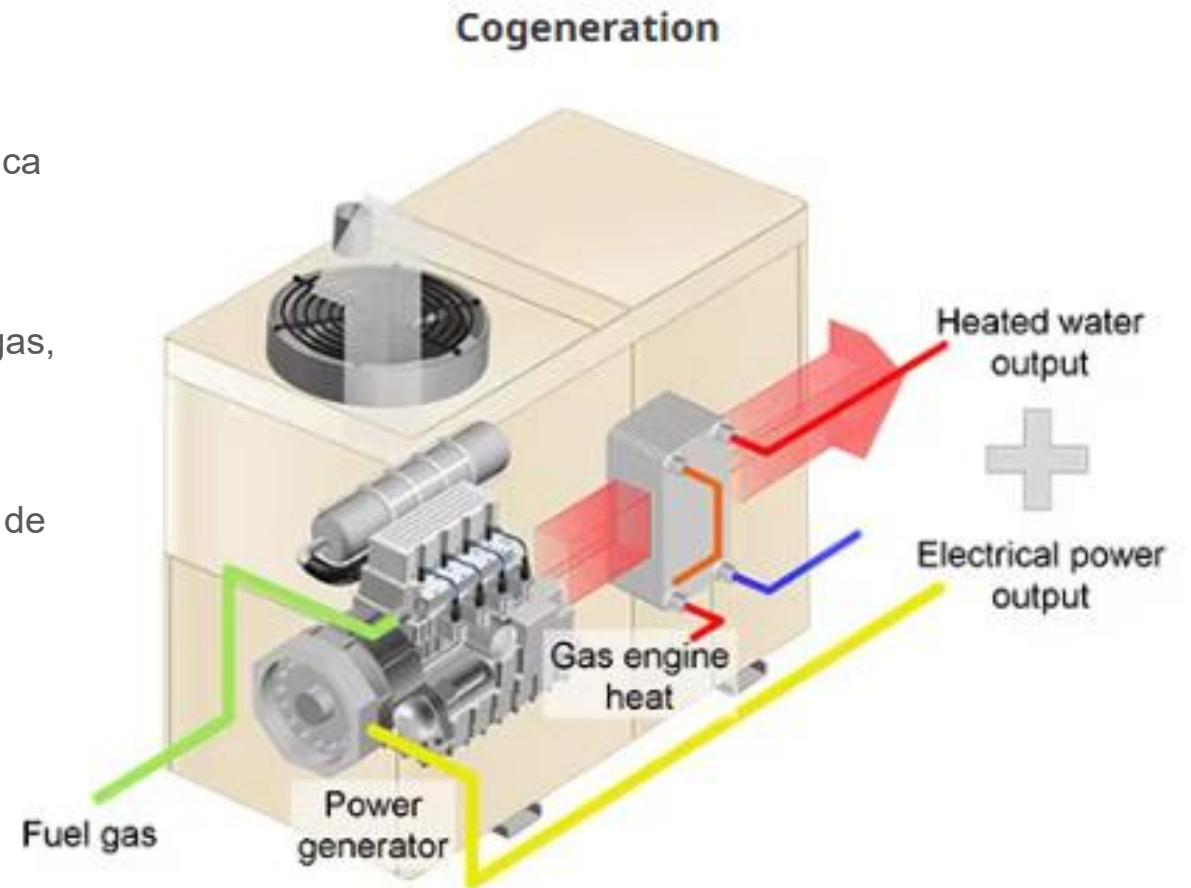
Sharing Knowledge on Energy Communities



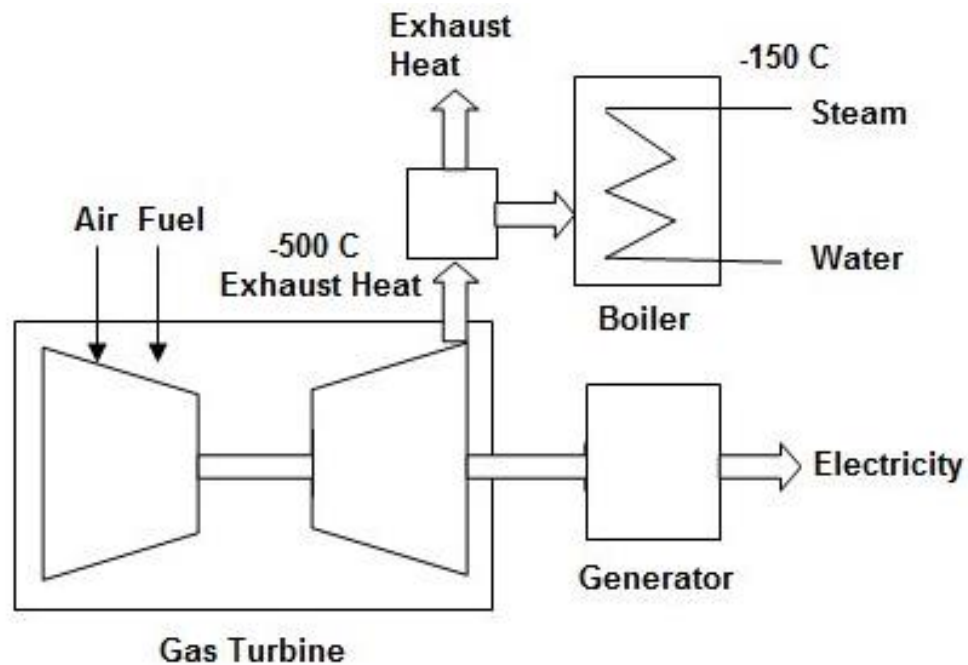
2.1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COGENERACIÓN

Cogeneración

- Producción simultánea de electricidad y calor útil a partir de una única fuente de combustible.
- Mejora la eficiencia energética global en comparación con la generación separada de calor y electricidad.
- Entre las tecnologías más comunes se encuentran las turbinas de gas, las turbinas de vapor y los motores de combustión interna.
- El calor se puede recuperar para la calefacción urbana, procesos industriales o uso doméstico.
- Se utiliza ampliamente en la industria, los hospitales y los sistemas de energía de distrito.

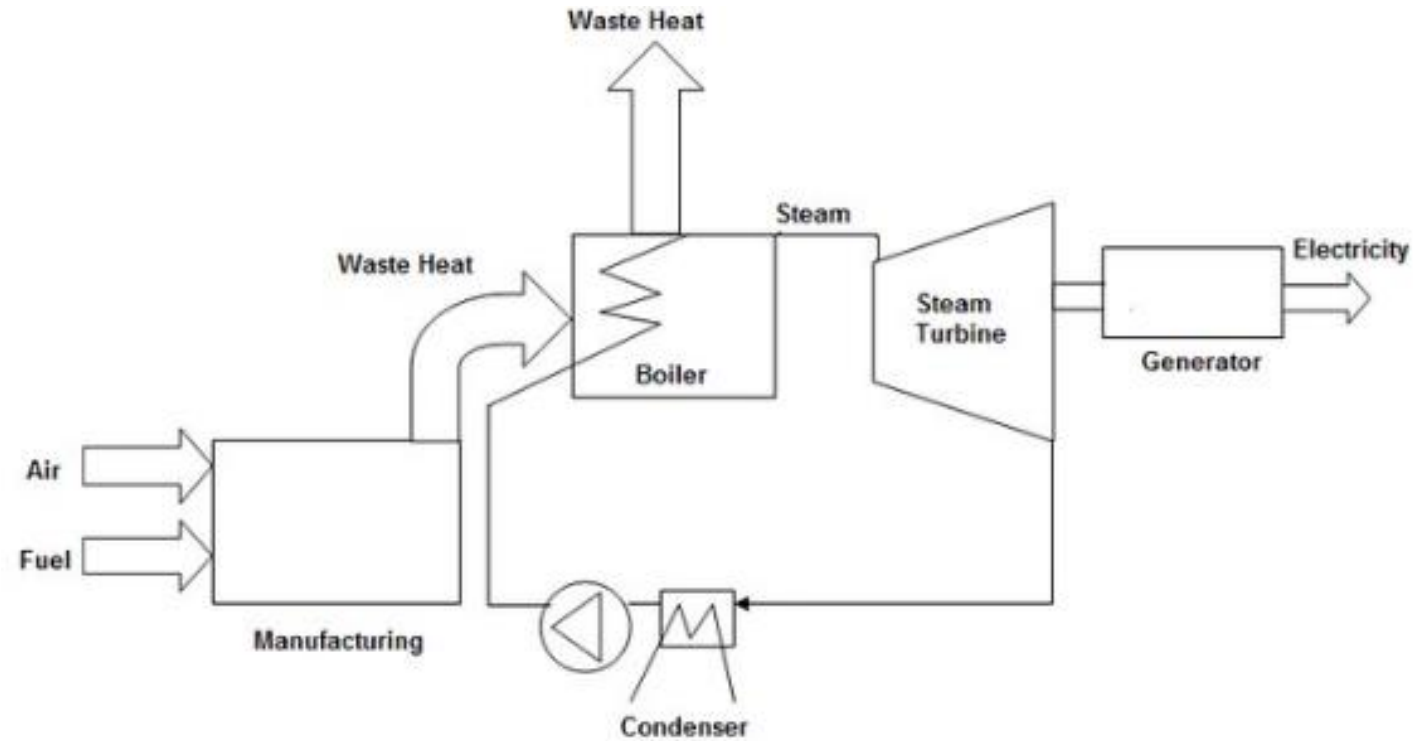


2.1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COGENERACIÓN



Ciclo de cogeneración de cabecera (ciclo de topping)

- La parte inicial utiliza el calor para producir electricidad y, a continuación, aprovecha el calor residual



Ciclo de cogeneración de cola (ciclo de fondo)

- La parte final utiliza el calor principalmente y, a continuación, el calor residual se emplea para producir electricidad

2.1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COGENERACIÓN

Se han desarrollado diversas tecnologías de cogeneración, que se clasifican en dos grupos principales:

1. Unidades flexibles:

Estos sistemas pueden ajustar su relación entre electricidad y calor en función de la demanda de calor. Estas unidades pueden funcionar en:

Modo de cogeneración completa: máxima generación de calor.

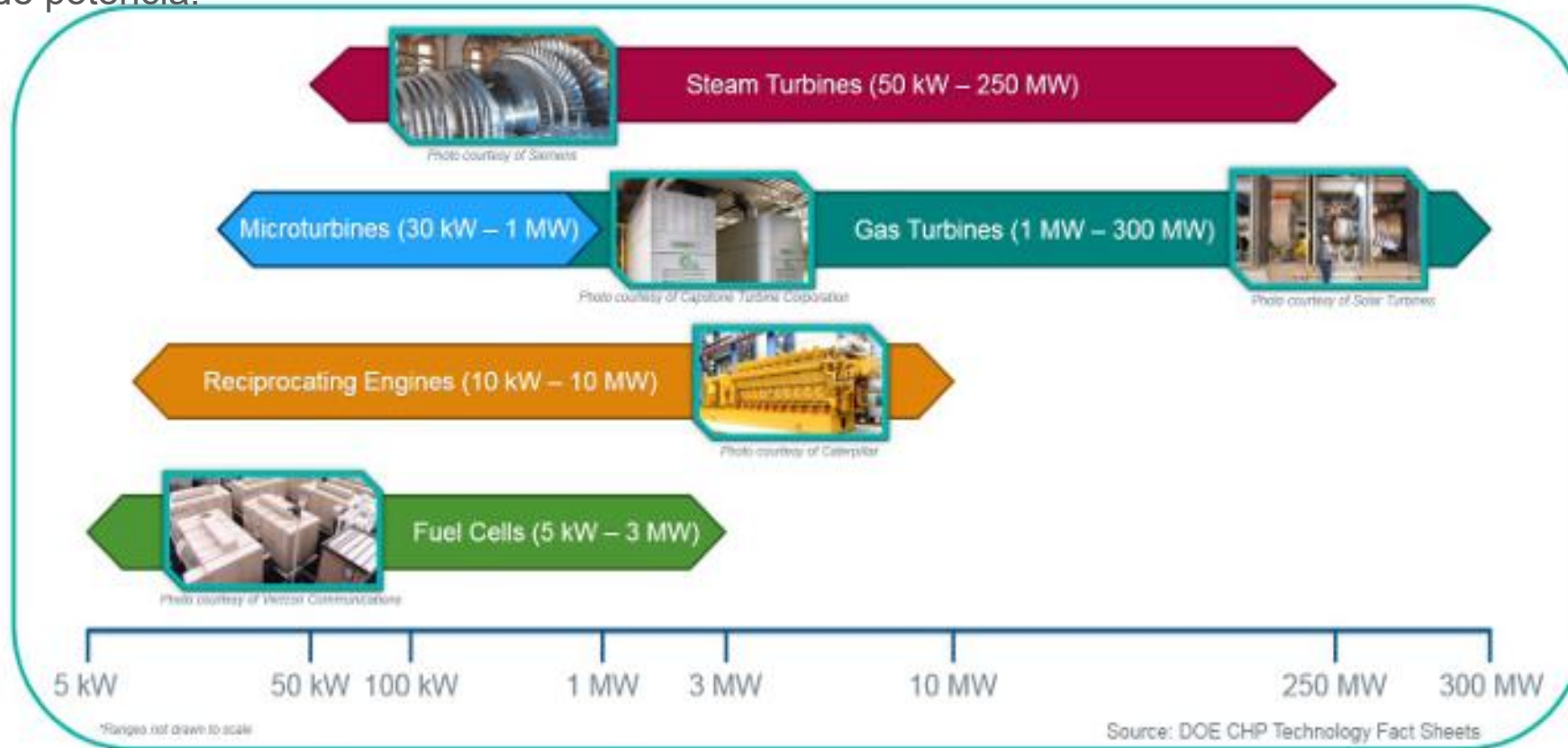
Modo de condensación total: generación máxima de electricidad sin calor útil.
El funcionamiento depende de la demanda específica de calor.

1. Unidades de producción de calor fija:

Estos sistemas producen calor a un ritmo constante, independientemente de la demanda. Si no se necesita calor, el exceso se libera al medio ambiente.

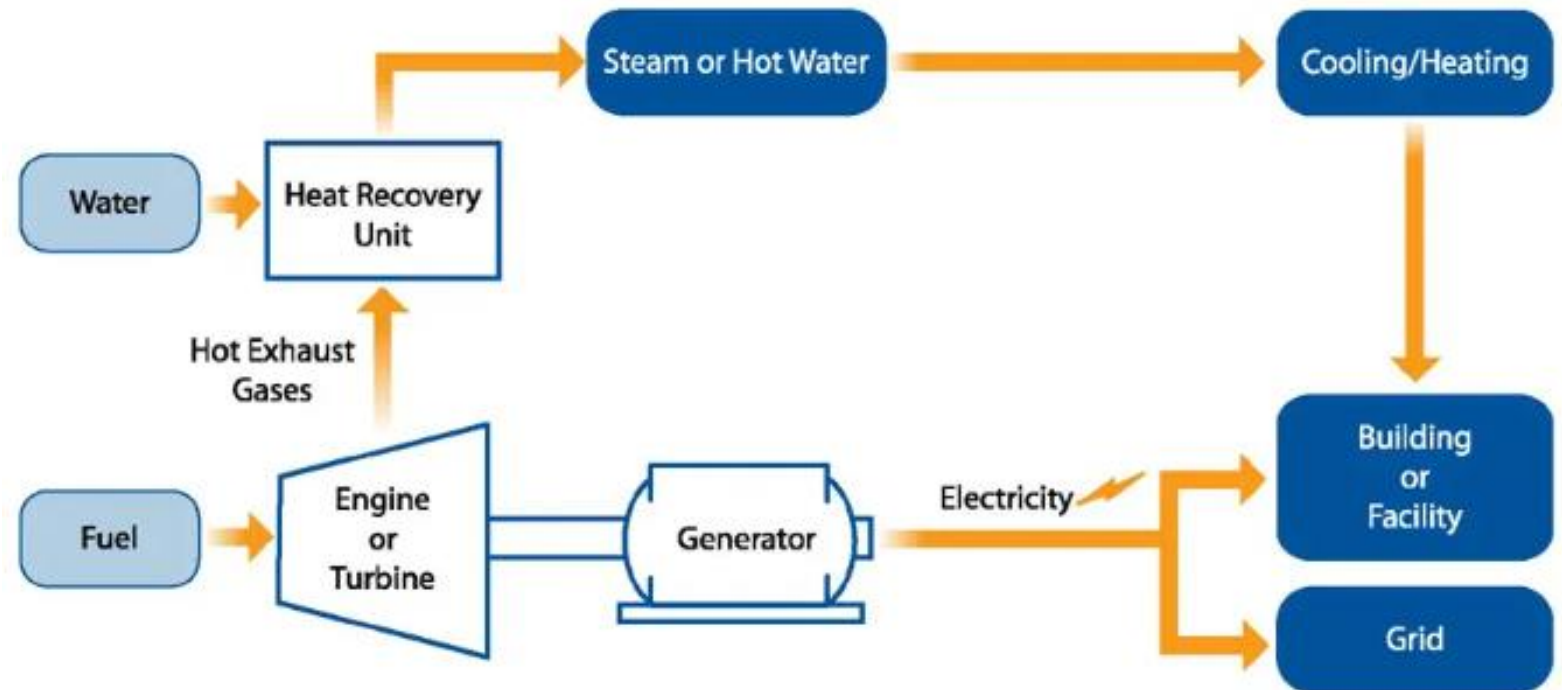
2.1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COGENERACIÓN

Diferentes tipos de tecnologías de cogeneración en función de los rangos de potencia:



2.1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COGENERACIÓN

- Aporte de combustible: El sistema funciona con una fuente de combustible, normalmente gas natural, biomasa o hidrógeno.
- Generación de energía: El combustible se quema en un motor o una turbina para hacer girar un generador, produciendo electricidad.
- Captura de calor: En lugar de dejar que el calor residual se escape (como ocurre en las centrales eléctricas tradicionales), un intercambiador de calor captura los gases de escape y la energía térmica.
- Aprovechamiento térmico: Este calor capturado se redirige para proporcionar agua caliente, calefacción de locales o vapor industrial.
- Alta eficiencia: Al producir electricidad y calor al mismo tiempo a partir de una única fuente de combustible, el sistema alcanza una eficiencia de hasta el 80-90 % (frente al 40-50 % que se obtiene cuando se producen por separado).



2.1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COGENERACIÓN

- Parámetros principales

Potencia eléctrica ($\dot{P}_e$): $\dot{P}_e = \frac{\dot{Q}_{fuel} \times \eta_{generator}}{\text{Inlet temperature of fluid}}$

Potencia térmica ($\dot{Q}_t$): $\dot{Q}_t = \dot{m} \times C_p \times (T_{out} - T_{in})$

Eficiencia global (η_x): $\eta_x = \frac{\dot{P}_e + \dot{Q}_t}{\dot{Q}_{fuel}} \times 100$

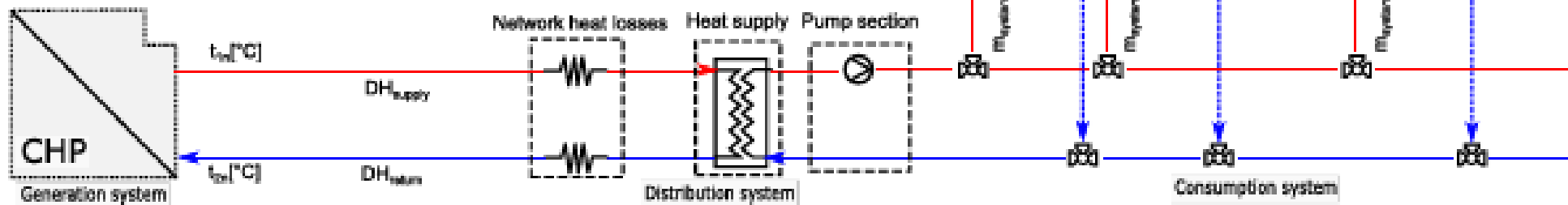
Relación calor-electricidad (C/E): $\frac{C}{E} = \frac{\dot{Q}_t}{\dot{Q}_e}$

Factor de car $FL = \frac{P_{average}}{P_{max}}$

2.2. EL PAPEL DE LOS SISTEMAS DE COGENERACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CALOR Y SU INTEGRACIÓN EN DIVERSAS TECNOLOGÍAS, COMO LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CALOR (DHN)

Conexión e integración de la cogeneración en las redes de calefacción urbana

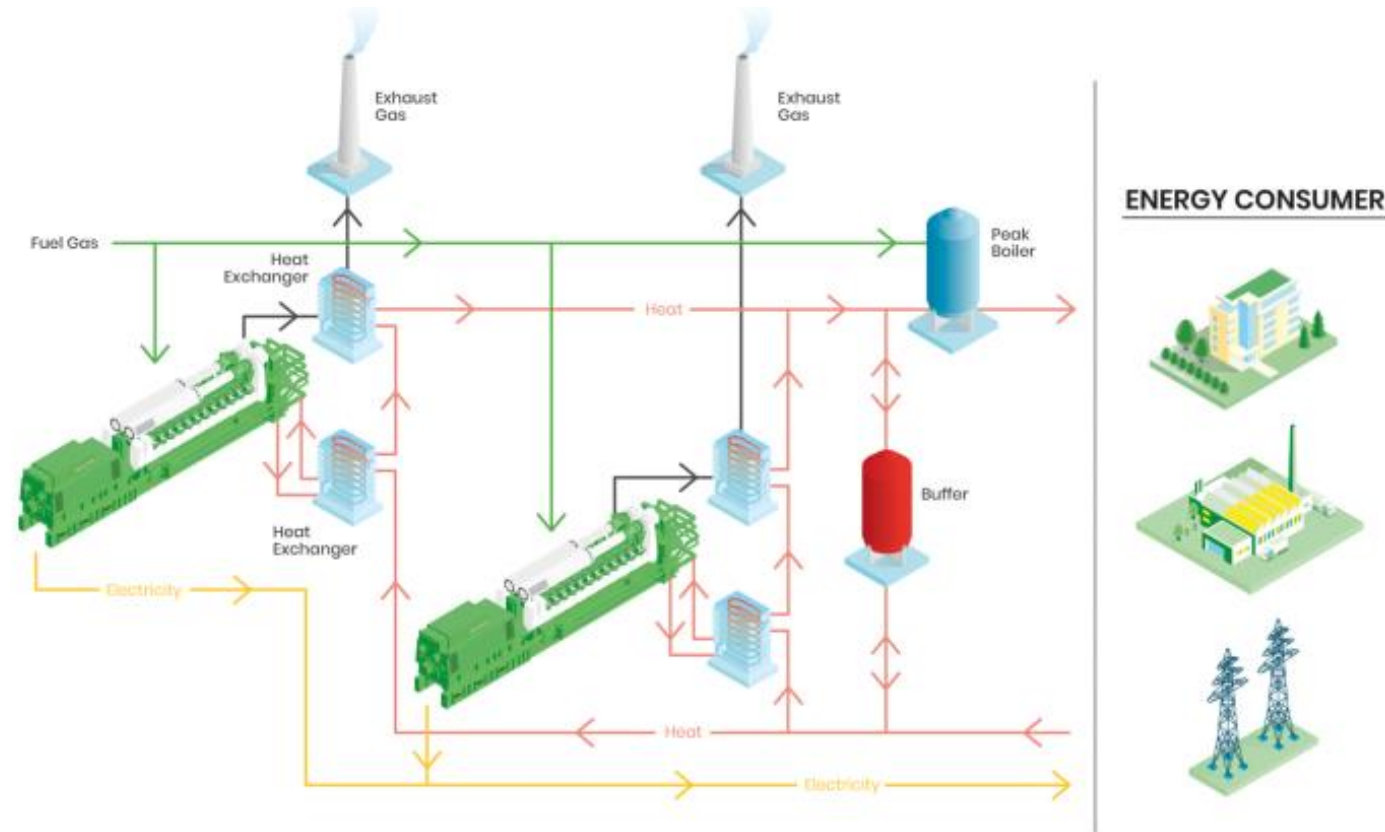
- La cogeneración genera electricidad y calor útil en una misma planta.
- El calor recuperado se inyecta en la red de calefacción urbana (DHN).
- La electricidad se exporta o se utiliza localmente para mejorar la eficiencia global.
- El calor se distribuye a múltiples edificios a través de tuberías aisladas.
- El sistema reduce el consumo de combustible y las emisiones en comparación con la producción separada.



2.2. EL PAPEL DE LOS SISTEMAS DE COGENERACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CALOR Y SU INTEGRACIÓN EN DIVERSAS TECNOLOGÍAS, COMO LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CALOR (DHN)

Integración de la cogeneración en edificios comerciales e institucionales

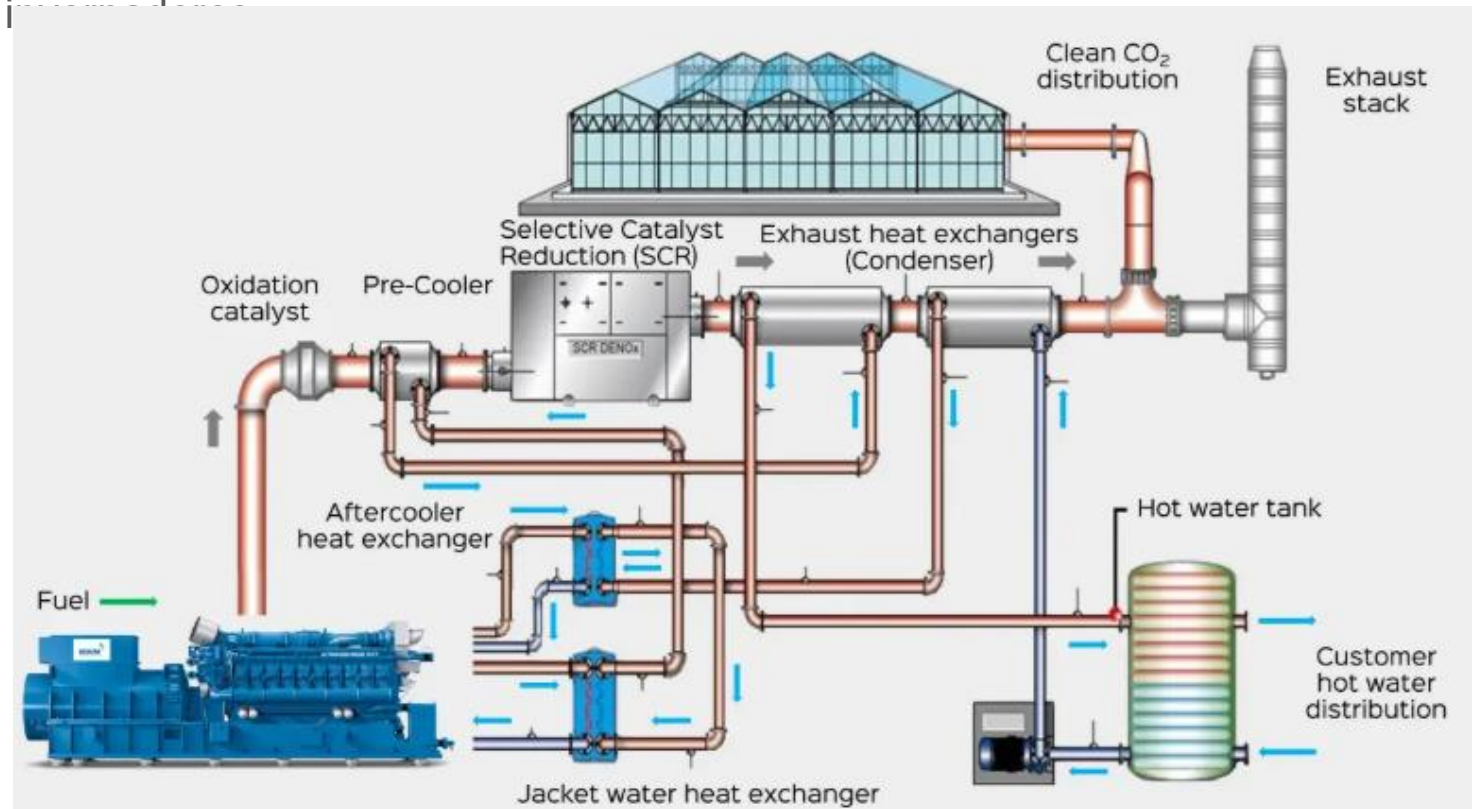
- Cogeneración instalada in situ en edificios comerciales e institucionales para la generación local.
- Produce simultáneamente electricidad y calor útil para satisfacer la demanda del edificio.
- El calor se utiliza para la calefacción de espacios, el agua caliente sanitaria o la refrigeración por absorción.
- Reduce la compra de electricidad de la red y mejora la eficiencia energética.
- Funciona mejor con una demanda térmica constante (hospitales, hoteles, universidades).



2.2. EL PAPEL DE LOS SISTEMAS DE COGENERACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CALOR Y SU INTEGRACIÓN EN DIVERSAS TECNOLOGÍAS, COMO LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CALOR (DHN)

Integración de la cogeneración en los invernaderos

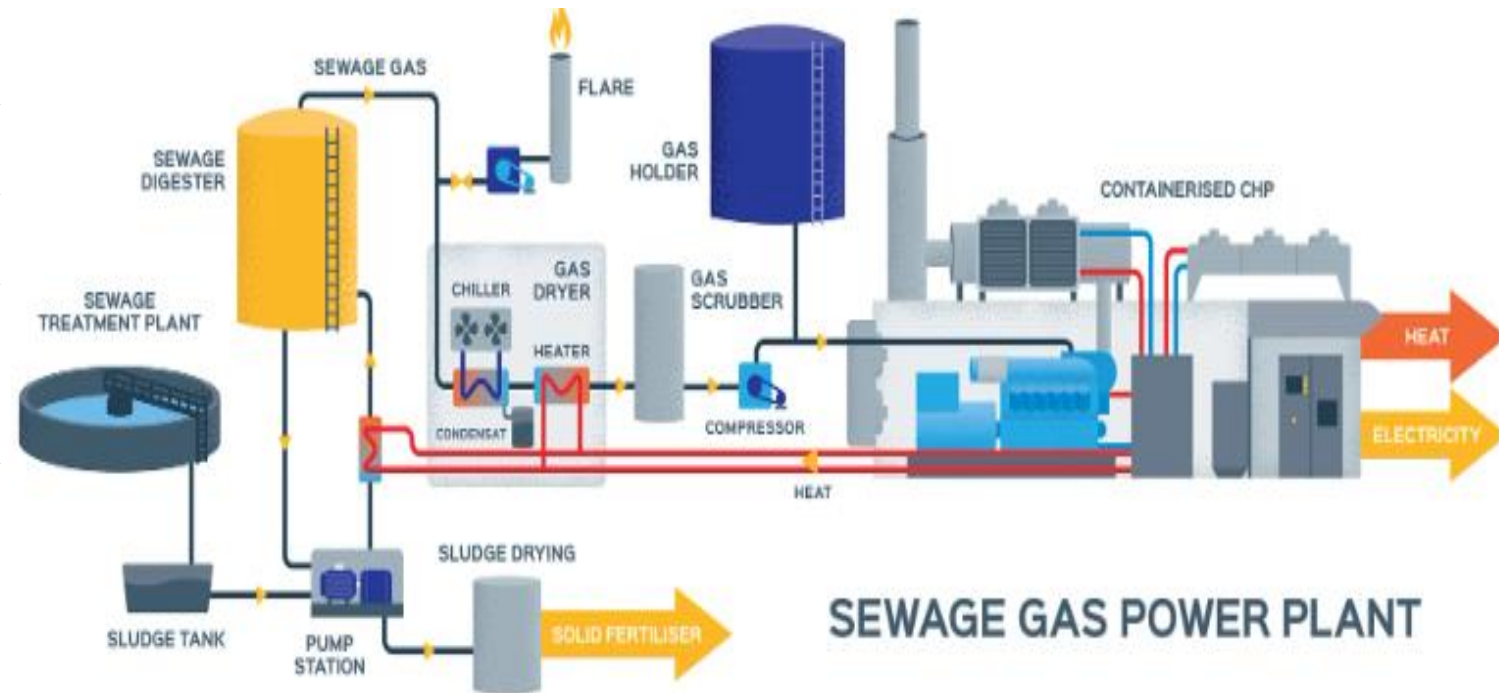
- Sistema de cogeneración instalado in situ para suministrar electricidad y calor al invernadero.
- El calor residual se utiliza para mantener una temperatura óptima de cultivo.
- El CO₂ de los gases de escape puede capturarse y utilizarse para el enriquecimiento de las plantas.
- Mejora la eficiencia energética y reduce el consumo de combustible para calefacción.
- Permite un control climático estable para la producción de cultivos durante todo el año.



2.2. EL PAPEL DE LOS SISTEMAS DE COGENERACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CALOR Y SU INTEGRACIÓN EN DIVERSAS TECNOLOGÍAS, COMO LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CALOR (DHN)

Integración de la cogeneración en las plantas de tratamiento de aguas residuales

- La cogeneración utiliza biogás procedente de la digestión anaeróbica de los lodos.
- Produce electricidad para el funcionamiento de la planta y para cubrir la demanda in situ.
- El calor recuperado se utiliza para mantener la temperatura del digester.
- Reduce el consumo de energía externa y los costes operativos.
- Mejora la autosuficiencia energética global de la planta de tratamiento.



2.2. EL PAPEL DE LOS SISTEMAS DE COGENERACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CALOR Y SU INTEGRACIÓN EN DIVERSAS TECNOLOGÍAS, COMO LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CALOR (DHN)

Tipos de calor producido por los sistemas de cogeneración

- Agua caliente: Para calefacción de locales y uso doméstico.
- Vapor: utilizado en procesos industriales o en la calefacción urbana.
- Calor de baja temperatura: para precalentamiento, secado o refrigeración por absorción.
- Calor de proceso: aplicación directa de calor en sistemas industriales.
- Energía térmica para enfriadoras de absorción: para trigeneración (calor, electricidad y refrigeración).

2.3. VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA DE COGENERACIÓN

Ventajas generales de la cogeneración:

- 1. Eficiencia energética**
- 2. Reducción de emisiones**
- 3. Flexibilidad**
- 4. Seguridad energética**
- 5. Reducción de los costes operativos**

2.4. RETOS OPERATIVOS Y TÉCNICOS DE LA INTEGRACIÓN DE LA COGENERACIÓN EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CALOR

- **Flexibilidad operativa**

Variabilidad de la demanda: las redes de calefacción urbana presentan una demanda de calor fluctuante; la cogeneración prefiere un funcionamiento constante a plena carga → requiere controles avanzados y sistemas de respaldo.

Interacción con la red: la cogeneración debe equilibrar la demanda de calor y de electricidad → lo cual resulta complejo, especialmente con las energías renovables.

- **Integración de la infraestructura**

Retos de la adaptación: a menudo es necesario actualizar tuberías, intercambiadores y depósitos.

Adaptación de temperatura y presión: los desajustes requieren equipamiento adicional → mayor coste y complejidad.

- **Fiabilidad del sistema**

Doble dependencia: un fallo en la cogeneración afecta tanto al calor como a la electricidad → requiere un alto nivel de mantenimiento.

Se necesitan sistemas de respaldo: los sistemas de almacenamiento o auxiliares aumentan los costes, pero garantizan la continuidad.

- **Combustible y emisiones**

Suministro de combustible: es fundamental un acceso constante al combustible (gas natural, biomasa). Control de emisiones: deben cumplirse los límites de CO₂, NO_x y partículas → se necesitan depuradores, filtros o combustión limpia.

Integración de energías renovables: el biogás o el calor residual requieren una planificación de la calidad del combustible y de las emisiones.

2.4. RETOS OPERATIVOS Y TÉCNICOS DE LA INTEGRACIÓN DE LA COGENERACIÓN EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CALOR

- **Fiabilidad del sistema**

Doble dependencia: un fallo en la cogeneración afecta tanto al calor como a la electricidad → requiere un alto nivel de mantenimiento.

Se necesitan sistemas de respaldo: los sistemas de almacenamiento o auxiliares aumentan los costes, pero garantizan la continuidad.

- **Combustible y emisiones**

Suministro de combustible: es fundamental un acceso constante al combustible (gas natural, biomasa). Control de emisiones: deben cumplirse los límites de CO₂, NO_x y partículas (PM) → se necesitan depuradores, filtros o una combustión limpia.

Integración de energías renovables: el biogás o el calor residual requieren una planificación de la calidad del combustible y de las emisiones.

2.5. EFICIENCIA ENERGÉTICA, AHORRO Y REPERCUSIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LA COGENERACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CALOR

Tipo de cogeneración	Eficiencia eléctrica (%)	Eficiencia térmica (%)	Eficiencia total (%)
Motor de gas	35–42 %	45–50 %	80–90 %
Turbina de gas	25–35 %	40–50 %	70–85 %
Ciclo combinado (GT + ST)	45–55 %	30–40 %	80–90 %
Micro-cogeneración (residencial)	12–20 %	60–70 %	80–85 %
Cogeneración a partir de biomasa	20–30 %	40–50 %	60–80 %
Cogeneración de vapor (industrial)	10–15 %	60–75 %	70–85 %

2.5. EFICIENCIA ENERGÉTICA, AHORRO Y REPERCUSIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LA COGENERACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CALOR

Ahorro

Ejemplo práctico:

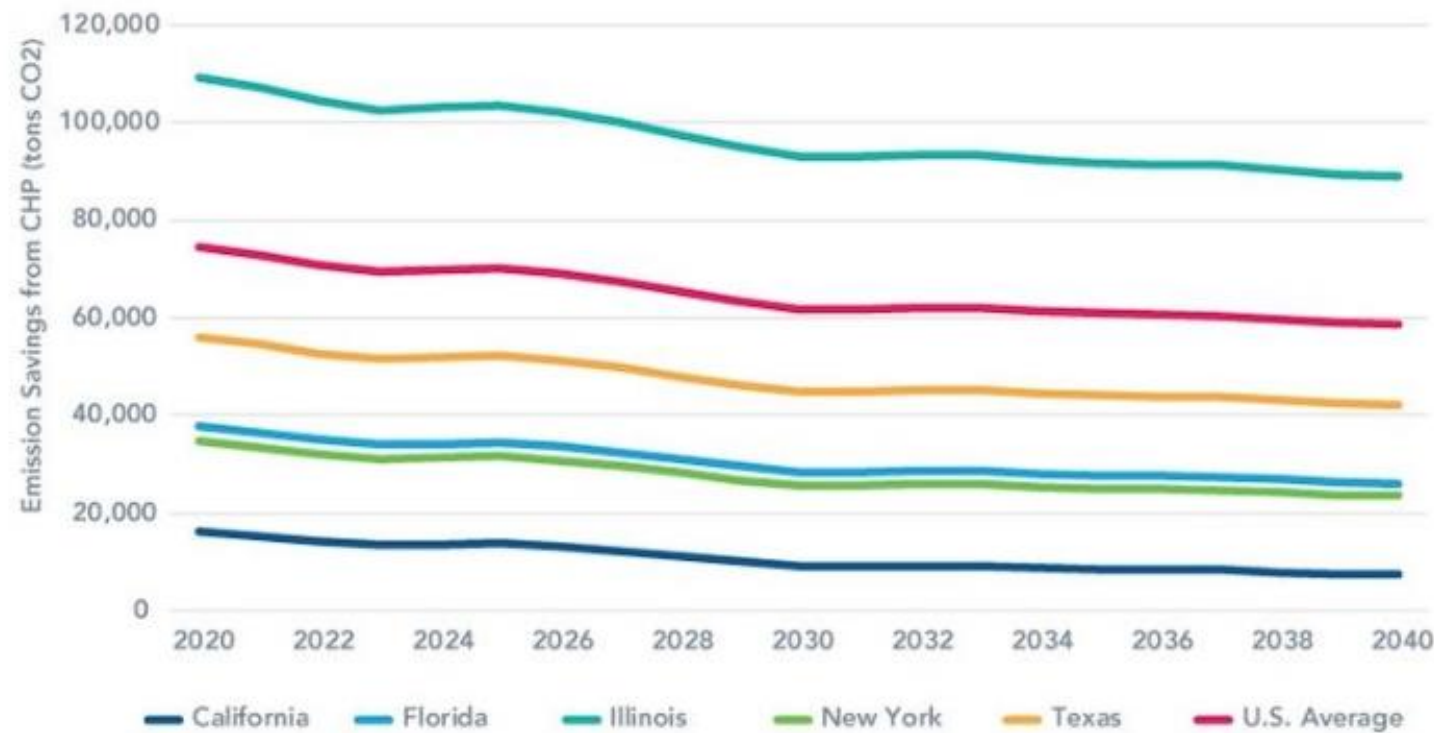
La turbina de gas funciona 7.800 horas al año

Ahorro anual total	1 650 000 \$
Coste de capital estimado	9 075 000 \$
Amortización simple	5,5 años

$$\text{Payback time} = \frac{\text{Initial investment}}{\text{Annual savings}}$$

2.5. EFICIENCIA ENERGÉTICA, AHORRO Y REPERCUSIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LA COGENERACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CALOR

Impacto medioambiental



$$E_{CO_2} = \frac{Q_{\text{fuel}} \times \text{Emission factor}}{\text{Calorific value of the fuel}}$$



¡Gracias!

Módulo 3.3 – Cogeneración
SHaKE – Intercambio de 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

