



**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.

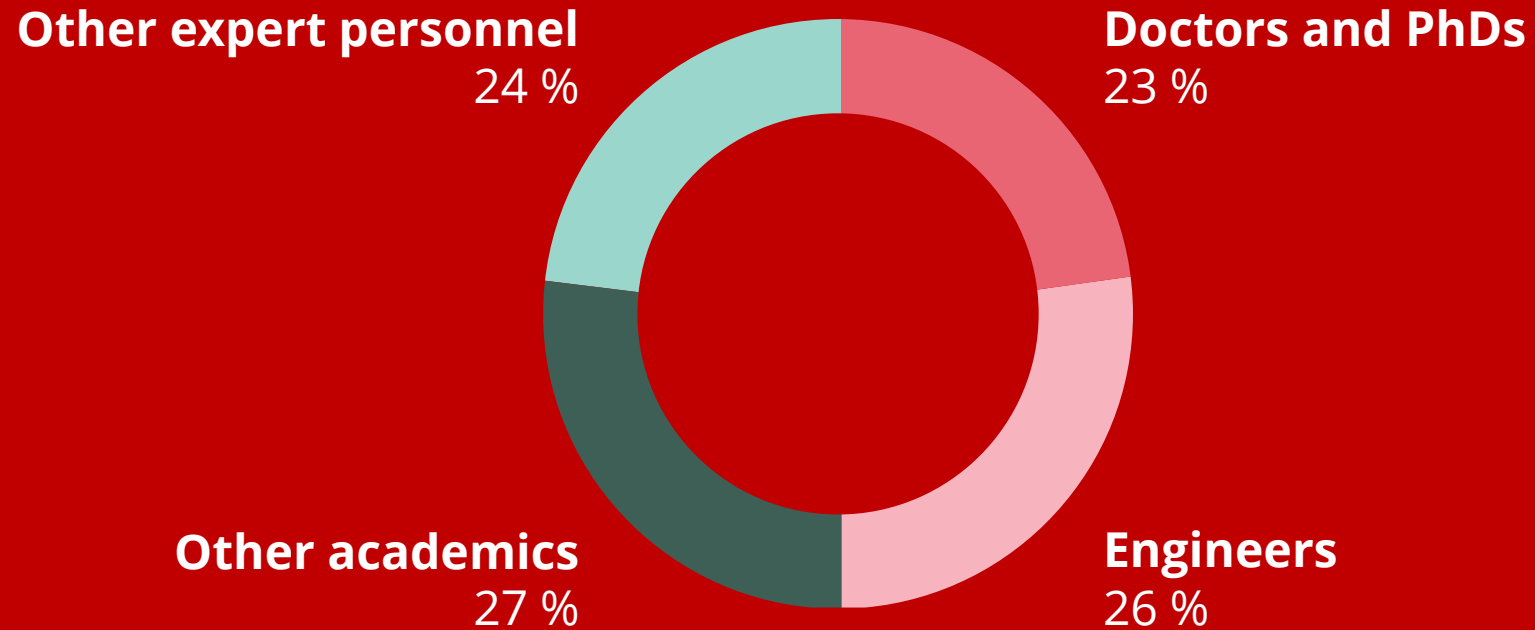


## Integration

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



# WORLD-CLASS SPECIALIZED EMPLOYEES



# Divisions

**Food & Production**



**Building & Construction**



**Materials**



**Environmental Technology**



**Energy & Climate**







# Danish Technological Institute

**DANISH TECHNOLOGICAL INSTITUTE**  
President and CEO Juan Farré

FOOD & PRODUCTION		BUILDING & CONSTRUCTION	MATERIALS	ENERGY & CLIMATE	ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY	SUBSIDIARIES
<b>Executive VP Anne-Lise H. Lejre</b>		<b>Executive VP Mette Glavind</b>	<b>Executive VP Mikkel Agerbæk</b>	<b>Executive VP David Tveit</b>	<b>Executive VP Sune D. Nygaard</b>	
Bioresources	Innovation and Digital Transformation	Concrete	Big Science	Automobile Technology	Air and Sensor Technology	Danfysik A/S
Agriculture and Digitalization	Process Design and Operations	Masonry	Industrial 3D-print	Energy Efficiency and Ventilation	Laboratory for Chemistry and Microbiology	Dancert A/S
Food Safety and Quality	Robot Technology	Pipe Centre	Industrial Materials Technology	Installation and Calibration	Policy and Business Development	Danish Technological Institute Spain, S.L
Food Technology	Sustainability and Digitalization	Quality in Construction	Nano Production and Micro Analysis	Metrology and Quality Assurance	Product and Materials Chemistry	Teknologisk Innovation A/S
	Training	Ideation and development	Plastics and Packaging Technology	Refrigeration and Heat Pump Technology	Water Technology	
		Wood and Biomaterials	Tribology	Renewable Energy Systems		
<b>STAFF</b>						



# 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

**Estrategias de descarbonización**

**Desarrollo tecnológico**

**Pruebas y demostraciones**

## 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

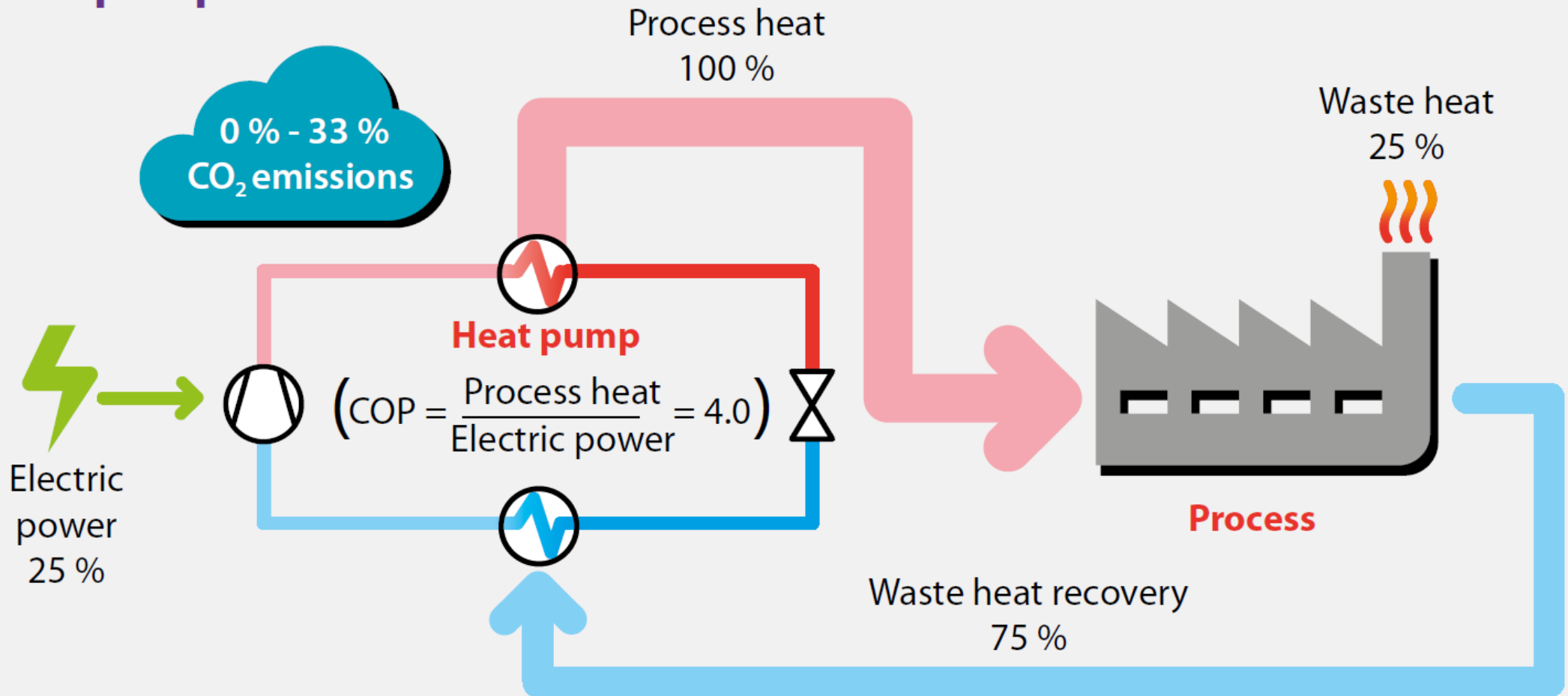
Motivación y tendencias globales



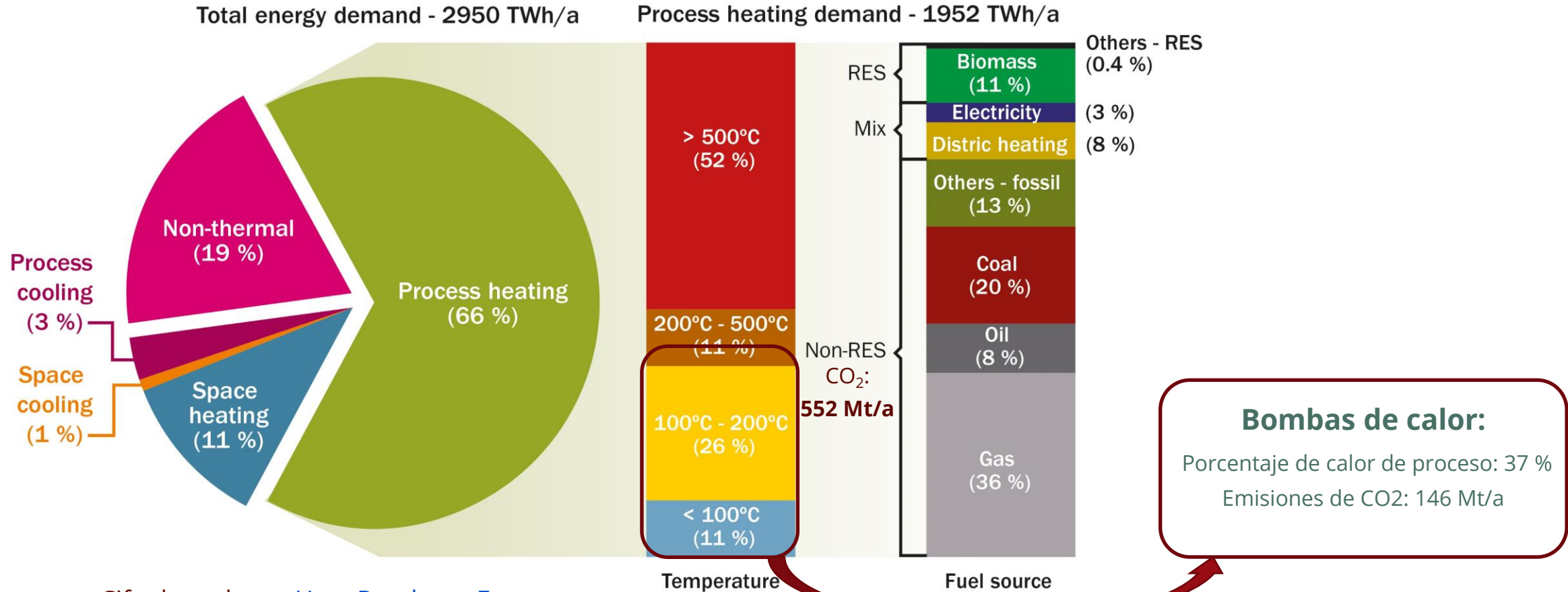


# Bombas de calor industriales - Principio de funcionamiento

## Heat pump driven



# Calentamiento de procesos en la UE 28



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





# 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 <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)**

**DANISH TECHNOLOGICAL INSTITUTE**



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

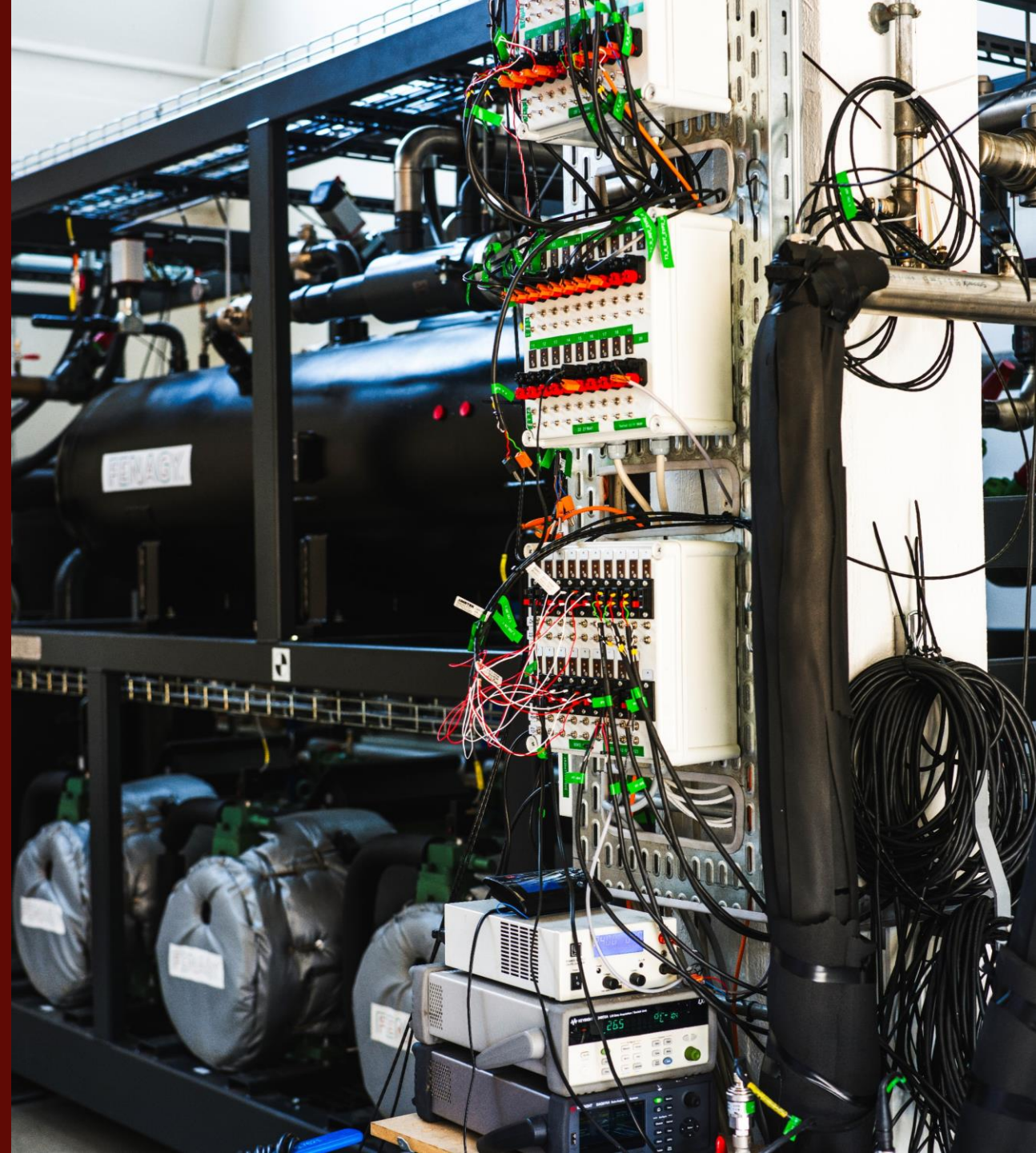
# Perspectivas de desarrollo de las HTHP hacia 2030

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						

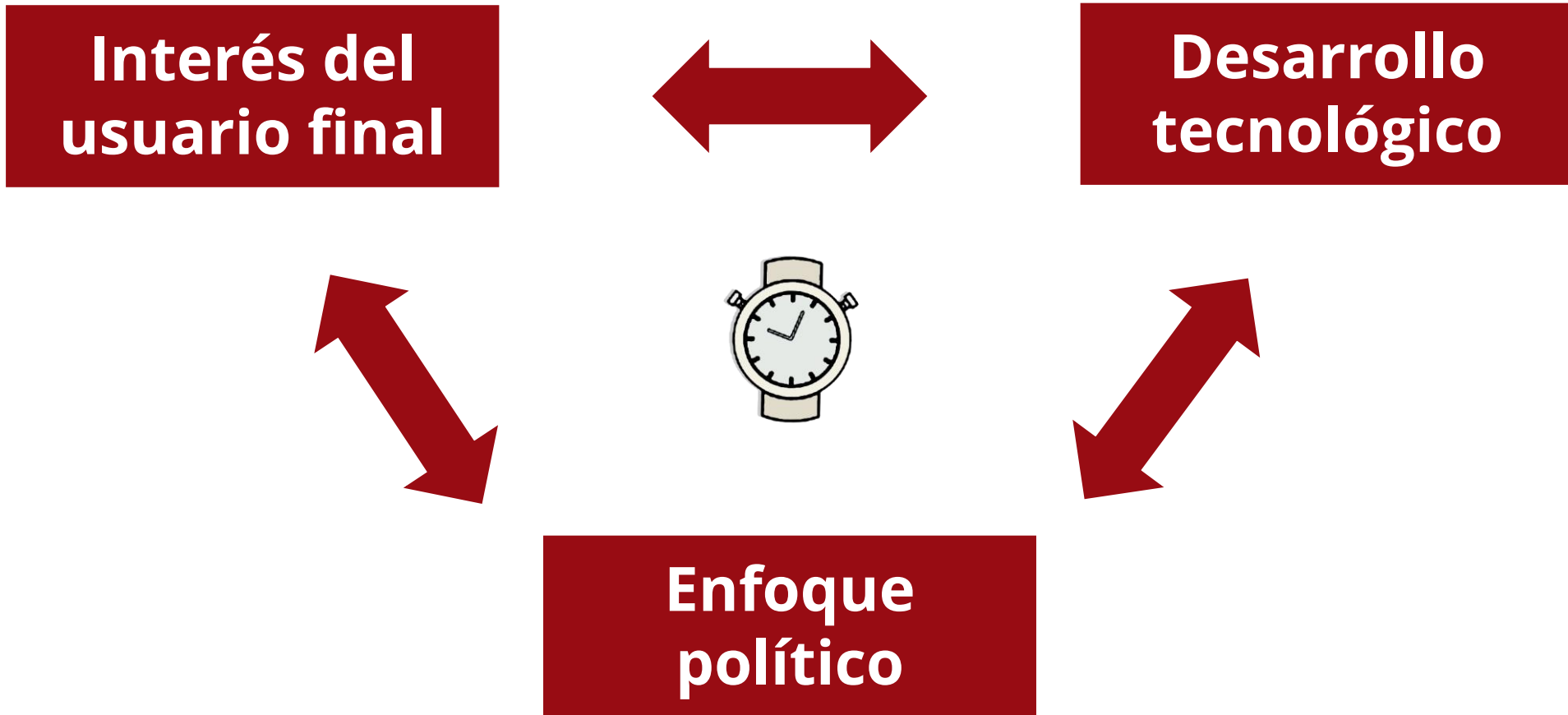


# Investigación y desarrollo

Enfoque en proyectos con bombas de calor industriales



# Los factores impulsores de la descarbonización





# El camino hacia la implementación



## Conciencia tecnológica

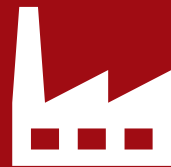
- Compromiso con la sostenibilidad y la descarbonización
- Potencialidades, limitaciones y características de la tecnología
- ¿Cómo explotar los potenciales?
- Variedad de partes interesadas involucradas

## Desarrollo Tecnológico



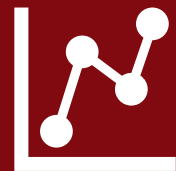
- Desarrollo de componentes y sistemas
- Pruebas y demostraciones
- Variedad de tecnologías
- Esfuerzo colaborativo

## 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

# Laboratorio de Refrigeración y Bombas de Calor

## Instalaciones de laboratorio de clase mundial



Eficiencia Energética



Bombas de calor de alta temperatura



Test de componentes y Refrigeración



Bombas de calor domésticas





# Proyecto: SuPrHeat



## Motivación

- Un mayor enfoque en la electrificación
- Aumento de la competitividad de HTHP
- Gran demanda de calor entre 100 °C y 200 °C

## Objetivo

- Facilitar la electrificación del suministro de calor de procesos industriales hasta 200 °C
- Desarrollar y demostrar un portafolio tecnológico con tres prototipos (500 kW)



## Alcance

- Tecnologías: Compresión de vapor, Hidrocarburos, CO<sub>2</sub>
- Integración y demostración en lechería, matadero, cervecería y otros



## Datos del proyecto

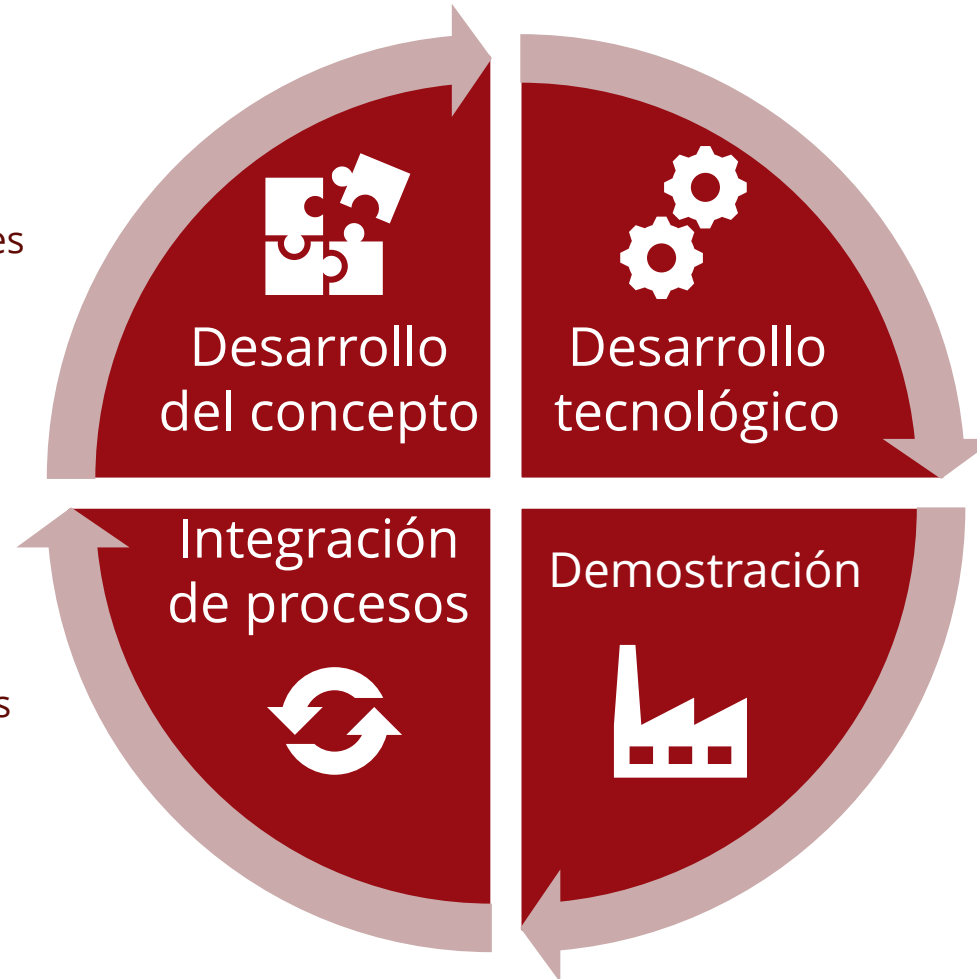
- 09/2020 – 08/2024
- Presupuesto: 8.2 millones de Euros
- <http://suprheat.dk/>



# Proyecto: SuPrHeat



- 3 tecnologías complementarias
- R718 | Hidrocarburos | R744
- Tecnologías modulares y combinables



- Soluciones de mejores prácticas
- Instalaciones existentes
- Nuevos equipos de proceso
- Estrategias de transición para sitios existentes

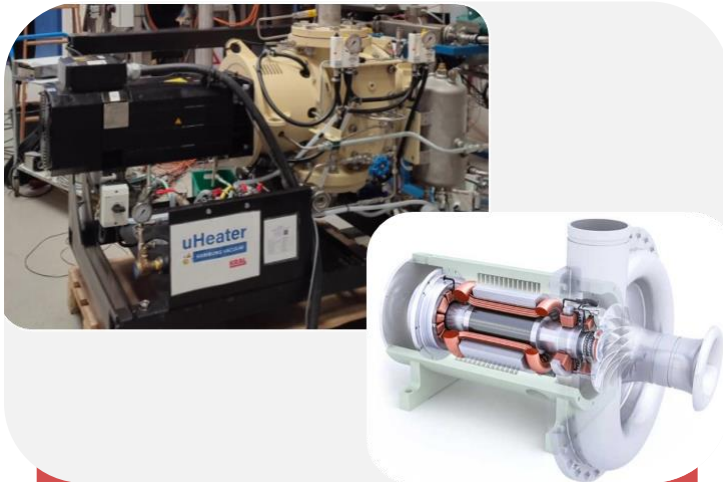
- Desarrollo de componentes
- Diseño y optimización de sistemas
- Función y rendimiento de las pruebas

- Demostración en tres sitios
- Aplicaciones:
  - Lechería
  - Ingredientes
  - Mataderos
  - (Cervecería)
- Pruebas a largo plazo
- Aumentar la confianza en la tecnología





# Proyecto: SuPrHeat - Tecnologías



## Sistema de compresión de vapor

- Compresor Spindle: alta relación de presión y TLift
- Turbocompresor de 2 etapas: caudales elevados y elevación de hasta 50 K
- Prueba a escala real: 2023
- Demostración in situ: 2024



## Sistema de hidrocarburos

- Butano (R600) 120 °C
- Isopentano (R601a) 160 °C
- Compresores de pistón Bock
- Prueba a escala real: 04/2023
- Demostración in situ: 2024



## CO<sub>2</sub> system

- CO<sub>2</sub> (R744) → 180 °C
- Compresores de pistón Bock
- Una etapa con eyectores
- Prueba a escala real: 2023
- Demostración in situ: 2024



# Proyecto: Large-scale HTHP Demo



## Motivación

- Demostrar HTHPs en aplicaciones industriales
- Aumentar la competitividad de los HTHP
- Aumentar la disponibilidad de la tecnología

## Objetivo

- Desarrollar y demostrar HTHPs para agua caliente a 140 °C y vapor a 160 °C
- Analizar diferentes niveles de integración
- Demostrar diferentes modelos de negocio



## Alcance

- Hidrocarburo + Compresión de vapor
- Compresores semiherméticos comerciales y compresores industriales abiertos
- Demostración de dos soluciones



## Datos del proyecto

- 02/2022 – 08/2025
- Presupuesto: 6.7 millones de Euros
- 11 partners
- <https://www.dti.dk/>





# Proyecto: Large-scale HTHP Demo



## Desarrollo Tecnológico

- Desarrollo del concepto
- Diseño del sistema
- Modificación de las tecnologías de componentes existentes



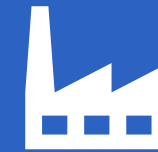
## Pruebas

- Pruebas de funcionamiento
- Pruebas de rendimiento
- Modificaciones e iteraciones



## Integración de Procesos y Sectores

- Integración de procesos
- Nivel de integración
- Recuperación de calor
- Integración de la calefacción urbana



## Demostración

- 2 Demostraciones a nivel de proceso y sector
- Entorno operativo
- Pruebas a largo plazo
- Demostración de modelos de negocio



## Creando conciencia

- Diseminación
- Talleres
- Educación





# Proyecto: SPIRIT

## Implementation of Sustainable Heat Upgrade Technologies for Industry

**Objetivos:** Establecer la tecnología de bomba de calor como la tecnología de referencia (baja en carbono) para el suministro de calor industrial  $< 160\text{ }^{\circ}\text{C}$  en 2025

- Demostración de la tecnología de bombas de calor a escala real (1-5 MW) en diferentes sectores/aplicaciones industriales con 3 soluciones diferentes
- Desarrollo de conceptos repetibles a escala MW que puedan integrarse en una amplia variedad de procesos
- Redacción de acuerdos y modelos de negocio para el suministro de calor mejorado, abordando posibles barreras regulatorias
- Creating awareness of the benefits of heat upgrading technology in industry for reducing energy costs and GHG emissions



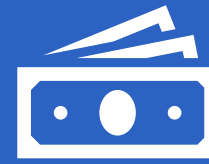
### Demostración

- Pruebas de rendimiento
- 3 sitios de demostración
- Comida | Celulosa y papel
- Demostración a largo plazo



### Conceptos repetibles

- Conceptos modulares combinables
- Integración de procesos
- Transferencia de tecnología



### Modelos de negocio

- Modelos de negocio y estrategias de explotación
- ACV técnico y económico



### Creando conciencia

- Disseminación
- Educación
- Herramientas de diseño

# Proyecto: SPIRIT – Colaboradores



Coordinator: Simon Spoelstra



End-User – Paper & Pulp



End-User – Food



STELLA POLARIS

Heat Pump Manufacturers



RTO & Knowledge



Simulation specialist



Replication Case



Non-Technical Barriers & Market Analysis

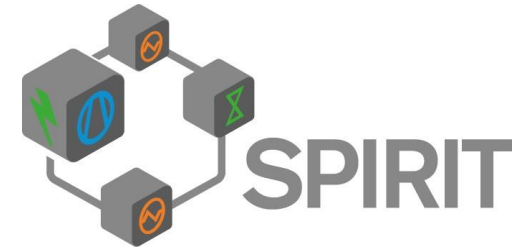


Dissemination & Communication





# Proyecto: SPIRIT - Demostración



- Refrigerante: n-pentano (R601)
- Disipador de calor: vapor a  $T_{Sat} = 138\text{ °C}$
- Fuente de calor: vapor de vacío a  $T_{Sat} = 80\text{ °C}$
- Potencia calorífica: 4 MW
- Compresor de tornillo GEA
- Demostración in situ: 11/2024



# Proyecto: Digital twins for large-scale heat pumps and refrigeration systems



## Motivación

- Servicios mejorados a través de gemelos digitales
- Monitorización
- Detección/diagnóstico de fallos
- Funcionamiento optimizado

## Objetivo

- Reducción del esfuerzo de creación de gemelos digitales
- Mejora de los servicios y mejor uso de los potenciales disponibles



## Alcance

- Desarrollo de modelos reutilizables, modulares y de autoaprendizaje
- Desarrollo de métodos avanzados para el análisis de sistemas

## Datos del proyecto

- 02/2020 – 01/2024
- Presupuesto: 2.5 millones de Euros
- 8 partners
- [www.digitaltwins4hprs.dk](http://www.digitaltwins4hprs.dk)

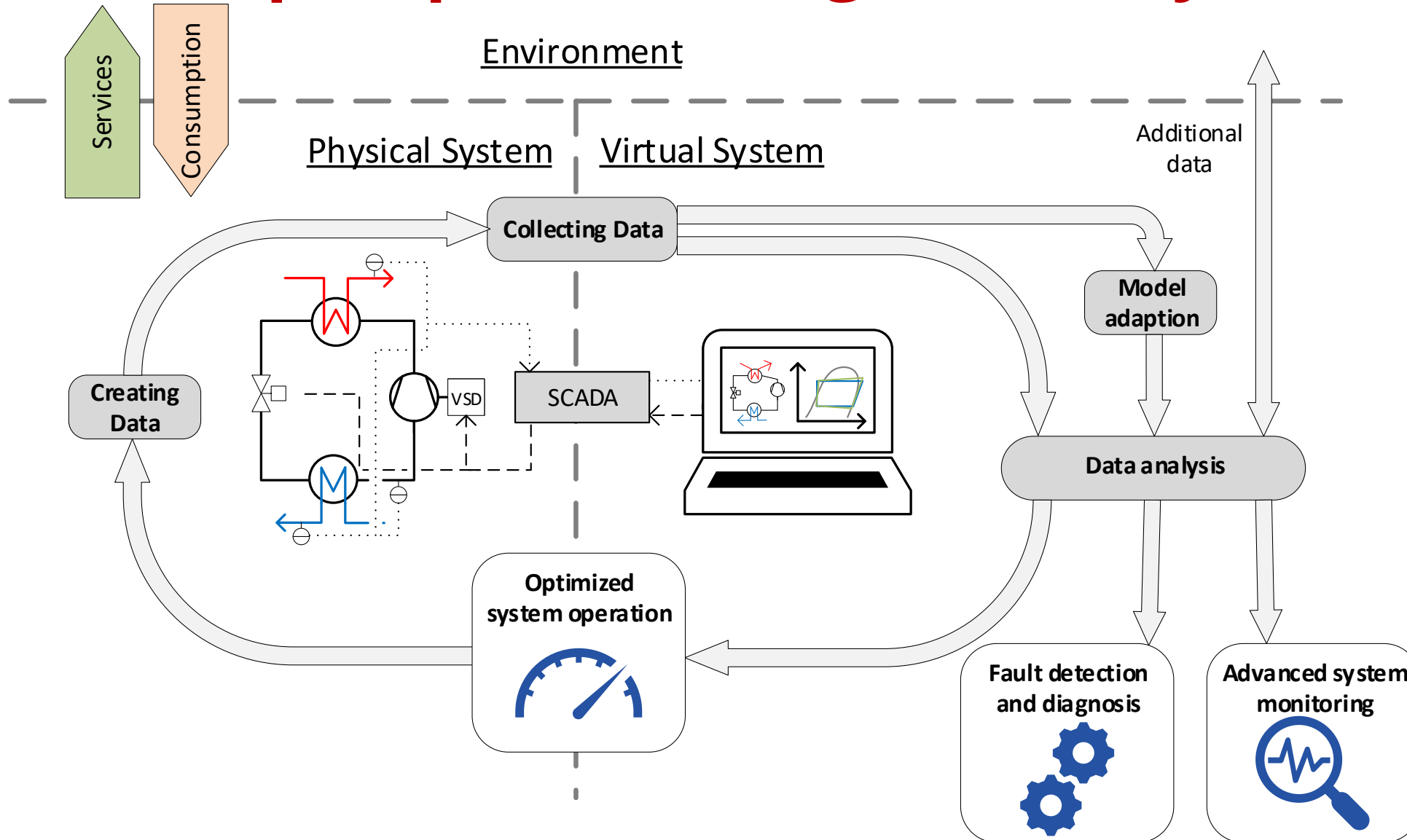


## PARTNERS



DANISH  
TECHNOLOGICAL  
INSTITUTE

# Proyecto: Digital twins for large-scale heat pumps and refrigeration systems





# Proyecto Super-Integration: sector-coupled flexible supermarkets



## Motivación

- 30% de las tecnologías que ofrecen balance a la red se están eliminando gradualmente
- Integración del sistema energético
- Más de 2800 supermercados en DK

## Objetivo

- Identificar y demostrar servicios de flexibilidad
- Integrar la recuperación de calor
- Caracterizar soluciones de flexibilidad
- Equilibrio de las redes mediante PV



## Alcance

- Mapeo de los servicios y requisitos de flexibilidad disponibles
- Uso de gemelos digitales de sistemas de refrigeración, junto con herramientas de predicción y análisis basadas en datos



## Datos del proyecto

- 02/2024 – 12/2026
- Presupuesto: 1 millón de Euros
- 8 partners
- [www.digitaltwins4hprs.dk](http://www.digitaltwins4hprs.dk)

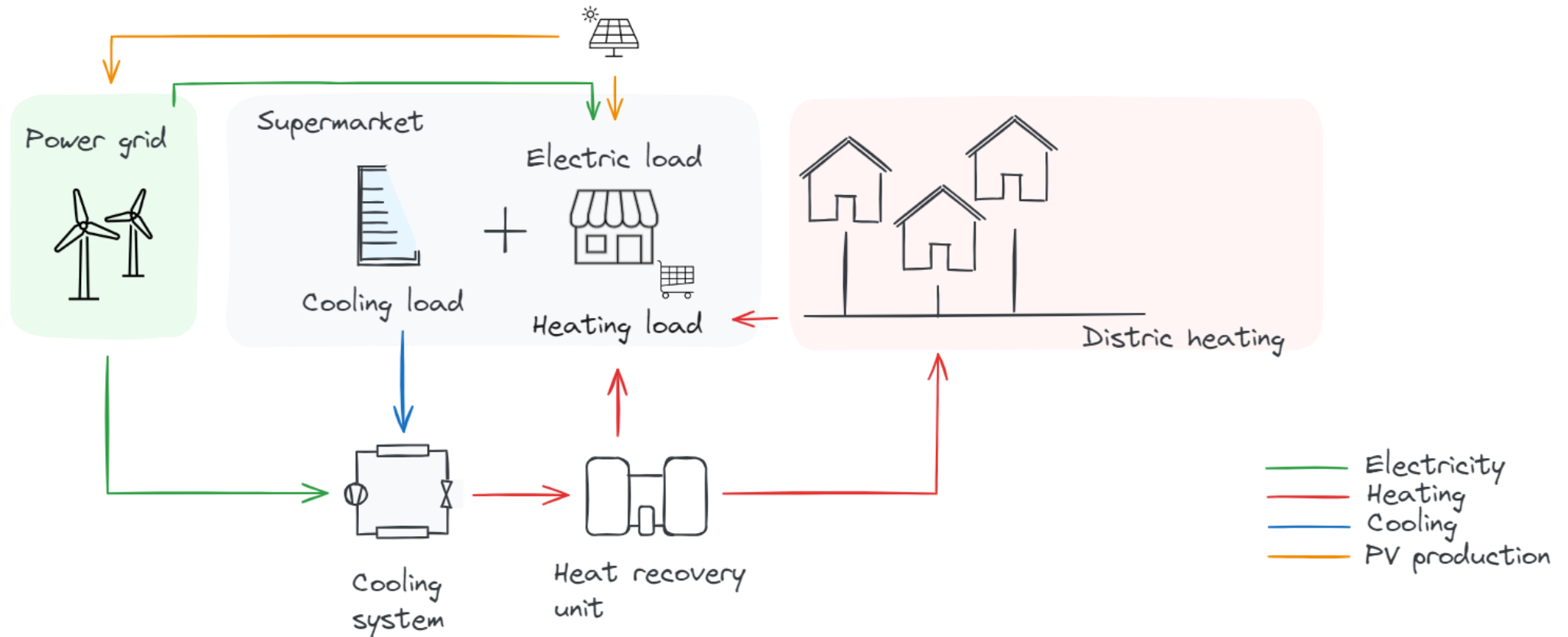


## PARTNERS



DANISH  
TECHNOLOGICAL  
INSTITUTE

# Proyecto Super-Integration: sector-coupled flexible supermarkets



# Colaboración académica con DTI





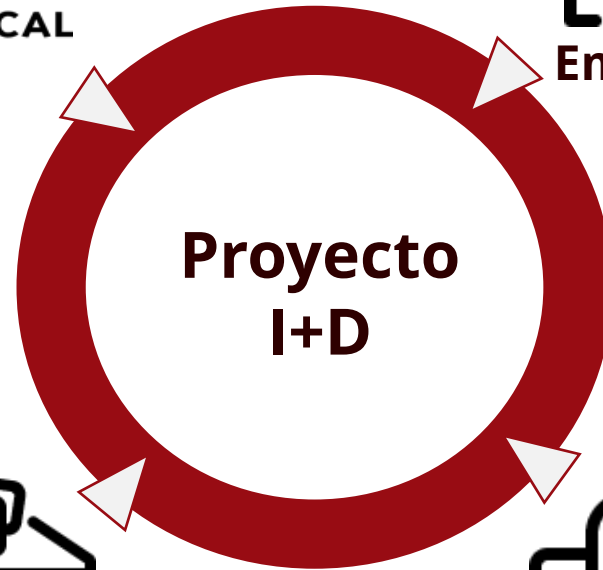
# Colaboración en proyectos I+D



DANISH  
TECHNOLOGICAL  
INSTITUTE



Empresas y organizaciones industriales



Proyecto  
I+D

Ej. Universidades danesas



Technical  
University of  
Denmark



UNIVERSITY OF  
COPENHAGEN



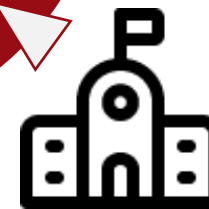
AALBORG  
UNIVERSITY



AARHUS UNIVERSITY



Financiamiento  
privado o público



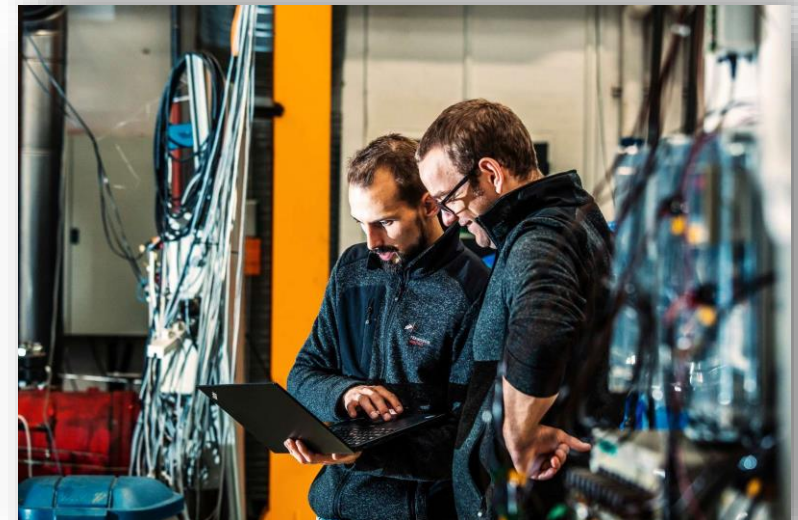
Universidades danesas o  
internacionales

Ej. Fondos públicos



# Potencial colaboración académica con DTI

- Los proyectos de I+D crean un excelente ambiente para los estudiantes
- Debe ser una oportunidad beneficiosa tanto para los estudiantes como para DTI
- Puede ajustarse a los intereses de los estudiantes dentro del alcance de nuestros proyectos
- Posible combinación con trabajos de tesis (o memorias)
- Comuníquese con Benjamin Zühlisdorf ([bez@teknologisk.dk](mailto:bez@teknologisk.dk)) si está interesado en analizar las posibilidades de colaboración



# Gracias por su atención!

**José Joaquín Aguilera Prado**

Consultor, PhD

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

+45 7220 2903