



**DANISH
TECHNOLOGICAL
INSTITUTE**

Descarbonización de procesos industriales mediante bombas de calor

Junio 2024

José Joaquín Aguilera Prado
Consultor, PhD
jjpr@teknologisk.dk

Benjamin Zühlsdorf
Director de innovación, PhD
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



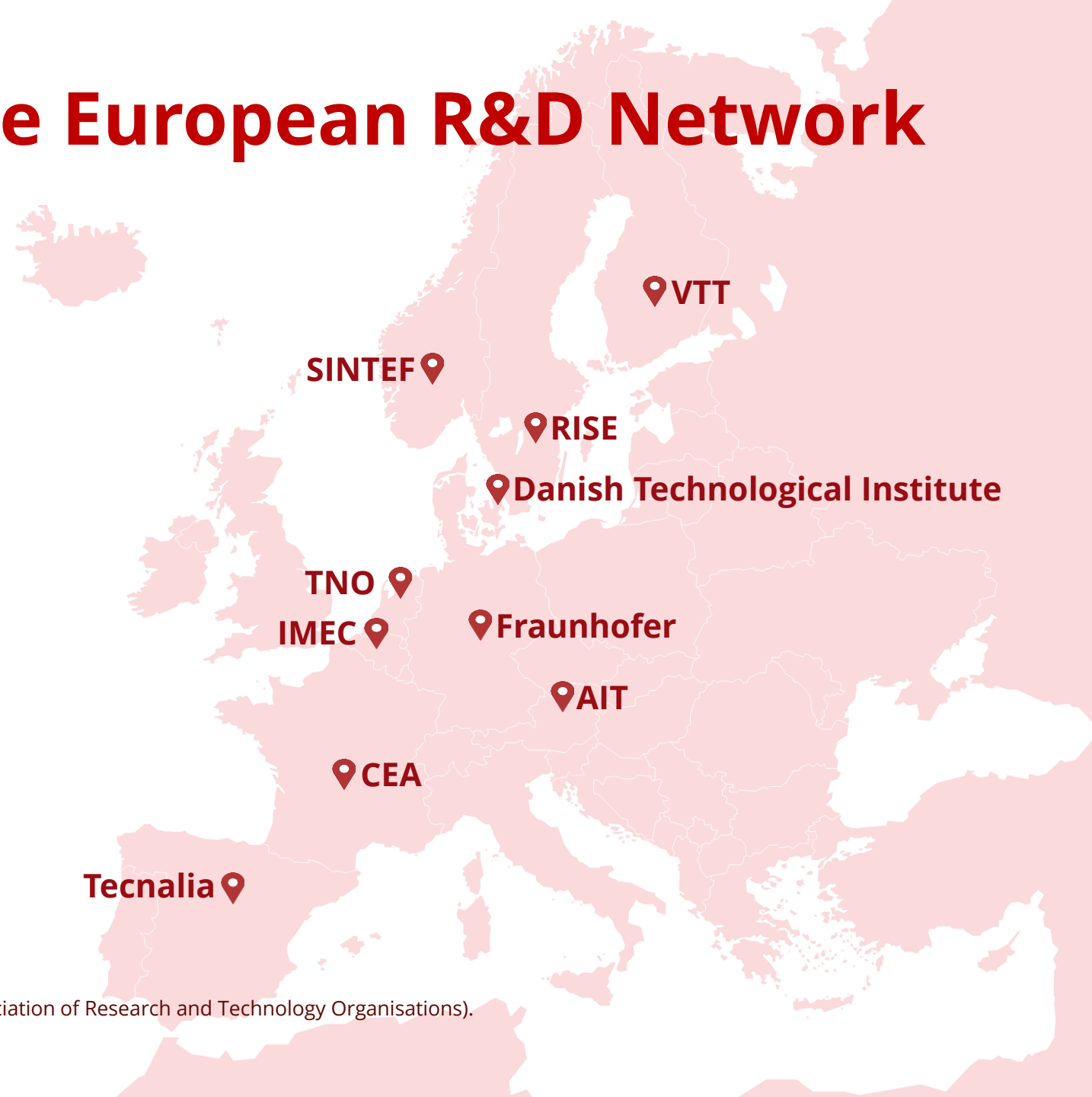
Skejby



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



*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



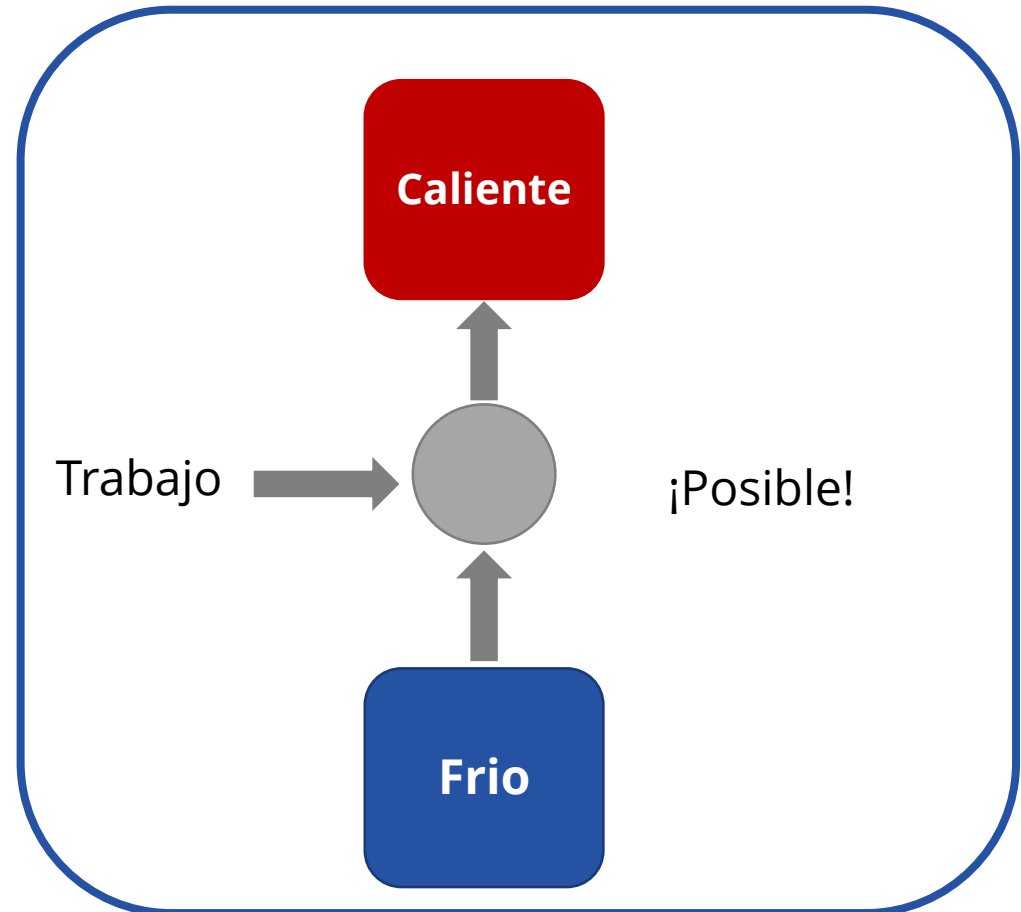
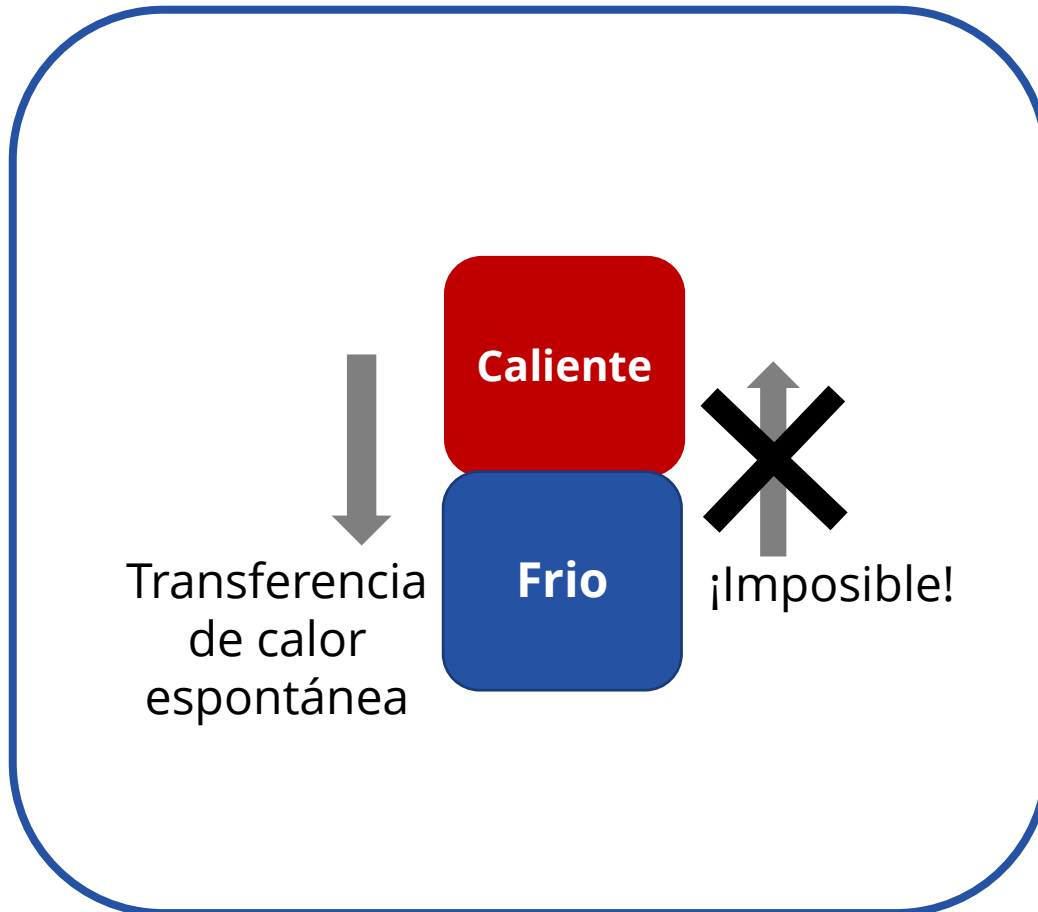
Bombas de calor de alta temperatura

Bombas de calor industriales

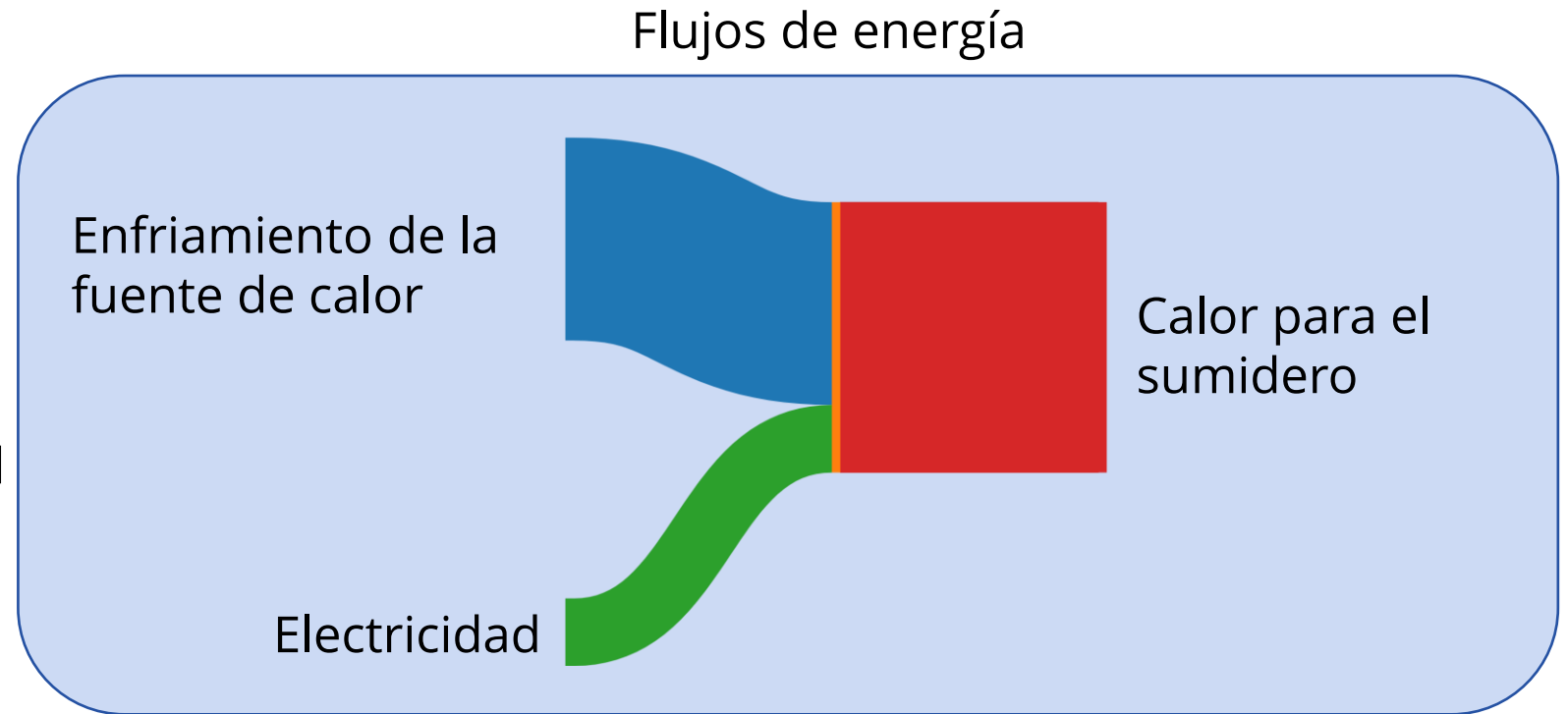
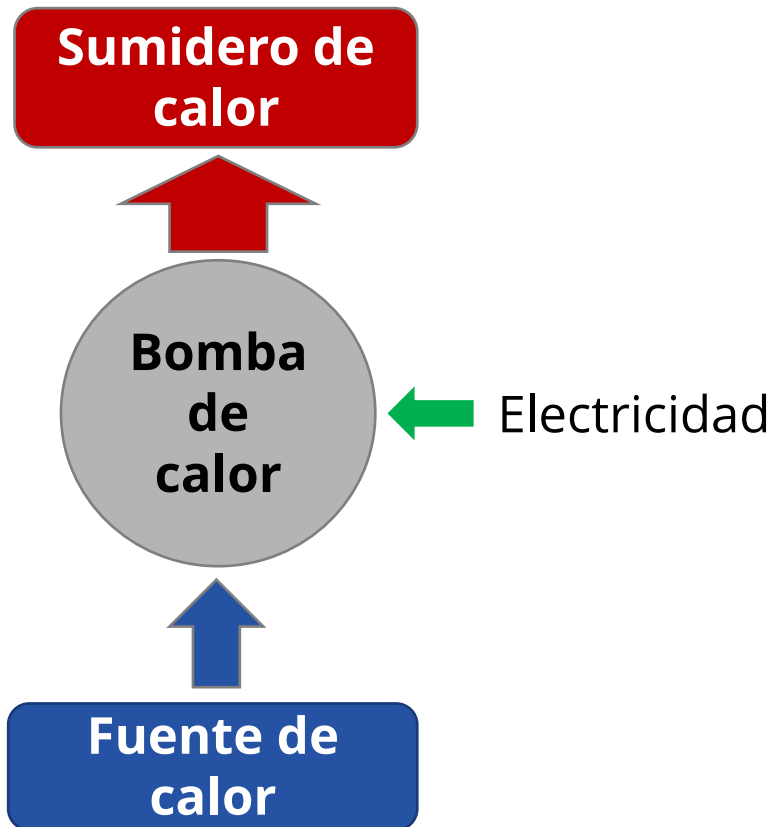
Motivación y tendencias globales



Transporte de calor



Bomba de calor eléctrica

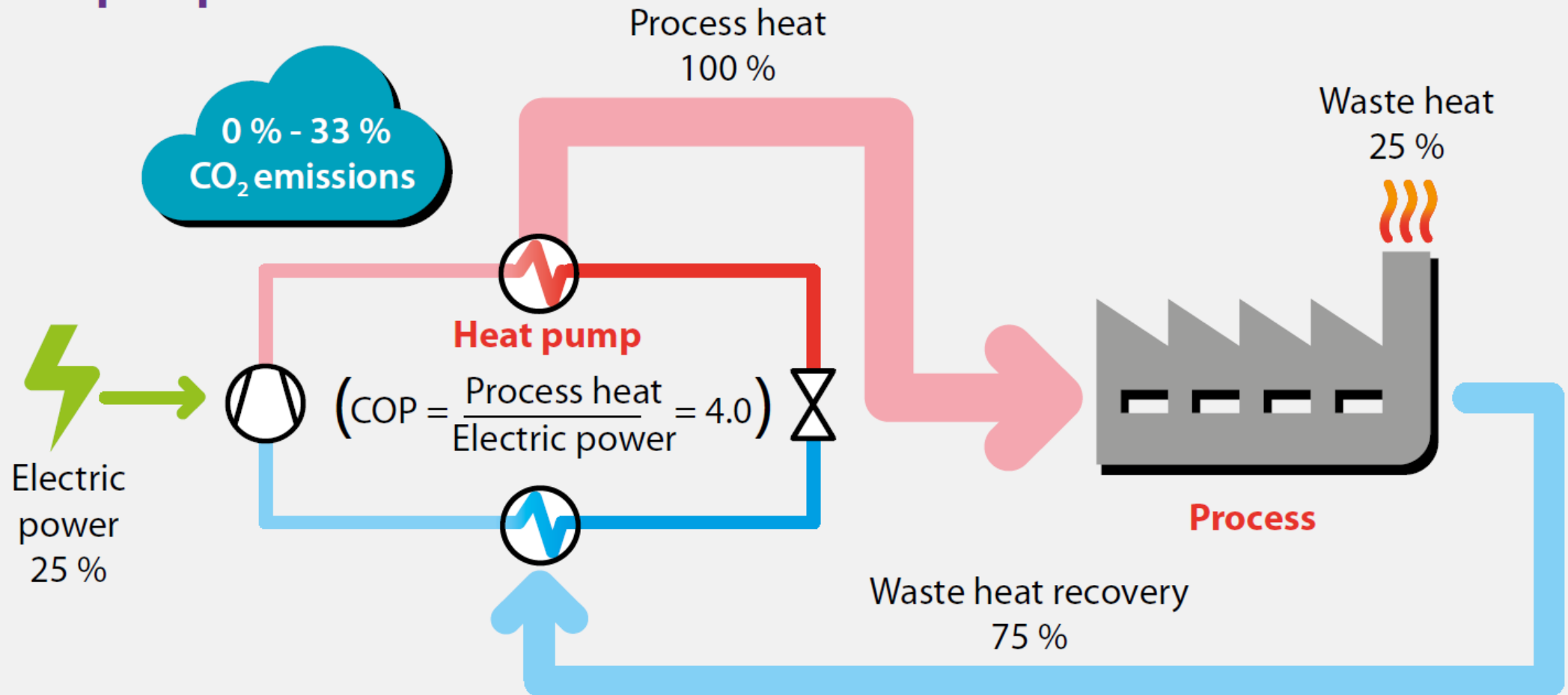


☞ Es imprescindible disponer de una fuente de calor

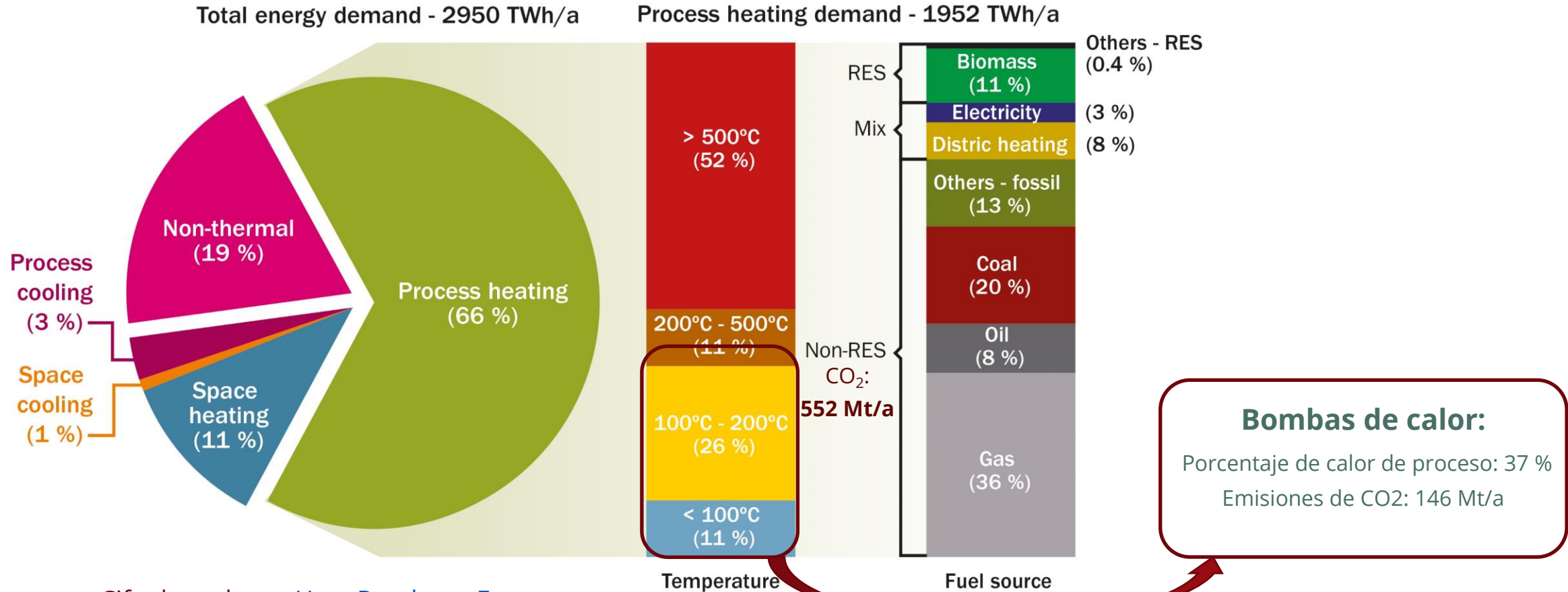


Bombas de calor industriales - Principio de funcionamiento

Heat pump driven



Calentamiento de procesos en la UE 28

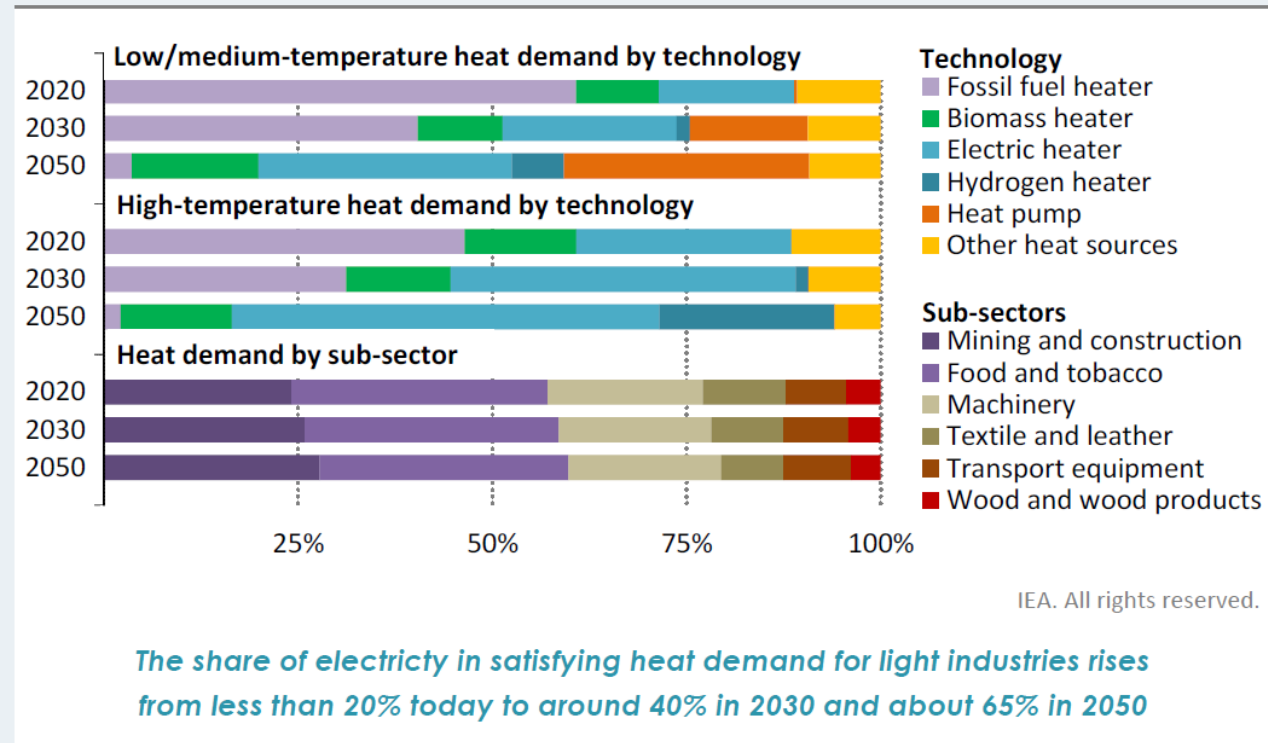


Cifra basada en: [Heat Roadmap Europe](#)



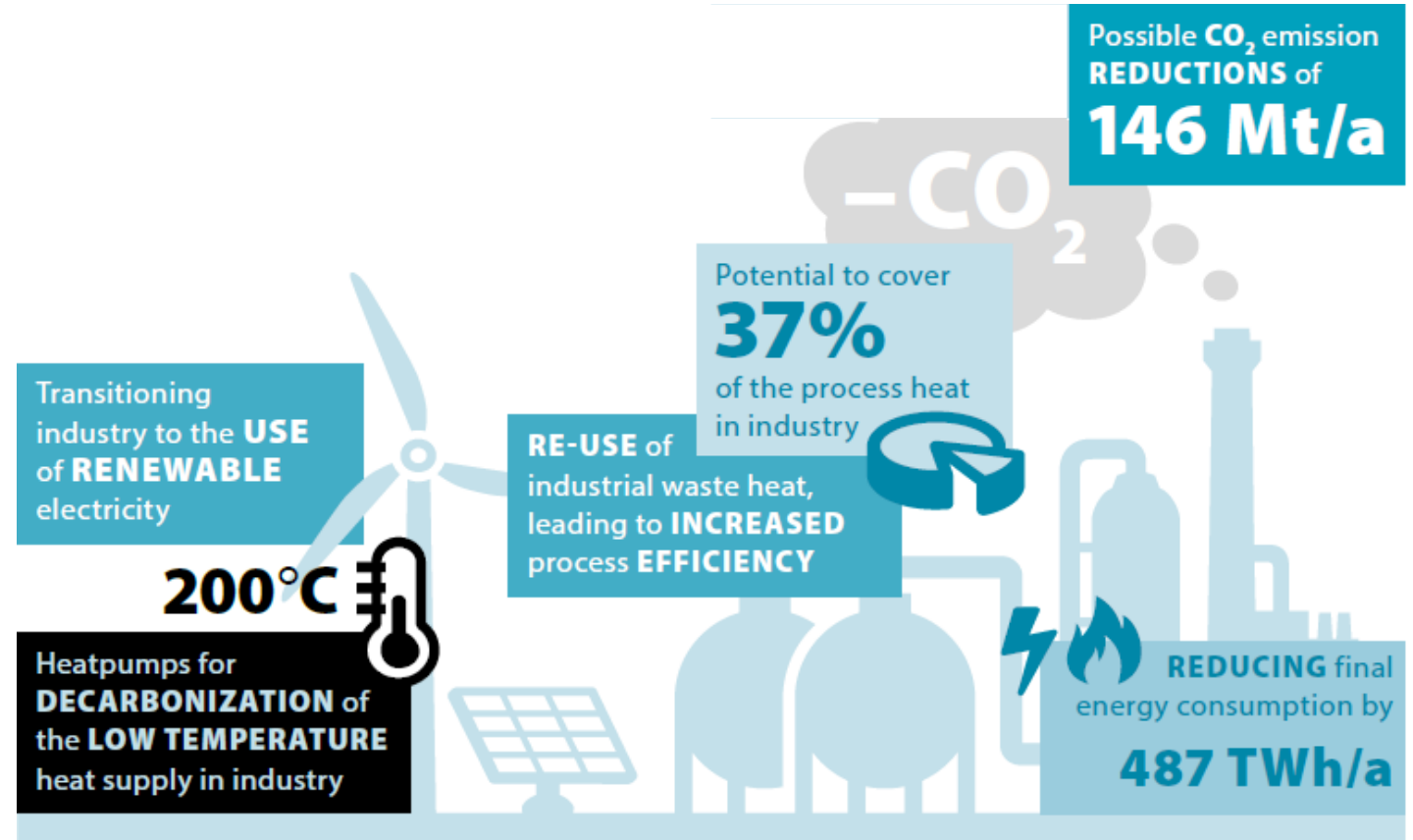
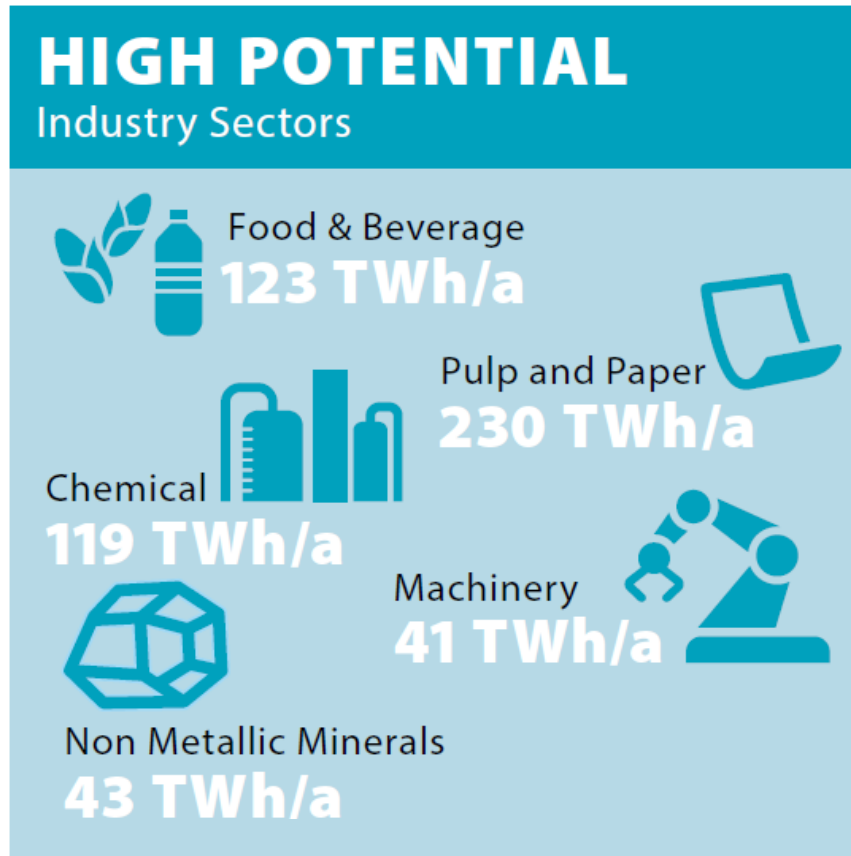
La electrificación y la eficiencia energética son claves para alcanzar objetivos de sostenibilidad

Figure 3.20 ▶ Share of heating technology by temperature level in light industries in the NZE



- La IEA estima que el gas natural se eliminará gradualmente mediante bombas de calor y calentadores eléctricos, especialmente para temperaturas de hasta 200 °C a 250 °C
- La industria danesa debería reducir las emisiones en 1,9 millones de toneladas de CO₂ al año. El **25 %** se obtendrá mediante "**Electrificación y bombas de calor**", implementadas principalmente entre 2025 y 2030([Klimarådet](#))
- La UE debate el fin del uso de combustibles fósiles para procesos <200 °C de aquí a 2027 en el [RED III, art. 21](#)

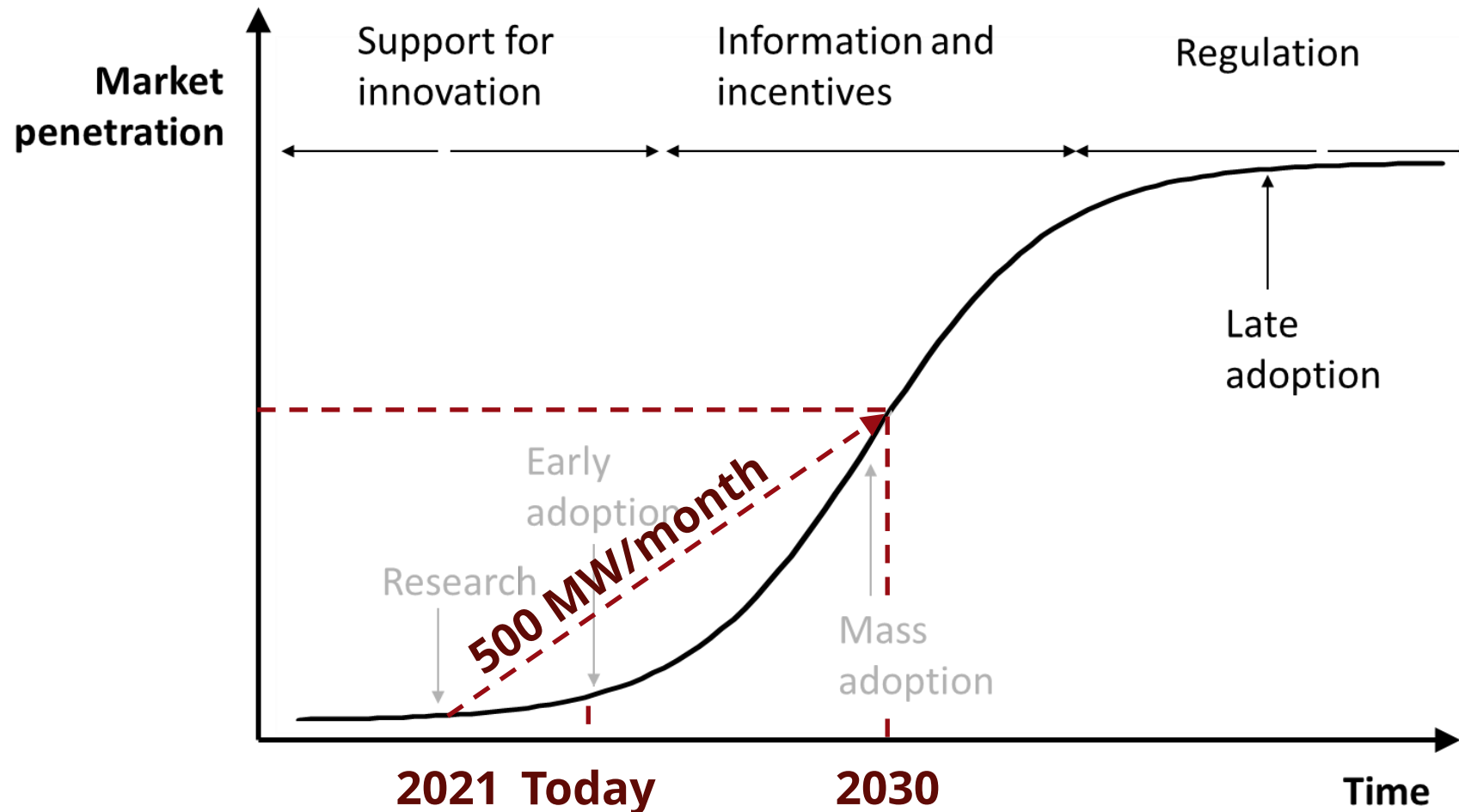
Potencial de aplicación de las bombas de calor de alta temperatura



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



De la adopción temprana a la adopción masiva



El camino hacia la implementación



Conciencia tecnológica

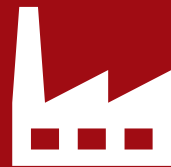
- Compromiso con la sostenibilidad y la descarbonización
- Potencialidades, limitaciones y características de la tecnología
- ¿Cómo explotar los potenciales?
- Variedad de partes interesadas involucradas

Desarrollo Tecnológico



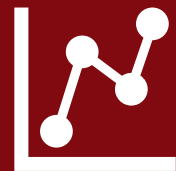
- Desarrollo de componentes y sistemas
- Pruebas y demostraciones
- Variedad de tecnologías
- Esfuerzo colaborativo

Adopción del usuario final

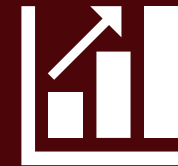


- Ciclo de vida de la adopción de tecnología
- Adaptación de industrias para el suministro de calor basado en BC
- Estrategias de descarbonización

Condiciones de contorno



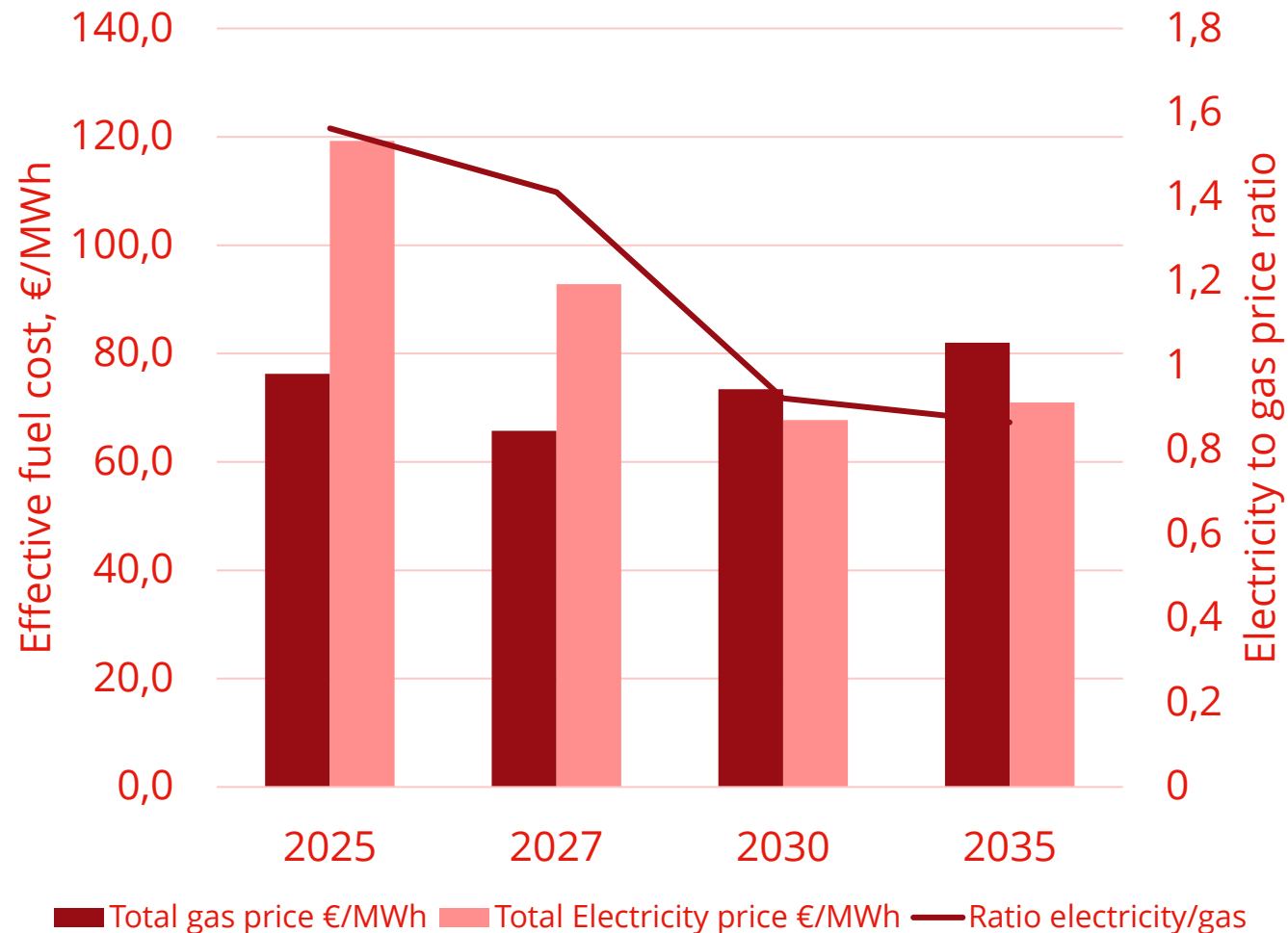
- Costo de los combustibles y GEI
- Marcos normativos
- Subvenciones e incentivos
- Evolución del mercado



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



Revisión de las tecnologías de bombas de calor de alta temperatura- 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 hi

Rank®

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 _{source,in} [°C]	T _{source,out} [°C]	T _{sink,out} [°C]	COP _{heating} [-]
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 _{source,in} [°C]	T _{source,out} [°C]	T _{sink,out} [°C]	T _{sink,out} [°C]	COP _{heating} [-]
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 m² / 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)

DANISH TECHNOLOGICAL INSTITUTE

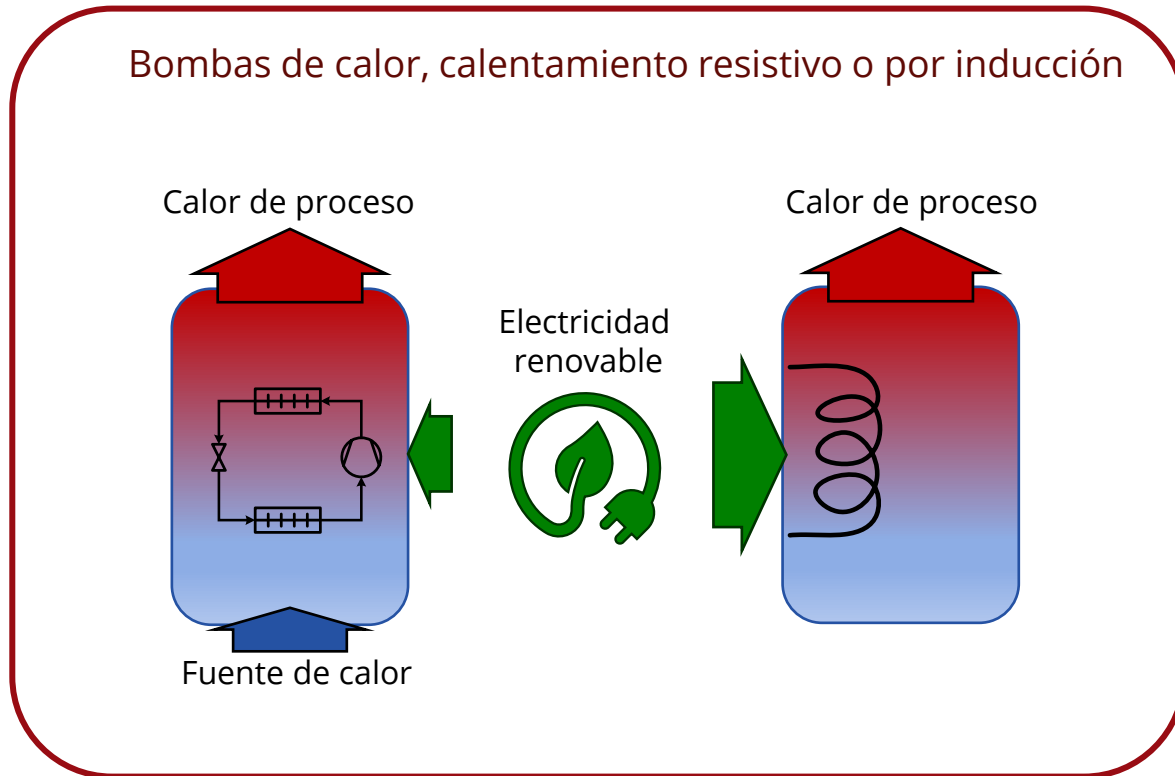


<https://heatpumpingtechnologies.org/annex58/task1/>

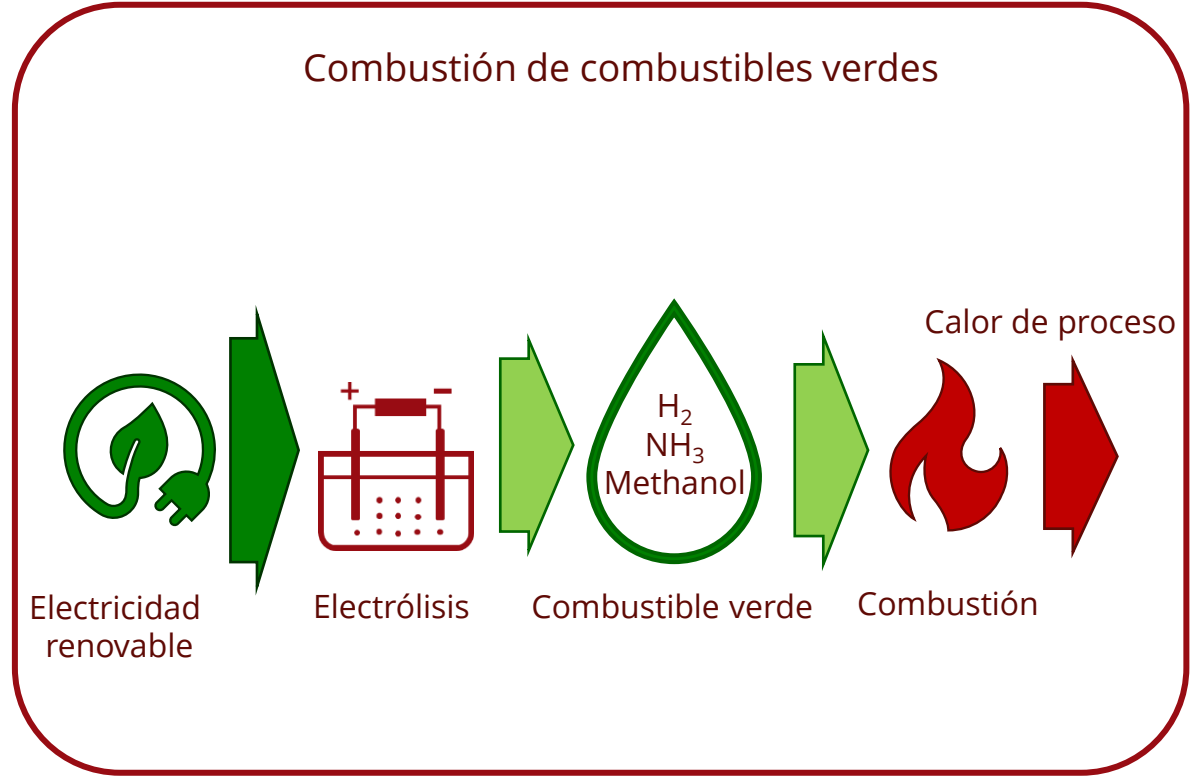
Bombas de calor v/s otras tecnologías de calentamiento



Electrificación directa vs. indirecta

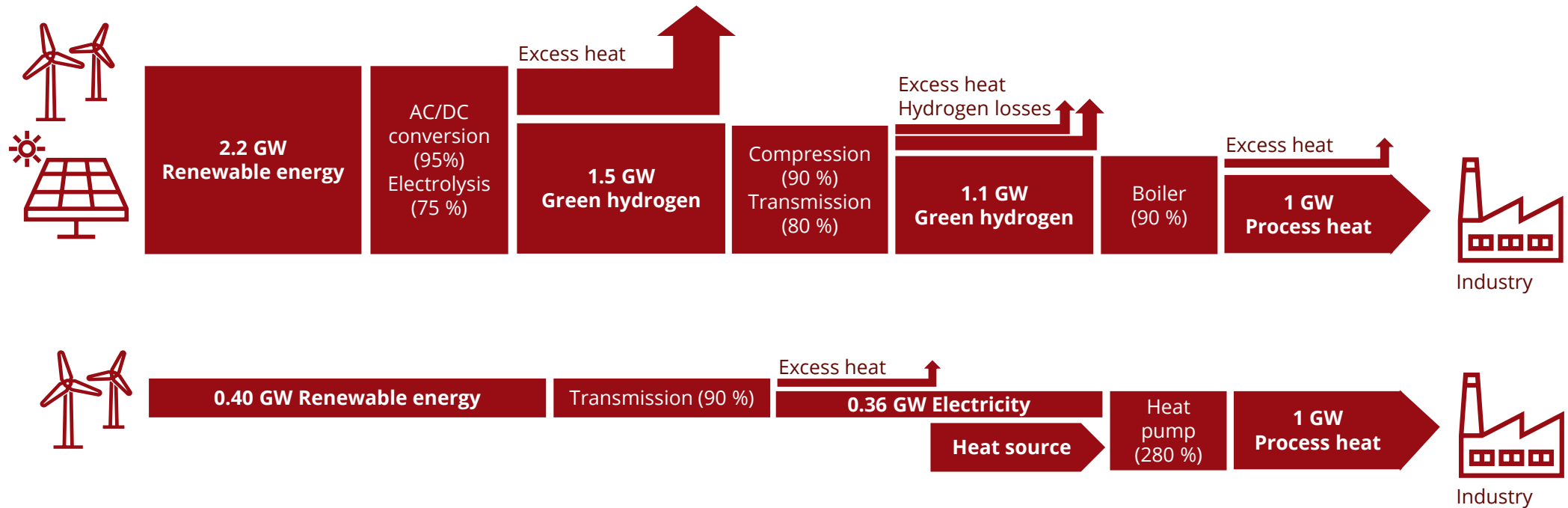


Electrificación directa



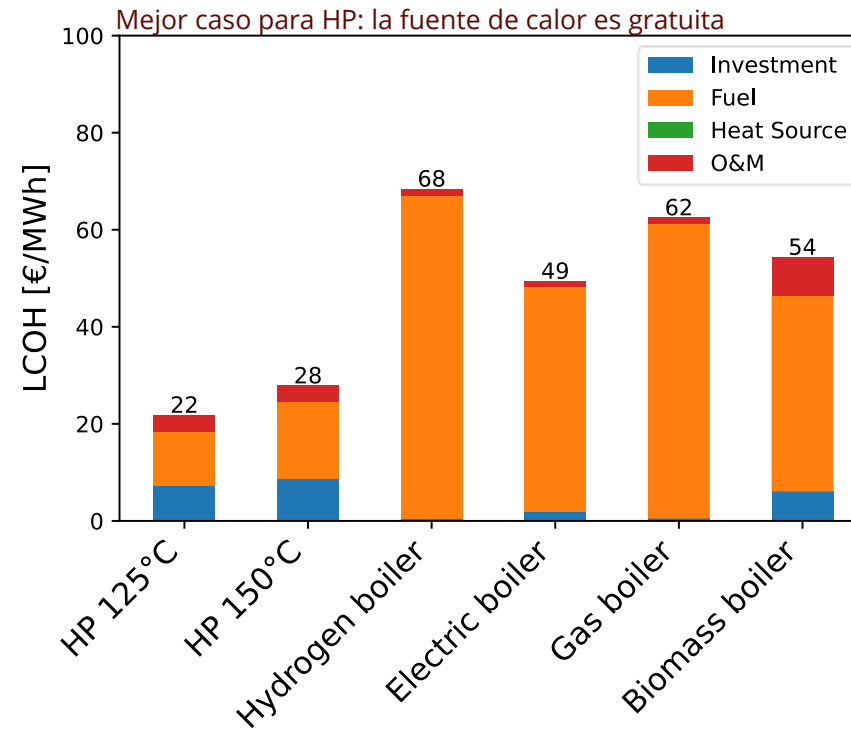
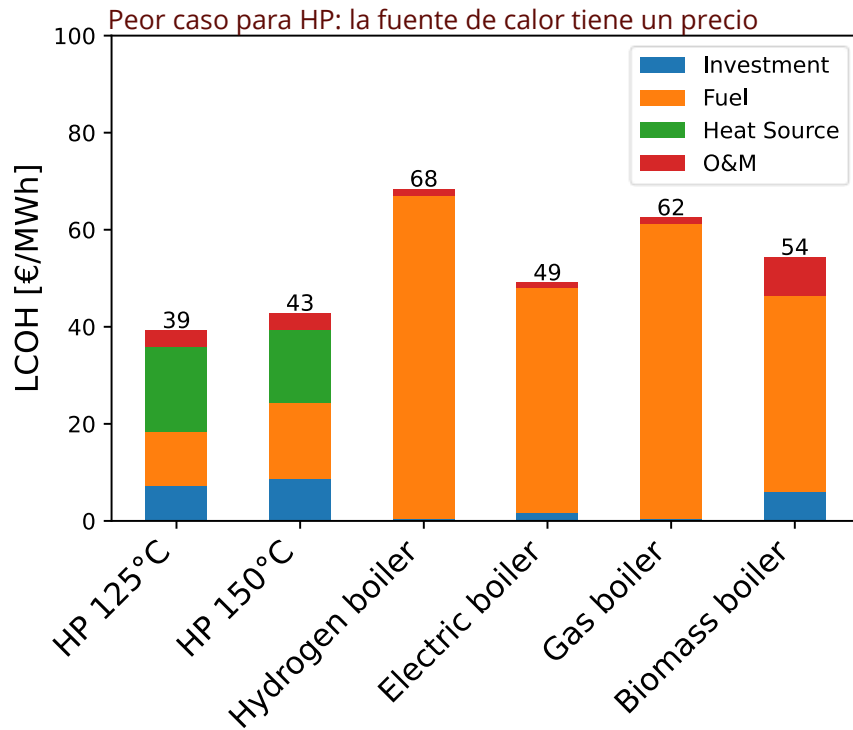
Electrificación indirecta

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



Marcos de financiamiento y políticas

Enfoque en eficiencia energética
y electrificación



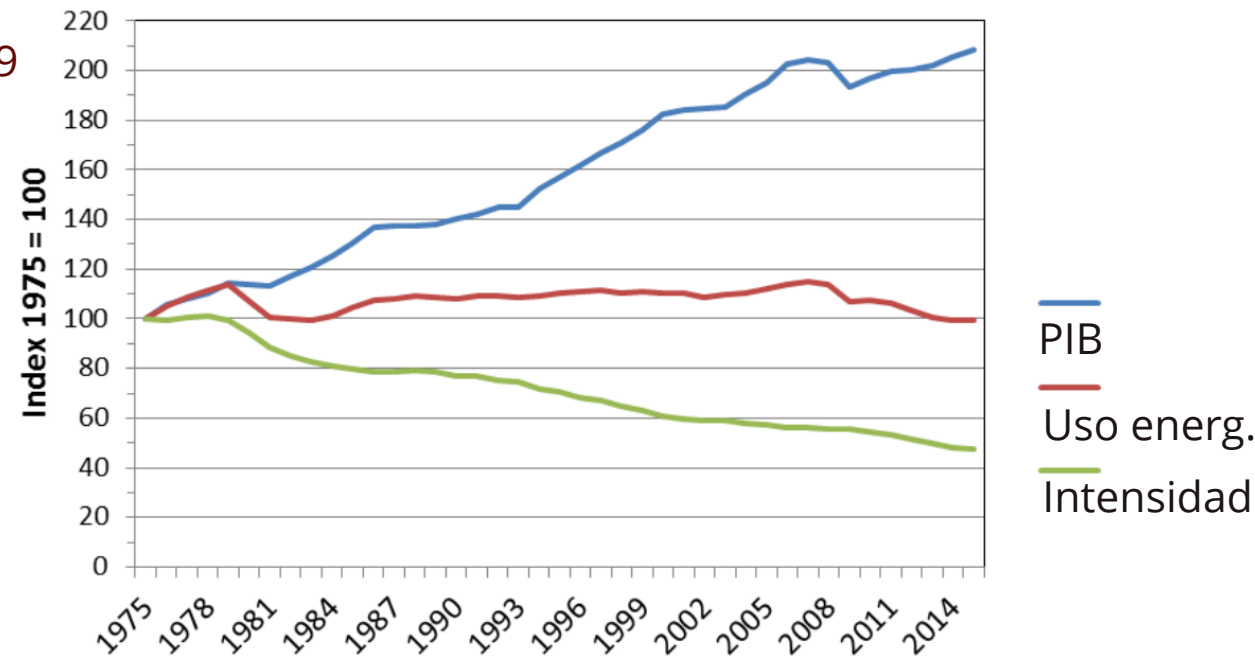
La base de la política energética y la eficiencia energética en Dinamarca

- La primera crisis del petróleo en 1973 fue el comienzo.
 - El foco principal fue la reducción de la dependencia del petróleo.
- La segunda crisis del petróleo encareció mucho el petróleo.
 - La política energética se centró en reducir costos
- El plan “Energi 2000” fijó el primer objetivo danés de reducción de CO₂ en 1990
 - Reducción del 20 % en 2005 respecto a 1990



Crecimiento verde en Dinamarca

- La intensidad energética se redujo un 60 % de 1975 a 2019
 - Fuerte efecto de la segunda crisis del petróleo.
 - Pequeñas mejoras de 1983 a 1993.
 - Mejoras estables desde 1993.
- En 1993:
 - Paquete de CO₂ introducido
 - Primeras obligaciones de ahorro energético para el sector eléctrico



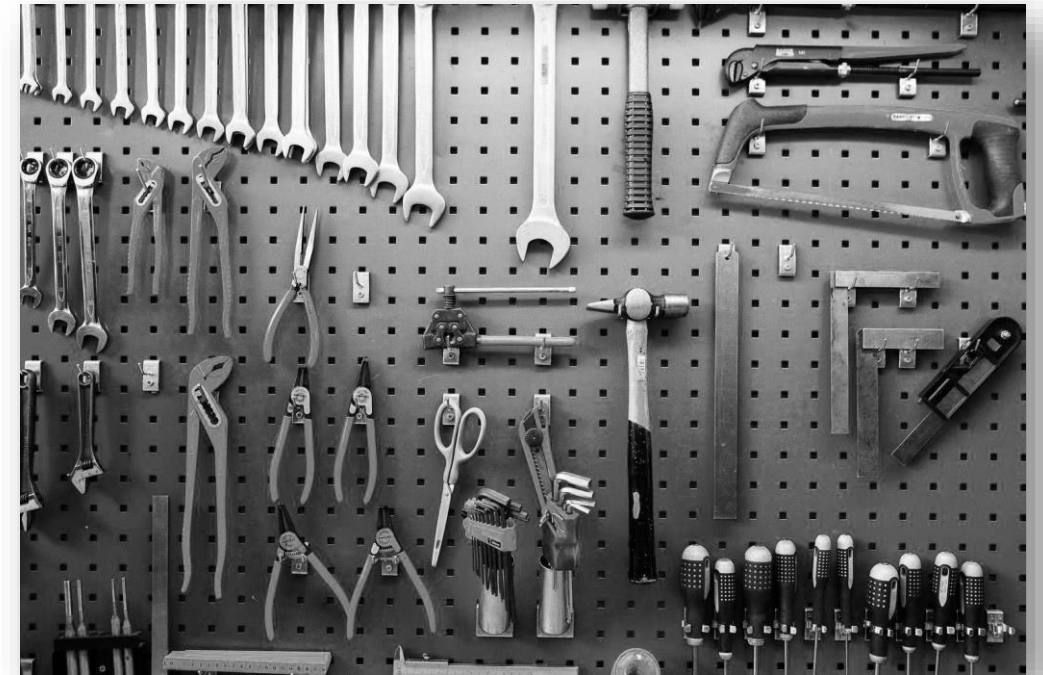
Elementos clave de la política energética danesa a lo largo del tiempo



Instrumentos para la eficiencia energética

El sistema administrativo no cuenta con un único instrumento:

- Impuestos sobre energía y CO₂
- Obligaciones de eficiencia energética
- Investigación y desarrollo
- Acuerdos voluntarios
- Subvenciones y ayudas
- Auditorías energéticas obligatorias (UE)
- Esquema de consultor energético calificado
- Acceso a la información
- Grupos “peer to peer”



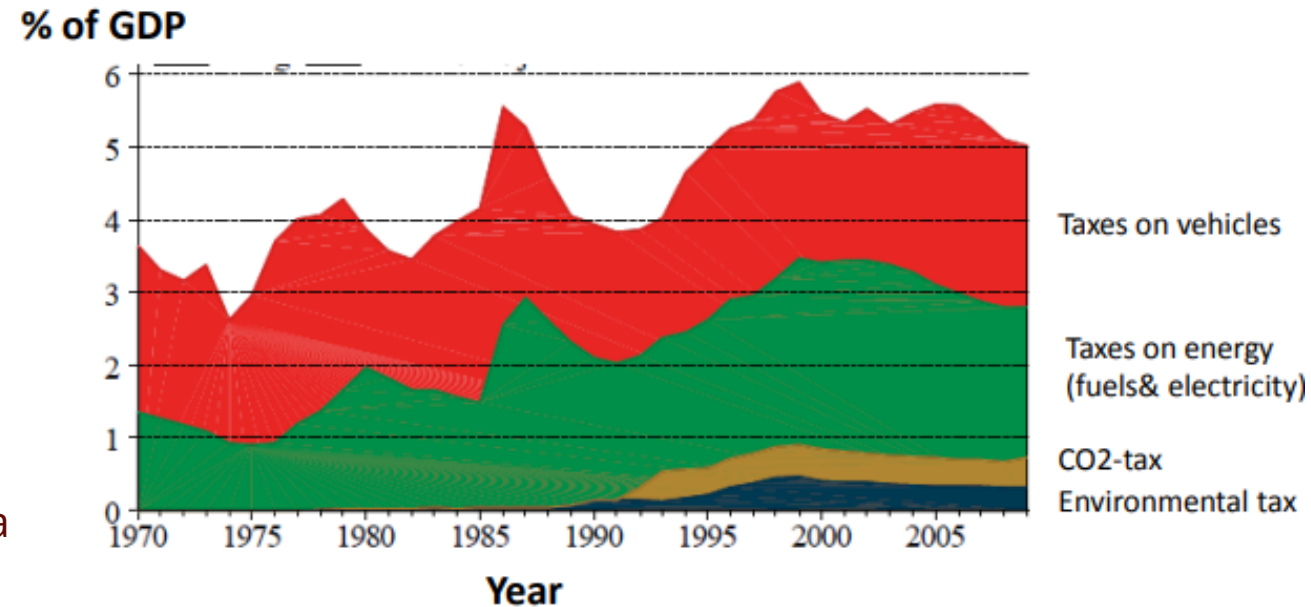
Primeras acciones hacia la eficiencia energética

Impuestos sobre la energía

- Fuerte aumento de los impuestos en 1985
- No hay impuestos sobre la energía utilizada en la industria antes de 1993.

Impuesto al CO₂ (CO₂ packet)

- Impuesto sobre el CO₂ relacionado con el consumo energético de las industrias
- Régimen de subvenciones para invertir en eficiencia energética
- El resto de los ingresos del impuesto se utilizó para reducir los costos laborales.



Obligaciones de eficiencia energética

- Obligaciones para las empresas de energía
- Objetivo de ahorro anual
 - Enfoque en la realización
 - Se ha aumentado el objetivo
 - Basado en mercado
 - Ayuda a la implementación
- Financiado por las tarifas
- Fuerte medida rentable
- Un nuevo sistema de licitación pública se hará cargo



Acuerdos voluntarios en Dinamarca

¿Qué es el esquema de acuerdo voluntario?

- Un instrumento estatal para estimular la eficiencia energética industrial y el ahorro energético.
- Actualmente existe el mismo instrumento general en Dinamarca, pero a través de varias evaluaciones se han realizado cambios en el alcance y el objetivo.

¿ Como funciona?

- Las empresas participantes obtienen un reembolso del impuesto sobre la energía a cambio de firmar un acuerdo vinculante para implementar un sistema de gestión de energía y realizar ahorros de energía.
- La participación de las empresas elegibles es voluntaria.
- La DEA (Danish Energy Agency) es responsable de administrar el esquema de acuerdo voluntario.



Acuerdos voluntarios en Dinamarca

- La empresa entra en un acuerdo vinculante de 3 años con la DEA:
 - Implementar y mantener un sistema de gestión de energía certificado.
 - Implementar proyectos de eficiencia energética con un tiempo de recuperación inferior a 5 años.
 - Realizar investigaciones especiales (análisis de ahorros en áreas difíciles, probar nuevas tecnologías y soluciones, etc...)
 - Reportar a la DEA
- La empresa obtiene la devolución del impuesto sobre la electricidad
- Sanciones: Reclamación de devolución si no se cumplen los requisitos

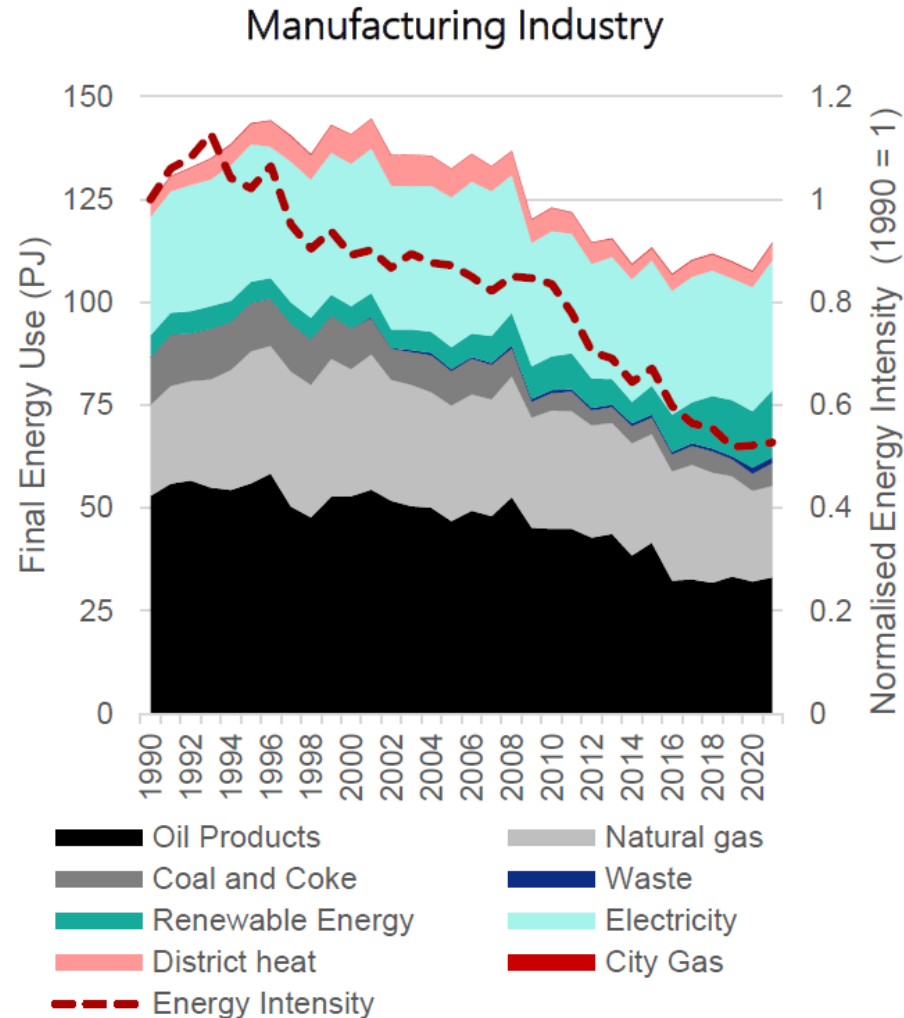


Acuerdos voluntarios en Dinamarca

- En el periodo 2015 a 2018:
 - 110 empresas
 - 850 proyectos de eficiencia energética
 - 334,000 MWh de ahorro de energía al año
- Ahorro de 62,000 toneladas de CO2 al año
- Esquema exitoso; en promedio, las empresas han ahorrado un 1.5 % anual gracias al plan.
- Esquema rentable y que funcione bien para promover la eficiencia energética.
- Fácil de administrar.
- Se deben promover entre las empresas nuevos enfoques, hallazgos y directrices sobre tecnologías.



Desarrollo del uso de energía en la industria



Industrias

- Eficiencia energética
- Cogeneración y cambio de combustible a biomasa y biogás
- Bombas de calor industriales
- Simbiosis industrial

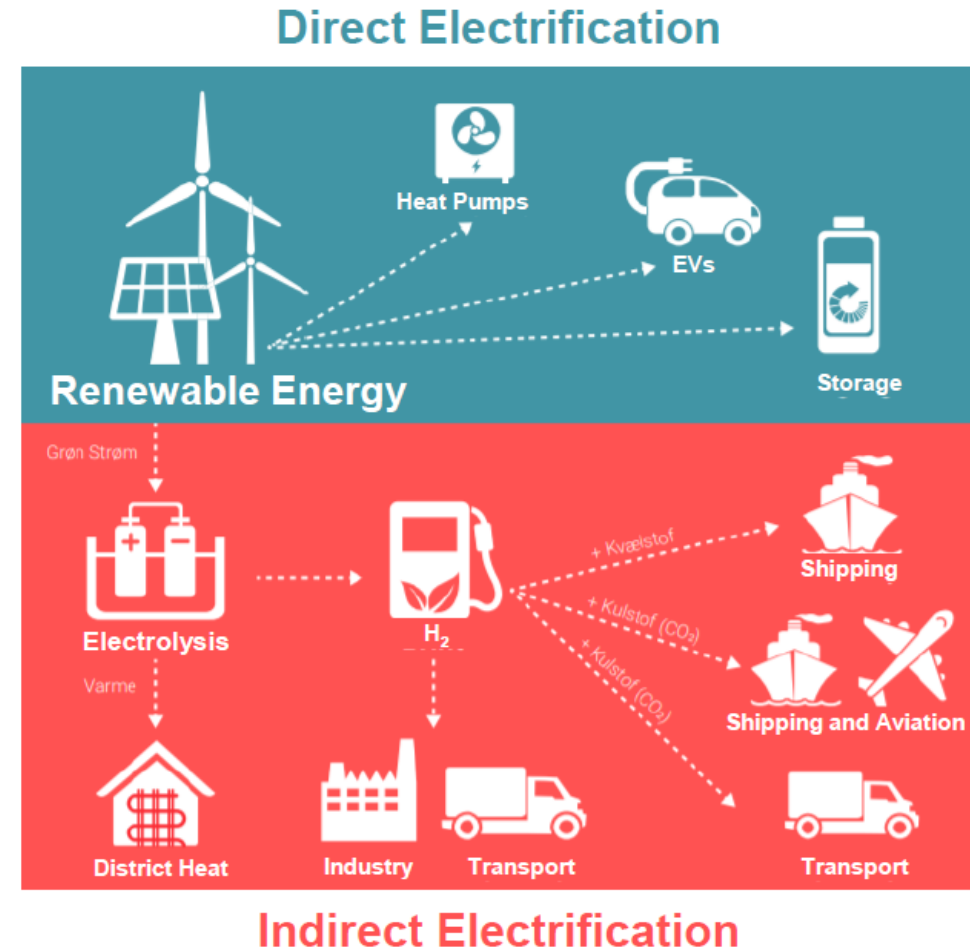
Gobierno

- Impuestos a energía y emisiones
- Políticas “Carrot and Stick”
- Información y guía
- Apoyo para proyectos de investigación y desarrollo



Alcanzando cero emisiones netas mediante la electrificación

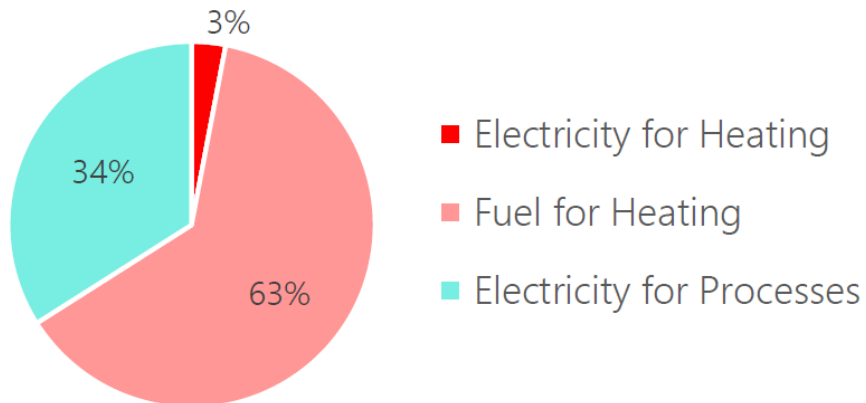
- La electrificación directa es más eficiente



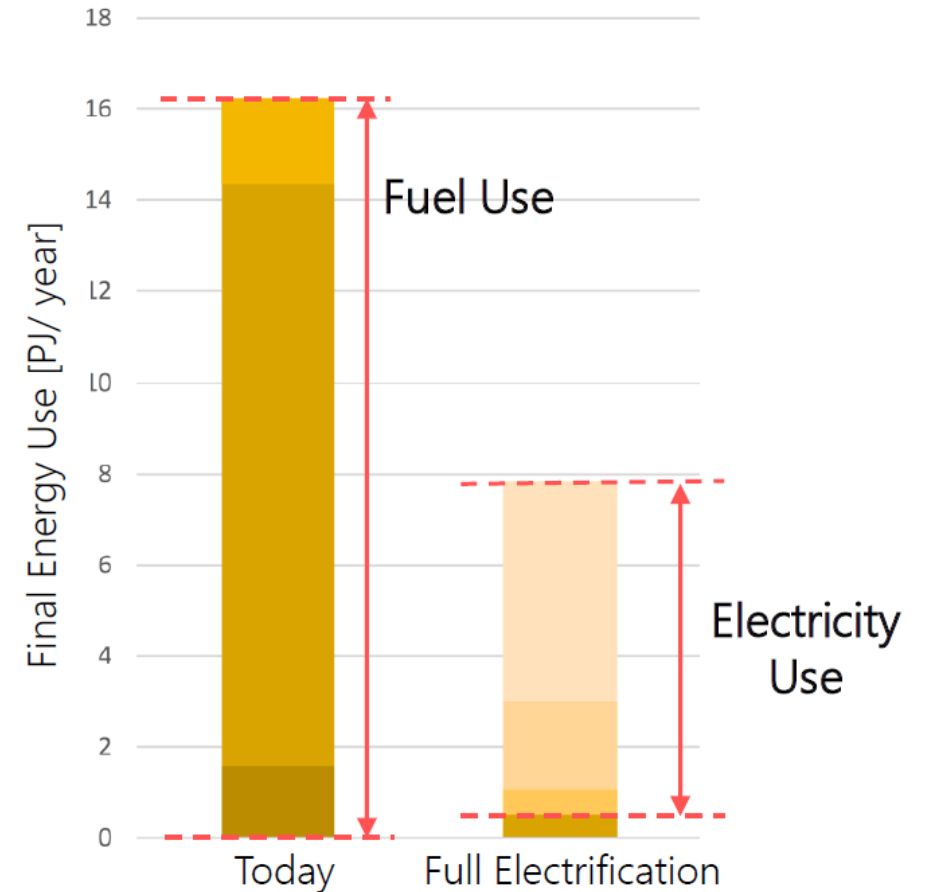
Alcanzando cero emisiones netas mediante la electrificación

- La electrificación directa es más eficiente
- Muchos sectores con un alto potencial de electrificación directa

Uso de energía en la industria de alimentos y bebidas



Potencial de electrificación en la industria de alimentos y bebidas



Alcanzando cero emisiones netas mediante la electrificación

- La electrificación directa es más eficiente
 - Muchos sectores con un alto potencial de electrificación directa
 - Tecnologías para la electrificación directa están disponibles y demostradas
 - La electrificación trae nuevas oportunidades para el soporte de la red
- Bombas de calor industriales (< 100 °C) y recompresión mecánica de vapor (MVR)
 - Bombas de calor de alta temperatura (< 150 °C)
 - Almacenamiento de energía térmica
 - Activadores alternativos (Luz UV, microondas...)



Alcanzando cero emisiones netas mediante la electrificación

- La electrificación directa es más eficiente
- Muchos sectores con un alto potencial de electrificación directa
- Tecnologías para la electrificación directa están disponibles y demostradas
- La electrificación trae nuevas oportunidades para el soporte de la red
- **Apoyo normativo para la electrificación directa**



- Reducción de la brecha de precios entre el gas natural y la electricidad “verde”



- Iniciativas y acuerdos de largo plazo



- Difusión de los proyectos financiados



Gracias por su atención!

José Joaquín Aguilera Prado

Consultor

jjpr@teknologisk.dk

+45 7220 2903