



Shaping Energy for a Sustainable Future



**TRI-HP  
PROJECT**

Trigeneration systems based on  
heat pumps with natural refrigerants  
and multiple renewable sources

**Gestión inteligente en Sistemas de TRI-generación basados en  
bombas de calor con refrigerantes naturales**

Dr. Jaume Salom

IREC – Institut de Recerca en Energia de Catalunya

18.11.2021 - GENERA



Trigeneration systems based on  
heat pumps with natural refrigerants  
and multiple renewable sources

- Proyecto Horizon H2020
- Investigación y Desarrollo (RIA)
- De TRL 3 a TRL 5
- Total contribución EU 5 M€
- 2019 - 2023



# Sistemas de TRI-generación

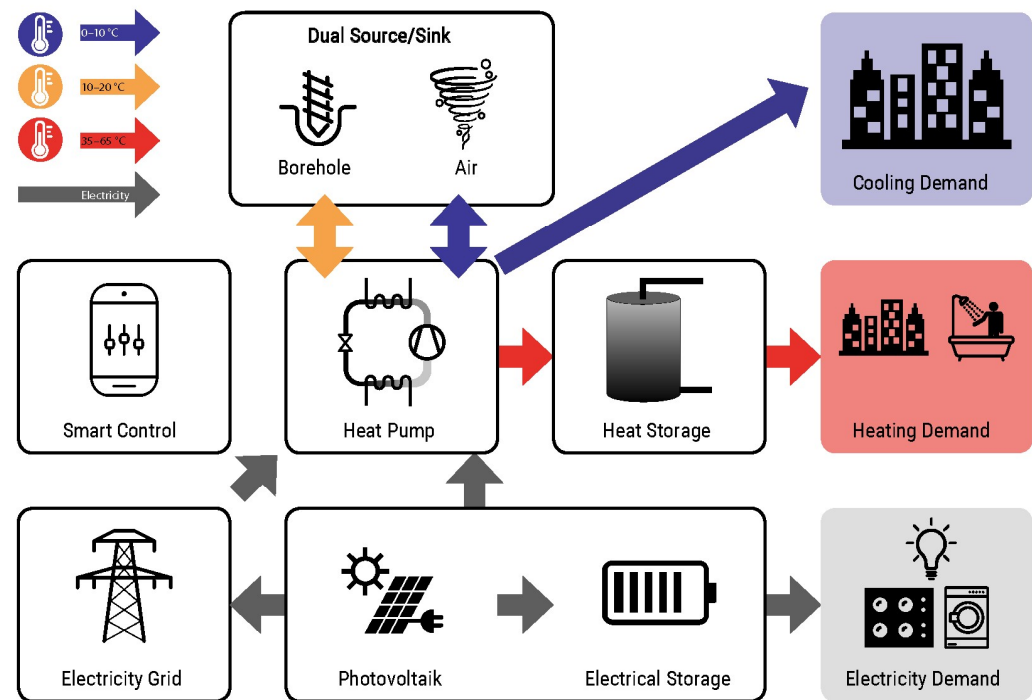
- Basados en **Bombas de Calor (HPs) con refrigerantes naturales** acoplados a sistemas de fotovoltaicos (PV) para generar **CALOR**, **FRIO** y **ELECTRICIDAD** en **edificios plurifamiliares**
- Objetivos:
  - **80 % ratio de Energía Renovable en el sitio:** concepto edificio de energía nula (20 % energía importada de la red)
  - **Reducciones de coste del 10 – 15 %** comparado con tecnologías de bomba de calor actuales con la misma eficiencia energética
  - **75 % reducciones de emisiones CO<sub>2</sub>** vs. sistemas con caldera de gas y sistemas de refrigeración por compresión



[www.tri-hp.eu](http://www.tri-hp.eu)

# Sistema Dual Source: Doble fuente origen renovable

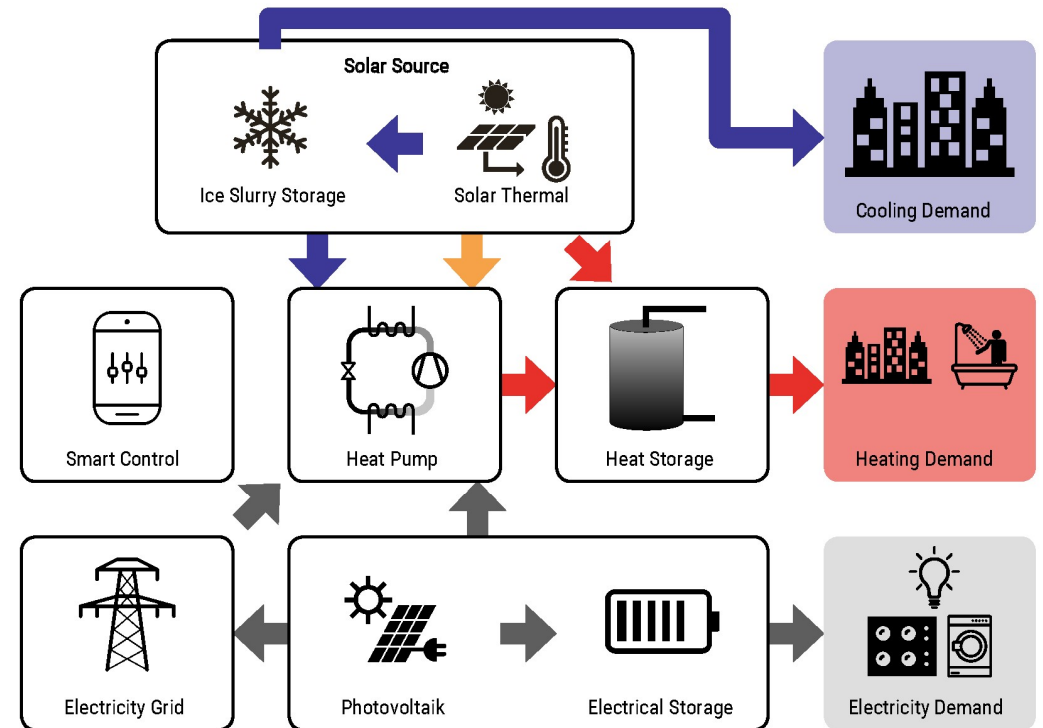
- Fuentes: geotermia y ambiente
- Calefacción, ACS y refrigeración (BC reversible)



# Sistema con almacenamiento de hielo líquido con Solar Térmica

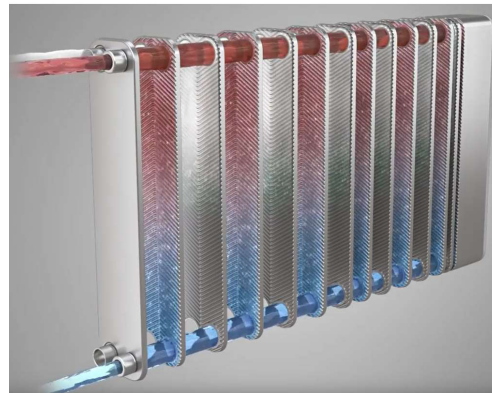
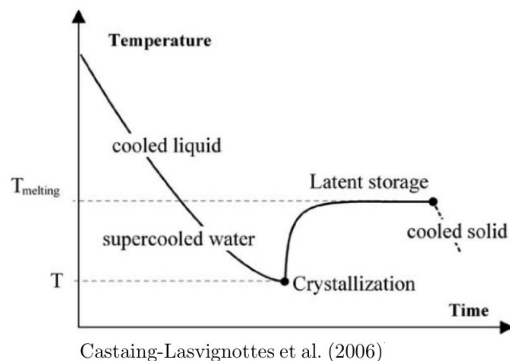


- Fuente: solar térmica y hielo líquido como medio de almacenamiento intermedio
- Calefacción, ACS y refrigeración



# Mejora de Intercambiadores de calor para hielo liquido

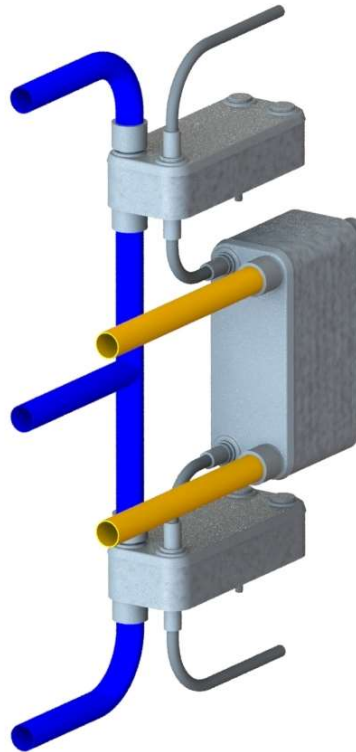
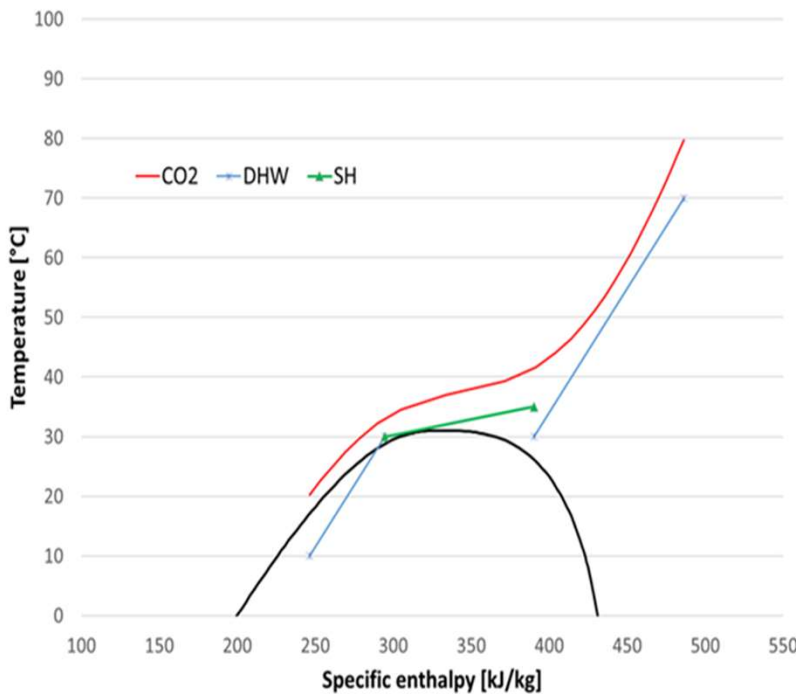
## Agua subenfriada con cristalización controlada:



- Uso de intercambiadores de placas
- Integración directa HX con evaporador
- Objetivo realista: 3 K de subenfriamiento
- Superficie afecta grado de subenfriado

- **Revestimientos anti-hielo para supercoolers**
  - Hybrid Organic-Inorganic Silane sol-gel (HOIS)
  - PolySiloxane (PS)
  - FluoroEthylene Vinyl Ether (FEVE)
- **> 44% de aumento de capacidad subenfriamiento respecto HX referencia**
  - HX placas de acero inoxidable y cobre

# Innovación en HX para CO<sub>2</sub> - Gas cooler en tres partes



- Aproximación de temperaturas del agua al perfil de temperaturas de CO<sub>2</sub>
- Gran capacidad térmica
- Uso exclusivo de intercambiadores de cobre
- Extremadamente compacto compactly,
- Producción simultánea de calor para Calefacción y ACS

# Gas cooler in tres partes para bombas de calor de CO<sub>2</sub>

Coste total es  
3085 € o 308 € /kW.



Peso es 86%  
menos (5 kg)



Area necesaria  
1.7m<sup>2</sup>



Alto coeficiente de  
transferencia de  
calor



Brazed plate heat  
exchangers



VS



Helical counter-flow  
tube-in-tube heat  
exchanger

Coste total  
5-10 % más bajo



Peso: 34 kg



Necesita más  
espacio



Longitud de  
tubos: 32.5 m



# Bomba de calor con refrigerante natural - CO<sub>2</sub>



- Refrigerante R-744 (CO<sub>2</sub>)
- Control por potencia, tecnologia con ejectores
- Gas cooler tri-partido para producción simultánea de calefacción y ACS
- Supercooler como evaporador
- **Aplicación:**
- Edificios residenciales con % importante de ACS
  - Para climas moderados / frios
- Sistema de hielo-liquido con Solar Térmica
- Free-cooling disponible

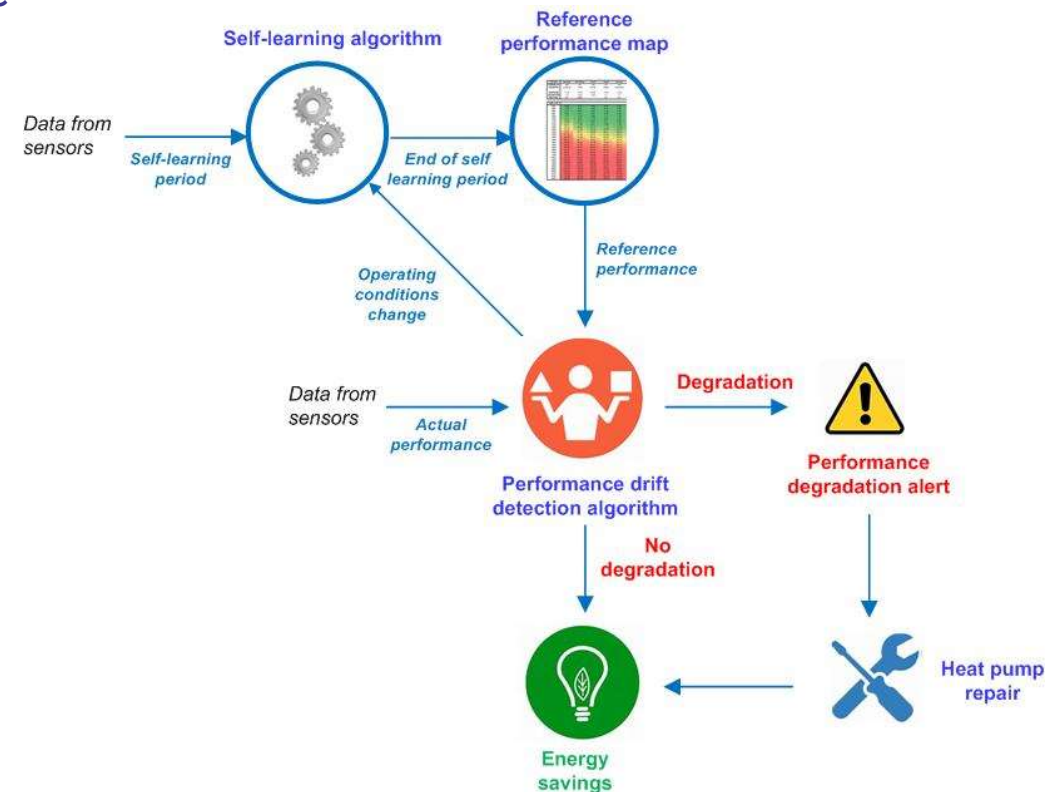
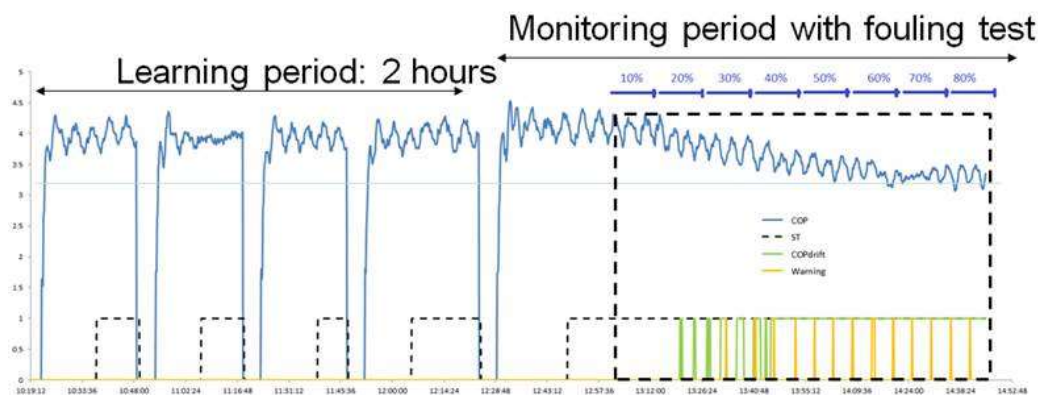
# Bomba de calor Dual Source con refrigerante natural - Propano



- Refrigerante R-290 (Propano)
- Control por potencia, reversible
- Innovador intercambiador de calor doble (geotermia / aire)
  - Use de salmorra y aire
- Alta eficiencia en modo calefacción y refrigeración
- **Aplicación:**
- Edificios residenciales con necesidades de frío y calor
- Climas moderados / cálidos

# Sistema de autodetección de pérdida de rendimiento

- Sistema y algoritmos para la detección automática de pérdidas de rendimiento en bombas de calor (Fault Detection & Diagnosis)
- Objetivos: Facilitar mantenimiento y aumentar fiabilidad. Validación experimental
- Permite detectar bajadas de rendimiento  $\geq 7\%$  en un tiempo de respuesta menor a 10 minutos



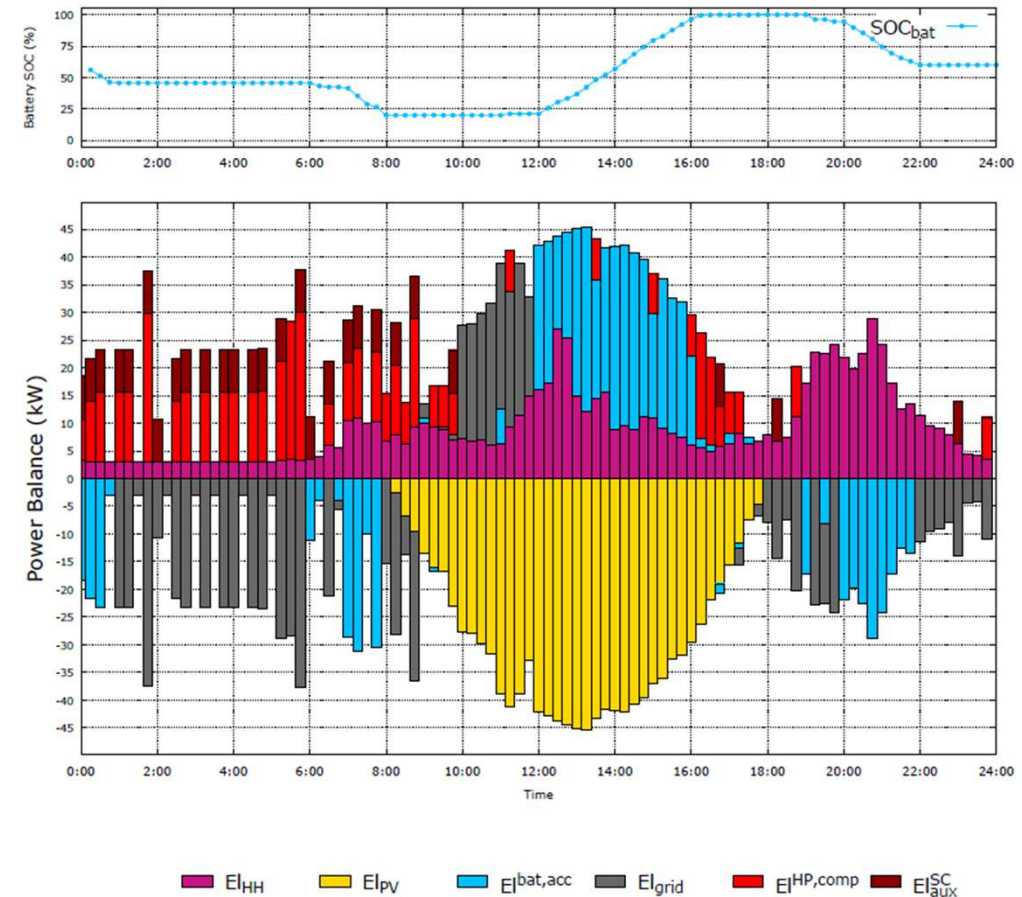
# Sistema de Gestión Energética Avanzada (AEMS)

- Algoritmos de Gestión energética avanzada tiene con el objetivo de minimizar el coste energético hasta el 15% e incrementar el ratio de uso de energía renovable hasta el 80%
- Validación de los beneficios del uso de AEMS mediante simulación y experimentalmente en laboratorio
- Algoritmos basados en modelos predictivos (HPs, HVAC, PV y baterías) para determinar la operación óptima en horizontes de 24 horas y en base a predicciones meteo y ocupación



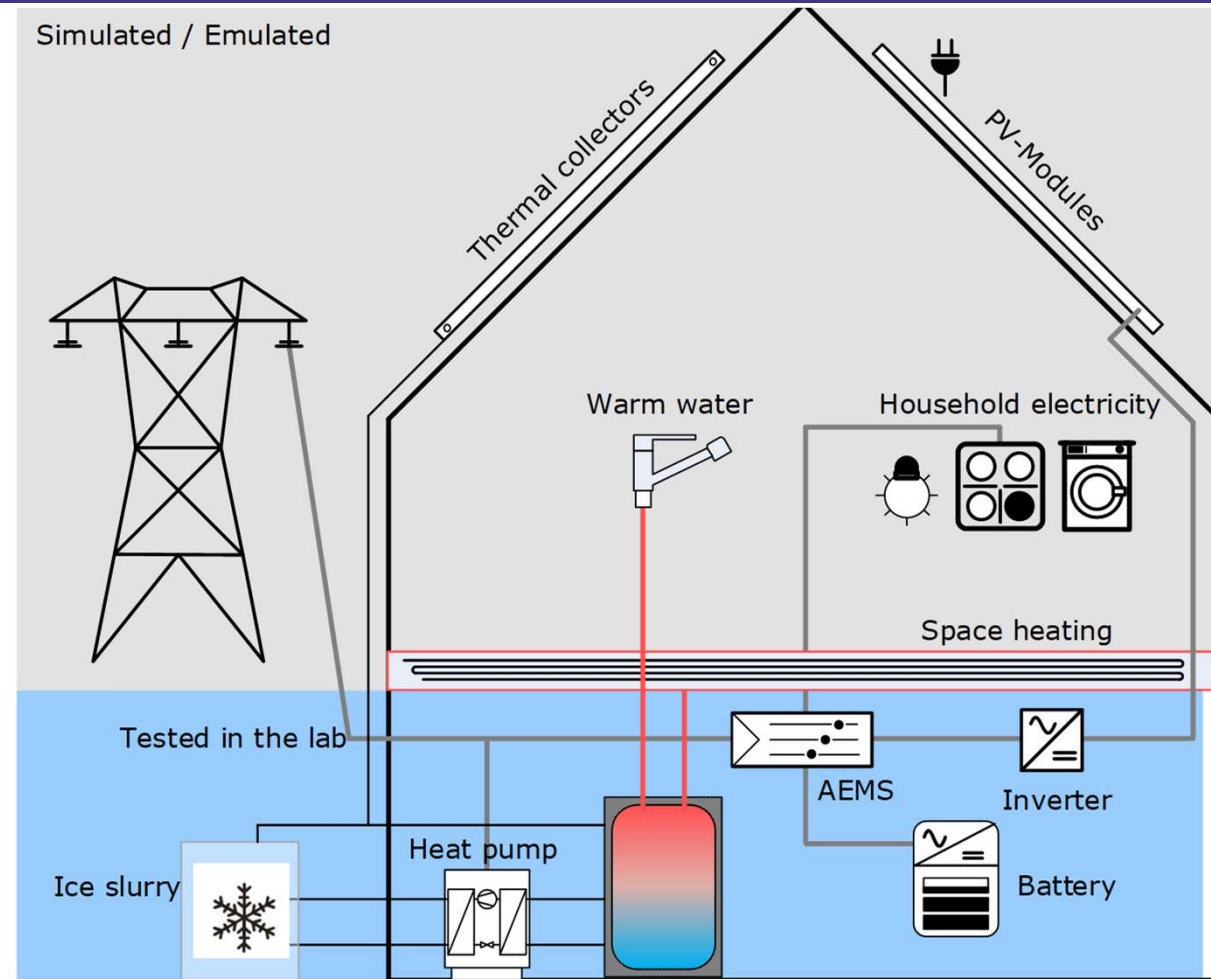
# Sistema de Gestión Energética Avanzada (AEMS)

- Algoritmos de Gestión energética decide la configuración óptima que permite activar el uso del almacenamiento térmico y eléctrico en el sistema cada 15 minutos
  - Batería eléctrica
  - Almacenamiento de ACS
  - Almacenamiento para calor/frío/hielo
  - Masa térmica del edificio



# Test dinámico - Hardware in the loop

- Test de 4/6 dias representando todo el año
- Gris: simulado/emulado
  - Demandas, meteo, solar térmica y PV
- Azul: instalada en lab y testada en tiempo real
  - Desarrollos de TRI-HP



# Gracias por su atención!

## Contactos

**Dr. Daniel Carbonell**, Coordinador  
SPF, Suiza - [dani.Carbonell@ost.ch](mailto:dani.Carbonell@ost.ch)

**Xabier Peña**  
TECNALIA [xabier.pena@tecnalia.com](mailto:xabier.pena@tecnalia.com)

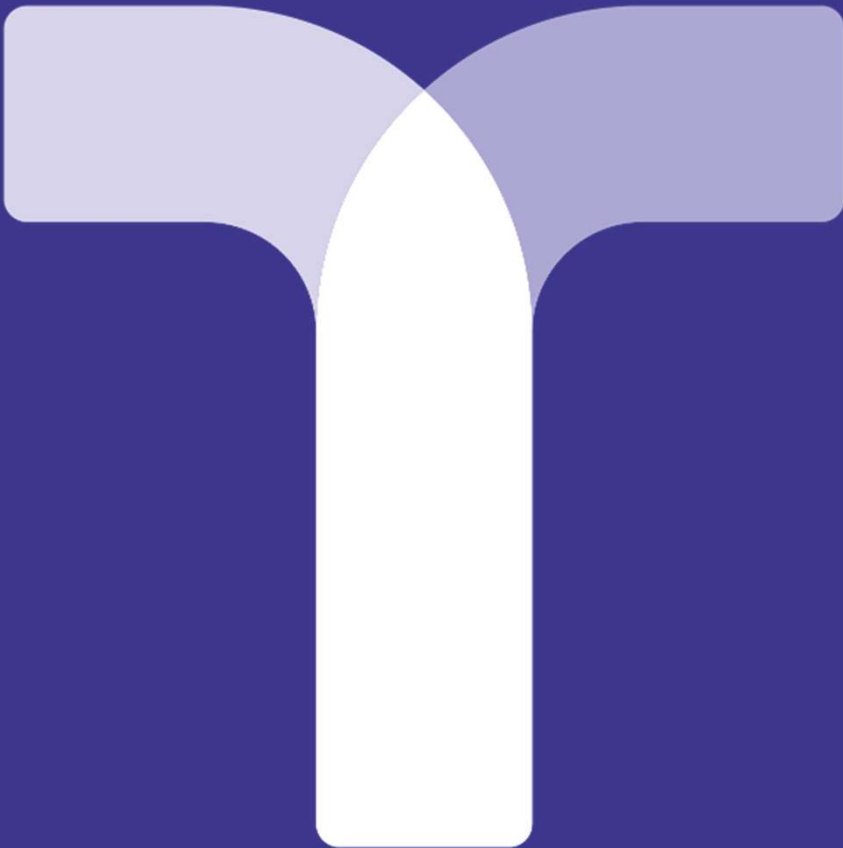
**Jaume Salom**  
IREC [jsalom@irec.cat](mailto:jsalom@irec.cat)

Redes sociales:

- **LinkedIn:** TRI-HP
- **Twitter:** @TRIHP\_EU



[www.tri-hp.eu](http://www.tri-hp.eu)



## Contact:

[Dani.Carbonell@spf.ch](mailto:Dani.Carbonell@spf.ch)

[www.tri-hp-project.eu](http://www.tri-hp-project.eu)



**TRI-HP  
PROJECT**

Trigeneration systems based on  
heat pumps with natural refrigerants  
and multiple renewable sources



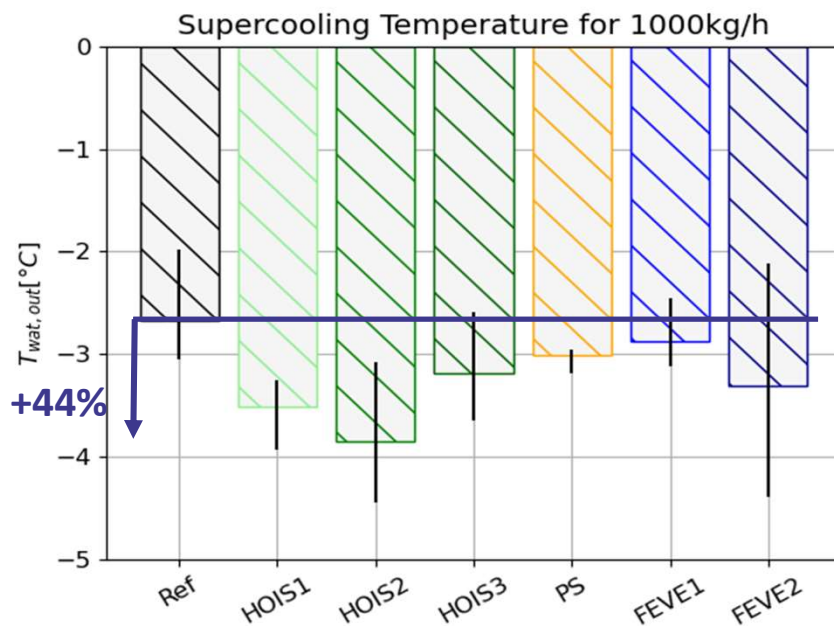
# Ejemplos de sistemas comerciales de almacenamiento en hielo



- Sistemas con intercambiadores de calor de tubos
- Tubos distribuidos por todo el volumen de almacenamiento
- Problema: Hielo se forma y crece en la superficie de los tubos
- Reducción de la eficiencia
- Max. Fracción de hielo por debajo del 80 %

# Relevant results: HX innovation - supercooler for producing ice slurry

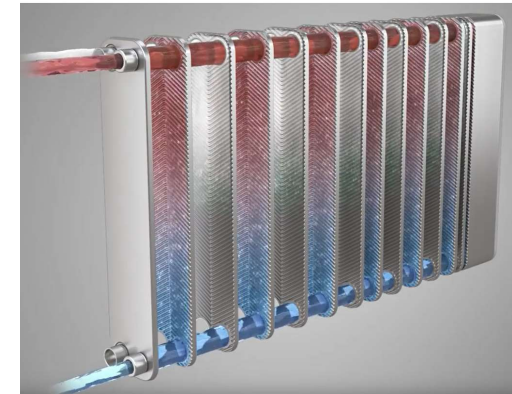
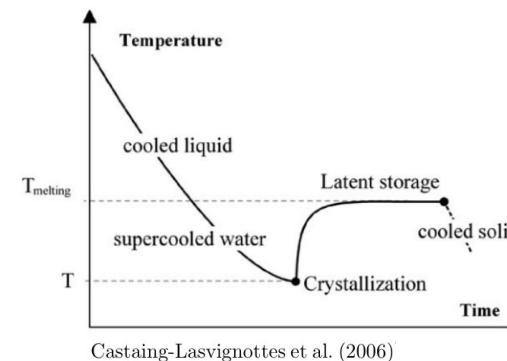
## Supercooling degree using icephobic coatings



**Massive progress beyond state-of-the-art achieved**

- Supercooling degree reported until now is 2 K (best Japanese systems)

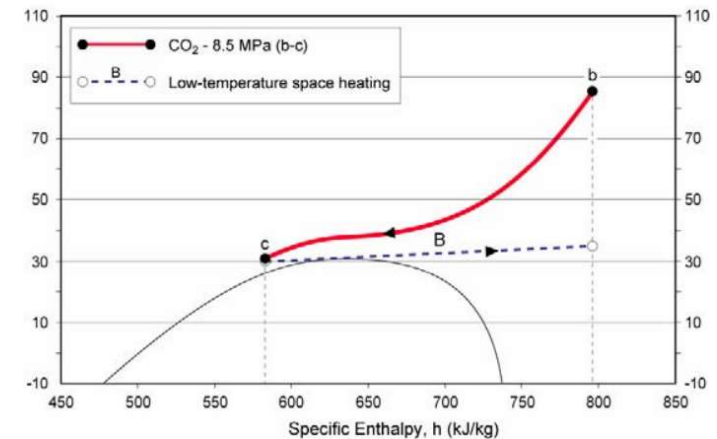
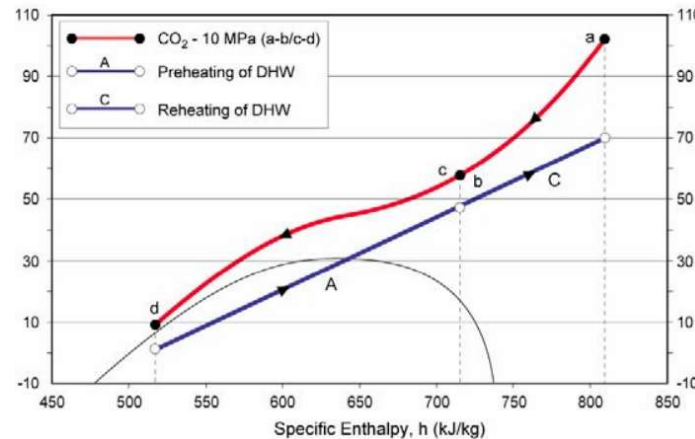
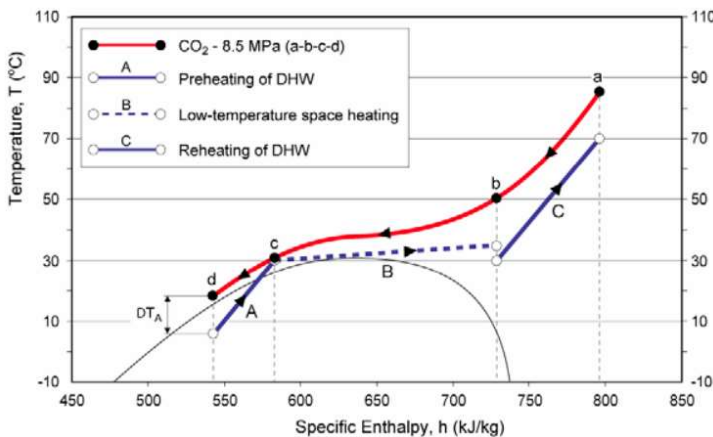
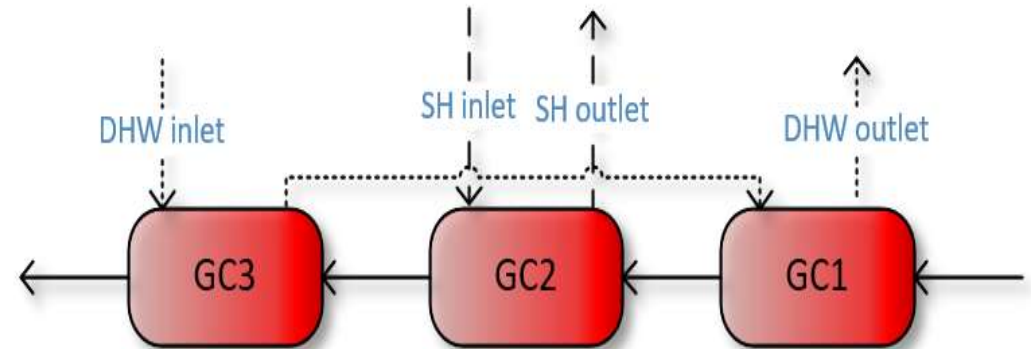
## Water supercooling with controlled nucleation:



- Use of low-cost plate heat exchangers
- Direct integration in HP as evaporator
- Goal in operation: approx. 3 K of supercooling

# Tri-partite gas cooler for CO<sub>2</sub> heat pumps

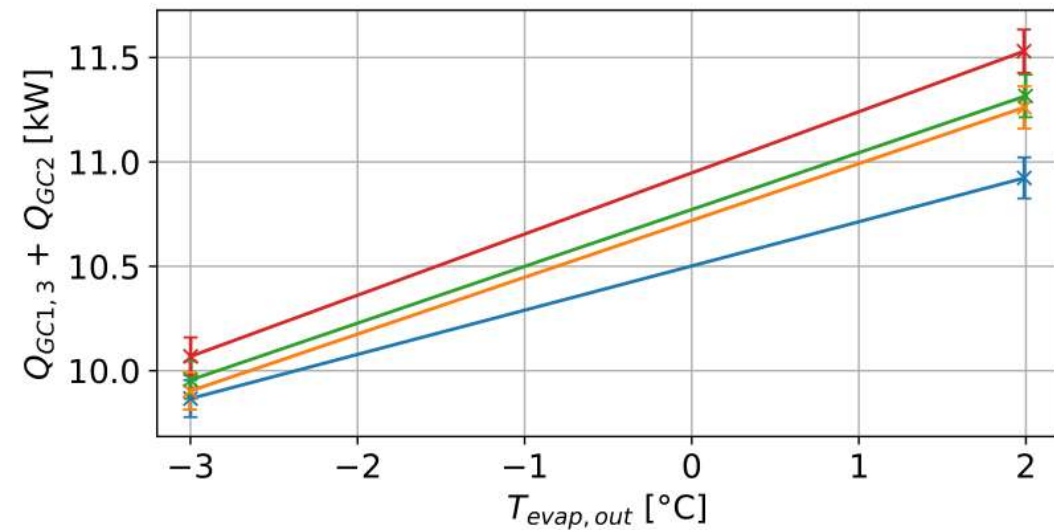
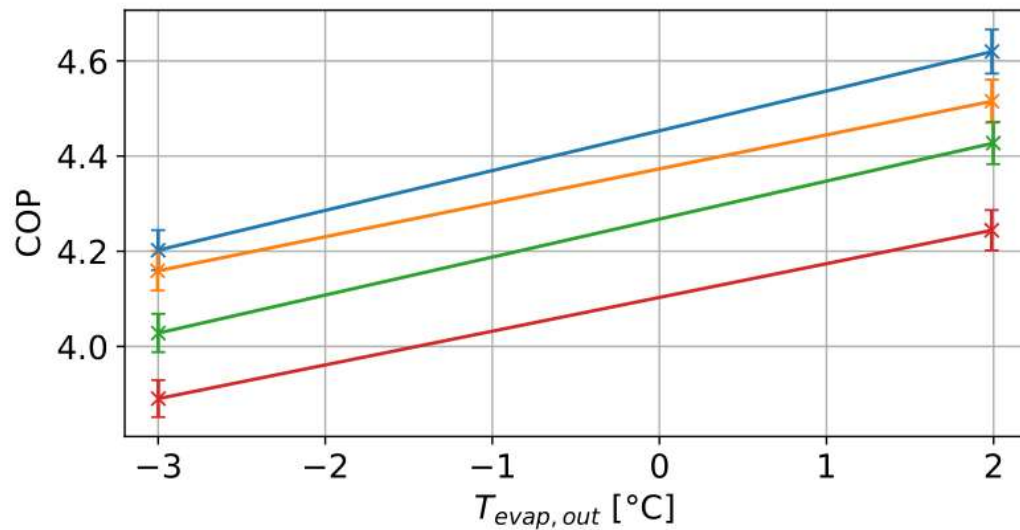
- Combined DHW and SH functions
- Improving the temperature match of water and CO<sub>2</sub>
- Using three brazed plate heat exchangers: compact and highly efficient



# Bomba de calor con refrigerante natural - CO<sub>2</sub>

- Ejemplo en modo paralelo : ACS y Calefacción (30/35 °C)

$T_{GC1,3} : 10/55^{\circ}\text{C}$     $T_{GC1,3} : 10/60^{\circ}\text{C}$     $T_{GC1,3} : 10/65^{\circ}\text{C}$     $T_{GC1,3} : 10/70^{\circ}\text{C}$



## Relevant results: Natural refrigerant heat pump - Propane



- Refrigerant R-290 (Propane)
- Power controlled
- Simultaneous DHW and SH (with desuperheater)
- Use of a supercooler as evaporator
- Safety concept: ventilated housing
- Propane charge : 600 gr (goal >500 gr)
- **Application:**
  - Residential buildings with high SH share
    - for mild/cold climates
- Solar - Ice slurry system

# Aceptación de la tecnología

- Comprensión y mejora de la aceptación de la tecnología por actores relevantes
- Analizar y identificar necesidades de actores en el mercado
- Métodos
  - Entrevistas cualitativas con actores (DE, CH, ES, NO)
  - **Workshops regionales** (DE, CH, ES, NO)
- Resultados esperados: Guías y recomendaciones

