

CONAMA 2024

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

**DECARTHERM: Descarbonización
mediante sistemas con
almacenamiento térmico aplicada
a edificación y procesos
industriales con alta demanda
energética**



CONAMA 2024

DECARTHERM: DESCARBONIZACIÓN MEDIANTE SISTEMAS CON ALMACENAMIENTO TÉRMICO APLICADA A EDIFICACIÓN Y PROCESOS INDUSTRIALES.

Autor Principal: Luis Enrique Ruiz Pérdomo (ITE)

Otros autores: Laura Martín Frax (ITE), Belén Arroyo Torres (ITE), Pedro José Cutillas Sánchez (ITE), Andrés Lluna Arriaga (ITE), Javier Biosca Taronger (ITE), Vicente Fuster Roig (ITE, UPV).

RESUMEN

Metodología sistematizada de análisis de escenarios de descarbonización de la demanda térmica mediante modelado y simulación de sistemas de generación y almacenamiento térmico y estrategias de gestión inteligente.

Los usos de energía térmica (ACS, calefacción, refrigeración, procesos industriales) representan aproximadamente la mitad del total de la energía demandada, siendo por tanto prioritario dirigir esfuerzos a mejorar la eficiencia y la descarbonización en este ámbito, a través de soluciones orientadas a reducir el consumo y optimizar la gestión, así como a incrementar la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas térmicos. Facilitar a las empresas mecanismos efectivos para la puesta en marcha de estas soluciones resulta fundamental para conseguir avanzar hacia la neutralidad.

Con esta finalidad, el proyecto Decartherm se centra en el desarrollo de una metodología sistematizada de análisis de escenarios de descarbonización de la demanda térmica mediante modelado y simulación de sistemas de generación y almacenamiento térmico y estrategias de gestión inteligente dirigidas a optimizar el balance energético, económico y medioambiental final, adaptándose a casos de uso en diferentes contextos del sector edificación e industrial y a distintas estrategias de descarbonización de las empresas.

Como resultado, las empresas dispondrán de indicadores energéticos, económicos y ambientales que identificarán las ventajas de implementar diferentes soluciones tecnológicas apoyadas en el almacenamiento térmico, así como las posibilidades de optimización que les ofrece el control inteligente de estos sistemas. Los sistemas de almacenamiento térmico son tecnologías prometedoras para contribuir a la descarbonización de sectores con elevado consumo energético, como es el caso de la edificación y la industria, contribuyendo a dotar de flexibilidad a los sistemas térmicos y optimizar el aprovechamiento de energía procedente de fuentes renovables, favoreciendo la mejora de la eficiencia energética.

Palabras clave: Descarbonización, energía térmica, almacenamiento térmico, análisis y digitalización energética.

PROYECTO DECARTHERM Y CONTEXTO ENERGÉTICO

La estrategia de la Unión Europea “2030 climate & energy framework” marcó la dirección respecto a las políticas y objetivos europeos con la finalidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 40% para el año 2030. A su vez en este marco se aboga por fomentar el incremento de la cuota de energías renovables en un 32% y mejorar la eficiencia energética en un 32,5%. Actualmente por medio del paquete de medidas FIT for 55 se endurecen estos objetivos apuntando a unas mejoras del 55% en CO₂, 40% en renovables y 36% en eficiencia energética. Para lograr estos objetivos, el desarrollo de tecnología que ayude a descarbonizar la industria con un alto consumo energético es vital. En este sentido, el proyecto “DECARTHERM: Descarbonización mediante sistemas con almacenamiento térmico aplicada a edificación y procesos industriales con alta demanda energética” plantea el desarrollo de una metodología que contribuya a la estrategia de descarbonización de empresas en el sector industrial con alto consumo de energía térmica y el sector terciario, empleando soluciones como la energía solar térmica, la aerotermia o el aprovechamiento de calores residuales, apoyadas

por el almacenamiento de energía térmica junto con la implementación de estrategias de gestión inteligente para optimizar el balance energético, económico y medioambiental. Esta iniciativa se lleva a cabo por el Instituto Tecnológico de la Energía (ITE), financiado por el Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE) y con la cofinanciación de la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) dentro del Programa Operativo FEDER de la Comunitat Valenciana 2021-2027.

El contexto de crisis climática actual ha abocado a Europa a tomar medidas de choque para evitar el aumento de la temperatura global previsto. Transponiendo las directivas estratégicas marcadas por Europa, en España estos retos se canalizan a través del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) con objetivos de mejora, con fecha límite 2030, siendo altamente ambiciosos, con el sector industrial como uno de los principales focos de actuación. Según esta estrategia, en la actualidad existe una necesidad urgente de transformar el sistema energético hacia un modelo más resiliente ante el cambio climático. Como consecuencia de ello, entre otras muchas actuaciones, las empresas manufactureras deben reformular su modelo productivo y de negocio con el fin de adaptarse. En este sentido, la energía y su relación con el rendimiento productivo de la planta juega un papel fundamental. Así, MINETUR señala en su “Informe Industria conectada 4.0” La transformación digital de la industria española, que *“El elevado coste de la energía en España es uno de los elementos que pueden dificultar la competitividad de su industria”*. En otras palabras, la supervivencia y sostenibilidad de las empresas depende de que, como consumidores industriales, transformen sus modelos productivos haciéndolos más competitivos y sostenibles, energética y medioambientalmente.

Las herramientas con las que cuentan las empresas para afrontar este reto están orientadas a la optimización de su consumo energético. Estas actuaciones de mejora y optimización se han clasificado tradicionalmente en dos tendencias: 1) la introducción de nuevas tecnologías de proceso para mejorar la eficiencia, y 2) la introducción de mejoras específicas en las operaciones de la planta. En este escenario, las empresas manufactureras están introduciendo nuevos conceptos de análisis y actuación relacionados como la fabricación sostenible mediante enfoques de gestión energética en la manufactura (EMM, Energy Management in Manufacturing) (G. May et al. 2017). No obstante, estas aproximaciones abarcan realización de medidas y estudios basados en seguimiento de KPIs energéticos representativos, empleo de sistemas de monitorización y eficiencia energética o aplicación de métodos relacionados como el análisis de ciclo de vida (LCA, Life Cycle Assessment). Por otro lado, desde el punto de vista de abordar puramente la mejora energética y de sostenibilidad de los procesos desde la perspectiva más aplicada, las siguientes herramientas suponen la referencia general de actuación: la auditoría energética (De un carácter más estático, y regulada en gran medida por la norma [UNE-EN 16247 Auditorías energéticas] y el RD 56/2016), las metodologías como la de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y el Sistema de Gestión Energética, cuya implantación en la empresa se rige mediante la norma ISO50.001. No obstante, todas estas aproximaciones tan solo abarcan de manera parcial el estudio de la optimización del uso y consumo de la energía, además, en la mayoría de los casos, mediante análisis estáticos y apoyados parcialmente en herramientas digitales. Este dibujo de estado de planta de productiva se repite casi todos los sectores presentando un nivel de digitalización energética bajo y no coordinado para el objetivo de obtener un método de análisis avanzado que conlleve la determinación de impactos de mejora de manera eficaz, integral y dinámica.

Es por ello que resulta necesaria una aproximación de mayor profundidad, trabajando en el detalle de la causalidad de los procesos y sus flujos de energía (en el sentido deliberado de ser flujos de consumo y generación energética), y entendiendo un contexto cada vez más dinámico y cambiante en que la gestión de dichos procesos debe ser ágil, inmediata y alineada con la necesidad y el funcionamiento efectivo real, razón por la cual la digitalización y el análisis energético de detalle supone un driver rupturista y diferenciador para el gestor industrial. Este escenario de transición a la digitalización y análisis energético avanzado es, si cabe, de mayor importancia para la energía térmica en la maquinaria en planta, dado el carácter entrópico y dinámico de su naturaleza, así como su impacto efectivo en el consumo total en industria.

De hecho, la actividad industrial contribuyó a una cuarta parte de las emisiones globales de CO₂, sin tener en cuenta las emisiones asociadas con la electricidad (IEA, 2022), representando el calor del proceso el 19 % de la demanda mundial total de energía. A este respecto, algunas medidas de mejora para descarbonizar son las de adoptar diferentes fuentes de calor renovable, así como implementar estrategias de gestión. Por otro lado, fomentar la electrificación del suministro. Estas estrategias, no obstante, no tienen valor por sí solas, y deben ser entendidas en un plan estratégico de evolución a la digitalización energética avanzada de la planta, que consolida el ahorro energético como parte de la operativa y asegura un enfoque de sostenibilidad permanente en las operaciones de ésta. Y, en consecuencia con lo mencionado, la Figura 1 muestra en una pirámide de herramientas cómo el análisis energético avanzado puede y debe ser abordado mediante técnicas de monitorización, modelado y simulación (que ya en sí mismos son habilitadores de alto impacto), orientadas al contexto operativo real de la empresa y enfocada a la necesidad de ésta. La progresión en la pirámide debe ser entendida como un plan de actuación prioritario y consolidado en todas las empresas, la inmensa mayoría de las cuales solo actúan parcialmente en sus escalones inferiores, con lo que ello conlleva en cuanto a la solidez de su estrategia de gestión energética y de la sostenibilidad en su planta industrial. De este modo, Decartherm supone disponer de una herramienta avanzada de digitalización energética con la que determinar las mejores opciones para descarbonizar la actividad por medio de las mejores tecnologías y situaciones térmicas posibles.

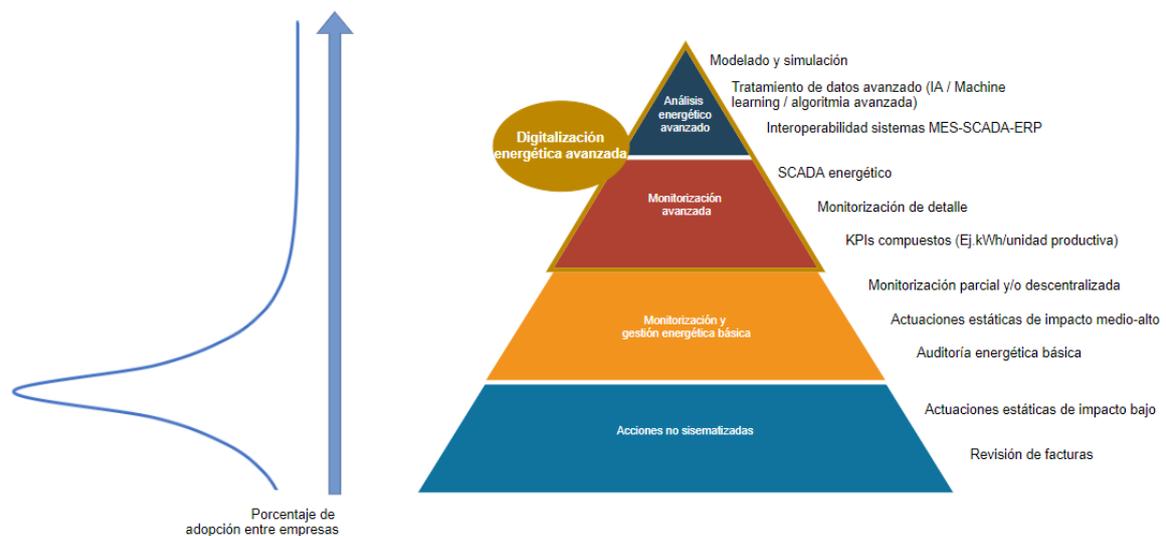


Figura 1. Estrategia de digitalización energética y sostenibilidad. Fuente: ITE.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Con todo lo expuesto, la iniciativa presentada se centra en el desarrollo de una metodología sistematizada de análisis y detección de puntos de mejora de escenarios de descarbonización de la demanda térmica mediante:

1) La caracterización energética relacionándola con la productividad de los procesos y de las actividades de los pilotos que aborda, entre los que se encuentran de dos tipologías: a) procesos industriales de manufactura y b) entornos de edificación con alta demanda térmica. Para testear la etapa de caracterización, que posteriormente se desarrollará en la metodología, se ha realizado una serie de estudios térmicos en empresas del sector industrial y terciario. Se han analizado las distintas tecnologías con las que puede generarse la energía térmica: tipos de sistema de generación, tipo de consumo energético, emisiones, costes de operación, etc. Una vez identificados estos procesos, se determina su demanda térmica. Para ello, se han realizado mediciones de consumo energético, estudio de los procesos, se han definido los parámetros necesarios para llevar a cabo el análisis térmico y se han empleado modelos fisicomatemáticos para predecir la demanda de energía. En la Figura 2 se ve la distribución de consumo de energía térmica por procesos en una industria con alta demanda energética dentro del sector manufacturero, que en el objetivo esencial del proyecto se encuentra su optimización.

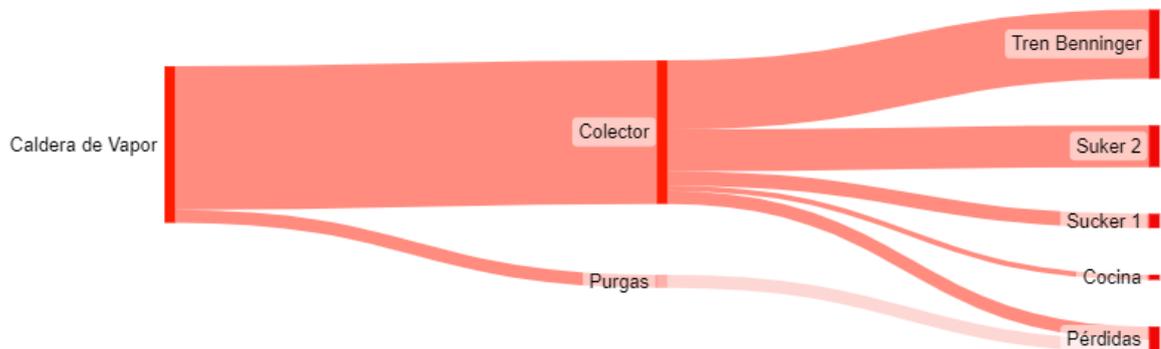


Figura 2. Diagrama Sankey de planta industrial. Fuente: ITE.

2) El desarrollo del modelado y mecanismos de simulación de sistemas de generación y almacenamiento térmico para los entornos mencionados. En este sentido:

- En una fase inicial, se afrontará una primera descarbonización en los procesos de generación de energía térmica con las nuevas tecnologías de generación térmica agregadas, que implican menores consumos de energía primaria.
- En una siguiente fase, se estudiarán los impactos de la implementación adicional de sistemas de almacenamiento térmico. Abordando el análisis de diferentes combinaciones, como por ejemplo podría ser la combinación de bombas de calor y almacenamiento de calor, combinación de la que en diversos estudios de investigación ya se ha encontrado bastante interés (Hirschey 2023, Pelella 2023, y Jin 2023).

CONAMA 2024

DECARTHERM: DESCARBONIZACIÓN MEDIANTE SISTEMAS CON ALMACENAMIENTO TÉRMICO APLICADA A EDIFICACIÓN Y PROCESOS INDUSTRIALES.

- Por último, se enfocan estrategias de gestión inteligente dirigidas a optimizar el balance energético, económico y medioambiental final.



Figura 3. Fases y solución de la metodología Decartherm. Fuente: ITE.

3) El diseño y desarrollo de una herramienta de digitalización energética de análisis y gestión inteligente que permita tener en cuenta las simulaciones realizadas en cada caso y las variables exógenas para el cálculo de las consignas de mejora y operación de la instalación, pudiendo aprovechar todas sus ventajas técnicas.

El proyecto supone una novedad en relación con las soluciones actualmente disponibles, pues mediante la adquisición y combinación de avances en el campo de la mejora de la eficiencia térmica y una nueva herramienta de análisis digital energético permite estudiar los beneficios económicos y ambientales de distintas estrategias de descarbonización basadas en el uso y gestión de sistemas con almacenamiento térmico.

Como se ha mencionado, la metodología diseñada es adaptable a casos de uso en diferentes contextos del sector industrial, en el que diversos estudios han analizado ya su potencial (I. Wolde et al. 2024, y Cirocco et al. 2022), y del sector terciario, donde también se observa potencial de aplicación y mejora. Al respecto, se ha llevado a cabo la evaluación previa para diferentes tipos de perfil de demanda, lo que permite mejorar la flexibilidad, desacoplando la generación de la demanda, y adecuarla a las necesidades de las instalaciones. Con ello, reducir el consumo de energía primaria, avanzando hacia la descarbonización de estos procesos. Además, contempla la integración de requerimientos para adaptarlo a las normas de certificación de ahorro energético (CAE).

METODOLOGÍA DECARTHERM

La metodología de estudio de diferentes escenarios de descarbonización está formada por diferentes etapas, como se muestra a continuación en el siguiente flujograma:



Figura 4. Etapas de la metodología Decartherm. Fuente: ITE.

Una primera etapa consiste en obtener de la empresa información sobre sus demandas térmicas y los equipos con los que actualmente se están cubriendo estas demandas (escenario base), así como también las tecnologías que está interesado en implementar y sus restricciones espaciales/económicas/preferencias. Para ello se dispondrá de un cuestionario vía web, donde la empresa cumplimentará de forma sencilla la información requerida, como se ve en la Figura 5. Una vez terminado se enviarán los datos y se almacenarán de forma automática en una base de datos relacional (SQL), de tal manera que se pueda consultar desde cualquiera de las herramientas.

CONAMA 2024

DECARTHERM: DESCARBONIZACIÓN MEDIANTE SISTEMAS CON ALMACENAMIENTO TÉRMICO APLICADA A EDIFICACIÓN Y PROCESOS INDUSTRIALES.

DECARTHERM

Descarbonización en la industria

Conoce el proyecto DECARTHERM

Descarbonización a través de sistemas de almacenamiento térmico aplicados a edificios y procesos industriales con alta demanda de energía.

[Proyecto](#) [Contáctanos](#)

Información general de la empresa

Nombre de la empresa *
Test0

¿Cierra festivos locales?
Si, cierra en festivos locales

¿Cierra festivos nacionales?
Si, cierra en festivos nacionales

Hora de apertura
0:00

Hora de cierre
23:00

¿Cierra el fin de semana?
No cierra

Precios de compra

Precio de compra del gas 0,0439 Precio de compra del gasóleo 0,0040

Precio de compra de biomasa 0,0450

Indique los periodos de compra
3 periodos de compra

Caso base

Seleccionar Tipo de Almacenamiento
Caldera

Añadir una nueva caldera

Nombre
El nombre se completa automáticamente

Potencia

Fluido Caloportador
Agua

Orden

Tipo Caldera
Convencional Gas

Presión

Rendimiento

[Añadir](#)

Añadir un nuevo fluido

Nombre del fluido

Temperatura Superior

Temperatura Inferior

Densidad
0

Calor específico
0

[Añadir Fluido](#)

[Enviar datos](#)

[Clear Cache \(Esto está para debuggear Ballén\) :D](#)

Figura 5. Cuestionario de entrada de datos. Fuente: ITE.

La segunda etapa de la metodología consiste en varios algoritmos desarrollados en Python para definir los distintos posibles escenarios de estudio, simularlos (mediante la herramienta de simulación dinámica de sistemas energéticos Trnsys), obteniendo los valores de los KPI para cada escenario y seleccionando el más adecuado. Finalmente, se realiza el estudio buscando una gestión optimizada en función del dimensionamiento de los equipos y las temperaturas utilizadas.

En la definición de los escenarios, la secuencia utilizada para realizar el estudio de descarbonización, una vez que se dispone de la información necesaria de la empresa, es la siguiente:

- Se genera la primera serie de posibles escenarios con la combinación de tecnologías de generación térmica. En primer lugar, se introducen las nuevas tecnologías y se dimensionan. Para una misma combinación de tecnologías aún se generan diferentes escenarios con diferentes ratios de potencia instalada para cada tecnología para analizar con cuál de ellos se obtienen mejores resultados. Se simulan dos diferentes escenarios fruto de la combinación de tecnologías y dimensionamientos, y con estos resultados se obtienen los valores de los indicadores económicos y medio ambientales, seleccionando cuál es el escenario óptimo en función de los intereses de la empresa.

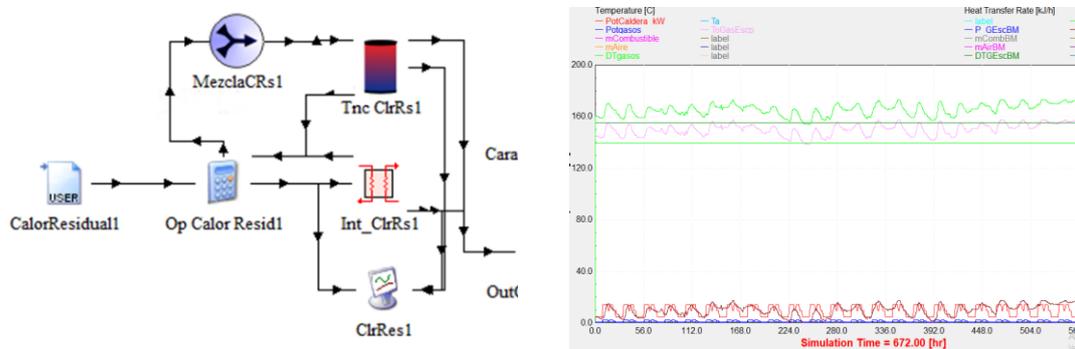


Figura 6. Ejemplo de modelos en Trnsys para la simulación energética de los posibles escenarios considerados; izquierda: ejemplo de esquema de modelado de aprovechamiento de calor residual; derecha: ejemplo de resultados para sistema de generación de caldera de gas natural. Fuente: ITE.

- A continuación, se realiza un estudio similar, pero en este caso además también se añaden sistemas de almacenamiento.
- De igual modo, se simulan todos los casos creados y se selecciona cual es el escenario óptimo para la empresa.
- Una vez que se dispone del escenario óptimo con almacenamiento, se realiza un dimensionamiento más refinado y se busca una operación optimizada de los sistemas de generación y el almacenamiento de la energía térmica en función de la determinación de las temperaturas.
- Finalmente se emitirá un informe de resultados que recogerá toda la información generada, indicando el que sería el escenario más adecuado para la empresa caso de aplicación según los criterios inicialmente indicados, pero recogiendo y mostrando también todos los datos obtenidos para los demás escenarios considerados y evaluados, para su conocimiento por parte de la empresa y por si por algún motivo los criterios iniciales pueden modular y después de conocer su comportamiento resultara más interesante otro de los escenarios evaluados.

En la Figura 7 se muestran los actores de la metodología, sus herramientas y sus conexiones:

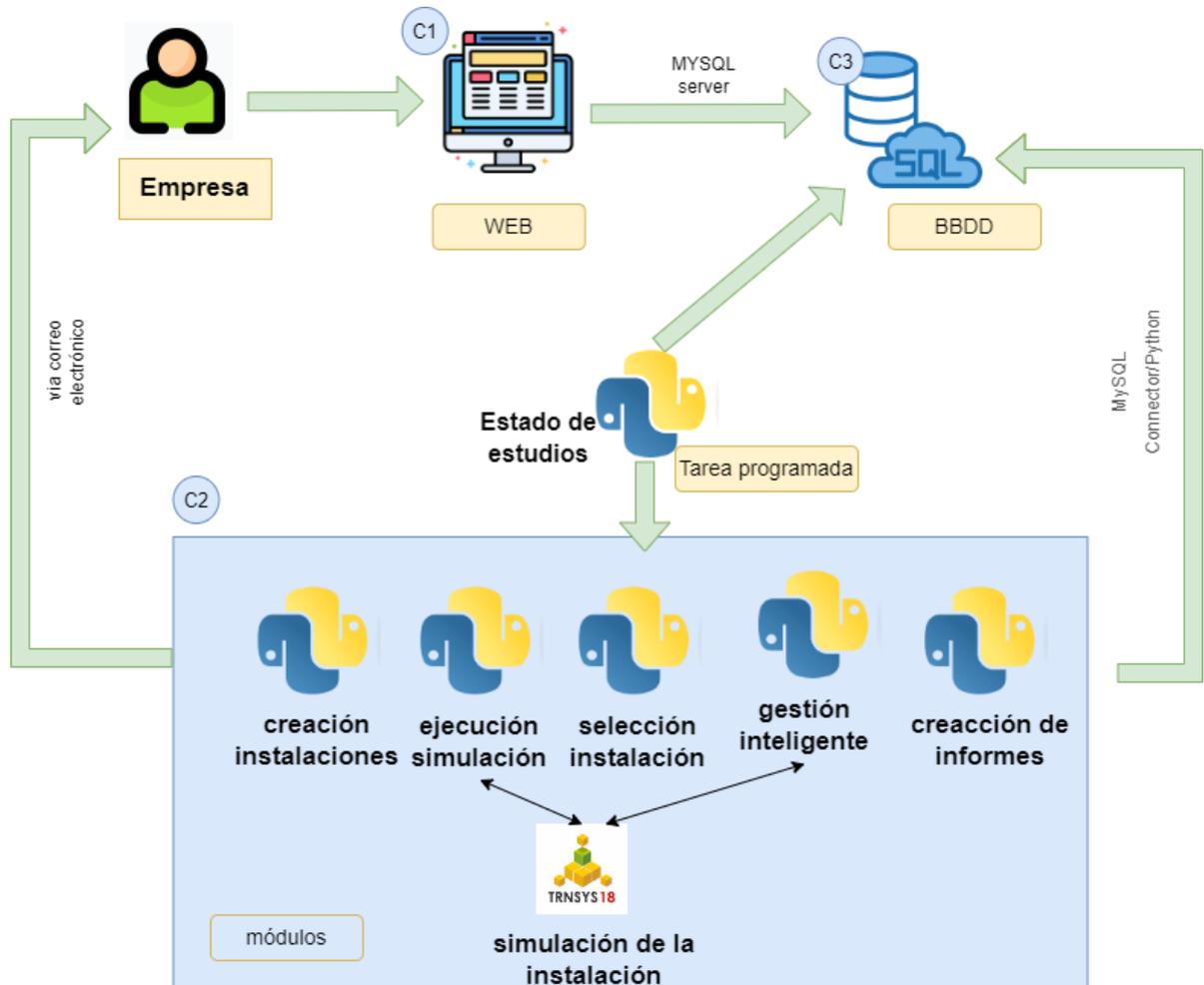


Figura 7. Interacción entre agentes en la metodología Decartherm. Fuente ITE.

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.

Esta metodología se ha desarrollado con miras a su aplicación para casos de empresas del sector industrial y para casos de empresas del sector terciario. El sector industrial cuenta con grandes consumidores de energía térmica por necesidades de determinadas acciones en sus procesos de fabricación, y también en numerosas ocasiones tienen fuentes de calor residual no aprovechadas. Las empresas del sector terciario cuentan también con importantes demandas de energía térmica, muchas veces con un potencial de simbiosis no aprovechado, y suelen generar la energía térmica demandada justo en el instante en que se produce la demanda, sin contar con los beneficios del almacenamiento para la mejora de la eficiencia en la generación de esta energía térmica.

A partir de pruebas de validación de la metodología realizadas en algunas empresas colaboradoras (siendo estas del sector manufacturero textil y del sector terciario de salud y hotelero), se han detectado posibilidades de reducción del consumo de energía primaria en algunos procesos, analizados en detalle según los criterios establecidos en el propio proyecto, que pueden llegar a superar el 50%, gracias, por ejemplo, al aprovechamiento de calor residual.

RESULTADOS

De esta manera, con el proyecto Decartherm se ha desarrollado una metodología, así como las herramientas necesarias en cada etapa de esta, para sistematizar y agilizar el estudio del potencial de mejora de la eficiencia energética de las empresas para satisfacer sus demandas térmicas, la generación de posibles escenarios a considerar en base a los objetivos de la empresa y la evaluación de los KPIs de cada posible escenario. Como resultado, la empresa obtendrá su potencial de mejora respecto a sus consumos actuales de energía primaria, con sus impactos tanto económicos como ambientales asociados y dadas sus capacidades económicas de inversión y de disponibilidad de espacio y acceso a fuentes de energía renovable, tal como se indica en la Figura 8. Así, se indicará qué escenario cumpliría mejor los objetivos energéticos, económicos y ambientales de la empresa, mostrando también todos los resultados obtenidos en el estudio para los demás escenarios evaluados.

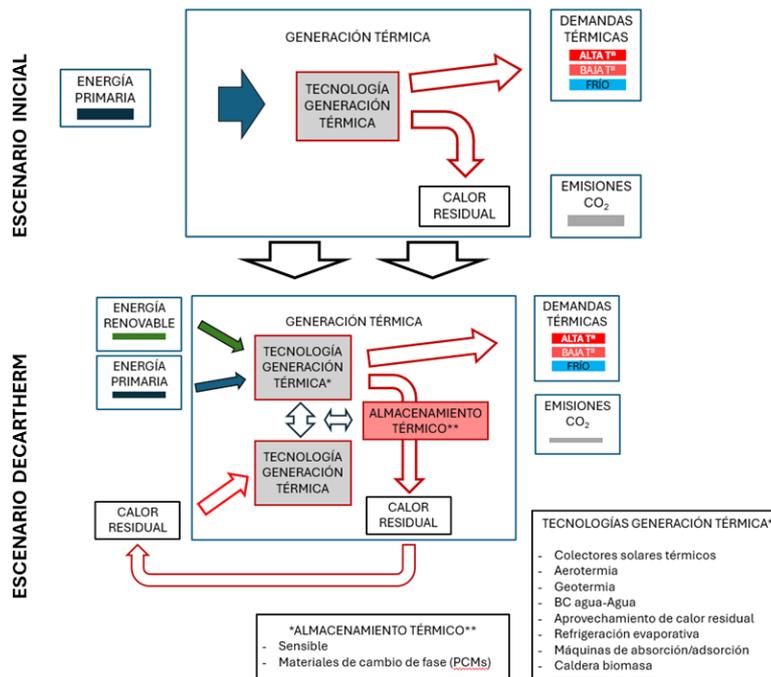


Figura 8. Esquema de orientación de escenarios de mejora para la descarbonización de la cobertura de las demandas térmicas. Fuente ITE.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto DECARTHERM “Descarbonización mediante sistemas con almacenamiento térmico aplicada a edificación y procesos industriales con alta demanda energética”. Llevado a cabo por el Instituto Tecnológico de la Energía (ITE), financiado por el Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE), con número de expediente IMDEEA/2023/54, y con la cofinanciación de la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) dentro del Programa Operativo FEDER de la Comunitat Valenciana 2021-2027.

REFERENCIAS

- Comisión Europea, “Marco sobre clima y energía para 2030”, 2023.
- G. May et al., “Energy management in manufacturing: From literature review to a conceptual framework”. Journal of cleaner production 2017.
- J. Hirschey et al., “Demand reduction and energy saving potential of thermal energy storage integrated heat pumps”, International Journal of Refrigeration 2023.
- F. Pelella et al., “Thermo-economic optimization of a multi-source (air/sun/ground) residential heat pump with a water/PCM thermal storage”, Applied Energy 2023.
- Wolde et al., “Compatibility assessment of thermal energy storage integration into industrial heat supply and recovery systems”, Journal of Cleaner Production 2024.
- L. Cirocco et al., “Thermal energy storage for industrial thermal loads and electricity demand side management”, Energy Conversion and management 2022.
- X. Jin et al., “Energy and economic performance of the heat pump integrated with latent heat thermal energy storage for peak demand shifting”, Applied Thermal Engineering 2023.