

Electrificación directa de la industria en España

Oportunidades y retos en el sector
agroalimentario

INFORME - Octubre de 2024

Contenido

1.	Resumen ejecutivo	4
2.	Introducción	7
3.	La electrificación directa como estrategia clave: Beneficios e importancia en los esfuerzos de descarbonización de España	10
4.	Tecnologías de electrificación directa: Breve descripción de las tecnologías relevantes y su aplicabilidad	13
	Bombas de calor: Campeones en eficiencia	14
	Calderas eléctricas: Versátiles y precisas	16
	Calefacción eléctrica por resistencia: Simple y eficaz	17
	Almacenamiento de energía térmica: Equilibrio entre la oferta y la demanda de energía	18
5.	Electrificación directa del sector agroalimentario	20
6.	Principales retos	27
	Elevados costes de inversión y bloqueo tecnológico	28
	Costes de electricidad	29
	Dificultades para conectarse a la red	31
7.	Políticas existentes y recomendaciones políticas	33
	Recomendaciones políticas	37
8.	Conclusión	39
	Apéndice: Potencial específico de electrificación de los subsectores agroalimentarios españoles más intensivos en energía	41
	Alimentación animal	41
	Frutas y verduras	42
	Aceites	43
	Lácteos	44
	Fuentes	46

Con el apoyo de



European
Climate
Foundation

Este informe se ha realizado con el apoyo de la European Climate Foundation. La responsabilidad de la información y las opiniones expresadas en este informe recae en los autores. European Climate Foundation no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida o expresada en el mismo.

Autor:

Selene Law

Cleantech Group

Agradecimientos

Bianca Dragomir, **Cleantech for Iberia**

Ana Campos, **Cleantech for Iberia**

Jack Ellis, **Cleantech Group**

Noah Ross, **Cleantech Group**

Andres Pascual Vidal, **Ainia**

Joaquín Coronado Galdos, **Build to Zero**

Sarah Azau, **EHPA**

Sergio Barona, **Fedacova**

Jose Pascual Martí Mata, **Rank@**

Iago Bastos, **Ecoforest Geotermia**

Josh Gartland, **CEFS**

Marco Giuli, **Agora Energiewende**

Addison Stark, **Atmos Zero**

Antonio Ferragud, **Vicky Foods**

Felix Uthoff, **Referent Technik und Normung**

Sören Friis-Hansen, **Embla Consulting**

Bjarke Buchbjerg, **Kyoto**

European Heat Pump Association

Alberto Toril, **Breakthrough Energy**

Luisa Revilla, **Centre for the Technological Development and Innovation (CDTI)**

Ismael Morales, **Fundación Renovables**

Ana Barreira, **International Institute for Law and Environment (IIDMA)**

Isabel Buschell, **Transport & Environment**

Manuel Cano, **Rondo Energy**



1. Resumen ejecutivo

A medida que se intensifica la preocupación mundial por el cambio climático, la Unión Europea (UE) ha establecido ambiciosas políticas climáticas y energéticas encaminadas a lograr la neutralidad de carbono para 2050. En este contexto, la UE se ha comprometido a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en todos los sectores, incluida la industria. Junto a ello, el **Clean Industrial Deal** previsto hará del impulso a la competitividad industrial una prioridad de la nueva Comisión Europea. Y España desempeñará un papel crucial en el contexto de la descarbonización y la competitividad de la UE, y tiene ahora la oportunidad de liderar esta transición. Sin embargo, el país se enfrenta a la tarea urgente de descarbonizar su sector industrial, que representa el 18,1% de las emisiones de gases de efecto invernadero del país. La **electrificación directa de la industria** emerge como una solución práctica y viable para muchos sectores, ya que ofrece el potencial de mejorar la seguridad energética y la competitividad económica a largo plazo de España para que el país lidere la transición hacia una economía verde.

El presente informe explora las oportunidades y retos de la **electrificación industrial en España, con especial atención al sector agroalimentario** como punto de partida prometedor. La industria agroalimentaria española, que es la cuarta más grande de Europa y representa el 5,8% del PIB español -el 11% si se incluyen todas las actividades de la cadena alimentaria -, presenta un caso convincente para la adopción temprana de tecnologías de electrificación debido a sus menores requisitos de temperatura y a su alta intensidad energética.

La electrificación ofrece importantes ventajas para el sector industrial español, como la reducción sustancial de las emisiones de carbono, el aumento de la eficiencia energética, la mejora de la seguridad energética y la amplia aplicabilidad en diversas industrias. Estas ventajas son especialmente pronunciadas en España debido a su mix eléctrico (valor que expresa las emisiones de CO₂ asociadas a la generación de electricidad que se consume), cada vez más bajo en carbono. Con una parte significativa de la electricidad procedente de fuentes renovables, España cuenta con una de las redes con menor intensidad de carbono de Europa, lo que amplifica las posibles reducciones de emisiones derivadas de la electrificación industrial.

La electrificación también ofrece una oportunidad única para introducir una mayor flexibilidad en todas las industrias. A medida que avanzan las tecnologías de electrificación, las industrias pueden optimizar sus operaciones mediante la integración de **sistemas energéticos inteligentes**, soluciones de almacenamiento de energía y fuentes de energía renovables. Esta transición mejorará la competitivi-

dad industrial de España, reducirá las emisiones de carbono y allanará el camino para la descarbonización de la industria, lo que respaldará los objetivos climáticos del país y lo harán avanzar en su liderazgo en la reindustrialización verde.

Varias tecnologías de electrificación resultan prometedoras en diversos sectores. **Las bombas de calor** ofrecen una eficiencia excepcional y son especialmente adecuadas para procesos a baja temperatura. **Las calderas eléctricas** son capaces de alcanzar temperaturas más altas con un control preciso y emisiones reducidas. **La calefacción por resistencia eléctrica** proporciona un calentamiento rápido y un control preciso de la temperatura para aplicaciones específicas. **El almacenamiento de energía térmica** ayuda a equilibrar la oferta y la demanda de energía y a integrar gradualmente la generación renovable, lo que permite ahorrar costes y mejorar la gestión de la red. Cada tecnología tiene sus puntos fuertes, lo que las hace adecuadas para distintas aplicaciones industriales en función de factores como las temperaturas requeridas y las características específicas del proceso.

No obstante, hay una serie de **retos** que **deben afrontarse** para maximizar el elevado potencial de la electrificación. Entre ellos, figuran los elevados costes iniciales de la tecnología (CAPEX), el bloqueo tecnológico, los altos costes de la electricidad en comparación con los precios actuales del gas natural y las dificultades para obtener conexiones a la red, sobre todo en las zonas rurales. A pesar de estos obstáculos, los beneficios a largo plazo de la electrificación (eficiencia superior, mayor seguridad energética y mejora de la competitividad) hacen que merezca la pena afrontar estos retos.

Las políticas actuales, como el **Régimen Comunitario de Comercio de Derechos de Emisión (RCDE)** y el **PERTE de Descarbonización Industrial de España**; y los planes de apoyo, como el **Fondo Europeo de Innovación** y el **Fondo Next Generation** de la UE, constituyen un respaldo. Sin embargo, son insuficientes para acelerar la adopción de tecnologías de electrificación a gran escala. Este informe recomienda medidas específicas adicionales para, entre otras cosas, mejorar la competitividad de la electricidad a través de incentivos fiscales, racionalizar los procedimientos de financiación y ampliar el apoyo financiero, así como optimizar las conexiones y el uso de la red.

Con la aplicación de estas recomendaciones y el aprovechamiento de las ventajas en materia de energías limpias, **España puede situarse a la vanguardia de la descarbonización industrial**. Esto representa una oportunidad para que el país se convierta en líder en prácticas industriales sostenibles, lo que abrirá potencialmente nuevos mercados y fomentará la innovación en todo su tejido industrial.



2. Introducción

A medida que las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) siguen aumentando, alcanzando 37,5 toneladas en 2023² con temperaturas globales 1,1°C por encima de los niveles preindustriales³, las industrias mundiales buscan soluciones innovadoras para reducir su huella de carbono, al tiempo que reducen sus facturas energéticas y aumentan la protección. España, la cuarta economía de Europa en términos de PIB nominal⁴, se encuentra en un momento crucial en su camino hacia sus objetivos de emisiones netas cero.

El compromiso de España de alcanzar las emisiones netas de carbono cero en 2050 establece un objetivo ambicioso, que requiere cambios transformadores en todos los sectores. Aunque las emisiones de GEI per cápita de España están por debajo de la media de la UE (6 tCO₂-eq en comparación con la media de la UE de 8 tCO₂-eq), sus emisiones globales de gases de efecto invernadero aumentaron un 1,7% en 2022, alcanzando 293,8 MtCO₂-eq⁵. Además, España sólo ha sido capaz de demostrar un descenso del 2% en las emisiones nacionales netas de carbono en comparación con la media regional de la UE, del 32% durante el periodo 1990-2022⁶, lo que pone de manifiesto la necesidad urgente de enfoques innovadores para la descarbonización.

La **electrificación directa** emerge como una poderosa estrategia con potencial para transformar múltiples sectores de la industria española. Desde el sector textil hasta el automovilístico, pasando por el agroalimentario, la electrificación ofrece una vía hacia una reducción significativa de las emisiones y una mayor eficiencia energética. Aunque este informe se centrará principalmente en la industria agroalimentaria, es importante reconocer que los principios y tecnologías analizados tienen una amplia aplicabilidad en todo el panorama industrial español.

El sector agroalimentario español, el cuarto de Europa y uno de los principales contribuyentes al PIB español, con un 5,8%, y un 11% si se incluyen todas las actividades de la cadena alimentaria, presenta un caso de estudio convincente sobre el potencial de la electrificación. Este sector emplea a 500.000 personas, aporta unos ingresos de 160.000 millones de euros al año y representa el 17% del sector industrial en España⁷. Con su considerable impacto económico y su elevada proporción de pequeñas y medianas empresas (PYME), que constituyen el 96% del sector⁸, ofrece una oportunidad única para demostrar el poder de la electrificación para impulsar tanto el crecimiento económico como la sostenibilidad. Además, la transición a la electrificación puede mejorar la seguridad alimentaria al aumentar la resistencia y la eficiencia de los procesos de producción de alimentos, al reducir la dependencia de los mercados volátiles de combustibles fósiles.

Es de destacar que el sector agroalimentario también contribuye, en gran medida, a las emisiones de carbono de España, ya que emitió alrededor del 12% (34,4 toneladas) de las emisiones de CO₂ del país en 2021. Los datos de la UE muestran que hasta el 79% de la energía utilizada en los sistemas alimentarios procede de combustibles fósiles⁹, lo que subraya el importante potencial de cambio a través de la electrificación.

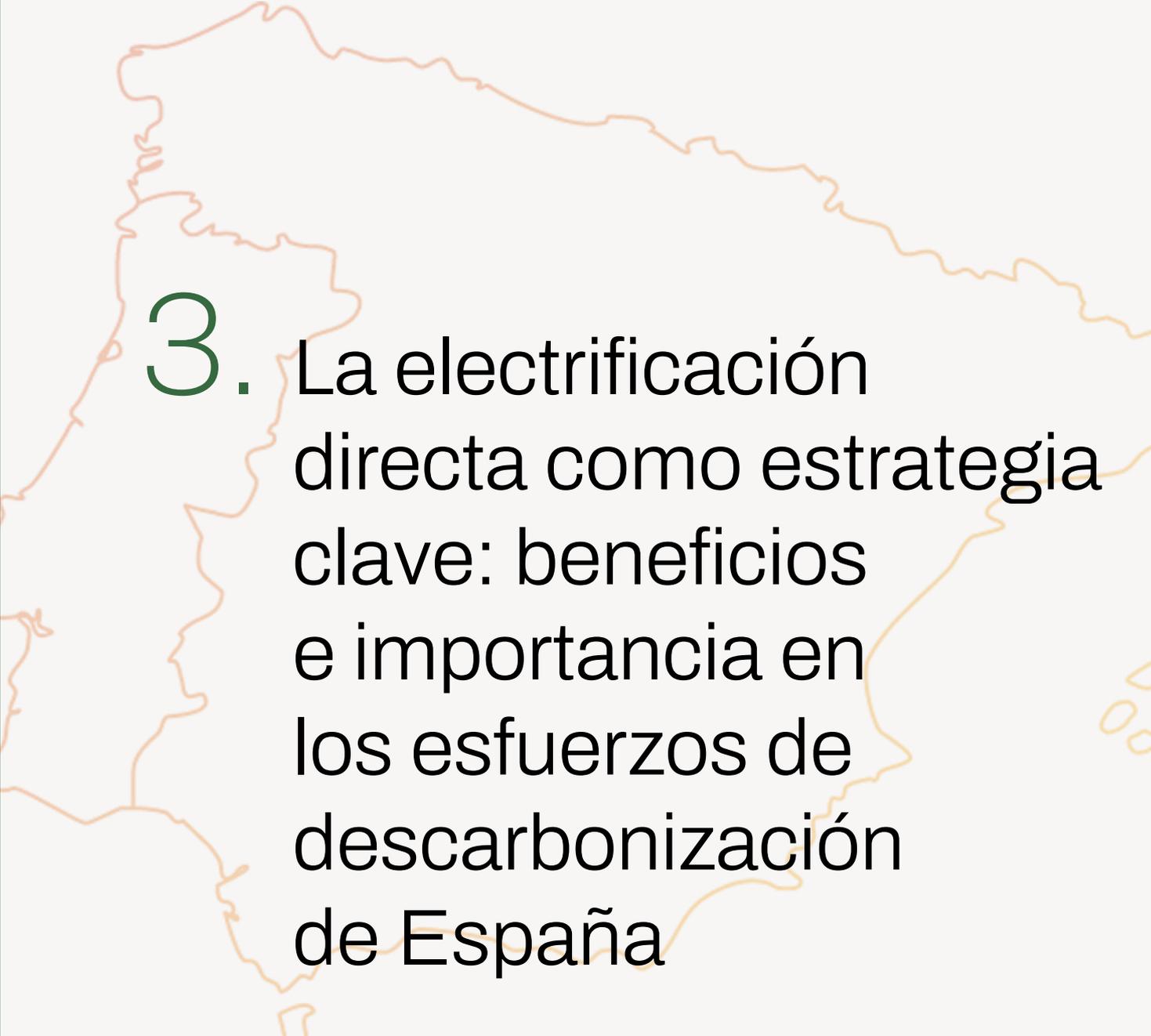
Objetivo del informe

Este informe explora el potencial transformador de las **tecnologías de electrificación en las industrias de baja temperatura** de España, con especial atención al sector agroalimentario, y más concretamente a las bajas temperaturas de hasta 250 C° grados. Mediante el examen de los obstáculos a la adopción y la propuesta de soluciones, pretende demostrar la necesidad de acelerar la transición hacia procesos de producción más limpios y eficientes en todo el país.

Los **principales objetivos** de este informe son:

1. Comparar las tecnologías de electrificación con las tecnologías de descarbonización tradicionales y alternativas.
2. Identificar los procesos más intensivos en CO₂ en el sector agroalimentario como ejemplo de dónde la electrificación puede tener un impacto significativo.
3. Explorar cómo pueden aplicarse a estos procesos las tecnologías de electrificación existentes.
4. Identificar los principales obstáculos a la adopción y analizar las políticas actuales que fomentan una mayor electrificación en todas las industrias.
5. Recomendar nuevas medidas políticas para superar los obstáculos a la electrificación de la industria

Mediante una combinación de entrevistas primarias con una quincena de agentes del sector e investigación de apoyo, este informe ofrece una visión completa de las **oportunidades y retos que plantea la electrificación de las industrias españolas**.



3. La electrificación directa como estrategia clave: beneficios e importancia en los esfuerzos de descarbonización de España

La **electrificación directa** -el proceso de sustitución de procesos basados en combustibles fósiles por alternativas electrificadas- se perfila como una estrategia transformadora para el panorama industrial español. Según la Agencia Internacional de la Energía (AIE), el sector industrial es responsable de aproximadamente el 30% de las emisiones mundiales de carbono, por lo que la electrificación representa una importante oportunidad para la descarbonización de diversos sectores.

Los beneficios de la electrificación en el sector industrial español son numerosos y de gran alcance. Una ventaja significativa es el potencial de **reducción sustancial de las emisiones de carbono**, un área en la que España está excepcionalmente bien posicionada. Según la organización de investigación Ember Climate, **el sector eléctrico español es el cuarto del mundo por su baja intensidad de carbono**. Inicialmente medida en 174 gCO₂eq/kWh, la intensidad de carbono de España se ha reducido aún más. Datos recientes de la Red Europea de Gestores de Redes de Transporte de Electricidad (Entso-E) muestran que, en 2023, la intensidad de carbono de España se redujo a 131 gCO₂eq/kWh, con un 54% de electricidad procedente de fuentes renovables. Esta combinación de energías limpias amplifica los beneficios medioambientales potenciales de la electrificación directa en todo el panorama industrial español. Además, según la última actualización del Plan Nacional de Energía y Clima de España, las emisiones de gases de efecto invernadero disminuirán un 32% con respecto a 1990 y un 55% con respecto a 2005, mientras que la cuota de energías renovables en la electricidad debería alcanzar el 81% en 2030, lo que abriría el camino para alcanzar el objetivo de cero emisiones netas en 2050.¹⁰

Otra ventaja clave es la **mayor eficiencia** que ofrece la electrificación. Las calderas eléctricas, por ejemplo, tienen un impresionante rendimiento del 99%, frente al 92-93% de las calderas de gas. Las bombas de calor ofrecen mejoras aún más espectaculares, ya que muchos modelos comerciales alcanzan un coeficiente de rendimiento (COP) de 3 ó 4, lo que se traduce en una eficiencia del 300-400%. Cuando combinan las funciones de calefacción y refrigeración en un sistema cerrado, las bombas de calor pueden alcanzar coeficientes de rendimiento aún mayores, de 7 a 10. Esto significa que, por cada unidad de energía eléctrica aportada, se producen hasta 10 unidades de energía térmica, que superan con creces las capacidades de los sistemas tradicionales basados en combustibles fósiles.

Un beneficio adicional de la electrificación es la **mejora de la seguridad energética**. La electrificación contribuye significativamente a la **independencia energética** de España. Al reducir la dependencia de los combustibles fósiles importados y

aprovechar las fuentes de energía renovables nacionales, la electrificación ayuda a aislar a las industrias españolas de la volatilidad de los precios mundiales de la energía y de las interrupciones del suministro. Este cambio hacia la electricidad producida localmente aumenta la independencia energética y la resistencia del país.

La electrificación también ofrece la ventaja de **una amplia aplicabilidad** en diversas industrias. La diversidad industrial de España ofrece múltiples vías para aplicar la electrificación directa. La industria del automóvil, piedra angular de la economía española con una contribución del 10% al PIB, es un ejemplo de este potencial. En su transición a la producción de vehículos eléctricos, el sector también está adoptando procesos de fabricación electrificados, como la soldadura por resistencia eléctrica para el ensamblaje de carrocerías y la producción de motores eléctricos. La industria textil está explorando procesos de teñido y secado electrificados, mientras que la industria química adopta cada vez más hornos eléctricos y procesos electroquímicos. Incluso sectores que requieren procesos de alta temperatura, como la cerámica y la producción de vidrio -ambos importantes contribuyentes a la economía española-, están investigando opciones de electrificación. La industria de materiales de construcción, especialmente la producción de cemento, también está analizando formas de electrificar procesos tradicionalmente intensivos en combustibles fósiles.

En todas estas industrias, los procesos que requieren temperaturas de 0°C a 2000°C han dependido tradicionalmente de los combustibles fósiles, lo que ha provocado altos niveles de contaminación. Sin embargo, el panorama está cambiando rápidamente con la creciente disponibilidad de alternativas más limpias y neutras en carbono. En los rangos de temperatura más bajos (hasta unos 200°C), las tecnologías disponibles en el mercado, como las bombas de calor y las calderas eléctricas, ya están muy extendidas y ofrecen ventajas significativas tanto en términos de reducción de emisiones como de eficiencia. Aunque estas tecnologías tienen limitaciones en los rangos de temperatura más elevados, el proceso de innovación es sólido. Tecnologías emergentes como el almacenamiento de energía térmica y las bombas de calor de alta temperatura prometen ampliar las ventajas de la electrificación a procesos que requieren temperaturas mucho más elevadas.

La industria agroalimentaria, con sus requisitos de temperaturas más bajas, suele considerarse una **candidata ideal para la adopción temprana de tecnologías de electrificación**. Sin embargo, los beneficios de la electrificación van mucho más allá de este sector. La combinación de energías limpias en España hace que la electrificación directa sea una estrategia viable para una amplia gama de industrias, lo que la posiciona como una piedra angular en esfuerzos más amplios de descarbonización industrial del país.



4. Tecnologías de electrificación directa: breve descripción de las tecnologías pertinentes y su aplicabilidad

A medida que España avanza hacia un futuro industrial más sostenible y competitivo, diversas tecnologías de electrificación están llamadas a desempeñar un papel crucial. Estas tecnologías ofrecen ventajas y aplicaciones únicas. Y contribuyen al objetivo general de descarbonización y aumento de la eficiencia en diversos sectores.

	CAPEX	Efficiency	TRL* *for temperatures ≤ 200°C	Summary
Commercial Heat Pump 	\$\$\$	300 – 400%	6 – 9	Highest efficiency but challenges with higher temperatures
Electric Boiler 	\$\$	99%	9+	Lower CAPEX and ability to reach high temperatures, but more expensive OPEX
Electric Resistance Heating 	\$	99%	9+	Ease of installation and ability to reach higher temperatures but higher OPEX than boilers, heat pump
Thermal Energy Storage 	\$\$\$\$	80% - 90%	6 – 9	Grid flexibility and demand storage capabilities, but expensive upfront cost

Fuente: Cleantech Group

Bombas de calor: campeones de eficiencia

Las bombas de calor representan una solución muy eficaz para controlar la temperatura en los procesos industriales. Las bombas de calor, que funcionan según principios similares a los de los frigoríficos o aires acondicionados, extraen calor de una fuente, lo amplifican y lo transfieren a donde sea necesario. Los componentes clave son:

- **Evaporador:** absorbe el calor de la fuente y lo convierte en vapor a baja presión y temperatura.
- **Compresor:** comprime el vapor, aumenta su temperatura y presión.
- **Condensador:** convierte el vapor a alta presión y temperatura de nuevo en líquido, liberando calor.
- **Válvula de expansión:** reduce la presión del líquido, provocando su evaporación y reiniciando el ciclo.¹²

La principal ventaja de las bombas de calor reside en su excepcional eficiencia. Con coeficientes de rendimiento (COP) que suelen rondar el 4 (400% de eficiencia) , y algunos modelos avanzados que alcanzan un COP de entre 5 y 6 (500-600% de eficiencia), las bombas de calor superan con creces a otras tecnologías de electrificación en términos de consumo de energía. Esta eficiencia puede mejorarse aún más si se utiliza el calor residual, en cuyo caso es posible alcanzar un COP de hasta 10, también mediante la conexión de varias unidades. Como ventaja adicional, las bombas de calor pueden proporcionar funciones de refrigeración, lo que las convierte en soluciones versátiles para industrias con necesidades tanto de calefacción como de refrigeración.

En la actualidad, la mayoría de las bombas de calor disponibles en el mercado funcionan por debajo de 100 °C, y algunas alcanzan hasta 160 °C¹⁴.

Aunque esta temperatura cubre muchos procesos del sector agroalimentario, la investigación en curso sobre nuevos refrigerantes y compresores tiene como objetivo ampliar esta gama para satisfacer todas las necesidades de temperatura del sector, de hasta 200°C. En particular, la combinación de bombas de calor con sistemas de recompresión mecánica de vapor (MVR) para proporcionar vapor a mayor temperatura avanza rápidamente y es probable que se generalice su comercialización en los próximos años.

Aunque las bombas de calor ofrecen una eficiencia superior, su inversión inicial y su elevado coste de integración, junto con el tiempo de inactividad de la integración, pueden significar un factor disuasorio para su implementación. Con todo, a la hora de evaluar la adopción de una bomba de calor, es fundamental considerar la inversión inicial en el contexto de los costes y beneficios de todo el ciclo de vida. Esta perspectiva más amplia revela a menudo que el ahorro energético y la eficiencia operativa a largo plazo pueden compensar la inversión inicial, lo que convierte las bombas de calor en una opción económicamente atractiva para muchas aplicaciones industriales, en particular de rangos de temperatura bajos, si se adopta una perspectiva a más largo plazo.

Table 1.2: Industrial heat pump technology readiness by temperature range

Temperature range	Technology readiness level (TRL)	Example process
<80 °C	● TRL 11: Proof of market stability	Paper: De-inking Food: Concentration Chemical: Bio-reactions
80 °C to 100 °C	● TRL 10: Commercial and competitive, but large-scale deployment not yet achieved	Paper: Bleaching Food: Pasteurisation Chemical: Boiling
100 °C to 140 °C	● TRL 8-9: First-of-a-kind commercial applications in relevant environment	Paper: Drying Food: Evaporation Chemical: Concentration
140 °C to 160 °C	● TRL 6-7: Pre-commercial demonstration	Paper: Pulp boiling Food: Drying Chemical: Distillation Various industries: Steam production
160 °C to 200 °C	● TRL 8-9: First-of-a-kind commercial applications for small-scale MVR systems and heat transformers ● TRL 4-5: Early to large prototype	Various industries: High-temperature steam production
>200 °C	● TRL 4: Early prototype	Various industries: High-temperature processes

Readiness level: ● TRL 1 to 5 ● TRL 6 to 7 ● TRL 8 to 11

Fuente: Agencia Internacional de la Energía (AIE)

Calderas eléctricas: versátiles y precisas

Las calderas eléctricas convierten la energía eléctrica en calor, que luego se utiliza para generar vapor o agua caliente. Su funcionamiento consta de cuatro pasos fundamentales:

- **Alimentación eléctrica:** conectada a la red eléctrica o a fuentes de energía renovables in situ, utiliza elementos calefactores eléctricos como calentadores de inmersión o electrodos.
- **Generación de calor:** la electricidad que pasa por estas resistencias eléctricas genera calor debido a la resistencia eléctrica. El calor producido se transfiere al agua dentro de la caldera.
- **Producción de vapor o agua caliente:** el calor generado convierte el agua en vapor o agua caliente para aplicaciones de calefacción.
- **Control de temperatura:** los sistemas de control preciso mantienen temperaturas específicas cruciales para la calidad y seguridad del producto.

Presentan varias ventajas sobre otras tecnologías. Pueden funcionar a temperaturas más altas que las bombas de calor típicas, normalmente entre 60 °C y 195 °C, con variantes de alta presión capaces de superar este intervalo. Además, las calderas eléctricas no necesitan fuentes de calor residual para funcionar con la máxima eficiencia, mientras que las bombas de calor, aunque pueden funcionar con el aire ambiente, mejoran considerablemente su eficiencia cuando se integran con fuentes de calor residual.

Asimismo, las calderas eléctricas alcanzan una alta eficiencia energética, de hasta el 99%, lo que rebaja significativamente el derroche de energía. Este alto rendimiento contribuye a reducir las emisiones y favorece procesos industriales más limpios. El control preciso de la temperatura que ofrecen las calderas eléctricas es esencial para mantener la calidad del producto en aplicaciones como el procesado de alimentos. Además, requieren menos mantenimiento y tienen una vida útil más larga que las calderas de gas, lo que ofrece ventajas operativas adicionales.¹⁵

Aunque suelen tener unos costes iniciales más reducidos que los de las bombas de calor, su demanda de energía es mayor. Esto suele requerir inversiones adicionales en integración de sistemas y mejoras de conexión a la red. Mejoras que son cruciales para mantener un suministro eléctrico estable, esencial para las operaciones industriales continuas.

Una consideración clave a la hora de adoptar calderas eléctricas es equilibrar los gastos de capital (CAPEX) y los gastos de explotación (OPEX). Aunque los gastos de capital iniciales pueden ser superiores a los de las calderas de gas o los calentadores eléctricos de resistencia, las perspectivas de los

gastos de explotación a largo plazo presentan matices. En la actualidad, el gas natural suele ser más barato que la electricidad, lo que puede aumentar los gastos de explotación de las calderas eléctricas. Sin embargo, teniendo en cuenta el aumento de la eficiencia, los futuros mecanismos de tarificación del carbono, como el ETS2, y la evolución de las tendencias energéticas, es probable que el funcionamiento de las calderas eléctricas sea más rentable a largo plazo.

Calefacción eléctrica por resistencia: simple y eficaz

El calentamiento por resistencia eléctrica es un método sencillo y potente de convertir la energía eléctrica en calor. Este proceso utiliza elementos resistivos, como bobinas o cables, que generan calor cuando una corriente eléctrica pasa a través de ellos. La sencillez de este mecanismo permite un control preciso e inmediato de la temperatura, lo que lo hace adecuado para una amplia gama de aplicaciones industriales.

Una de las principales ventajas del calentamiento por resistencia eléctrica es su capacidad para alcanzar temperaturas muy elevadas. Dependiendo del material y el diseño del elemento calefactor, estos sistemas pueden funcionar normalmente en un rango de 100°C a 1.200°C (212°F a 2.192°F). Esta amplitud de temperaturas hace que el calentamiento por resistencia eléctrica sea versátil para diversos procesos industriales.

En términos de generación de vapor, las calderas de resistencia eléctrica son capaces de producirlo a diversas presiones y temperaturas. La producción máxima de vapor de estas calderas suele alcanzar aproximadamente 180 °C y hasta 10 bares de presión, lo que cumple los requisitos de numerosas aplicaciones industriales de vapor.

La calefacción por resistencia eléctrica es conocida por su eficacia. Porque convierte en calor casi el 100% de la energía eléctrica, lo que significa que la entrada de electricidad se traduce directamente en salida de calor con pérdidas mínimas. La capacidad de esta tecnología para proporcionar un calentamiento rápido y uniforme la hace ideal para aplicaciones en las que el **control preciso de la temperatura** es fundamental para la **calidad y seguridad del producto**. Es especialmente eficaz en procesos que requieren un calentamiento directo y localizado, ya que ofrece tiempos de respuesta rápidos y una gestión precisa de la temperatura.

En comparación con soluciones como las bombas de calor y las calderas eléctricas, la calefacción por resistencia eléctrica ofrece algunas ventajas claras. La principal, el menor CAPEX inicial debido a la sencillez del equipo y a la facilidad de instalación. Lo que la erigen en una opción atractiva para las industrias que buscan electrificar sus procesos de calefacción con una inversión inicial mínima.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que el OPEX de la calefacción por resistencia eléctrica tiende a ser mayor en comparación con las bombas de calor y las calderas eléctricas. Esto se debe a que la calefacción por resistencia no se beneficia de los mismos aumentos de eficiencia disponibles a través de la recuperación de calor o de los sistemas de control avanzados que suelen integrarse en las soluciones de bombas de calor y calderas eléctricas. Además, a medida que aumente la integración de las energías renovables, los costes operativos disminuirán, lo que hará de las calderas eléctricas una solución cada vez más rentable.

Almacenamiento de energía térmica: equilibrio entre oferta y demanda de energía

El almacenamiento de energía térmica (TES) es una tecnología innovadora de almacenamiento de energía para un uso posterior y una potente solución para equilibrar la oferta y la demanda de energía en entornos industriales.

Los sistemas TES suelen almacenar energía en medios como el agua, las sales fundidas o los materiales de cambio de fase (PCM). Los PCM son especialmente interesantes porque pueden absorber o liberar una cantidad significativa de energía térmica durante un cambio de fase, normalmente de sólido a líquido o viceversa. Esto limita la necesidad de materiales especiales, que normalmente serían necesarios para almacenar calor a altas temperaturas. También pueden utilizarse otras sustancias con gran capacidad térmica, lo que aporta flexibilidad en el diseño de sistemas para satisfacer necesidades industriales específicas.

Una de las principales ventajas de los sistemas TES es su capacidad para suministrar una amplia oscilación de temperaturas. Pueden diseñarse para proporcionar rangos por debajo del punto de congelación (-20 °C o -4 °F) en aplicaciones de refrigeración hasta varios cientos de grados centígrados (hasta 600 °C o 1.112 °F) para procesos industriales de alta temperatura. Esta amplia variedad de temperaturas hace que los sistemas TES se adapten a numerosas aplicaciones industriales, desde el procesamiento de alimentos hasta la fabricación pesada.

Los sistemas TES pueden alcanzar niveles de eficiencia impresionantes, que a menudo oscilan entre el 80% y el 90%. La eficiencia exacta depende de varios factores, como el medio de almacenamiento, la calidad del aislamiento y la eficiencia de los sistemas de intercambio de calor. Con todo, el almacenamiento de calor latente, que utiliza PCM, suele ofrecer mayor eficiencia que los métodos de almacenamiento de calor sensible que emplean materiales como agua o rocas.

La integración de TES en procesos industriales ofrece numerosas ventajas. Cuando se combina con una conjunción de energías renovables in situ, reduce la cantidad de energía de red necesaria. También permite un ahorro importante de costes energéticos al permitir a las industrias utilizar tarifas eléctricas más baratas durante las horas valle, cuando la demanda de energía es menor. Esta capacidad de desplazar el consumo de energía a horas más favorables también contribuye a una mejor gestión de la red y reduce la expansión de la capacidad de la red necesaria en comparación con la electrificación sin almacenamiento. Además, el TES mejora la fiabilidad operativa al garantizar temperaturas de proceso constantes, lo que es crucial para muchas aplicaciones industriales.

Desde un punto de vista económico, los sistemas TES suelen presentar un CAPEX de moderado a alto, y algunas soluciones tienen costes iniciales más elevados que las bombas de calor. Sin embargo, ofrecen importantes beneficios de OPEX a largo plazo **al ser la tecnología más eficiente hoy en día para almacenar energía con cero emisiones de carbono para uso térmico**, lo que reduce el consumo energético máximo y mejora la eficiencia general del sistema. Los costes de capital relativamente elevados se deben a menudo al bajo nivel de preparación comercial de muchos sistemas TES, lo que sugiere que pueden disminuir a medida que la tecnología madure y se adopte a mayor escala.



5. Electrificación directa del sector agroalimentario



El sector agroalimentario se sitúa a la vanguardia de las oportunidades de electrificación industrial, como ejemplo para la adopción de tecnologías innovadoras que reduzcan significativamente las emisiones de carbono al tiempo que mejoren la eficiencia energética. Con unos requisitos de temperatura que suelen oscilar entre los 20 °C y los 260 °C, este sector es más fácil de descarbonizar que industrias pesadas como la producción de cemento y acero.

Potencial de electrificación del sector agroalimentario

El potencial de electrificación del sector agroalimentario es considerable y prometedor. En esta línea, según un estudio de Agora Energiewende, sería posible electrificar el 62% del calor de proceso con las tecnologías existente y un 20% adicional de la demanda de combustible potencialmente electrificada a partir de 2030 mediante el uso de tecnologías actualmente en desarrollo . Por ello, grupos de expertos como Agora Energiewende han llegado a la conclusión de que la industria alimentaria y de bebidas es la mejor candidata para una electrificación directa temprana y rápida . Porque es tecnológicamente factible electrificar por completo la mayoría de los procesos del sector de procesamiento y fabricación de alimentos y bebidas mediante calefacción por resistencia, calderas eléctricas y bombas de calor.¹⁸

Este amplio potencial de electrificación desplaza las barreras de adopción de la tecnología predominantemente a razones económicas, lo que pone de relieve la importancia de abordar las consideraciones de costes para acelerar la transición a procesos electrificados en la industria agroalimentaria.

Intensidad energética y análisis subsectorial

La intensidad energética del sector agroalimentario español ascendió a 38,37 TWh/a en 2020, según el análisis de la Federación de Industrias de Alimentación y Bebidas (FIAB) del país¹⁹. Los tres subsectores con mayor intensidad energética son:

1. Alimentación animal (15,11 TWh/a, 39,4% del total)
2. Frutas y hortalizas (12,03 TWh/a, 31,3%)
3. Aceites (2,68 TWh/a, 7%)

Los subsectores con las intensidades más bajas son el azúcar (0,32 TWh/a, 0,84%), la panadería (0,34 TWh/a, 0,89%) y el almidón y los cereales (0,37 TWh/a, 0,91%).

Nótese que la clasificación de la FIAB tiene en cuenta el uso de la energía en toda la cadena de suministro de cada subsector.

En este informe, la atención se centra únicamente en los procesos principales de transformación y fabricación de alimentos y bebidas en los que la electrificación directa es una opción. En este documento no se detalla el uso de la energía, ni las oportunidades de electrificación directa, en la cadena de suministro adyacente a esos procesos básicos. Por ejemplo, el uso de la energía en procesos anteriores como el cultivo de materias primas, la producción de fertilizantes y productos agroquímicos, el combustible para vehículos agrícolas, o en procesos posteriores como el transporte para la logística y la distribución.

La siguiente sección pretende ofrecer una visión general de los principales tipos de procesos de la industria de fabricación y transformación de alimentos y bebidas, así como de su potencial de electrificación directa. El potencial específico de electrificación en algunos de los principales subsectores se explora con más detalle en el Apéndice I, al final de este documento.

Procesos clave y oportunidades de electrificación

La fabricación agroalimentaria implica una amplia gama de procesos que requieren el uso directo de energía. Aunque algunos son procesos físicos, como triturar, moler y mezclar, la mayoría de los procesos que consumen mucha energía implican calentar los alimentos en algún grado. Entre ellos se incluyen:

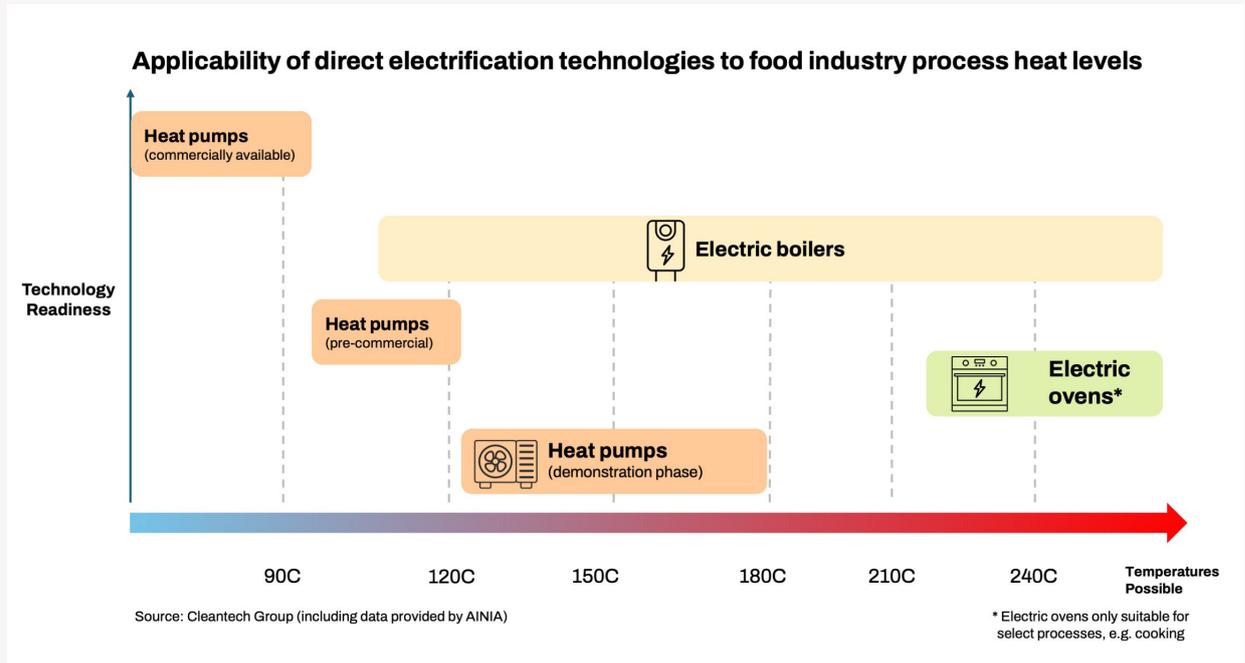
- Cocinar
- Evaporación para eliminar la humedad
- Pasteurización para eliminar microbios potencialmente dañinos

Estos procesos de calentamiento suelen ir acompañados de procesos de enfriamiento, como la refrigeración, que cumplen múltiples funciones importantes. El enfriamiento prolonga la «vida útil» de los alimentos, reduce la proliferación microbiana de su perecedibilidad, conserva sabores y texturas y mantiene su valor nutritivo.

La energía en el procesado de alimentos se utiliza de varias formas: para producir calor de proceso directamente (por ejemplo, en algunos tipos de hornos) o para alimentar calderas o unidades combinadas de calor y electricidad (CHP), que producen vapor u otros fluidos calentados para el calor de proceso.

En general, el procesado y la fabricación de alimentos requieren calor de proceso en una amplia gama de temperaturas. En el extremo inferior, se utilizan temperaturas en torno a los 50°C para procesos de pasteurización de larga duración. En el extremo superior, las temperaturas pueden alcanzar los 200 °C o más para procesos de cocción como el horneado, la fritura y el asado. Esta amplia oscilación de temperaturas subraya la necesidad de soluciones de calefacción versátiles y eficientes en el sector agroalimentario, así como el potencial de las tecnologías de electrificación para satisfacer sus diversos requisitos térmicos, al tiempo que se reducen las emisiones de carbono y se mejora la eficiencia energética.

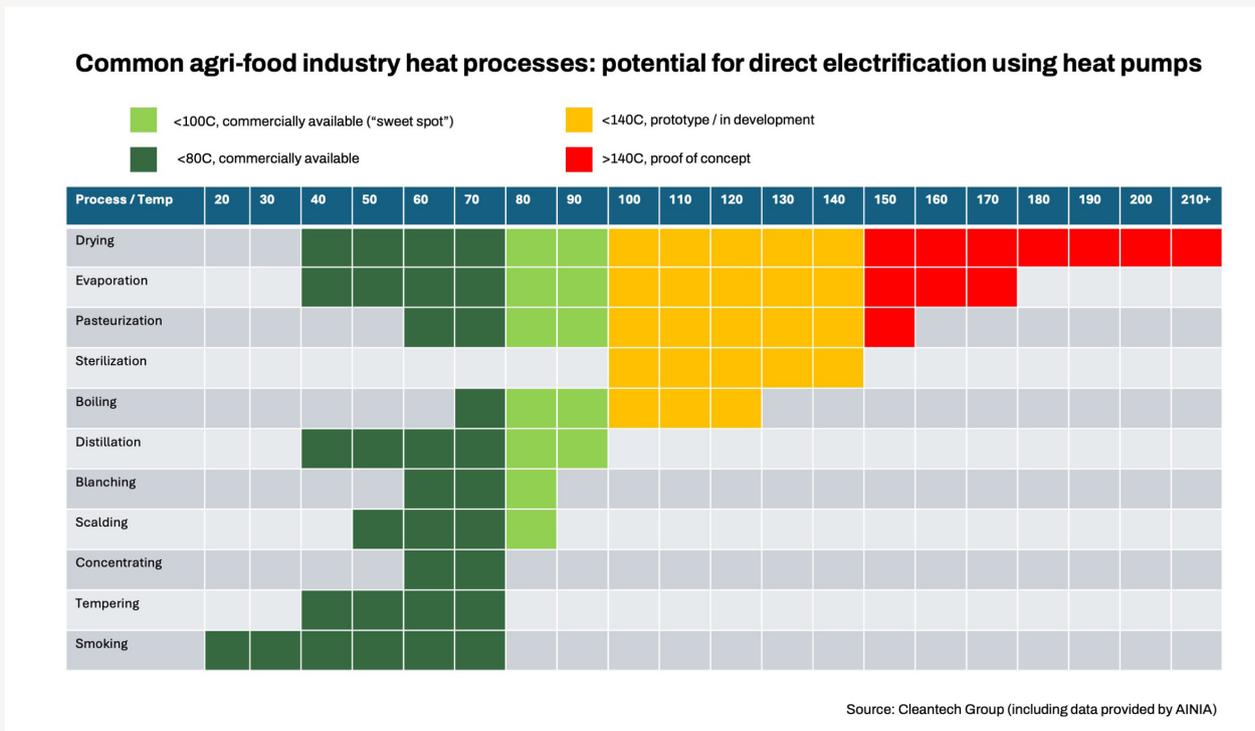
Tecnologías de electrificación



Tradicionalmente, las calderas de gas han sido la fuente predominante de electricidad, calor y vapor en el sector agroalimentario debido a su sólido rendimiento y a la disponibilidad de combustible. Sin embargo, la creciente atención prestada a la sostenibilidad, la eficiencia energética y el cumplimiento de la normativa ha llevado a explorar tecnologías alternativas. Las bombas de calor, las calderas eléctricas y la calefacción por resistencia (como los hornos eléctricos) pueden desempeñar un papel en la descarbonización del sector agroalimentario, y cada una de ellas ofrece ventajas únicas para diferentes aplicaciones.

Las bombas de calor surgen como una opción atractiva para electrificar directamente muchos procesos de la industria alimentaria, sobre todo en el rango inferior de temperaturas requeridas. La mayoría de las bombas de calor disponibles en el mercado pueden producir calor a las temperaturas más bajas necesarias para el procesado agroalimentario, en una amplia gama de procesos que pueden alimentarse con vapor o fluidos térmicos. Una ventaja clave de las bombas de calor es su capacidad para reciclar el calor residual de los procesos de refrigeración, lo que resulta especialmente beneficioso dado que el procesado moderno de alimentos suele implicar fases de calentamiento y refrigeración. Estos sistemas pueden ser aún más eficientes cuando se alimentan con fuentes de electricidad renovables como la solar o la eólica: las emisiones son menores gracias al uso de energías renovables, mientras que la energía generada in situ o localmente tiene menos pérdidas de transmisión y ofrece la posibilidad de compensar los picos de demanda.

Las bombas de calor capaces de producir temperaturas más elevadas están en fase de desarrollo, pero a más corto plazo los responsables del sector alimentario podrían plantearse soluciones híbridas que combinen bombas de calor con calderas eléctricas o calefacción por resistencia.



Aunque las bombas de calor pueden ser preferibles en muchos casos debido a su mayor eficiencia energética, su capacidad para proporcionar tanto calefacción como refrigeración y su potencial para la recuperación de calor residual, otras tecnologías de electrificación desempeñan papeles cruciales, especialmente cuando las bombas de calor se enfrentan a limitaciones.

Las calderas eléctricas pueden funcionar a temperaturas más altas que la mayoría de las bombas de calor disponibles actualmente, lo que las hace muy ventajosas para aplicaciones de alta temperatura a corto y medio plazo, mientras la tecnología de bombas de calor de alta temperatura sigue desarrollándose. Son muy eficaces en procesos que requieren vapor constante y a alta temperatura, como la pasteurización de productos lácteos y la producción de bebidas. Una ventaja significativa de las calderas eléctricas es su capacidad de control preciso de la temperatura, esencial para mantener la calidad del producto y garantizar la seguridad alimentaria en muchos procesos agroalimentarios. Esta precisión, combinada con su alta eficiencia energética y sus menores requisitos de mantenimiento, hacen de las calderas eléctricas una opción convincente para determinadas aplicaciones del sector agroalimentario.

El calentamiento eléctrico por resistencia se emplea en procesos que requieren un calentamiento directo y localizado, como el horneado, el secado, la fritura y la esterilización de superficies. Su capacidad para proporcionar un calentamiento constante y rápido la hace ideal para aplicaciones en las que el control preciso de la temperatura es fundamental para la calidad y seguridad del producto. Por ejemplo, el calentamiento por resistencia se utiliza mucho en hornos comerciales para hornear productos, en freidoras para aperitivos y en hornos de secado para deshidratar frutas y verduras. Al igual que las calderas eléctricas, el calentamiento por resistencia puede alcanzar temperaturas más altas que la mayoría de las bombas de calor actuales, por lo que llenan así un vacío importante en el conjunto de herramientas de electrificación para procesos de alta temperatura.

La alternativa de la biomasa

En muchos casos, las explotaciones agroalimentarias pueden optar por soluciones de generación de energía y calor que utilicen biomasa. El sector agroalimentario ya produce cantidades significativas de biomasa residual, por lo que las soluciones que recuperan energía de estos residuos pueden proporcionar una fuente de energía in situ o muy localizada que, además, es de naturaleza circular. Junto con los altos precios de la energía, la viabilidad de la biomasa como fuente de energía representa otro cauce viable para la descarbonización, junto con la electrificación directa.

A la hora de plantear soluciones energéticas basadas en la biomasa, conviene examinar varios factores:

- Aunque la biomasa suele considerarse un recurso renovable, su combustión libera emisiones y puede liberar contaminantes. Por lo tanto, el beneficio medioambiental neto debe evaluarse junto con otras opciones energéticas.
- Es importante evaluar si la biomasa puede servir para otros fines valiosos dentro de la cadena de suministro agroalimentario. También existe potencial para vender bioenergía generada a partir de biomasa a sectores de difícil acceso donde las opciones de electrificación son actualmente limitadas.
- Los diferentes flujos de biomasa requieren distintos niveles de procesamiento, transporte y almacenamiento, lo que añade costes y complejidad.
- Dependiendo de las circunstancias específicas, puede resultar más eficiente procesar la biomasa in situ, o bien optar por instalaciones y servicios externos especializados.
- Las empresas tendrán que evaluar caso por caso cómo se comparan los requisitos técnicos y de infraestructura en torno a la biomasa con los de la electrificación directa.

Evaluando cuidadosamente estos factores, el sector agroalimentario puede determinar, en cada caso, cómo se alinean las soluciones energéticas de biomasa con sus circunstancias específicas, metas de sostenibilidad y objetivos económicos, y complementar otras opciones, incluida la electrificación directa.

Un camino sostenible para la agroalimentación

Aunque las tecnologías de electrificación ofrecen ventajas significativas, se enfrentan a retos como los elevados costes iniciales, los costes operativos potencialmente más altos en comparación con el gas natural y los problemas de conexión a la red eléctrica. Sin embargo, estos obstáculos no son insuperables. Las ventajas a largo plazo de la electrificación -incluida una mayor eficiencia, la mejora de la seguridad energética y alimentaria, y los ahorros operativos potenciales- hacen que abordar estos retos merezca la pena. A medida que el sector agroalimentario da cada vez más prioridad a la sostenibilidad y la eficiencia, estas tecnologías presentan un prometedor camino a seguir, ya que contribuirán significativamente a los esfuerzos de descarbonización. La siguiente sección profundizará en estos retos y explorará estrategias para superarlos, con el objetivo de allanar el camino para una adopción más amplia de las tecnologías de electrificación en el sector agroalimentario.



6. Principales retos



Desde el punto de vista de la reducción de las emisiones de carbono, las ventajas de las tecnologías de electrificación son evidentes, sobre todo cuando se alimentan de la red española, cada vez más baja en carbono. Estas tecnologías ofrecen una eficiencia significativamente mayor que las calderas de gas tradicionales y pueden suponer un ahorro sustancial a largo plazo. Sin embargo, su adopción se enfrenta a varios retos que deben abordarse para garantizar su implantación a escala en todas las industrias.

Elevados costes de inversión y bloqueo tecnológico

El compromiso de España de lograr emisiones netas de carbono cero para 2050, junto con las medidas de eficiencia energética de la UE, ha impulsado cambios significativos en las prácticas industriales. Muchos clientes del sector industrial han establecido sus propios objetivos de emisiones netas cero y buscan activamente formas de reducir sus emisiones de carbono. Como resultado, numerosas empresas ya han invertido en medidas de eficiencia energética, incluida la sustitución de sus calderas existentes por calderas de gas nuevas y más eficientes.

Este enfoque proactivo, aunque encomiable, presenta un **reto único para la adopción de tecnologías de electrificación**. Las calderas de gas comerciales suelen tener una vida útil de 20 años, lo que puede retrasar la transición a las nuevas tecnologías. Para las empresas que han invertido recientemente en nuevas calderas de gas, los elevados gastos de capital y el bloqueo tecnológico dificultan el cambio a las tecnologías de electrificación antes del final de la vida útil de sus equipos.

Algunas empresas con visión de futuro ya reconocen los beneficios a largo plazo de la actualización preventiva a tecnologías de electrificación, lo que les permite adelantarse a los requisitos normativos y medioambientales relacionados con las emisiones. No obstante, está claro que necesitan incentivos adicionales para fomentar una mayor incorporación de las tecnologías de electrificación y ayudar a las empresas a superar el obstáculo de los elevados costes iniciales.

Los costes de integración representan otro reto importante, ya que las empresas también deben considerar el coste de integrar las tecnologías de electrificación en sus sistemas actuales. Esto es especialmente relevante en el caso de los sistemas de bombas de calor que utilizan calor residual. Según la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, los costes de integración de las bombas de calor podrían ascender hasta el 40% de los costes totales del proyecto, ya que pueden requerir conductos y tuberías adicionales. Otras fuentes sugieren que los costes de integración podrían añadir otro 50-100% al coste de la bomba de calor.

Aunque en España existen sistemas para compensar los gastos de capital, actualmente no hay incentivos para cubrir los costes de integración derivados del cambio a tecnologías de electrificación. Además, el proceso de integración

puede ser largo, con una media de 18 meses de principio a fin. Aunque este proceso no provoca tiempos de inactividad continuos, sí da lugar a periodos de interrupción del sistema. El tiempo de inactividad real de la fábrica puede oscilar entre unos pocos días y hasta 6 semanas, en función de la complejidad del proyecto. Esta situación pone de manifiesto la ventaja de las tecnologías modulares y fáciles de integrar, como las calderas eléctricas, que pueden sustituir a las de gas de forma individual.

Para acelerar la adopción de tecnologías de electrificación, las futuras iniciativas políticas deberían considerar la posibilidad de abordar tanto los costes iniciales como los retos de la integración. Esto podría implicar la ampliación de los sistemas de incentivos existentes para cubrir los costes de integración, el fomento de la investigación de soluciones más fácilmente integrables y la prestación de apoyo para minimizar las interrupciones operativas durante el proceso de transición.

Costes de la electricidad

La volatilidad de los mercados energéticos ha puesto de relieve los retos y oportunidades de la transición a las tecnologías de electrificación. La guerra de Ucrania disparó los precios de la electricidad en España, que alcanzó un máximo histórico de 544,98 euros/MWh en marzo de 2022 y una media de unos 200 euros/MWh en todo el año. Este repentino aumento puso de relieve la vulnerabilidad de los precios de la electricidad a los acontecimientos geopolíticos y a las fluctuaciones del mercado energético.

Sin embargo, en 2023 los precios de la electricidad disminuyeron significativamente, hasta una media de 87,43 euros/MWh. A pesar de esta mejora, muchas fuentes siguen citando los elevados costes de la electricidad como un obstáculo para la electrificación.

El mix eléctrico español desempeña un papel crucial tanto en la dinámica de precios como en el impacto medioambiental de la electrificación. El mix incluye un 20,1% de energía nuclear, un 29,5% de gas y un 32% de fuentes renovables como la eólica y la solar fotovoltaica. Aunque la generación de electricidad a partir de gas suele influir en el precio marginal de la electricidad en el sistema mayorista, en 2021 la energía hidroeléctrica fijó este precio el 52% de las veces, frente al gas, que sólo lo hizo el 16%. Esto demuestra que los precios del gas no fijan necesariamente el precio de la electricidad, por lo que cualquier impuesto adicional sobre el precio del gas natural podría hacer que los costes de la electricidad fueran más competitivos frente al gas natural.

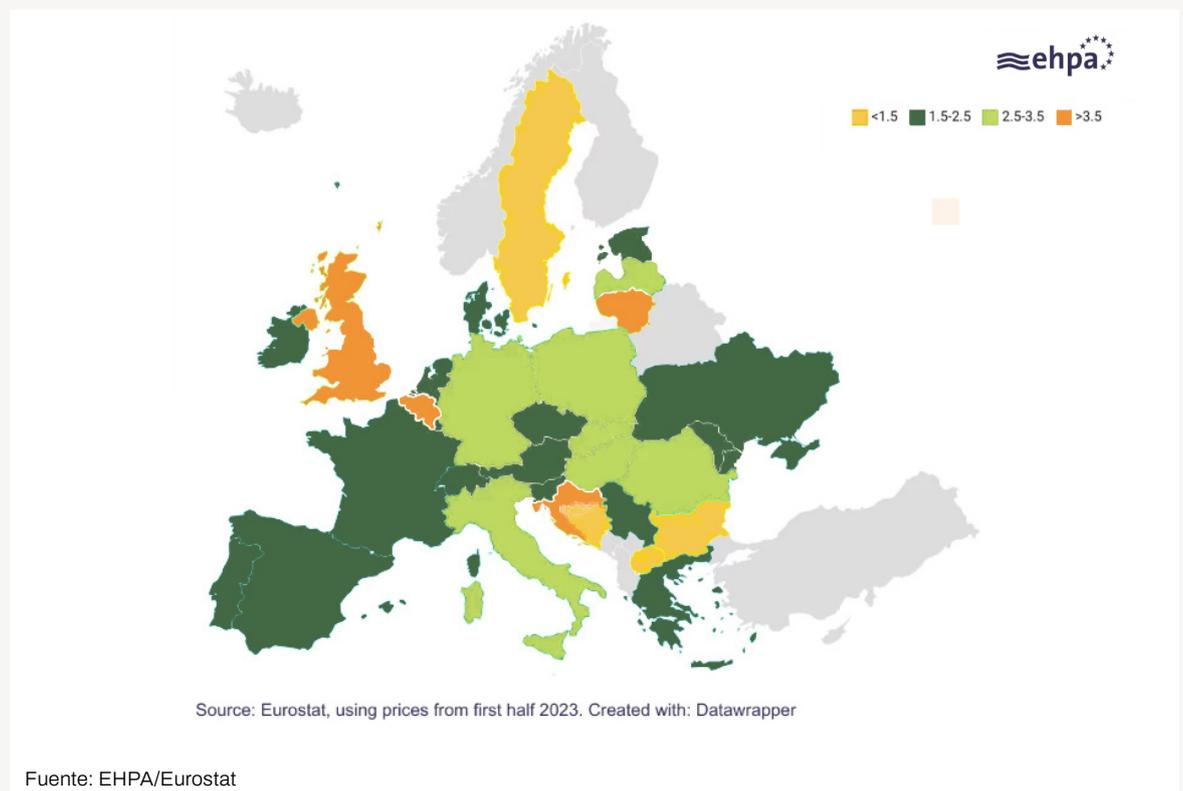
Los datos de la Asociación Europea de Bombas de Calor/Eurostat del primer semestre de 2023 muestran una relación entre el precio de la electricidad y el del gas de 1,5-2,5 veces. Esta relación presenta tanto oportunidades como retos. Para las bombas de calor, que pueden producir más de una unidad de calor por cada unidad de electricidad consumida, esta relación de precios podría

ser beneficiosa. Sin embargo, puede dificultar la explotación económica de las calderas de resistencia eléctrica y los calentadores eléctricos, que tienen una relación de conversión de uno a uno.

De cara al futuro, varios factores podrían mejorar las perspectivas de los costes de la electricidad. La continua expansión de la capacidad de las energías renovables podría ayudar a estabilizar y potencialmente reducir los precios de la electricidad con el tiempo. Las mejoras en las tecnologías de almacenamiento de energía permitirían una mejor gestión de las fuentes renovables intermitentes y estabilizarían aún más la red y los precios. El desarrollo de sistemas de gestión de la energía más sofisticados podría permitir a las industrias aprovechar los precios fuera de horas punta, optimizar su consumo de energía y sus costes. Además, las posibles intervenciones políticas en apoyo de los esfuerzos de electrificación, como las tarifas preferenciales para los usuarios industriales en transición a las tecnologías eléctricas, podrían hacer que la electrificación fuera más viable desde el punto de vista económico.

Aunque los costes de la electricidad continúan siendo un factor importante a la hora de adoptar tecnologías de electrificación, la tendencia a la baja de los precios y el potencial de nuevas mejoras sugieren que este reto puede superarse. Con una planificación estratégica y una inversión continua en infraestructuras de energías renovables, el obstáculo de los costes para la electrificación podría reducirse significativamente en los próximos años.

Electricity to gas price ratio



Dificultad para conectarse a la red

La obtención de nuevas conexiones a la red para aumentar la carga eléctrica supone un reto importante para las industrias que desean electrificar sus procesos. Como en la mayoría de los países europeos, en España es muy difícil obtener conexiones a la red para nuevos centros de carga. El plazo medio para obtener una conexión a la red es de nueve años, debido a la tramitación de permisos, las actitudes de «no en mi patio trasero» que restringen el acceso a los terrenos y los problemas de la cadena de suministro. Estos largos plazos pueden ser un importante factor disuasorio para las empresas que se plantean cambiar a tecnologías de electrificación.

La geografía del centro de carga también desempeña un papel crucial en la facilidad para obtener conexiones a la red. Para las instalaciones situadas en zonas rurales sin una infraestructura de red importante, como las fábricas de procesamiento de remolacha azucarera, será especialmente difícil conseguir nuevas conexiones a la red.

Para aumentar la complejidad, el Real Decreto Ley introducido en 2023 estableció nuevos requisitos para los centros de carga, independientemente del tamaño de su demanda. Los solicitantes de nuevas conexiones a la red para instalaciones con un punto de conexión igual o superior a 36 kV ahora deben aportar una garantía financiera de 40 euros/kW para las instalaciones de demanda regular y de 20 euros/kW para las instalaciones de almacenamiento. Aunque es probable que esta medida desaliente las solicitudes especulativas²¹, también añade una carga financiera a los verdaderos esfuerzos de electrificación.

Para reclamar esta garantía, los solicitantes deben comprometerse a unos niveles mínimos de consumo. Deben conseguir un contrato de acceso para al menos el 50% de la capacidad concedida durante las horas punta (normalmente de 9 de la mañana a 5 de la tarde) en los 5 años siguientes a la obtención del permiso de acceso. Este contrato debe mantenerse durante un mínimo de 3 años. Unos requisitos que, a pesar de ser concebidos para garantizar un compromiso serio, pueden plantear problemas a las industrias con necesidades energéticas variables o a las que están en proceso de transición de sus operaciones.

A pesar de estos retos, existen vías potenciales de mejora. Agilizar el proceso de conexión a la red mediante reformas políticas y una mayor inversión en infraestructuras de red podría reducir los tiempos de espera. Fomentar el desarrollo de microrredes y sistemas energéticos locales, especialmente en las zonas rurales, podría ofrecer alternativas a las conexiones tradicionales a la red. La aplicación de tecnologías de redes inteligentes podría optimizar el uso de las infraestructuras existentes y reducir potencialmente la necesidad de nuevas conexiones de gran envergadura. Además, permitir conexiones de red flexibles que sólo utilicen la red durante las horas de menor consumo podría ayudar a añadir más soluciones de almacenamiento al tiempo que se utiliza la red existente.

Una hoja de ruta colaborativa hacia la electrificación

Aunque la situación actual presenta obstáculos significativos, es crucial abordarlos para la adopción generalizada de las tecnologías de electrificación. Con un esfuerzo concertado de los responsables políticos y las partes interesadas de la industria, es posible crear un entorno más propicio para la electrificación industrial, apoyando el camino de España hacia su objetivo de emisiones netas cero.



7. Políticas existentes y recomendaciones políticas

La Unión Europea y España han impulsado políticas para promover el abandono de los combustibles fósiles. Sin embargo, los participantes en el mercado coinciden, en general, en que estas medidas aún no son lo suficientemente sólidas como para impulsar una electrificación generalizada. Los incentivos y normativas actuales, aunque son un paso en la dirección correcta, se consideran inadecuados para desencadenar una transición a gran escala hacia alternativas eléctricas en todos los sectores.

Esta sección revisa algunas de las herramientas políticas actuales y ofrece recomendaciones de alto nivel sobre medidas políticas adicionales para acelerar la adopción de tecnologías de electrificación.

Políticas de la Unión Europea aplicables a España

La fiscalidad del carbono desempeña un papel crucial a la hora de incentivar la reducción de emisiones. España participa en el Régimen Comunitario de Comercio de Derechos de Emisión (RCCDE), un sistema de comercio de derechos de emisión con fijación previa de límites máximos que obliga a los grandes emisores a adquirir créditos de carbono en función de la intensidad de sus emisiones. En la actualidad, el RCCDE se aplica principalmente a las industrias pesadas, con una cobertura limitada de los sectores alimentario y agrícola. Sin embargo, las instalaciones de procesamiento de alimentos con unidades de combustión que superen los 20 MW de potencia térmica nominal total (normalmente grandes calderas, secadoras u hornos) están sujetas a la normativa del RCCDE.

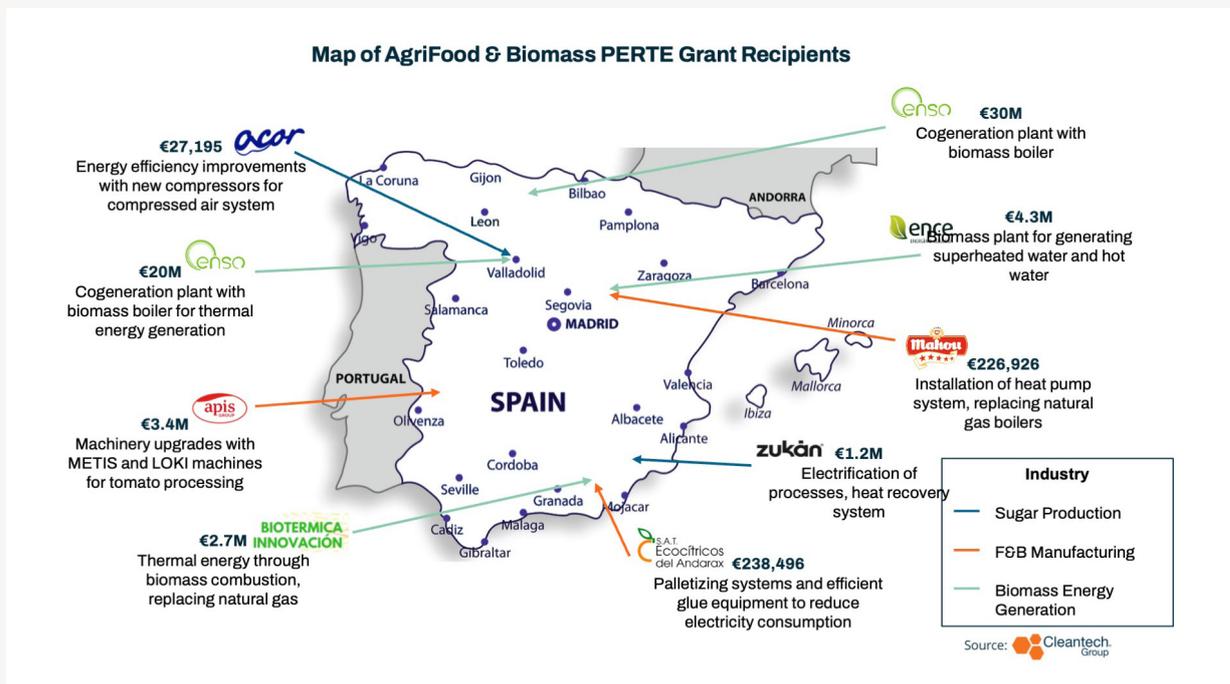
El panorama está en evolución, con Dinamarca como pionera del primer impuesto de la UE sobre las emisiones de CO₂ en la agricultura en julio de 2024, aunque otros países todavía tienen que seguirle. Además, se espera que el próximo RCCDE2 se amplíe a nuevos sectores, incluidas las unidades de producción combinada de calor y electricidad (PCCE) a pequeña escala, que suelen funcionar con gas. Muchos productores de alimentos y bebidas han instalado plantas de cogeneración de este tipo en sus instalaciones (el 17% de la energía de cogeneración se utiliza en procesos de alimentación y bebidas en España). Como consecuencia de ello, es probable que el coste de funcionamiento de estas plantas aumente a partir de 2027, cuando entre en vigor el RCCDE2.

Iniciativas españolas de apoyo a la descarbonización industrial

España ha introducido varias iniciativas para apoyar los esfuerzos de descarbonización. El Fondo de Carbono para la Economía Sostenible (FES-CO₂)²², creado en 2011, es un régimen de comercio de derechos de emisión de carbono que apoya la adopción de tecnologías bajas en carbono en sectores no incluidos en el RCCDE, como el agroalimentario. Los proyectos deben demostrar ahorros de carbono, que luego se conceden como créditos de carbono, y FES-CO₂ compra las reducciones de emisiones verificadas logradas por el proyecto durante los primeros cuatro años de funcionamiento.

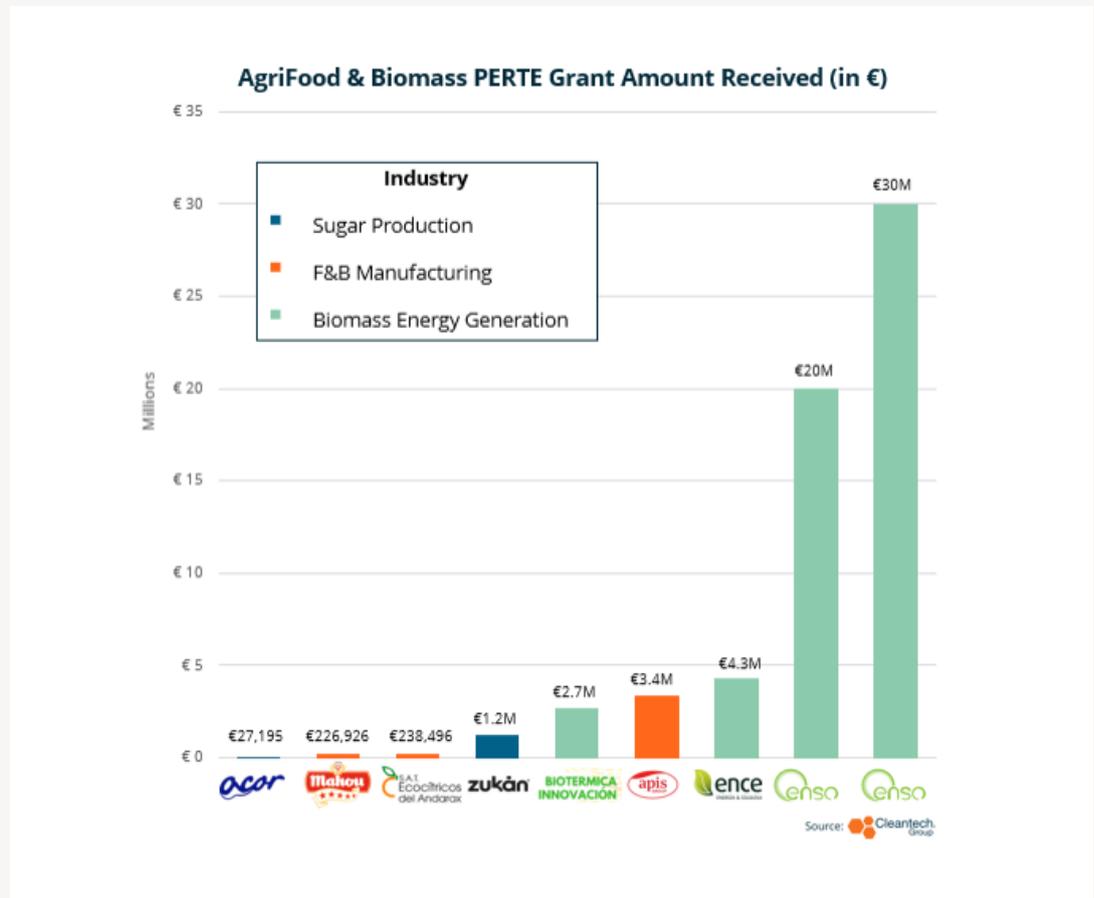
Las reducciones de emisiones deben ser medibles y verificables de manera que puedan reflejarse en el inventario nacional de GEI. El régimen abarca el sector agrícola y ganadero, pero no cubre específicamente el sector de la transformación alimentaria. No obstante, algunos proyectos pueden optar a las ayudas del FES-CO2 en el marco del sector no incluido en el RCCDE.

El PERTE de Descarbonización Industrial (Proyecto Estratégico de Descarbonización Industrial para la Recuperación y Transformación Económica) es una iniciativa española diseñada para apoyar la descarbonización del sector manufacturero industrial. El objetivo principal es ayudar a las industrias a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero y a realizar una transición hacia prácticas más sostenibles. Pretende mejorar la eficiencia energética dentro del sector manufacturero mediante la minimización del consumo total de energía. Al apoyar las inversiones en tecnologías más limpias, el PERTE quiere mejorar la competitividad de las industrias españolas en el mercado mundial. El PERTE cuenta con un presupuesto de más de 3.000 millones de euros, repartidos en varias líneas de financiación. Concede subvenciones y préstamos para apoyar diversas actividades que pueden contribuir a electrificar los procesos de fabricación de alimentos y bebidas, como la electrificación de los procesos térmicos y la modernización de los equipos. La financiación del PERTE puede alcanzar hasta el 60% del coste del proyecto.



Como ejemplo, Mahou Beers, en Guadalajara, recibió en 2024 una subvención de 226.926 euros del PERTE. El proyecto contempla la instalación de un nuevo sistema de bomba de calor que permitirá calentar el agua utilizada en su depuradora a partir del aprovechamiento de la energía de condensación de la instalación frigorífica de la fábrica, reduciendo el uso de gas natural.²⁴

La crítica general al PERTE es que el proceso de solicitud es excesivamente largo. El Ministerio de Industria ha puesto en marcha una consulta pública para un nuevo PERTE Agroalimentario II simplificado, que destina 100 millones de euros a mejoras del sector agroalimentario, incluidos proyectos de descarbonización.



Aunque existen políticas de apoyo a las tecnologías con bajas emisiones de carbono, está claro que las actuales no son suficientes para fomentar el cambio de combustible a gran escala. **Cleantech for Iberia** ha desarrollado una serie de posibles **enmiendas políticas** para facilitar aún más el crecimiento de la electrificación en el sector de la transformación alimentaria en España.

Recomendaciones políticas

Aunque las políticas existentes en España y en la UE han hecho progresos en la promoción de la electrificación y la descarbonización, hay margen para medidas más específicas que aceleren la adopción de tecnologías de electrificación. Las siguientes recomendaciones pretenden abordar retos específicos y crear un entorno más favorable para la electrificación, habida cuenta del contexto único del mercado energético español.

Tras los retos a los que se enfrentaron las tarifas de alimentación para la energía solar fotovoltaica en España, que provocaron importantes cargas financieras públicas y un exceso de oferta en el mercado, existe cautela respecto a las subvenciones directas en el mercado energético español. Por lo tanto, las siguientes consideraciones políticas se centran en hacer más asequible y atractiva la instalación y explotación de instalaciones electrificadas en España:

1. Aumentar la competitividad de la electricidad frente al gas

Para que la electricidad sea más competitiva frente al gas natural, es importante promover una serie de incentivos financieros y fiscales, como:

- Considerar la posibilidad de reequilibrar el enfoque fiscal de los combustibles fósiles y la electricidad, al tener en cuenta sus respectivos impactos sociales y medioambientales.
- Explorar opciones para reducir las tarifas de la red eléctrica y el IVA. Para muchas tecnologías de electrificación, los elevados gastos de capital son un factor disuasorio, pero el obstáculo más importante para la electrificación suele ser el elevado coste de funcionamiento en comparación con las tecnologías de gas natural.

2. Racionalizar los procedimientos de financiación y ampliar el alcance de la ayuda financiera

Los regímenes financieros como el PERTE son fundamentales; sin embargo, hay ajustes que deben tenerse en cuenta para potenciar su impacto:

- Reducir los plazos para recibir ayuda financiera. Algunos participantes en este estudio señalaron que tardaban más de 18 meses en recibir ayuda financiera del PERTE. La nueva iteración del PERTE pretende agilizar el proceso de solicitud y mejorar el acceso a los fondos. El Ministerio de Industria está trabajando para que el plazo de ejecución de los proyectos sea de dos años desde la resolución definitiva de la ayuda.

- Incluir los costes de integración en la ayuda financiera global: el PERTE debería considerar la posibilidad de incluir los costes de integración, especialmente en el caso de las instalaciones que utilizan calor residual, ya que pueden suponer hasta un 50% de los costes del proyecto. Actualmente, esto no está incluido en el plan PERTE.
- Desarrollar flujos de financiación específicos para la electrificación: las futuras versiones de PERTE deberían considerar la creación de un presupuesto específico exclusivamente para proyectos de electrificación. Este enfoque específico garantizaría que los esfuerzos de electrificación reciban un apoyo específico, lo que aceleraría potencialmente la transición a procesos eléctricos en entornos industriales.

3. Optimizar la conexión y el uso de la red

Para garantizar un uso eficiente y optimizado de la red, podrían promoverse varios instrumentos:

- Conexiones y servicios de red flexibles que impiden a las instalaciones de almacenamiento retirar energía de la red en horas punta, limitándolas únicamente al acceso a la red en horas valle, cuando la demanda es menor.
- Considerar la posibilidad de aplicar tarifas de red por tiempo de uso para fomentar el consumo cuando los costes de la electricidad son bajos y desincentivar las retiradas en horas punta. En la actualidad, los consumidores siguen sujetos a tarifas fijas y tarifas de red incluso cuando el coste de la electricidad es negativo. La energía hidroeléctrica de bombeo y el almacenamiento en baterías ya están exentos del pago de tarifas de red y tasas de sistema. Esto debería aplicarse también a otros tipos de almacenamiento, como el térmico.
- Dar prioridad a las inversiones en la modernización de las infraestructuras de red para aumentar la capacidad y mejorar las redes de transmisión y distribución, lo que garantizaría que la red pudiera dar cabida a una integración cada vez mayor de las energías renovables.

Estas recomendaciones pretenden crear un entorno más propicio para la electrificación en el sector agroalimentario español y ajustar la necesidad de acelerar la adopción de tecnologías limpias con las realidades prácticas y económicas del mercado energético español.



8. Conclusión

La electrificación del sector industrial español representa una vía fundamental para alcanzar los ambiciosos objetivos climáticos del país, manteniendo al mismo tiempo su ventaja competitiva en un mercado mundial en rápida evolución. Aunque este informe se ha centrado en el sector agroalimentario como punto de partida prometedor, los principios y tecnologías analizados tienen una amplia aplicabilidad en todo el tejido industrial español.

Los retos que plantean los elevados costes iniciales, el precio de la electricidad y los problemas de conexión a la red son importantes, pero no insuperables. El rápido avance de las tecnologías de electrificación, unido al mix eléctrico español cada vez más bajo en carbono, proporciona una base sólida para esta transición. Además, los beneficios a largo plazo de la electrificación -como una mayor eficiencia, la integración de las energías renovables, una mayor flexibilidad y seguridad energéticas- superan los obstáculos iniciales.

El cambio hacia la electrificación es una oportunidad para fomentar la innovación en los procesos industriales y favorece el desarrollo de nuevas tecnologías y la gestión de la energía. Esto tiene el potencial de desbloquear inversiones en tecnologías de vanguardia, como maquinaria eléctrica avanzada, redes inteligentes y sistemas de almacenamiento de energía, que optimizarán la eficiencia industrial y mejorarán la competitividad en los mercados globales. Potenciar la electrificación directa contribuirá, asimismo, a crear puestos de trabajo altamente cualificados, impulsar el crecimiento económico y fomentar el desarrollo regional, en línea con las ambiciones de España en materia de energía limpia y economía verde.

El camino que queda por recorrer requiere de un esfuerzo concertado de los responsables políticos, los líderes industriales y los innovadores tecnológicos de todos los sectores. A medida que España avanza hacia un futuro con bajas emisiones de carbono, la electrificación de la industria se presenta como una excelente oportunidad para demostrar su liderazgo en la descarbonización. Mediante el perfeccionamiento de las políticas existentes y la aplicación de nuevas medidas específicas, España puede crear un entorno que acelere la adopción de tecnologías de electrificación en todo su tejido industrial. Empezando por el sector agroalimentario y ampliándolo a otras industrias, el país puede transformar su paisaje industrial en un modelo de producción sostenible, como un poderoso ejemplo a seguir por otras naciones. Con la combinación adecuada de apoyo político, innovación tecnológica y compromiso industrial, España puede convertir el reto de la descarbonización industrial en una oportunidad de crecimiento económico y liderazgo medioambiental, lo que situará a sus industrias a la vanguardia de las prácticas sostenibles.

La electrificación del paisaje industrial español, pues, tiene el potencial de situar al país un paso adelante en la descarbonización y significa una estrategia clave para asegurar la competitividad a largo plazo de las industrias del país. Esto permitirá a España aprovechar su capacidad de energía renovable en rápida expansión para alimentar las industrias con electricidad más limpia y barata, reducir la dependencia de los volátiles mercados de combustibles fósiles, construir un sector industrial a prueba de futuro, protegido de los crecientes costes del carbono y posicionarse como país líder de la industria verde.

Apéndice: potencial específico de electrificación de los subsectores agroalimentarios españoles más intensivos en energía

La intensidad energética del sector agroalimentario español ascendió a 38,37 TWh/a en 2020, según FIAB²⁵.

A continuación, se examina en detalle el potencial de electrificación para el calor de proceso en los tres subsectores más intensivos en energía (alimentación animal, frutas/verduras y aceites comestibles). También se considera un cuarto subsector: la importante industria láctea española.

Debido a la naturaleza de los productos fabricados, estos subsectores se encuentran principalmente en zonas rurales. Como tales, la obtención de electricidad de la red puede ser un reto debido a factores como las infraestructuras anticuadas que conducen a un suministro eléctrico poco fiable e intermitente o los largos procedimientos de obtención de permisos para nuevas conexiones a la red. Las redes cerradas de distribución de electricidad (RDL 314/2023) pueden desempeñar un papel importante para superar estos obstáculos y facilitar el acceso a una conexión eléctrica fiable.

Si se excluyen los precios de la energía de la ecuación, la electrificación directa de algunos de los procesos utilizados en estos subsectores es factible en función de los requisitos operativos.

En todos los subsectores, la integración in situ de fuentes de energía renovables, como la solar y la eólica, será probablemente clave para permitir la electrificación directa, dado que las instalaciones suelen estar situadas en zonas rurales o semirurales más alejadas de la red.

Alimentación animal

Número de empresas: 716 (2,5% de las empresas de la industria agroalimentaria) (ene 2023)²⁶

Personas empleadas: 16.080 (3,3% de las personas empleadas en la industria agroalimentaria) (2022)

Facturación: 19,9 millones de euros (11,9%) (2022)

Inversión en activos: 378 millones de euros (6,3%) (2022)

Valor añadido: 1,39 millones de euros (5,3%) (2022)

Localización: En 2021, Cataluña fue la región con mayor cuota de producción de piensos (25,4%), seguida de Aragón (16,3%) y Castilla León (15,3%).²⁷

Los piensos son alimentos destinados al ganado. Suelen fabricarse a partir de cereales, semillas oleaginosas y otras materias vegetales, junto con material animal (por ejemplo, harina de pescado) y aditivos como minerales y vitaminas.

Según la FIAB, la alimentación animal es el subsector agroalimentario que más energía consume en España, con 15,11 TWh/a, es decir, el 39,4% del total de la industria.

Esto parece reflejar la situación de la UE en general, ya que los estudios sugieren que la alimentación animal es la categoría de uso de energía dominante en el sector ganadero de la Unión, con alrededor del 70-75% de las necesidades totales de energía.²⁸

La producción de piensos en España refleja en gran medida la de otros países. A continuación, se describen los principales procesos industriales que requieren calor y cuyo potencial de electrificación directa podría explorarse.

Los procesos in situ, como la limpieza de las materias primas para eliminar impurezas (30-120°C++) o el tratamiento térmico de los ingredientes de los piensos durante la transformación, podrían lograrse sustituyendo o mejorando la maquinaria que funciona con combustibles fósiles por equipos alimentados con fuentes de energía renovables.

Las bombas de calor podrían utilizarse para procesos que requieren calores más bajos, principalmente durante la fase inicial de transformación. Un ejemplo es el secado del grano antes de molerlo y granularlo (30-120°C), o la propia granulación (70-90°C). Las bombas de calor también podrían recuperar el calor residual de estos procesos de secado.

Las calderas eléctricas podrían utilizarse para algunos procesos de mayor temperatura que requieren vapor, como la cocción, el procesado de grasas y aceites y la esterilización a lo largo del proceso de fabricación de piensos.

Frutas y verduras

Número de empresas: 1.318 (4,7% de las empresas de la industria agroalimentaria) (ene 2023)²⁹

Personas empleadas: 45.618 (9,3% del total de la industria agroalimentaria) (2022)

Facturación: 13,3 millones de euros (7,9%) (2022)

Inversión en activos: 592 millones de euros (9,8%) (2022)

Valor añadido: 2,21 millones de euros (8,3%) (2022)

Situación: En 2021, Andalucía fue la región líder en manipulación y conservación de frutas y hortalizas, seguida de la Comunidad Valenciana y Murcia.³⁰

La producción de frutas y hortalizas es uno de los subsectores agroalimentarios más importantes para la economía española. España es el primer exportador mundial de cítricos frescos, y también es un importante exportador de otros tipos de frutas.

El uso de energía en la producción de frutas y hortalizas es muy variable, ya que existen diferencias considerables en función de los tipos de cultivo, el lugar donde se cultivan y la forma en que se procesan y manipulan.

En conjunto, la intensidad energética del subsector es de 12,03 TWh/a, un 31,3% del total de la industria agroalimentaria española, según la FIAB.

El procesado, la manipulación y el envasado postcosecha de productos frescos suelen implicar varios procesos basados en la temperatura, como:

- Escaldado: calentamiento breve de frutas u hortalizas en agua caliente o vapor para conservar el color, el sabor y el contenido nutricional, al tiempo que se inactivan las enzimas y los microbios que podrían provocar su deterioro (85-100°C).
- Pasteurización: calentamiento del producto a una temperatura específica durante un periodo determinado para inactivar los microbios potencialmente dañinos (70-100°C).
- Esterilización: otro proceso destinado a inactivar los microbios, aunque a temperaturas significativamente más altas que la pasteurización para eliminar todos los microbios y alargar la «vida útil» (115->130°C).
- Deshidratación: eliminación de la humedad de los productos para prolongar su vida útil (50-70°C)
- Enlatado: sellado de frutas y verduras en latas/tarros para evitar la contaminación; implica la aplicación de calor para inactivar microbios y enzimas (115->130°C).
- Fermentación/picking: puede utilizar calor para iniciar la fermentación (85-100°C)
- Congelación: mantenimiento de la frescura, la textura, el sabor y el valor nutritivo de los productos durante periodos de tiempo más largos y para su transporte (<0°C).

Las bombas de calor disponibles en el mercado podrían utilizarse para proporcionar gran parte de esta gama de temperaturas. También podrían refrigerar las cámaras frigoríficas donde se almacenan los productos.

Las calderas eléctricas pueden utilizarse en procesos a alta temperatura, como la esterilización.

Aceites

Número de empresas: 1.609 (5,7% del total de la industria) (enero de 2023)

Personas empleadas: 16.080 (3,3% del total de la industria) (2022)

Facturación: 19.938 M€ (11.9%) (2022)

Inversión en activos: 378 M€ (6.3%) (2022)

Valor añadido: 1.393 M€ (5,3%) (2022)

Localización: La producción de aceite de oliva se localiza principalmente en Andalucía con el 80% del total nacional, seguida de Castilla La Mancha (8%) y Extremadura (4%).³²

España es el primer productor mundial tanto de aceitunas como de aceite de oliva, productos por los que es conocida en la escena mundial.

Además, el país es también un notable productor de aceite de girasol (España se encuentra entre los diez mayores cultivadores de girasol), aceite de maíz, aceite de colza y aceite de pepitas de uva, subproducto de la importante industria vinícola del país.

España también importa soja para su transformación en aceite de soja refinado, y aceite de palma crudo para producir diversos productos derivados a base de aceite de palma. En 2022, España importó soja por valor de 2.430 millones de dólares (2.300 millones de euros), situándose como el cuarto mayor importador de soja del mundo.³³

La intensidad energética del subsector de los aceites comestibles en España es de 2,68 TWh/a, es decir, el 7% del total de la industria agroalimentaria.

Varios procesos básicos de la producción de aceite vegetal requieren calor y tienen potencial para ser electrificados directamente.

Las semillas oleaginosas, los frutos secos y otras partes de las plantas oleaginosas deben limpiarse y secarse antes de la extracción del aceite. Estos procesos iniciales pueden requerir aire caliente, agua o vapor.

Tras la fase de preparación, las semillas se prensan o trituran para extraer su aceite. Suele tratarse de un proceso de varias etapas que incluye el calentamiento del material para optimizar la extracción del aceite. Las temperaturas pueden oscilar entre 80 °C y 120 °C, dependiendo de la semilla o fruto seco que se esté triturando.

En función del uso final previsto, el aceite extraído se someterá posteriormente a distintos procesos de refinado que suelen implicar el calentamiento, y a veces el enfriamiento, del aceite para mejorar su eficacia. Estos procesos incluyen:

- **Desgomado:** normalmente se realiza a temperaturas de 70-90°C, elimina los fosfolípidos que afectan a la calidad y estabilidad del aceite.
- **Neutralización:** introducción de un álcali para neutralizar los ácidos grasos libres (85-95°C).
- **Blanqueo:** mezcla de aceite con tierra de blanqueo o carbón activado para eliminar diversas impurezas (90-110°C).
- **Desodorización:** extracción de vapor para eliminar los compuestos volátiles que causan olores y mocos (180-230°C).
- **Desparafinado:** mejora la claridad del aceite (5-10°C).

Muchos de estos rangos de temperatura pueden alcanzarse con bombas de calor o calderas eléctricas disponibles en el mercado.

Lácteos

Muchos de estos rangos de temperatura pueden alcanzarse con bombas de calor o calderas eléctricas disponibles en el mercado.

Número de empresas: 1.620 (5,7% del total de la industria) (enero de 2023)

Personas empleadas: 31.749 (6,4% del total de la industria) (2022)

Facturación: 13,3 millones de euros (7,9%) (2022)

Inversión en activos: 357 millones de euros (5,9%) (2022)

Valor añadido: 1,75 millones de euros (6,6%) (2022)

Localización: En el caso de la leche de oveja, la actividad se concentra en Castilla y León, Andalucía y Castilla-La Mancha, que aglutinan el 81,4% de las explotaciones de ovino de leche. En leche de cabra, la región más importante es Andalucía, con el 52,1% de la producción nacional, seguida de Castilla-La Mancha y Canarias. Para la leche de vaca, Galicia es la primera productora (39,1%) seguida de Castilla y León (12,5%) y Cataluña (10,2%).³⁴

Además de estar muy arraigada en la cultura alimentaria local, la producción y transformación de productos lácteos es una industria importante en España, que aportó 13.000 millones de euros a la economía del país en 2022 y dio trabajo, directa o indirectamente, a unas 100.000 personas³⁵. España es un exportador neto de productos lácteos, con un valor de 1.980 millones de euros en 2019. El queso, en particular, es una de las principales exportaciones, además de tener un consumo interno muy significativo. España es el octavo productor de leche de vaca de la UE y el segundo de leche de oveja y cabra.

La mayoría de los procesos lácteos requieren temperaturas de hasta 75 °C y no siempre necesitan calor y vapor constantes. Por ello, pueden ser adecuadas diversas tecnologías de electrificación, como las bombas de calor eléctricas y el almacenamiento de energía térmica.

La pasteurización destruye las bacterias nocivas y garantiza que la leche y los productos lácteos sean seguros para el consumo humano. La temperatura de la leche se eleva a unos 70 °C durante un periodo de tiempo controlado, antes de enfriarse rápidamente a unos 4 °C. Esto se consigue haciendo pasar la leche por placas de acero inoxidable conductoras del calor. Convencionalmente se calientan con vapor o agua caliente; las bombas de calor podrían proporcionar el nivel de calor necesario y el calor residual podría aprovecharse para otros usos, aunque se ha observado que la tecnología es menos fiable a la hora de mantener las temperaturas más frías necesarias para la fase de enfriamiento de la pasteurización.

El cultivo y la fermentación permiten transformar la leche en yogures y quesos. Al igual que la pasteurización, estos procesos requieren el mantenimiento de temperaturas específicas, para lo que suelen utilizarse sistemas basados en vapor o agua caliente. Una vez más, las bombas de calor pueden ser una opción adecuada, en función del caso concreto y de los requisitos de temperatura.

Fuentes

¹CaixaBank Research (2023). The Spanish agrifood sector is making headway in a challenging context. <https://www.caixabankresearch.com/en/sector-analysis/agrifood/spanish-agrifood-sector-making-headway-in-challenging-context>

²Global Carbon Project (GCP). (n.d.). GCP : Global Carbon Project : Homepage. <https://www.globalcarbonproject.org/>

³Climate Change 2023 – Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf

⁴EURES. Labour market information: Spain. https://eures.europa.eu/living-and-working/labour-market-information/labour-market-information-spain_en#:~:text=The%20Spanish%20economy%20is%20the,demand%20and%20the%20external%20sector

⁵European Commission (2023). Climate Action Progress Report 2023 – Country Profile: Spain. https://climate.ec.europa.eu/document/download/c9c92d31-1ffa-4639-8e78-cd4dc64e6b86_en?file-name=es_2023_factsheet_en.pdf

⁶Climate Action Progress Report 2023. (n.d.). Climate Action - European Commission. https://climate.ec.europa.eu/document/download/c9c92d31-1ffa-4639-8e78-cd4dc64e6b86_en?file-name=es_2023_factsheet_en.pdf

⁷Agri-Food Industry. (n.d.). ICEX Trade and Investment - Ministry of Economy, Trade and Business's Secretary of State for Commerce. <https://www.investinspain.org/en/industries/agri-food>

⁸Food Processing Ingredients Annual - Spain (No. SP2024-0003). (2024). United States Department of Agriculture - Foreign Agriculture Service.

⁹Global Alliance for the Future of Food, Lappé, A., & Fong, P. (2023). Toward Fossil Fuel-free Food: Why Collaboration Between Food & Energy Systems Players Is Key. In Global Alliance for the Future of Food. https://futureoffood.org/wp-content/uploads/2023/11/ga_food-energy-nexus_discussion-paper.pdf

¹⁰Government of Spain (2024). Integrated National Energy and Climate Plan – Update 2023-2030. https://commission.europa.eu/document/download/211d83b7-b6d9-4bb8-b084-4a3bfb4cad3e_en?file-name=ES%20-%20FINAL%20UPDATED%20NECP%202021-2030%20%28English%29.pdf

¹¹Automotive Industry in Spain. (n.d.-b). ICEX Trade and Investment - Ministry of Economy, Trade and Business's Secretary of State for Commerce. <https://www.investinspain.org/en/industries/automotive-mobility>

¹²Araner. (n.d.). High temperature heat pumps for industry. <https://www.araner.com/blog/high-temperature-heat-pumps-industry>

¹³Heat Pump Electricity Cost. (2024, September 5). The Renewable Energy Hub UK. <https://www.renewableenergyhub.co.uk/main/heat-pumps-information/heat-pump-electricity-cost>

¹⁴Industrial heat pumps can deliver. (2022). In European Heat Pump Association (EHPA). <https://www.ehpa.org/wp-content/uploads/2022/12/Industrial-Heat-Pumps-overview.pdf>

¹⁵A Comprehensive Guide to Electric Boilers Maintenance: Tips and Tricks for Longevity. (2023, November 21). Electric Heating Company. <https://www.electric-heatingcompany.co.uk/article/guide-to-electric-boilers-maintenance/>

¹⁷Direct electrification of industrial process heat. (2024). Agora Industry. https://www.agora-industry.org/fileadmin/Projects/2023/2023-20_IND_Electrification_Industrial_Heat/A-IND_329_04_Electrification_Industrial_Heat_WEB.pdf

- ¹⁸ Power-2-Heat: Gas savings and emissions reduction in industry. (2022, November 16). Agora Industry. <https://www.agora-industry.org/publications/power-2-heat-1>
- ¹⁹ Hoja de ruta de descarbonización de la industria de alimentación y bebidas en España. (2023). Federación Española de Industrias de Alimentación y Bebidas (FIAB). <https://fiab.es/producto/hoja-de-ruta-de-descarbonizacion-de-la-industria-de-alimentacion-y-bebidas-en-espana/>
- ²⁰ Peña, J. I. (2024). A note on hydropower as a marginal price setter for Spain's electricity market in 2021–2022. *Utilities Policy*, 87, 101726. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2024.101726>
- ²¹ Main energy-related regulatory changes introduced by Royal Decree-law 8/2023. (2024). Gómez-Acebo & Pombo. https://www.ga-p.com/wp-content/uploads/2024/01/RDL_8_2023_eng.pdf
- ²² Carbon Fund FES-CO2: Towards an innovative, sustainable and low carbon economy. MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. Spanish Climate Change Office (OECC). https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/proyectos-clima/fes_2015_ingles_tcm30-178368.pdf
- ²³ Spain's Climate Projects. (n.d.). In Partnership on Transparency in the Paris Agreement. <https://transparency-partnership.net/system/files/document/Good%20Practice-SpainSpain%E2%80%99s%20Climate%20Projects.pdf>
- ²⁴ Ministerio de Industria y Turismo. (2024, May 28). <https://www.mintur.gob.es/es-es/gabineteprensa/notasprensa/2024/documents/20240528%20np%20primeros%20proyectos%20perte%20descarbonizaci%c3%b3n.pdf>
- ²⁵ Hoja de ruta de descarbonización de la industria de alimentación y bebidas en España. (2023). Federación Española de Industrias de Alimentación y Bebidas (FIAB). <https://fiab.es/producto/hoja-de-ruta-de-descarbonizacion-de-la-industria-de-alimentacion-y-bebidas-en-espana/>
- ²⁶ INFORME ANUAL DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA ESPAÑOLA PERIODO 2023 – 2024. (2024). MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. https://www.mapa.gob.es/en/alimentacion/temas/industria-agroalimentaria/20240520informeanualindustria2023-20241t24ok_tcm38-652150.pdf
- ²⁷ Mercados Estadística 2022. (2023). La Confederación Española de Fabricantes de Alimentos Compuestos para Animales (CESFAC). https://cesfac.es/images/MercadosEstadistica/PDF/mercados_2022.pdf
- ²⁸ Energy Use in the EU Livestock Sector: A Review Recommending Energy Efficiency Measures and Renewable Energy Sources Adoption - <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/4/2142>
- ²⁹ Informe anual de la industria alimentaria española periodo 2023 – 2024. (2024). Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. https://www.mapa.gob.es/en/alimentacion/temas/industria-agroalimentaria/20240520informeanualindustria2023-20241t24ok_tcm38-652150.pdf
- ³⁰ Mercados Estadística 2022. (2023). La Confederación Española de Fabricantes de Alimentos Compuestos para Animales (CESFAC). https://cesfac.es/images/MercadosEstadistica/PDF/mercados_2022.pdf
- ³¹ Informe anual de la industria alimentaria española periodo 2023 – 2024. (2024). Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. https://www.mapa.gob.es/en/alimentacion/temas/industria-agroalimentaria/20240520informeanualindustria2023-20241t24ok_tcm38-652150.pdf
- ³² Aceite de oliva. (n.d.). Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. <https://www.mapa.gob.es/en/agricultura/temas/producciones-agricolas/aceite-oliva-y-aceituna-mesa/aceite.aspx>
- ³³ Soybeans. (n.d.). Observatory of Economic Complexity (OEC). <https://oec.world/en/profile/hs/soybeans>
- ³⁴ Edelmiro López Iglesias & Manuel Lainez Andrés. (2022). EL SECTOR LÁCTEO EN ESPAÑA. Cajamar Caja Rural. <https://www.campogalego.gal/wp-content/uploads/2022/07/Monograf%C3%A-Das-44-Sector-L%C3%A1cteo.pdf>
- ³⁵ Edelmiro López Iglesias & Manuel Lainez Andrés. (2022). EL SECTOR LÁCTEO EN ESPAÑA. Cajamar Caja Rural. <https://www.campogalego.gal/wp-content/uploads/2022/07/Monograf%C3%A-Das-44-Sector-L%C3%A1cteo.pdf>

Cleantech
for Iberia



Gracias