



**DANISH  
TECHNOLOGICAL  
INSTITUTE**

# Descarbonización de procesos industriales mediante bombas de calor

Junio 2024

José Joaquín Aguilera Prado  
Consultor, PhD  
[jjpr@teknologisk.dk](mailto:jjpr@teknologisk.dk)

Benjamin Zühlsdorf  
Director de innovación, PhD  
[bez@teknologisk.dk](mailto:bez@teknologisk.dk)





DANISH  
TECHNOLOGICAL  
INSTITUTE

FOODS  
MATERIALS  
ENERGY

...FOR A BETTER FUTURE





# Creating value since 1906



Danish Technological Institute was founded in 1906 by the visionary engineer, Gunnar Gregersen.

That makes us one of the oldest institutes of our kind.

We are approved as an RTO by the Danish Minister of Higher Education and Science.



**DANISH  
TECHNOLOGICAL  
INSTITUTE**

# Locations

Danish Technological Institute has five different locations in Denmark and one in Spain.



**Taastrup**



**Aarhus**



**Odense**



**Sønder Stenderup**



**Skejby**





# A part of the European R&D Network

The institute is a member of EUROTECH\*, along with nine of the biggest Research and Technology Organisations in Europe:

- CEA
- Fraunhofer
- TNO
- VTT
- SINTEF
- RISE
- IMEC
- Tecnalia
- AIT
- DTI

Tecnalia

CEA

IMEC

TNO

Fraunhofer

AIT

Danish Technological Institute

RISE

SINTEF

VTT

\*EUROTECH is an interest group stemming from EARTO (the European Association of Research and Technology Organisations).

# We offer three types of services



## Validation

We validate and document technological solutions through tests and trials in our state-of-the-art technology infrastructures.



## Development

We run extensive research projects and develop pioneering technological solutions.



## Integration

We integrate and implement technological solutions aligned with market, organisation, environment and culture.



# Divisions

**Food & Production**



**Building & Construction**



**Materials**



**Environmental Technology**



**Energy & Climate**



# Tecnologías de refrigeración y bombas de calor



## Validación

- Ensayos acreditados de bombas de calor
- De kW a MW



## Integración

- Integración de procesos y estrategias de descarbonización
- Pruebas in situ
- Cursos para la industria



## Desarrollo

- Desarrollo tecnológico de componentes y sistemas
- Pruebas experimentales
- Modelado y simulación



Bombas de calor domésticas



Sistemas de supermercado



Calefacción distrital



Operaciones de la unidad



Bombas de calor de alta temperatura



# Descarbonización de las industrias

- Enfoque holístico de consultoría que apoya a las industrias
- Análisis de procesos y definición de objetivos
- Conceptualización y visión general de la tecnología
- Desarrollo de hojas de ruta
- Apoyo durante la implementación



- Desarrollo de componentes
- Diseño y optimización de sistemas
- Testeo de funcionalidad y rendimiento

## Tecnologías

- Bombas de calor
- Almacenamiento térmico
- Redes térmicas
- Biogás y combustibles verdes
- Operaciones de la unidad
- Sistemas eléctricos
- Recuperación de agua

## Alcance

- Energía
- Emisiones de GEI
- Agua
- Economía

## Socios colaboradores

- Proveedores de tecnología (fabricantes de sistemas, OEMs, ...)
- Fabricantes de equipos de proceso
- Usuarios finales de diversas industrias (Alimentos y bebidas, Celulosa y papel, productos químicos, minerales, servicios públicos, ...)

- Validación de tecnologías a escala real
- Laboratorio de bombas de calor industriales
- Demostración in situ a los usuarios finales



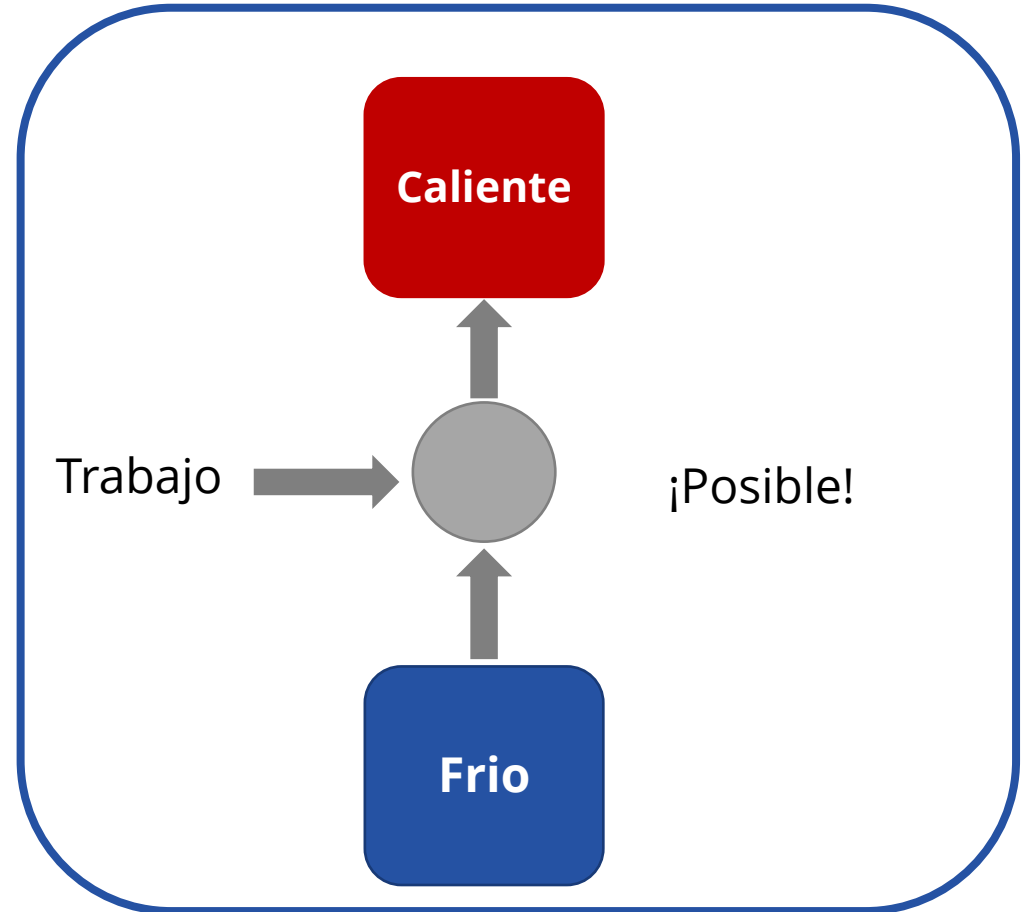
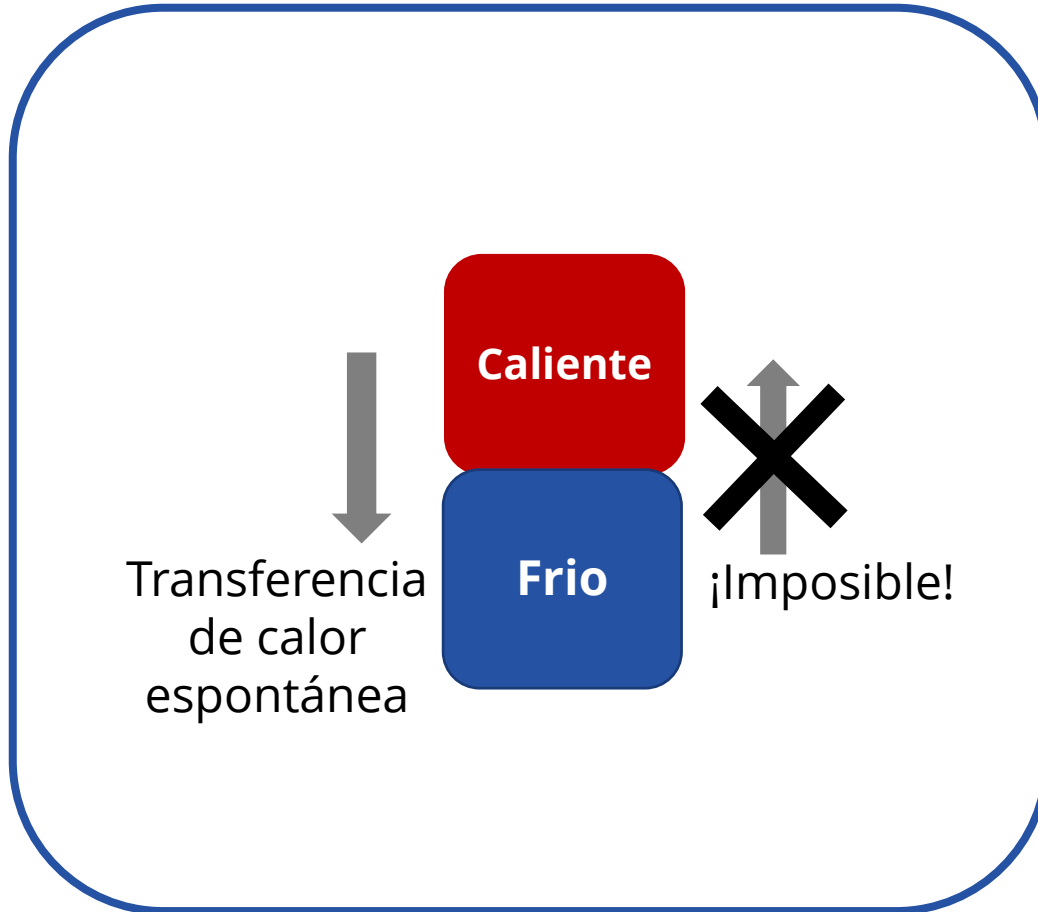
# Bombas de calor industriales

Motivación y tendencias globales

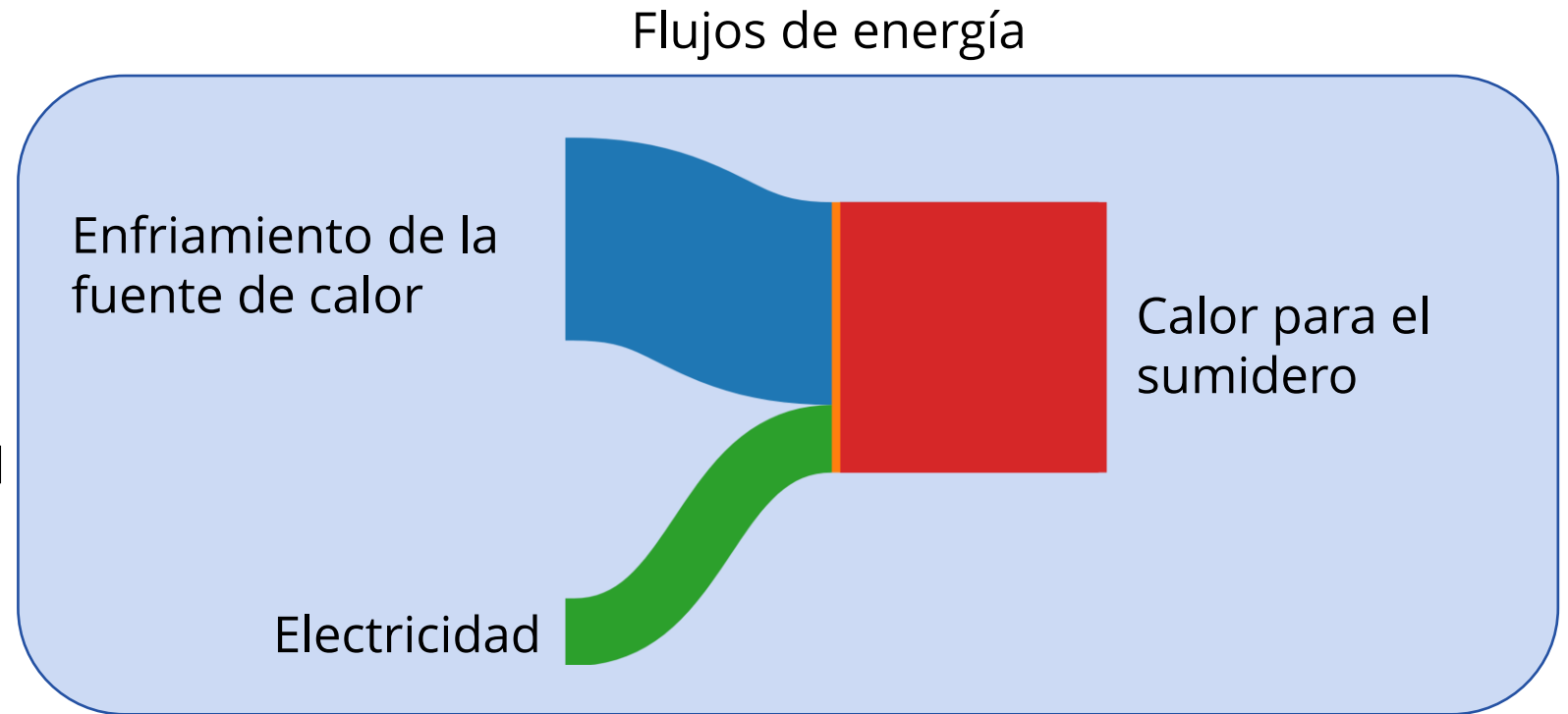
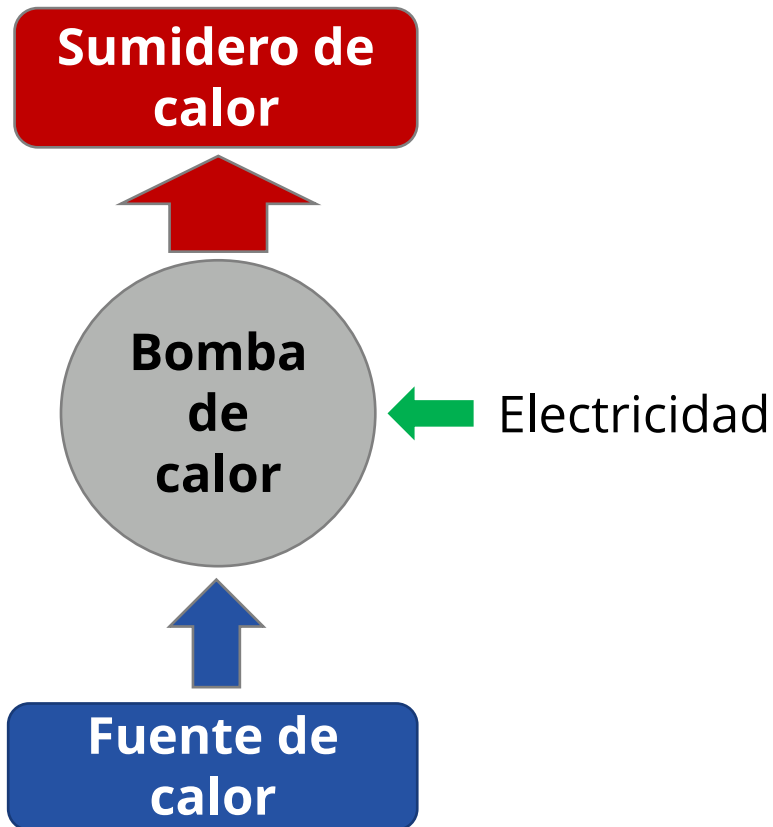




# Transporte de calor



# Bomba de calor eléctrica



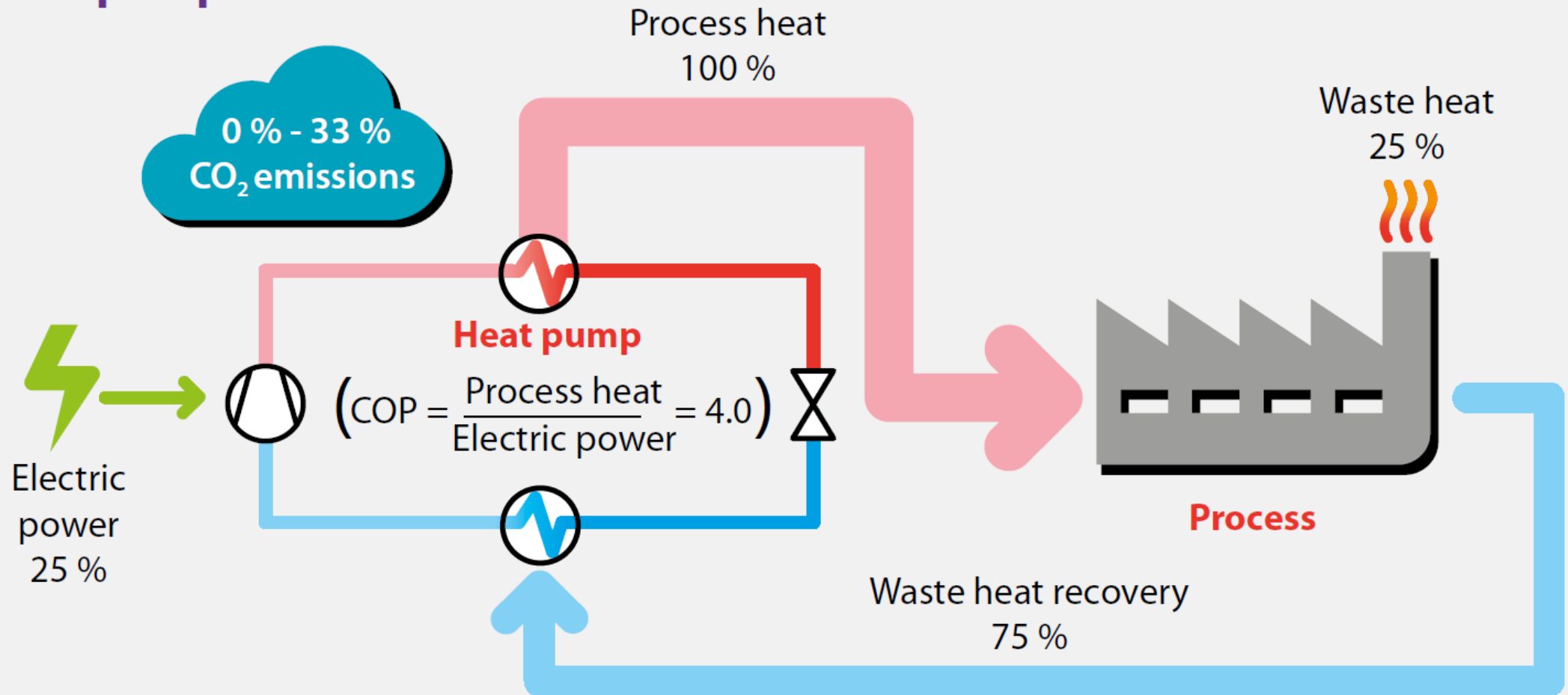
☞ Es imprescindible disponer de una fuente de calor



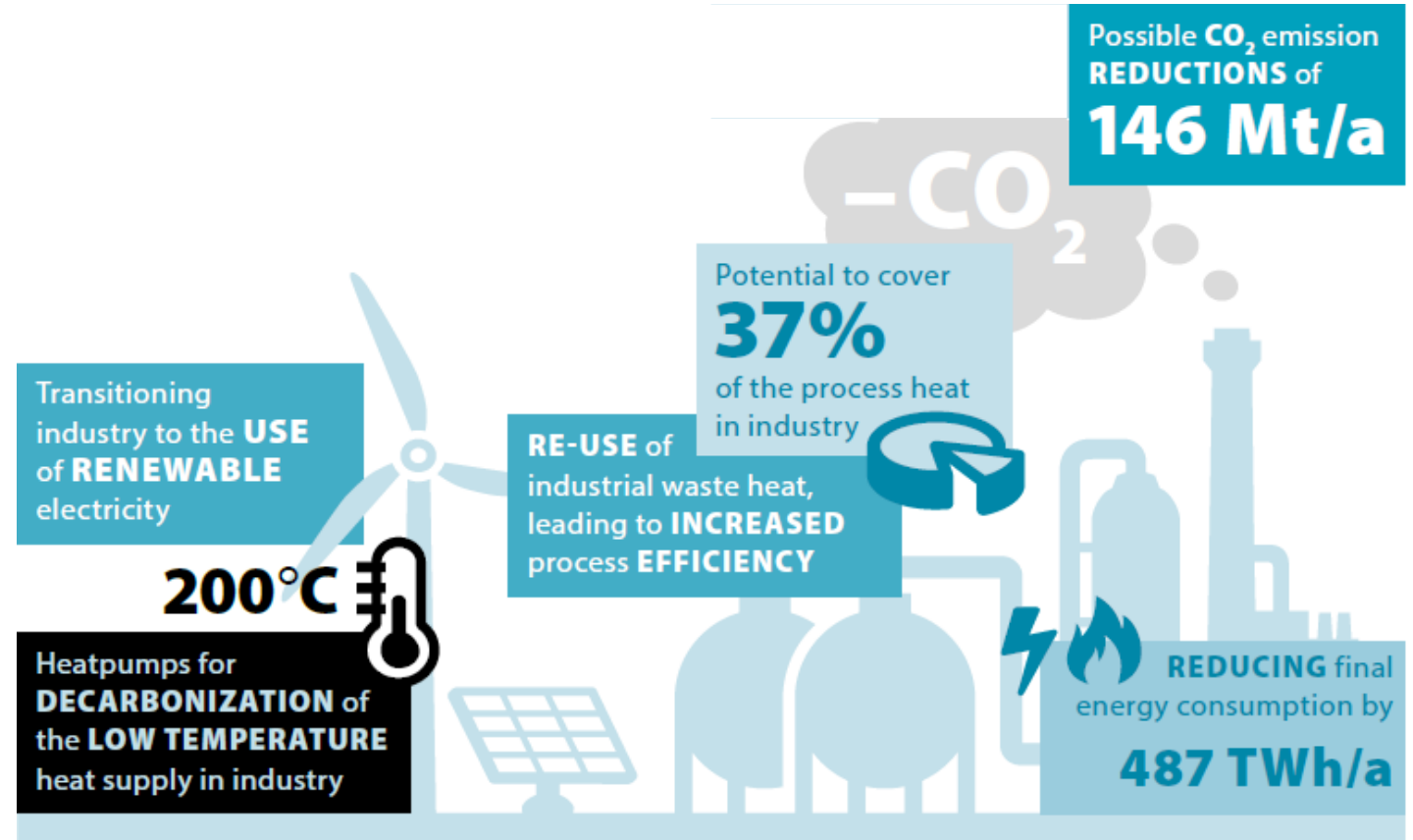
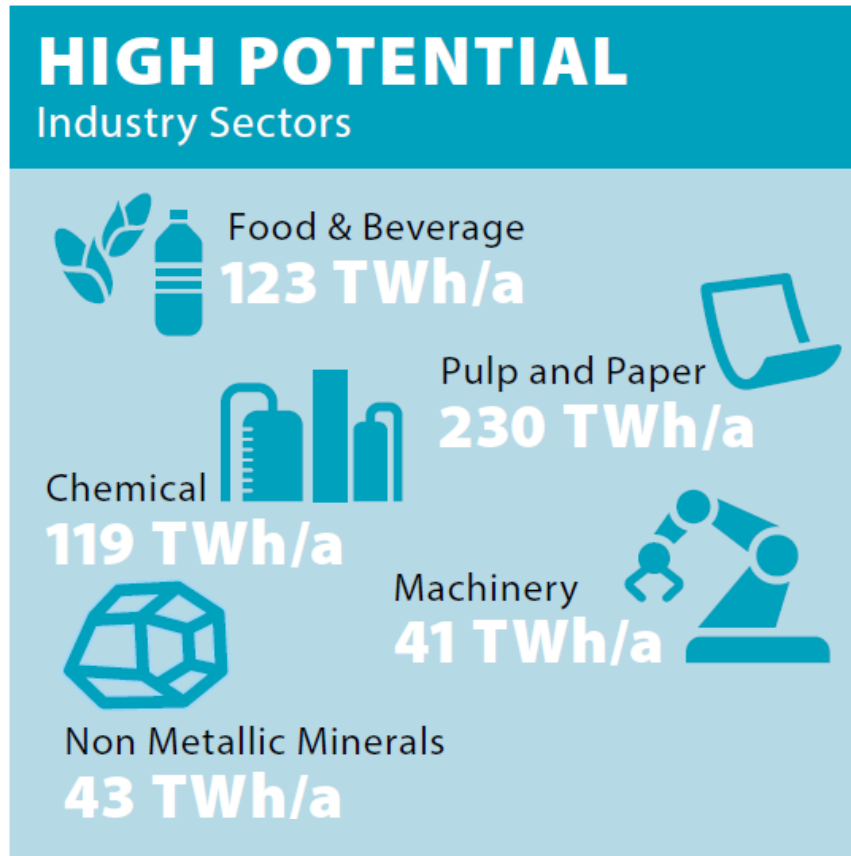


# Bombas de calor industriales - Principio de funcionamiento

## Heat pump driven



# Potencial de aplicación de las bombas de calor de alta temperatura

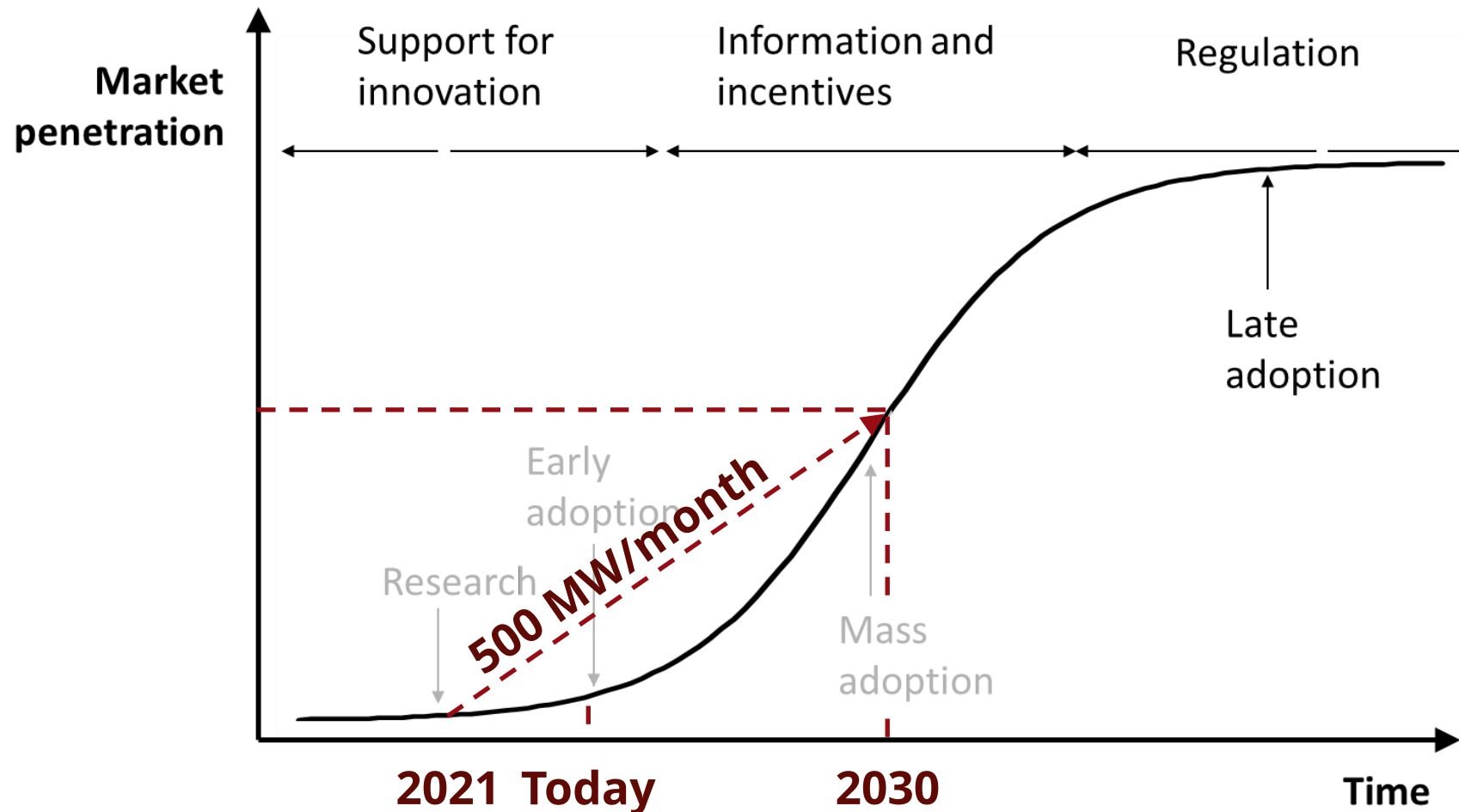


[White Paper: Strengthening Industrial Heat Pump Innovation – Decarbonizing Industrial Heat](#) & [Webinar](#)

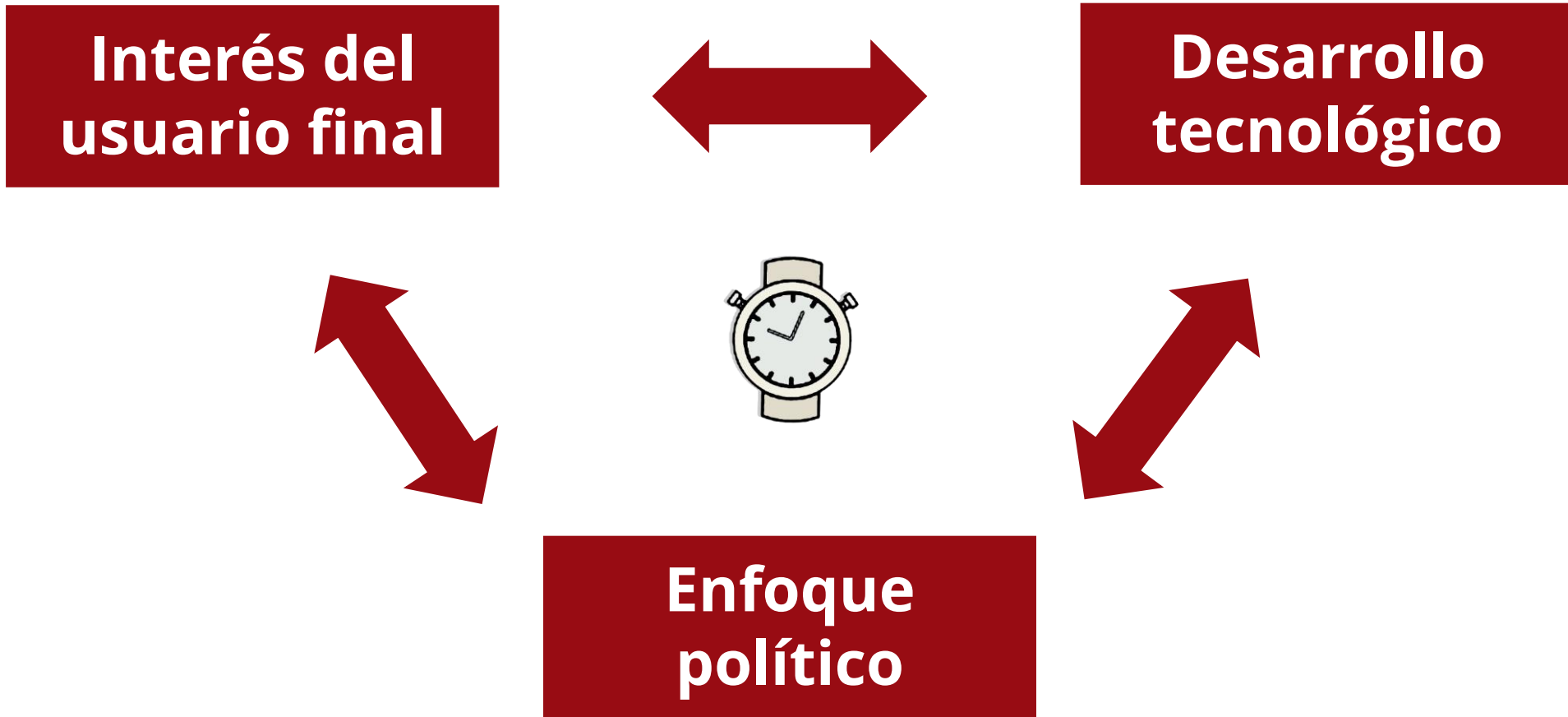




# De la adopción temprana a la adopción masiva



# Los factores impulsores de la descarbonización





# El camino hacia la implementación



## Conciencia tecnológica

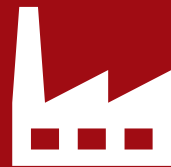
- Compromiso con la sostenibilidad y la descarbonización
- Potencialidades, limitaciones y características de la tecnología
- ¿Cómo explotar los potenciales?
- Variedad de partes interesadas involucradas

## Desarrollo Tecnológico



- Desarrollo de componentes y sistemas
- Pruebas y demostraciones
- Variedad de tecnologías
- Esfuerzo colaborativo

## Adopción del usuario final



- Ciclo de vida de la adopción de tecnología
- Adaptación de industrias para el suministro de calor basado en BC
- Estrategias de descarbonización

## Condiciones de contorno



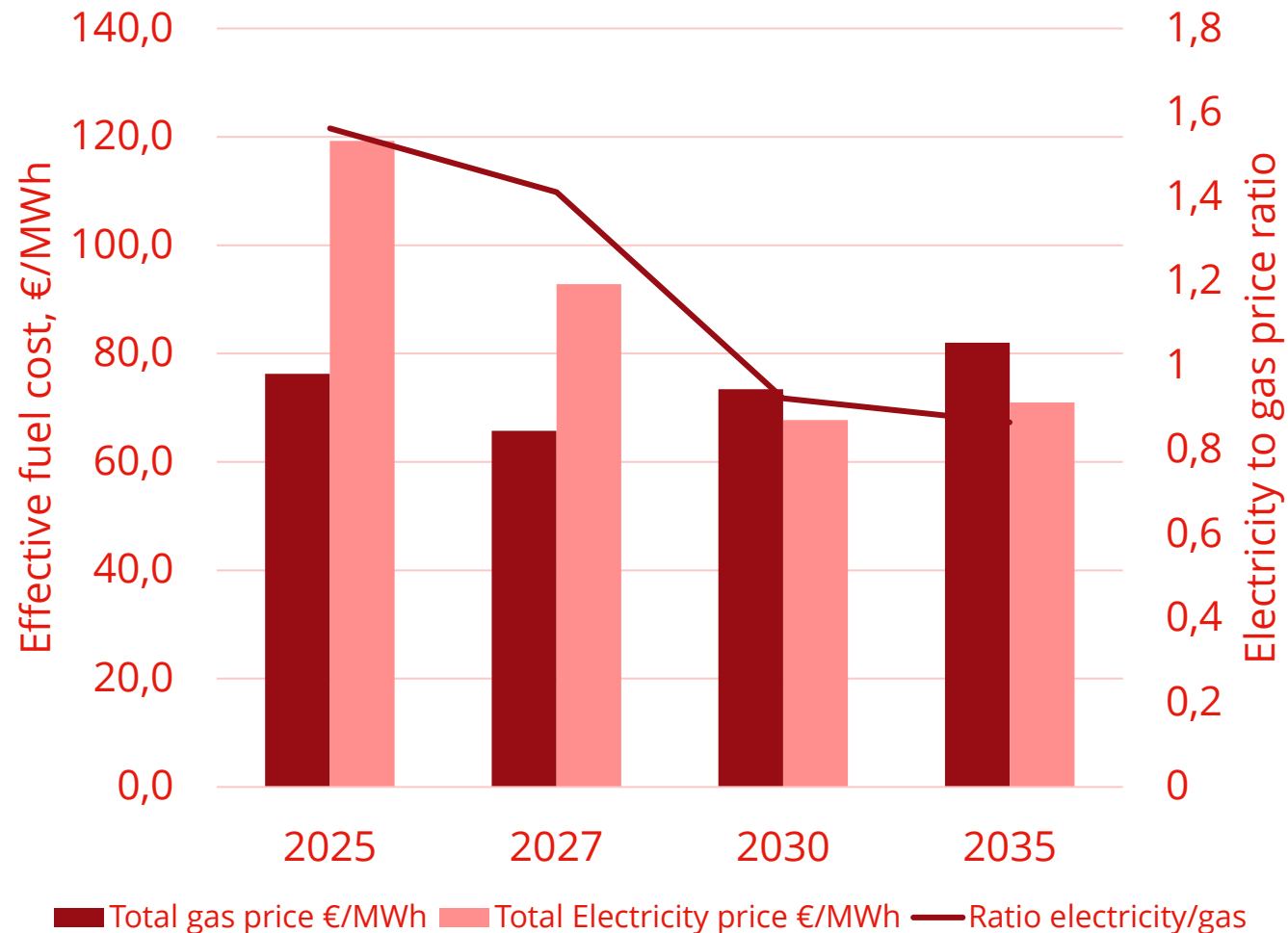
- Costo de los combustibles y GEI
- Marcos normativos
- Subvenciones e incentivos
- Evolución del mercado



## Despliegue en el mercado

- Implementación de tecnología dentro de proyectos comerciales
- Curva de aprendizaje para operadores y proveedores
- Cadena de suministro que cubre volúmenes considerables
- Modelos de negocio

# Evolución de los precios de los combustibles



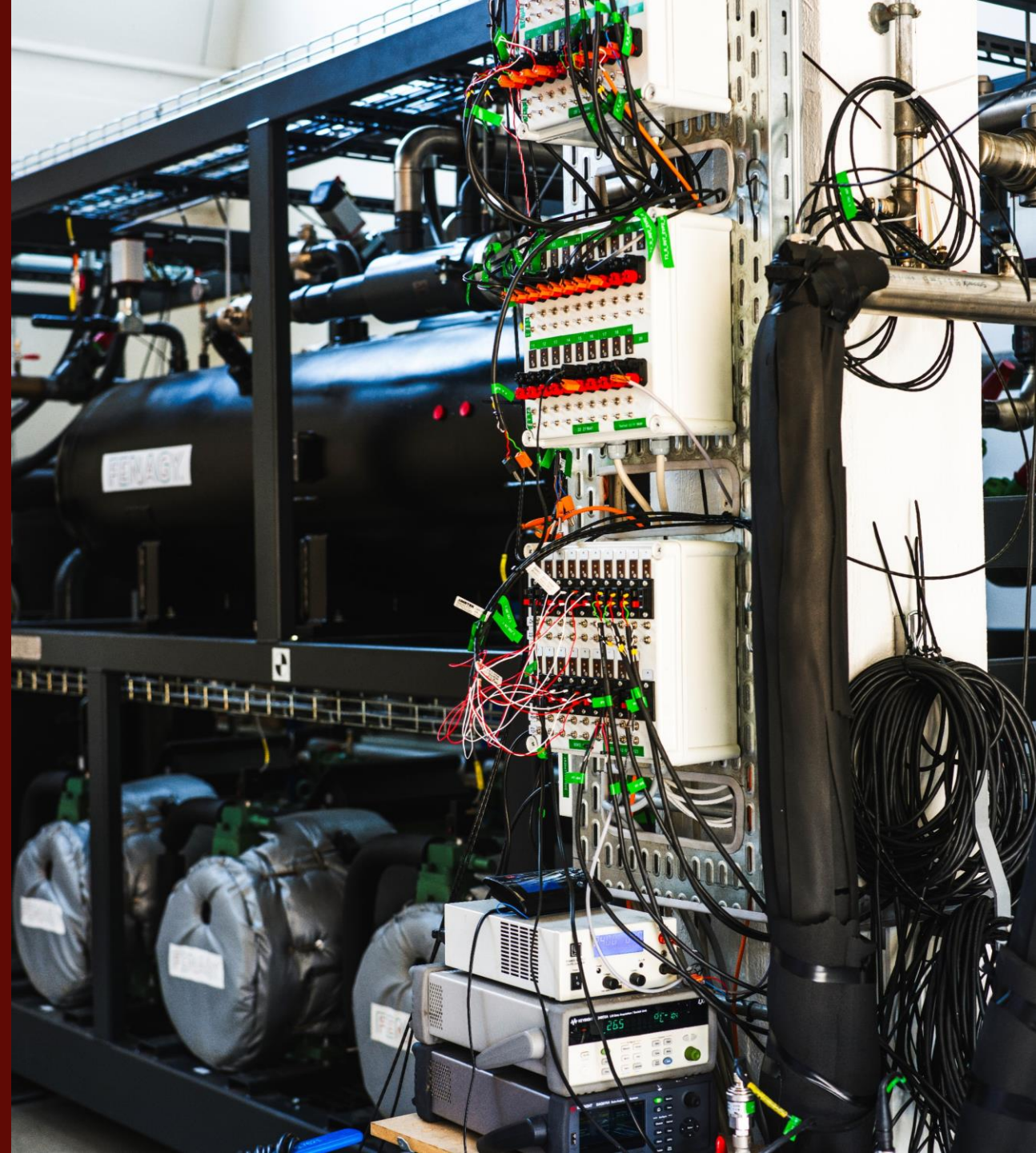
- Datos de la Agencia Danesa de la Energía- Climate Status and Outlook 2023
- El costo de transporte de la electricidad varía según los contratos y el área, promedio asumido
- Los impuestos sobre la electricidad se limitan al mínimo de la UE



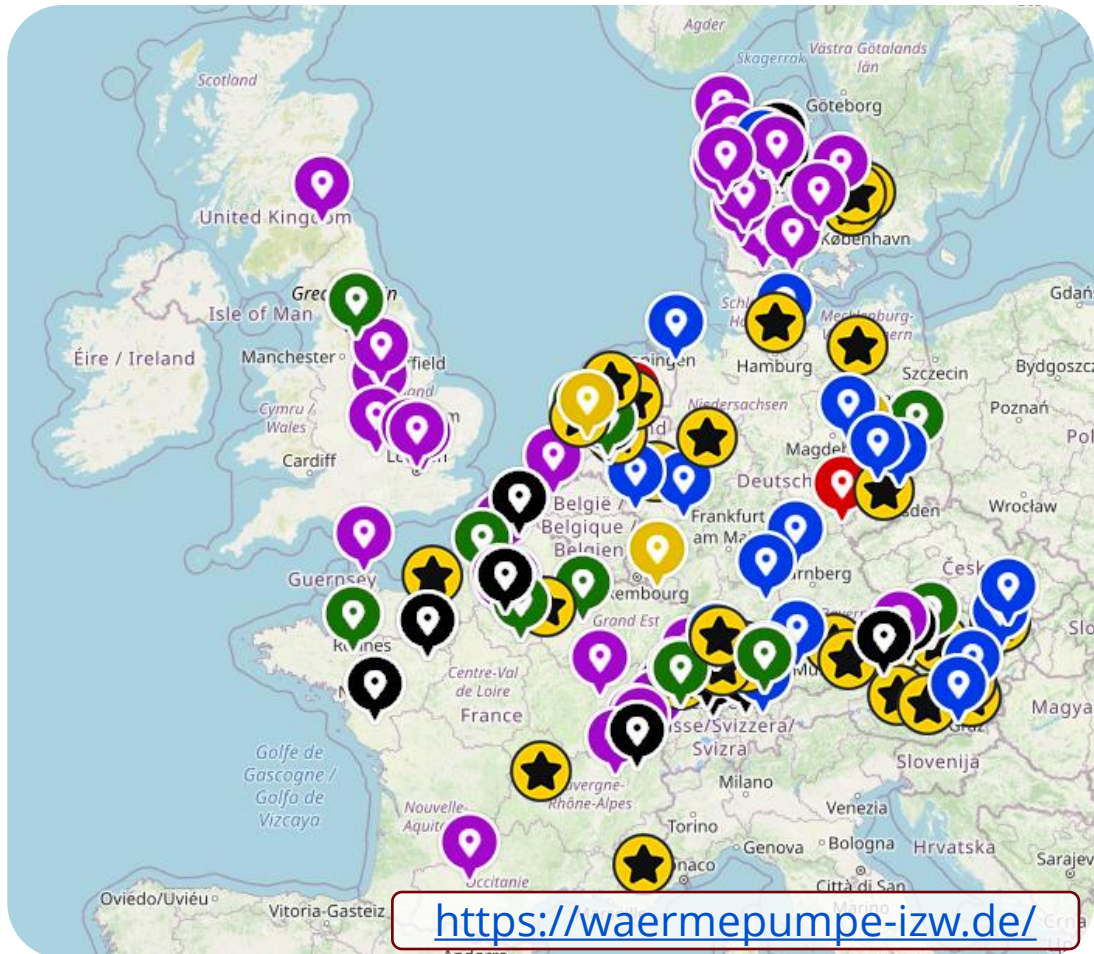


# Tecnologías disponibles

Estado del arte de bombas de calor industriales



# Principios probados



- > 300 casos en el Anexo 48 del HPT - IEA
- Tecnología probada < 100 °C  
Principios probados > 100 °C



# Revisión de las tecnologías de bombas de calor de alta temperatura (HHTP)- IEA HPT Annex 58



TRL (Nivel de preparación tecnológica)	4-9
Coste específico medio	200 €/kW - 1500 €/kW
Capacidad	0.02 MW - 100 MW
Max. Temperatura de suministro	100 °C - 280 °C
Disponibilidad	Dependencia geográfica, por ejemplo, entre Europa y Japón
Número de tecnologías	37 tecnologías diferentes

**Annex 58 High-Temperature Heat Pumps**

**Rank®**

**Screw compressor heat pumps**

**Figure 2: Rank® modular solution**

Our machines operate through an automatic, efficient managing system without human intervention. Real-time data transmission via the Internet allows predictive maintenance by server data analysis, online supervision (PC, mobile phone, tablet, etc.), and remote configuration of working parameters.

**Table 1: Performance for the single cycle with IHX HTHP prototype (experimentally measured in lab, prototype, not fully optimized for specific purpose)**

T <sub>source,in</sub> [°C]	T <sub>source,out</sub> [°C]	T <sub>sink,out</sub> [°C]	COP <sub>heating</sub> [-]
84	70	103	5.9
101	70	122	4.6
102	72	130	4.0
115	70	160	3.7
100	90	160	3.0
116	95	160	2.8

**Table 2: Case study for production of thermal oil.**

T <sub>source,in</sub> [°C]	T <sub>source,out</sub> [°C]	T <sub>sink,out</sub> [°C]	T <sub>sink,out</sub> [°C]	COP <sub>heating</sub> [-]
100	70	130	110	3.6
100	80	130	110	4.5

**FACTS ABOUT THE TECHNOLOGY**

**Heat supply capacity:** 120 kW to 2000 kW

**Temperature range:** useful heat inlet 80 °C to 120 °C and outlet 100 °C to 160 °C / heat source inlet 60 °C to 100 °C and outlet 40 °C to 80 °C

**Working fluid:** adaptable to the application R245fa, R1336mzz(L), R1233zd(E)

**Compressor technology:** Screw

**Specific investment cost for installed system without integration:** 200-400 € per kW, but it varies between temperature levels and applications

**TRL level:** TRL 7 – prototype demonstration

**Expected lifetime:** 20 years (with the possibility of hiring Service to extend lifetime and ensure the highest energy performance)

**Size:** weight 5.5 to 8 tons / surface required 5.2 to 13 m<sup>2</sup> / height 2.2 to 2.5 m

**Contact information**

Rank ORC, s.L.  
 info@rank-orc.com / sales@rank-orc.com  
 +34 964 69 68 59

**Project example**

A perfect application for our HTHP systems is district heating networks (DHN).

DHN are present in urban and industrial environments where each user is connected and uses heat at a given temperature. Heat is distributed at a particular temperature, but users' needs can differ.

**IEA Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP)**



<https://heatpumpingtechnologies.org/annex58/task1/>

# Perspectivas de desarrollo de las HTHP hacia 2030

Heating capacity	Temperature	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
200 kW to 10 MW	< 120 °C	Prototypes available	Demonstrators available	Commercial roll-out	Established as preferred technology							
	120 °C - 160 °C		Prototypes available	Demonstrators available	Commercial roll-out	Established as preferred technology						
	> 160 °C			Prototypes available	Demonstrators available	Commercial roll-out	Established as preferred technology					
>10 MW	< 120 °C		Technology transfer & commercial project sales	Demonstrators available	Established as preferred technology							
	> 120 °C			Technology transfer & commercial project sales	Demonstrators available	Established as preferred technology						

# Implementación de bombas de calor

Integración en procesos industriales





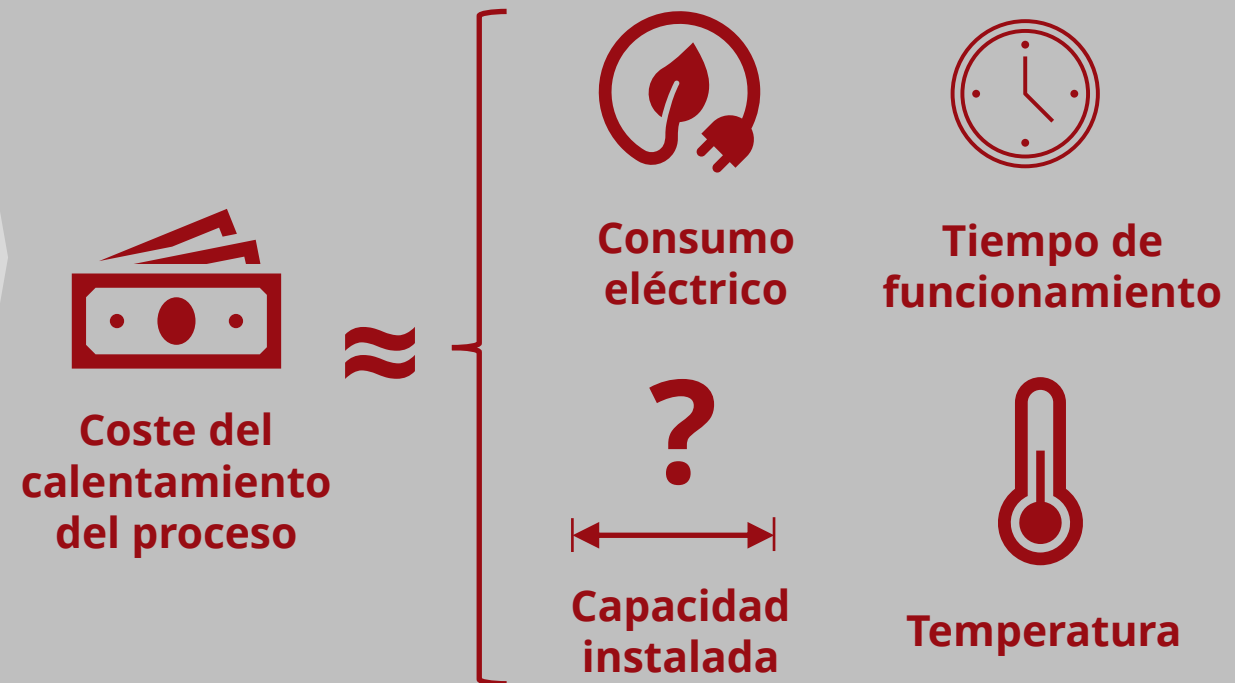
# La conversión a bombas de calor requiere un cambio de mentalidad

## Calentamiento de procesos basado en combustibles fósiles



Bajo riesgo de CAPEX

## Calentamiento de procesos basado en bomba de calor



Alto riesgo de CAPEX

# Bloqueo de la tecnología

**Inversiones equivocadas = Descarbonización más lenta**



- Equipos de proceso diseñados para altas presiones



- Recuperación de calor residual con diferencias de temperatura demasiado grandes



- Recuperación de calor residual de los procesos de combustión



- Suministro de calor residual para fines externos



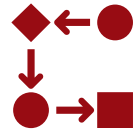
- Inversiones en equipos de proceso no optimizados para el suministro de nueva energía



- Inversiones en servicios públicos de energía basadas en supuestos erróneos o cortoplacistas

# La planificación a largo plazo es clave para el éxito

Mapeo de procesos existentes



Análisis de la **disponibilidad** y **perspectivas de la tecnología**



Reducción del riesgo de los proyectos de descarbonización



Desarrollo de **soluciones conceptuales**

Desarrollo de un **plan de descarbonización**

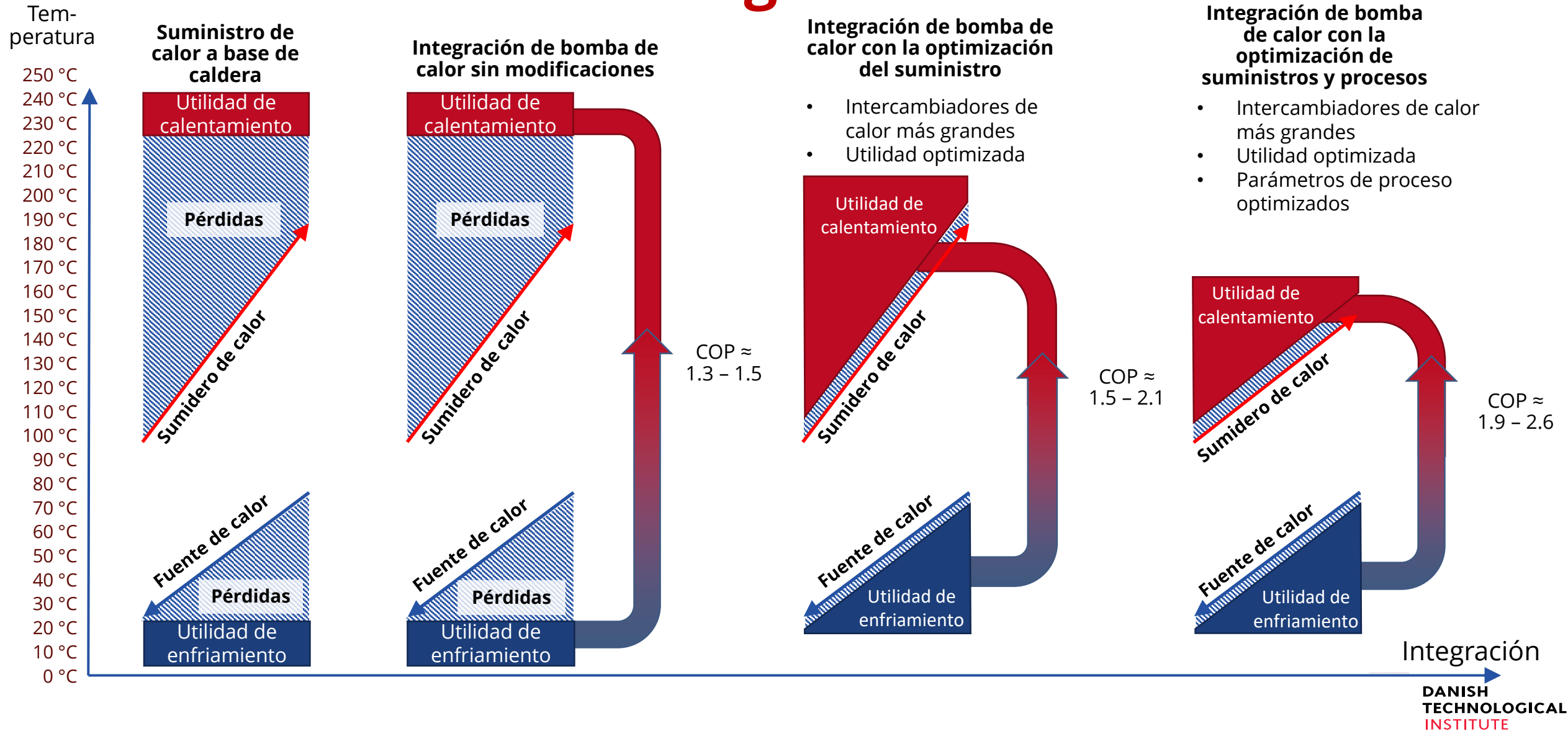


**Implementación** de un plan de descarbonización





# Demandas de temperatura y nivel de integración



# Diferentes niveles de integración

## Nivel de proceso

Integración directa en los procesos, p. ej. :MVR

## Nivel de unidad

Integración en torno a uno o más procesos, p. ej.: Equipos de secado

## Nivel de utilidad

Sustitución de la utilidad con o sin integración, p. ej.: Reemplazo de caldera

## Nivel sectorial

Suministro de calor por parte de terceros, p. ej.: Calefacción distrital

Máximas eficiencias

Modificaciones de proceso requeridas

Fuerte dependencia de las demandas del proceso

Bajo PBT requerido

Varios requisitos de aplicación

Recuperación de calor

Almacenamiento en búfer y equilibrio de carga

Mayores capacidades

Requerimiento limitado de modificaciones del proceso

Economía de escala

Horizontes de planificación (económicos) más largos

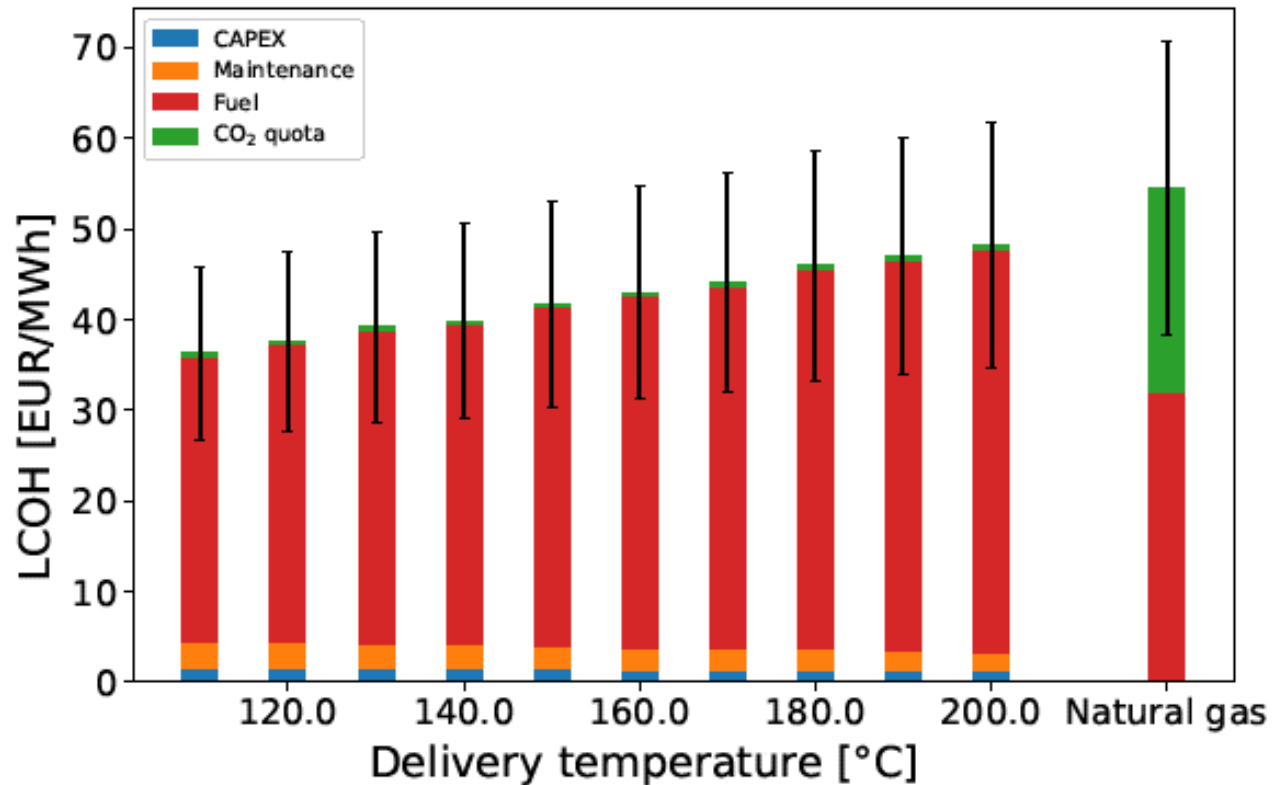


# Costo de la temperatura

Disminución  
de 10 K



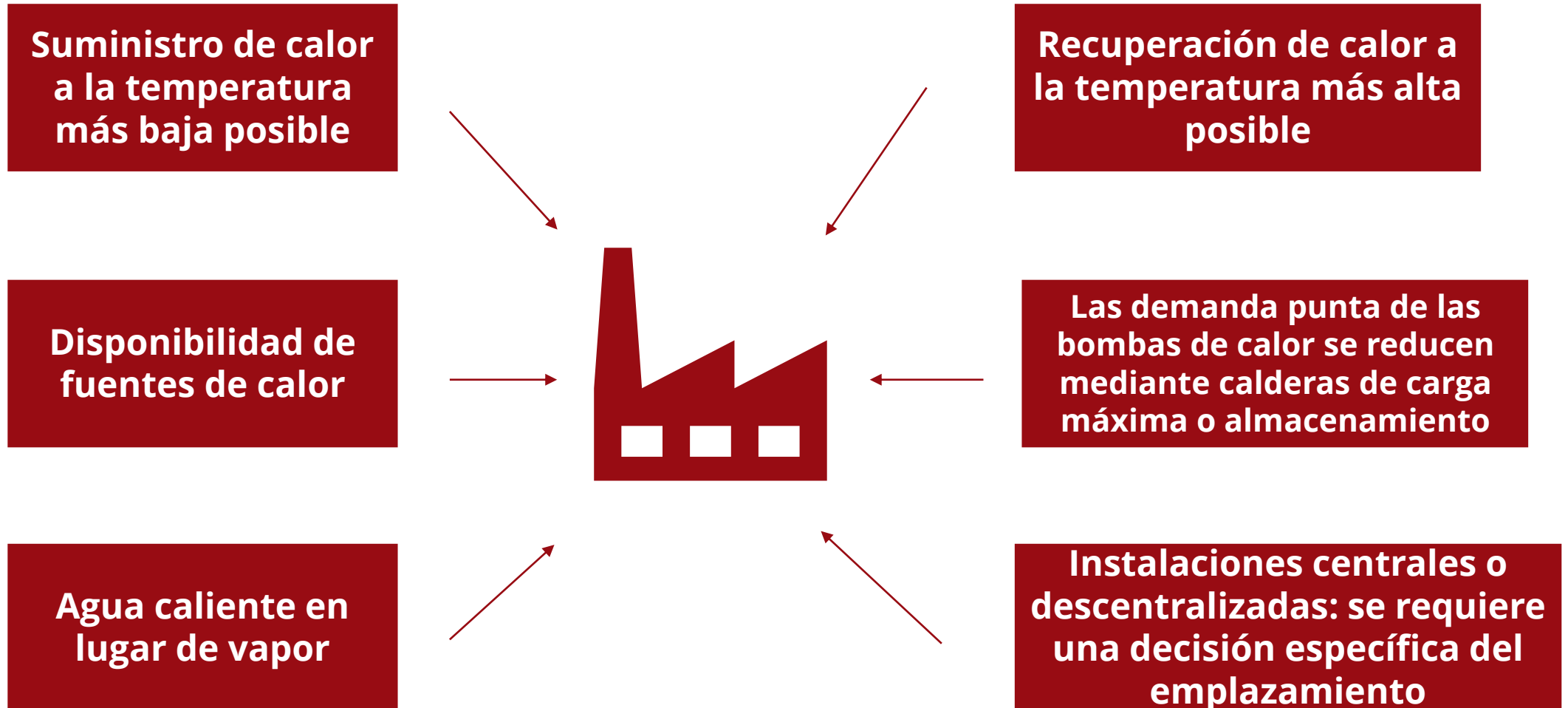
Disminución del LCOH  
en alrededor de un 5 %



- **Integración de procesos** es clave para encontrar soluciones óptimas en general
- **Intercambiadores de calor** son clave para implementar soluciones óptimas en general



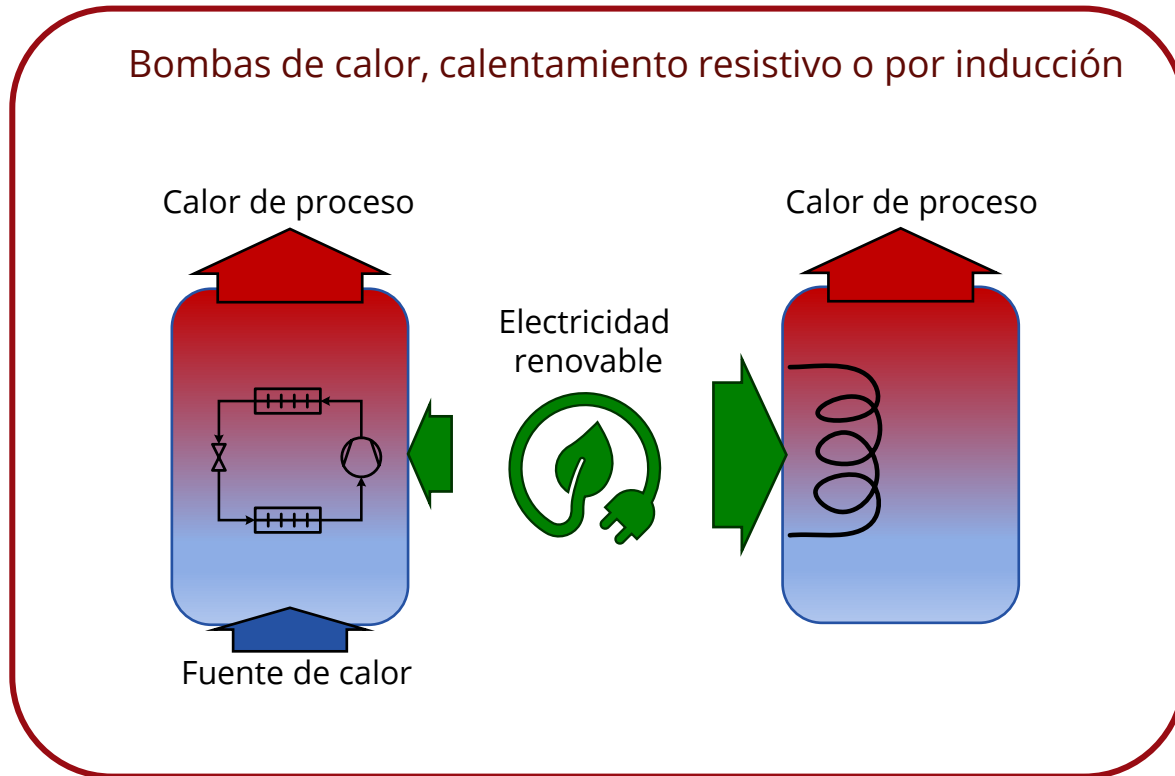
# Paradigmas



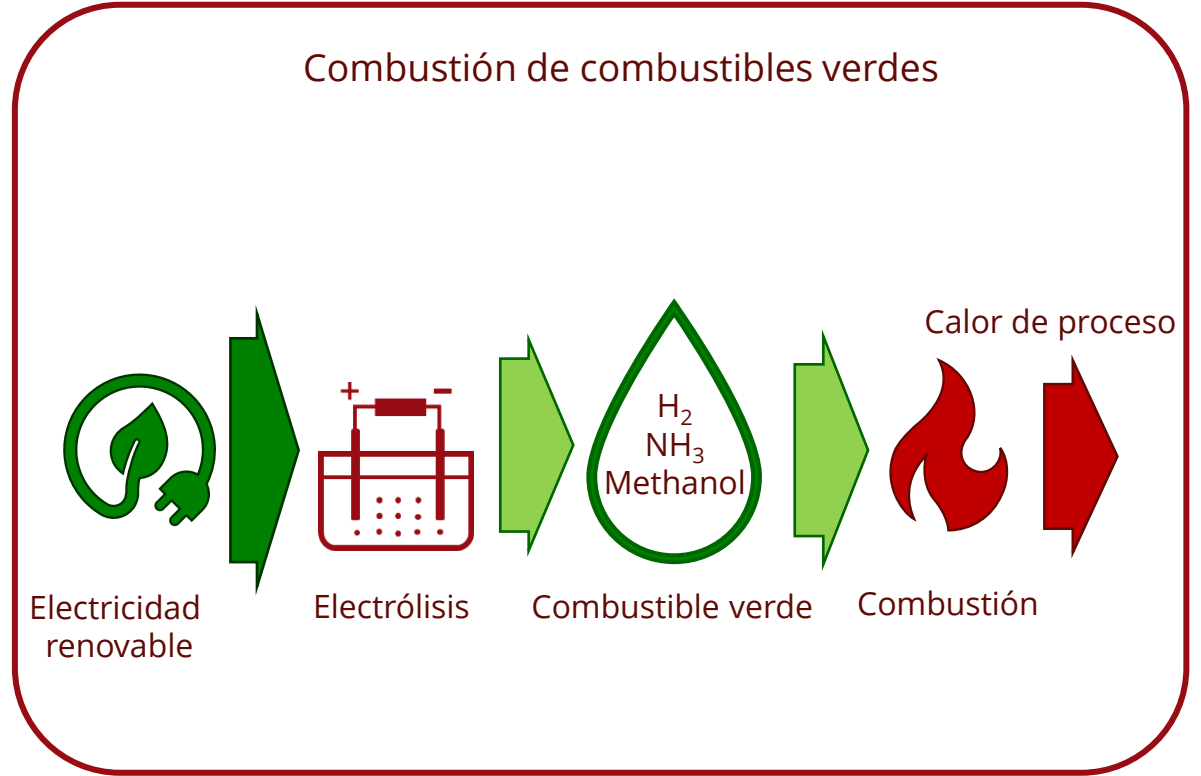
# Bombas de calor v/s otras tecnologías de calentamiento



# Electrificación directa vs. indirecta



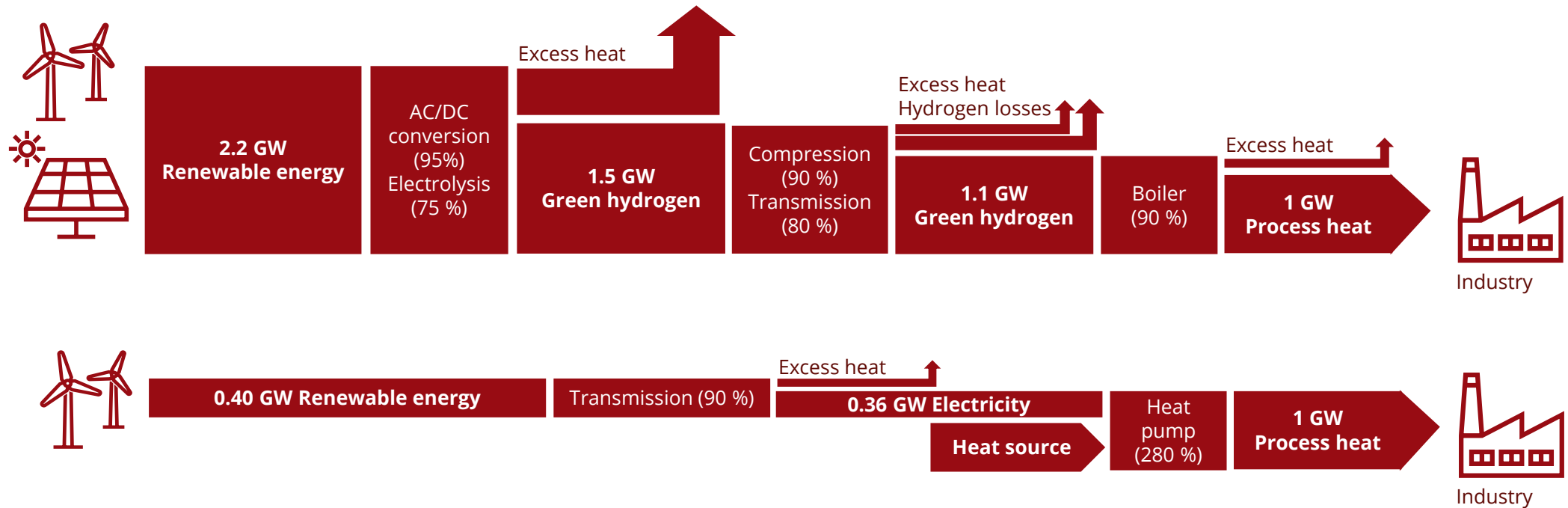
**Electrificación directa**



**Electrificación indirecta**

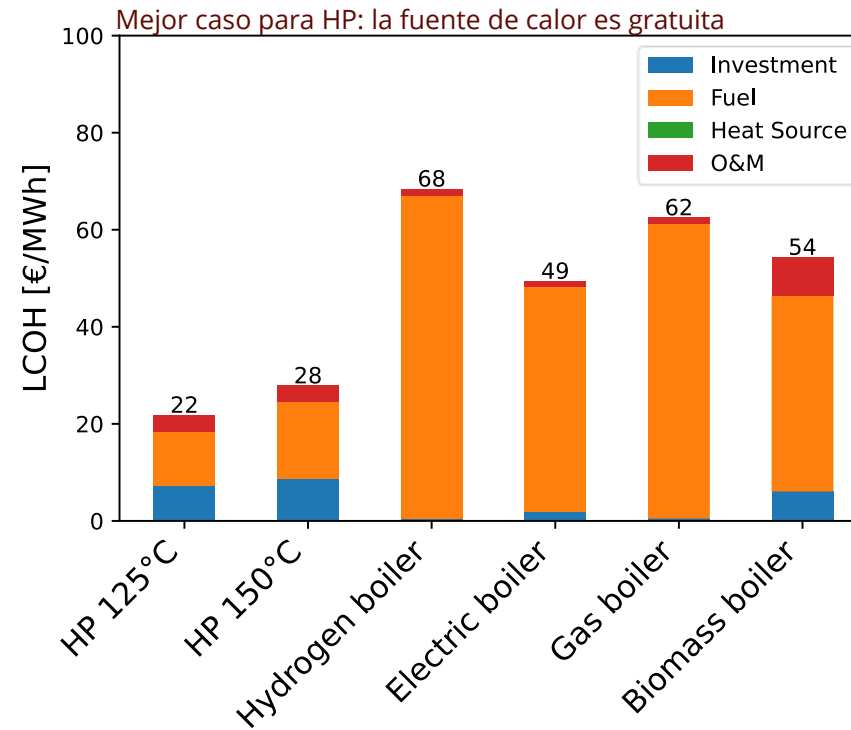
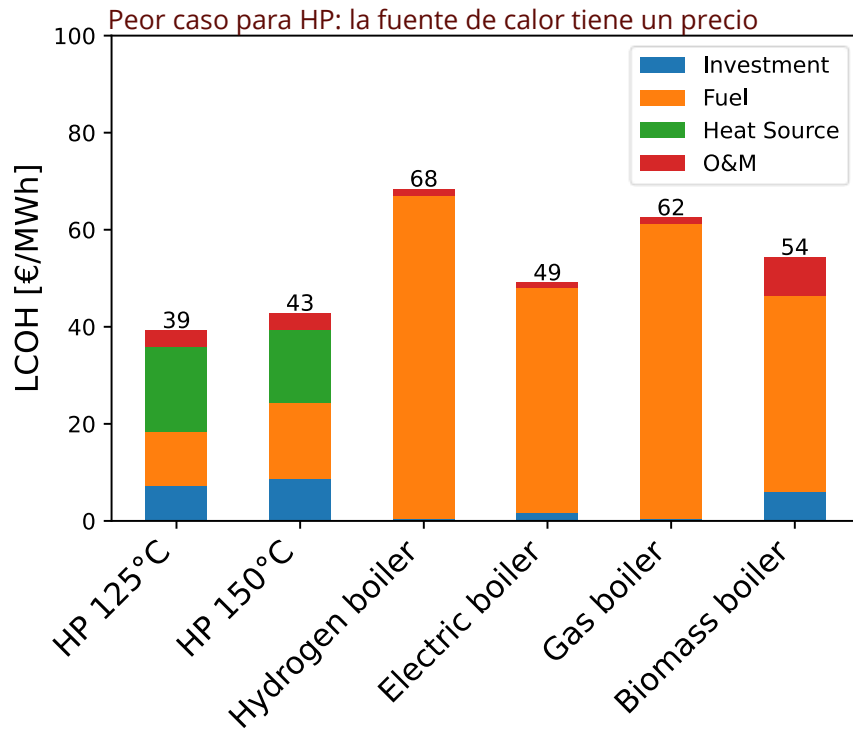


# La perspectiva energética



# Ejemplo: comparación de LCOH

- Comparación de diferentes tecnologías, año 2035
- Precios de inversión basados en los catálogos tecnológicos de la Agencia Danesa de la Energía
- Precios de los combustibles y la electricidad basados en las proyecciones climáticas de la Agencia Danesa de Energía



Escenario de referencia  
Precio hidrógeno:  
2 €/kg,  
Precio electricidad:  
44.2 €/MWh



# Producción de vapor y agua caliente para procesos industriales

Ejemplos con bombas de calor

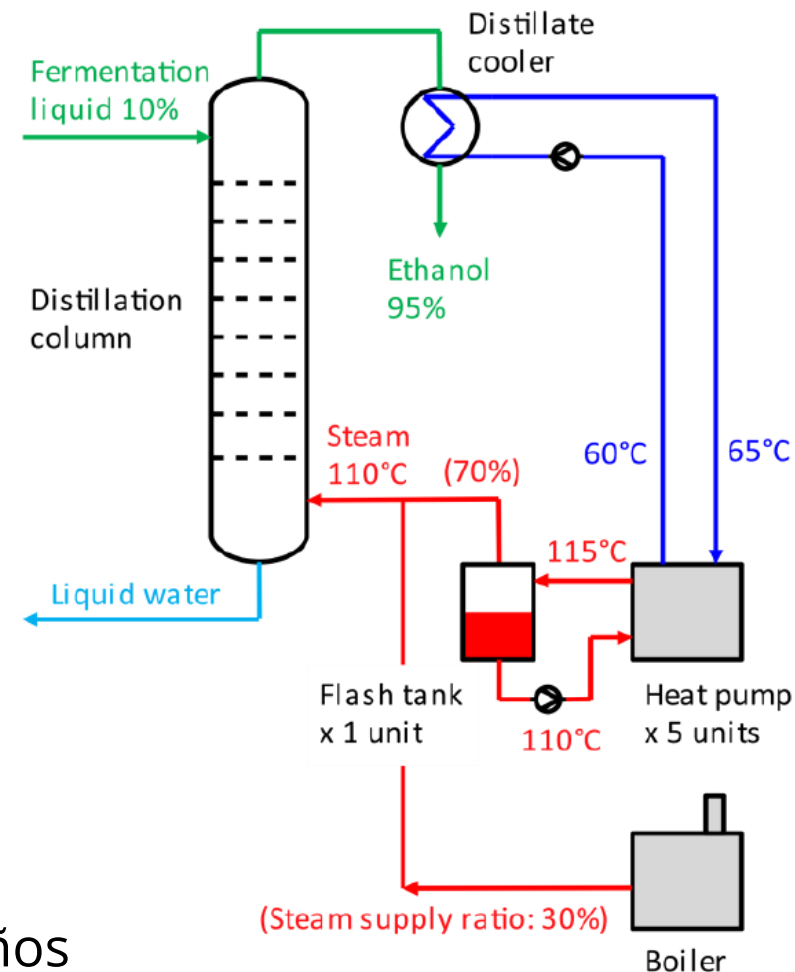




# Suministro de vapor para destilación

No.	Supplier	Industry	Process	Heat source		Heat sink			HP Type	Refrigerant	Compressor	Capacity	COP <sub>H</sub>	
				Unit Operation	T <sub>out</sub> [°C]	T <sub>in</sub> [°C]	Unit Operation	T <sub>out</sub> [°C]						T <sub>in</sub> [°C]
6	Kobelco	refinery	bioethanol distillation	process cooling	60	65	distillation	115	110	CCHP + Flash Tank	R245fa	twin-screw	1,850	3.5

## Planta de bioetanol en Hokkaido, Japón



- **5 unidades de SGH120 de KOBELCO**
- Tanque flash
- 2 t/h de vapor a columna de destilación (70% de la demanda)
- **Caldera de respaldo (30%)**

- **Reducción del costo energético: 54%**
- CO<sub>2</sub> Reducción de emisiones: 51%
- Amortización de la inversión en unos 3 años



# Suministro de vapor para AstraZeneca

No.	Supplier	Industry	Process	Heat source			Heat sink			HP Type	Refrigerant	Compressor	Capacity [kW]	COP <sub>H</sub>
				Unit Operation	T <sub>out</sub> [°C]	T <sub>in</sub> [°C]	Unit Operation	T <sub>out</sub> [°C]	T <sub>in</sub> [°C]					
4	Olvondo	pharmaceutical	recooling	recooling heat	34	36	steam generation	183	178	Stirling HP	R704	piston	2,250	1.7

## Instalaciones de investigación y desarrollo de AstraZeneca en Gotemburgo, Suecia



Instalación:  
2017

- **Motor Stirling**
- **Tecnología de compresores de pistón**
- **Refrigerante: R-704 (Helio)**
- Potencia calorífica por unidad: 500 a 750 kW
- Horas medias de funcionamiento: 6100 h/a
- **Inversión: 3 bombas de calor HighLift, aprox. 1,8 millones de euros (sin integración)**
- Ahorro energético: 9,4 GWh/a
- Ahorro de CO<sub>2</sub>: 600 tCO<sub>2</sub>/a (estimado)



# La primera destilería de cero emisiones en Irlanda

Supplier	Industry	Process	Heat source			Heat sink			HP Type	Refrigerant	Compressor	Heating capacity	COP
Oilon	Distillery	Process hot water	Cooling system return water	35 °C	60 °C	Process hot water	105 °C	115 °C	CCHP	R1223zd(E)	Piston	1 MW	5.0

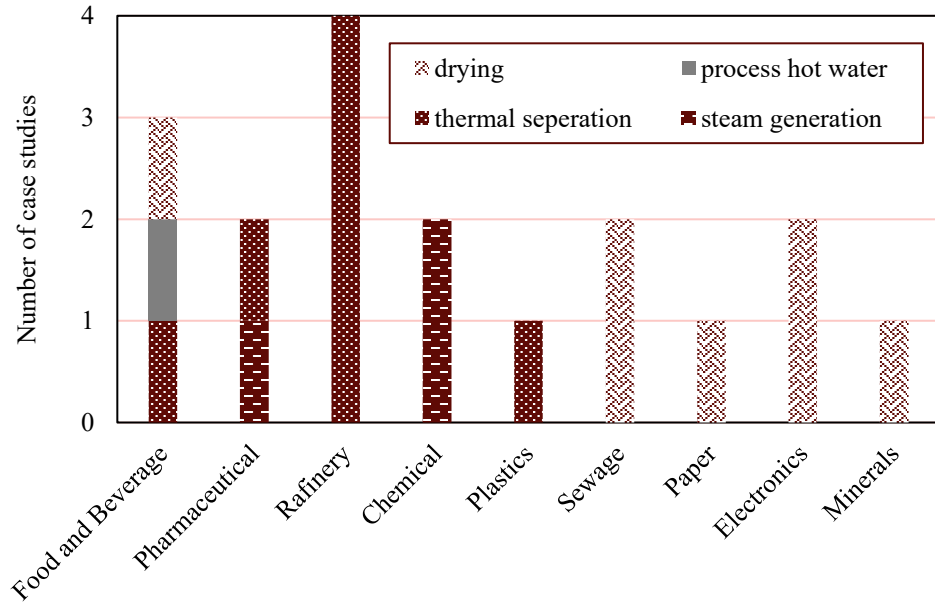
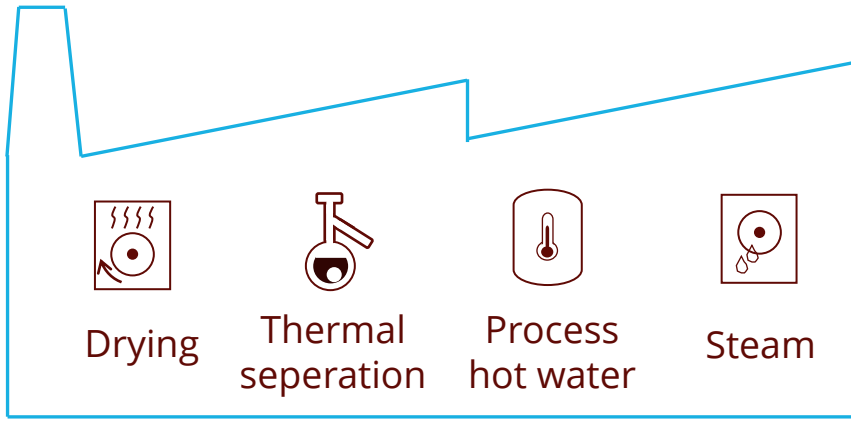
## Calentamiento y enfriamiento de proceso combinado en la destilería Ahascragh, Irlanda



- Temperatura de suministro de diseño: 115 °C (agua caliente a presión)
- CCHP con subenfriadores (agua caliente a 85 °C)
- Horario: > 6300 h/a
- Ahorro de CO2: 736 tCO2/a
- Coste del proyecto llave en mano: 1 Mio. EUR
- Ahorro de costos: 330.000 EUR/a
- Periodo de amortización: < 3 años



# RESUMEN DE CASOS DE DEMOSTRACIÓN



No.	Supplier	Industry	Process	Heat source			Heat sink			HP Type	Refrigerant	Compressor	Capacity [kW]	COP <sub>H</sub>	Op. hours [h/a]	Ref.
				Unit Operation	T <sub>out</sub> [°C]	T <sub>in</sub> [°C]	Unit Operation	T <sub>out</sub> [°C]	T <sub>in</sub> [°C]							
1	n. a.	beverage	alcoholic distillation	product cooling	75	78.3	distillation	140	n. a.	MVR	n. a.	n. a.	350	5.2	n. a.	[1]
2	Mayekawa	electronic	coil drying	electro-painting cooling	25	30	drying	120	20	CCHP	R744	piston	89	3.1	n. a.	[1]
3	AMT/AIT	food	starch drying	waste heat	72	76	drying	138	96	CCHP	R-1336mzz(Z)	screw	374	3.2	4,000	[2]
4	Olvondo	pharmaceutical	recooling	recooling heat	34	36	steam generation	183	178	Stirling HP	R704	piston	2,250	1.7	6,100	[2]
5	Kobelco	sewage	sludge drying	exhaust drying air	93	93	steam generation	160	160	MVR	R718	twin-screw, roots blower	675	2.9	n. a.	[2]
6	Kobelco	refinery	bioethanol distillation	process cooling	60	65	distillation	115	110	CCHP + Flash Tank	R245fa	twin-screw	1,850	3.5	n. a.	[2]
7	MHI	electronic	coil drying	waste heat	50	55	drying	130	70	CCHP	R134a	centrifugal	627	3.0	n. a.	[2]
8	Piller	plastics	thermal separation	exhaust vapour	60	60	steam generation	131	126	MVR	R718	turbo (8 blowers)	10,000	4.4	8,000	[2]
9	AMT/AIT	minerals	brick drying	exhaust drying air	80	84	drying	121	96	CCHP	R-1336mzz(Z)	piston (8 compr.)	296	5	4,000	[2]
10	Spilling	pulp and paper	pulp drying	exhaust vapour	105	133	steam generation	201	n. a.	MVR	R718	piston (4 LT-, 2 HT-cylinders)	11,200	4.2	7,500	[2]
11	Spilling	chemical	chemical	exhaust vapour	105	152	steam generation	211	n. a.	MVR	R718	piston (4 LT-, 2 HT-cylinders)	12,000	5.3	7,500	[2]
12	Rotrex, Epcor	sewage	sludge drying	surplus steam	100	n. a.	steam generation	146	n. a.	MVR	R718	turbo (2 stages)	500	4.5	n. a.	[2]
13	SkaleUP	dairy	process hot water (re)cooling		12, 0	20, 5	process hot water	115	95	CCHP	LT-C: R290, HT-C: R600	piston	300	2.5, 2.3	6,500	[2]
14	QPinch	chemical	steam production	exhaust vapour	120 - 145		steam generation	140 - 185		heat transformer	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	heat-driven	2,900	0.45	2,500	[2]
15	Huayuan Taimeng	refinery	ethyl-benzene	waste heat	95	120	steam generation	152	n. a.	heat transformer	LiBr-H <sub>2</sub> O	heat-driven	7,553	0.48	n. a.	[2]
16	Shanghai Nuotong	beverage	alcoholic distillation	air	n. a.	18.9	steam generation	120	90	CCHP + Flash Tank + MVR	LT-C:R410a, HT-C:R245fa	screw	180	1.85	n. a.	[2]
17	Huayuan Taimeng	refinery	alkyl-benzene	waste heat	86	127	steam generation	150	n. a.	heat transformer	LiBr-H <sub>2</sub> O	heat-driven	5,100	0.48	n. a.	[2]
18	Shandong Zhangqiu Blower	refinery	ethanol distillation	exhaust vapour	76	n. a.	steam generation	116	n. a.	MVR	R718	centrifugal	n. a.	7.68	7,000	[2]

# Conclusiones

- Las bombas de calor de alta temperatura tienen un gran potencial
- Se espera una rápida adopción de la tecnología para 2025 hacia 2030, ¿tal vez antes?
- Existe una variedad de tecnologías y fabricantes necesarios para ofrecer soluciones competitivas
- La integración de procesos y las estrategias de descarbonización son clave para un rendimiento óptimo



# Gracias por su atención!

**José Joaquín Aguilera Prado**

Consultor

[jjpr@teknologisk.dk](mailto:jjpr@teknologisk.dk)

+45 7220 2903