



Ciencia para  
las Políticas  
Públicas

# ¿Cómo garantizar un sistema energético seguro, eficiente y limpio?

Coordinado por:

Antonio Chica • M. Rosa Palacín • José Manuel Serra • María Jesús Lázaro

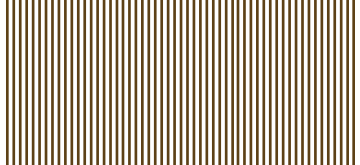


**CSIC**

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

SCIENCE  POLICY





# Ciencia para las Políticas Públicas



Informe de transferencia  
de conocimiento



**CSIC**

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN

SCIENCE **4** POLICY

Este es un libro de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0). Más información sobre esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Las noticias, los asertos y las opiniones contenidos en esta obra son de la exclusiva responsabilidad del autor o autores. La editorial, por su parte, solo se hace responsable del interés científico de sus publicaciones.

Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado:  
<https://cpage.mpr.gob.es>

EDITORIAL CSIC: <http://editorial.csic.es> (correo: [publ@csic.es](mailto:publ@csic.es))



**Departamento  
de Comunicación**

Gabinete de Presidencia  
Consejo Superior de  
Investigaciones Científicas  
Calle Serrano 117  
28006 Madrid  
Email: [comunicacion@csic.es](mailto:comunicacion@csic.es)

**NIPO:** 833-23-068-3

**e-NIPO:** 833-23-069-9

**Depósito Legal:** M-20233-2023

Edición no venal

**Coordinado por:**

Antonio Chica  
M. Rosa Palacín  
José Manuel Serra  
María Jesús Lázaro

**Coordinador de la colección  
Ciencia para las Políticas  
Públicas:**

Alberto Mercado

**Edición:**

Alejandro Parrilla García  
Marta García

**Fotógrafos:**

César Hernández  
(CSIC Comunicación)  
Atur Martínez (ICMAB-CSIC)  
Universidad Autónoma de  
Barcelona (UAB)

**Infografía:**

Yolanda Clemente

**Diseño y maquetación:**

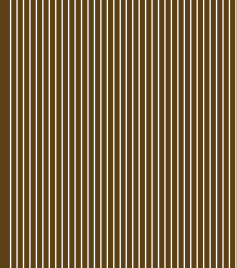
David Pamplona Roche

Impreso en España. *Printed in Spain*

En esta edición se ha utilizado papel ecológico sometido a un proceso de blanqueado ECF, cuya fibra procede de bosques gestionados de forma sostenible.



Esta obra está bajo una Licencia Creative  
Commons Atribución 4.0 Internacional.



**E**L CSIC tiene entre sus funciones la de informar, asistir y asesorar en materia de ciencia y tecnología a entidades públicas y privadas, según recoge el artículo 5 de su Estatuto. Enmarcado en esta labor, el informe *¿Cómo garantizar un sistema energético seguro, eficiente y limpio?*, de la colección Ciencia para las Políticas Públicas, se presenta como un documento dirigido a las administraciones y a la sociedad en general. En su interior se analizan los inconvenientes, los retos y las posibilidades del sistema energético actual, y se ahonda en las líneas de investigación desarrolladas desde la institución para impulsar un nuevo paradigma que facilite la transición energética hacia un modelo libre de emisiones nocivas.

# ÍNDICE

## uno

|||||

### El problema energético

- 1.1. El sistema energético en el contexto internacional
- 1.2. Situación energética en España

## dos

|||||

### Los retos de un sistema energético seguro, eficiente y limpio

## tres

|||||

### Áreas prioritarias de acción

- 3.1. Producción de energía renovable
- 3.2. Eficiencia energética y almacenamiento
- 3.3. Electrificación y descarbonización industrial
- 3.4. Tecnologías de hidrógeno

## cuatro

|||||

### Conclusiones y recomendaciones

## cinco

|||||

### Listado de centros



UNO

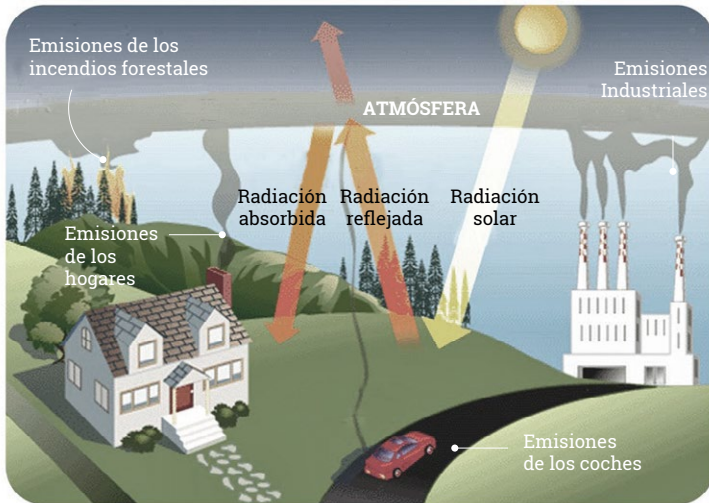


# El problema energético



**L**a mayoría de las actividades de la humanidad están basadas en el uso de fuentes convencionales de energía (carbón, petróleo, gas natural y fisión nuclear), lo que ha permitido un fuerte desarrollo de la economía mundial en el último siglo. Sin embargo, este modelo energético presenta importantes inconvenientes que lo hacen insostenible hoy en día. Por su relevancia, cabe destacar el gran impacto que el uso de estas fuentes tiene sobre el deterioro del medioambiente. Fundamentalmente, debido a que las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de su uso generan un aumento de la temperatura media de la Tierra, que provoca cambios en el clima. Entre estas emisiones, destacan las de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por la gran cantidad emitida a la atmósfera y por su capacidad de permanecer en la misma durante miles de años. Por lo tanto, el desarrollo de estrategias de mitigación, que permitan minimizar los efectos del consumo de energía sobre el calentamiento global, necesita de una imperiosa reducción de las emisiones de este gas.

### Gráfico 1.1 Efecto invernadero



La forma en que los líderes mundiales gestionen esta crisis determinará si los países cumplen los compromisos adquiridos en el Acuerdo de París para que el calentamiento global no supere los 1,5 °C. La Agencia Internacional de la Energía (AIE) advirtió de «la fragilidad e insostenibilidad de nuestro actual sistema energético» y se preguntó «si la crisis será un revés para las transiciones hacia energías limpias o catalizará una acción más rápida». A largo plazo, el objetivo debe ser la independencia energética mediante un sistema 100 % renovable para la electricidad, la calefacción, la industria y el transporte. Aunque no puede lograrse rápidamente en todos los sectores, hay muchas medidas urgentes que pueden implementarse para conseguirlo. Dado que tres de cada cuatro toneladas de gases de efecto invernadero se originan en el sistema energético, su descarbonización es la piedra angular sobre la que desarrollar la transición energética y establecer una economía libre de combustibles fósiles. Esto implica una completa transformación en la manera de producir, transportar y consumir energía.

Según la Agencia Internacional de la Energía, la demanda energética global se incrementará un 30 % en 2040. Pero nuestra sociedad sigue dependiendo de los combustibles fósiles. En España, el 70 % de la demanda energética se importa de otros países y dos tercios de la demanda de energía primaria se cubre con hidrocarburos de origen fósil. Precisamente, la utilización de combustibles fósiles es la actividad del ser humano que más emisiones de dióxido de carbono genera. Por ello, para reducir de manera drástica este tipo de emisiones, se necesita del impulso y desarrollo de tecnologías limpias, sostenibles y eficientes capaces de descarbonizar sectores económicos intensivos en emisiones como el transporte, la industria o el sector residencial, responsables de más del 70 % de las emisiones globales. En este sentido, las energías renovables suponen una excelente alternativa, ya que su uso reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes gaseosos, contribuyendo al desarrollo sostenible y a mejorar la salud de las personas.



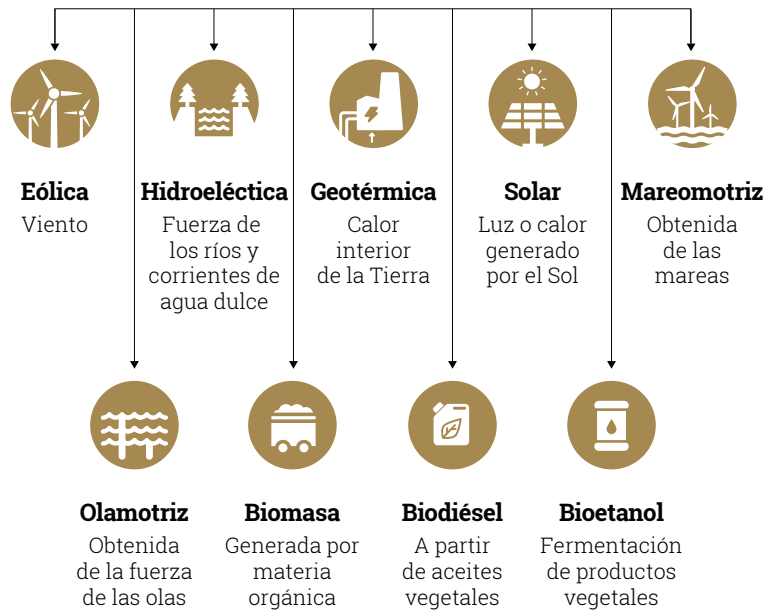
La invasión rusa de Ucrania ha provocado una crisis energética mundial que demuestra la insostenibilidad del sistema actual y que plantea la duda de si supondrá un revés para la transición energética o catalizará una acción más rápida, según la Agencia Internacional de la Energía

Las **energías renovables** son aquellas que se generan utilizando los recursos naturales de la Tierra (la luz solar, el viento, los recursos hídricos, el calor de la superficie terrestre y la biomasa) y cuyo proceso de transformación de los recursos en energía no produce emisiones netas de gases de efecto invernadero. Entre las renovables, se encuentran las energías eólica, solar, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, la energía de las olas (olamotriz o undimotriz), la biomasa y los biocarburantes (por ejemplo, biodiesel y bioetanol).

Aunque no es renovable, otro tipo de energía que emite muy poco dióxido de carbono es la nuclear. Basada en la fisión, es decir, en la energía liberada al dividirse los núcleos de átomos pesados (con gran cantidad de neutrones y protones), es capaz de generar grandes cantidades de energía con poca cantidad de combustible. Sin embargo, el riesgo de accidentes y la gestión de los residuos nucleares, altamente radiactivos, hacen que numerosos países se opongan a la proliferación de su uso. En España existen siete centrales nucleares activas, según datos del Consejo de Seguridad Nuclear: Almaraz I y II, Ascó I y II, Cofrentes, Trillo y Vandellós II. En el continente europeo hay un total de 90 reactores nucleares en 14 países: Francia, Reino Unido, Alemania, Suecia, España, Ucrania, Bélgica, Suiza, Eslovaquia, Hungría, Finlandia, República Checa, Rumanía y Bulgaria. Algunos de estos países tienen planes para desmantelar sus centrales nucleares existentes y otros tienen proyectos en construcción.

Finalmente, cabe mencionar que, aunque la fusión nuclear no se considera estrictamente renovable, no tiene el problema de los residuos radiactivos de alta actividad generados en la fisión nuclear, por lo que se puede considerar una fuente de energía limpia muy prometedora. Aunque últimamente se han realizado importantes avances, todavía existen grandes obstáculos que superar como reducir los costos y aumentar la producción de energía.

**Gráfico 1.2** Tipos de energías renovables y su origen





# 11.

## El sistema energético en el contexto internacional

La población mundial, con 8000 millones de personas, se ha triplicado con creces desde mediados del siglo xx. Este incremento se ha producido sobre la base de un sistema energético mayoritariamente fósil. De hecho, el 80 % de la combinación energética a nivel mundial, es decir, de las distintas fuentes de energía que cubren la demanda de toda la población, es de origen fósil. El principal problema es la liberación de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ), que atrapan el calor en nuestra atmósfera, convirtiéndose, como ya se ha mencionado, en los principales responsables del **calentamiento global** y del **cambio climático**.



Los sectores del transporte, la industria o el residencial son responsables de más del 70 % de las emisiones globales. /PIXABAY

Desde la firma del acuerdo, se han realizado algunos progresos, como la adopción de políticas y estrategias para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y para aumentar la producción de energía renovable. Pero todavía queda mucho por hacer. La Agencia Internacional de la Energía ha diseñado una hoja de ruta para alcanzar las metas establecidas por el Acuerdo de París. Entre los más de 400 pasos a seguir, se incluyen la paralización inmediata de todas las inversiones en carburantes fósiles, la prohibición de vender en 2030 coches de pasajeros con motor de combustión interna y conseguir que, en 2040, el sector energético mundial llegue a las cero emisiones netas de dióxido de carbono.

## Acuerdo de París



# 1.2.

## Situación energética en España





EN España, dos tercios de la demanda energética primaria se cubren con hidrocarburos de origen fósil y el 70 % de la energía demandada se importa de otros países. Para adaptarse al marco establecido por el Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, España ha elaborado un **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC)** para la década de 2021 a 2030. El PNIEC establece un marco de actuación en el que se plantean medidas y objetivos para transformar el modelo energético español en un sistema más sostenible y descarbonizado. Entre las principales medidas destacan:

- La reducción de un 23 % de emisiones de gases de efecto invernadero respecto a 1990. Este objetivo de reducción implica eliminar una de cada tres toneladas de gases de efecto invernadero que se emiten actualmente.
- La reducción del consumo de energía primaria en un 39,5 % para 2030 respecto a los niveles de 2005.
- La generación de al menos un 74 % de la electricidad a partir de fuentes renovables en 2030.
- La electrificación del transporte. El objetivo es que el 35 % del consumo de energía en este sector sea de origen renovable en 2030.
- La mejora de la eficiencia energética en edificios y viviendas para reducir el consumo energético un 39,5 % en 2030.

En la misma línea de la lucha contra el cambio climático y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, el Gobierno presentó en 2020 la Hoja de Ruta del Hidrógeno en España. Este documento establece un plan de acción para el despliegue del hidrógeno verde en sectores clave de la economía, tales como el transporte, la industria y el sector energético.



Entre las principales medidas incluidas en la Hoja de Ruta del Hidrógeno española se encuentran: la promoción de la producción de hidrógeno bajo en emisiones a gran escala, el apoyo a la investigación y desarrollo de tecnologías relacionadas con el hidrógeno, la creación de un marco regulatorio adecuado para el uso del hidrógeno en diferentes sectores, la promoción del uso de hidrógeno en el transporte y la implantación de proyectos piloto de producción y uso de hidrógeno en diferentes sectores, incluyendo la industria y la generación de energía.

- **4 GW**  
de potencia instalada de **electrolizadores**
- **25 %**  
de consumo de hidrógeno en **industria**
- **100-150**  
**hidrogeneras** de acceso público
- **150-200**  
**autobuses eléctricos** con pila de combustible de hidrógeno (FCVE)
- **5000-7000**  
vehículos para el transporte de **mercancías FCEV**
- **2**  
líneas comerciales de **trenes** propulsados con hidrógeno
- **8900**  
millones de euros para **proyectos** que produzcan hidrógeno renovable

dos



# Los retos de un sistema energético seguro, eficiente y limpio

**P**ARA conseguir un sistema energético sostenible es necesario que las energías renovables lleguen a todos los sectores que consumen energía lo que, además, permitirá reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) hasta los límites fijados en el Acuerdo de París. Por lo tanto, resulta perentorio abordar importantes retos y desafíos durante el periodo de transición desde las energías fósiles a las renovables, con el fin de alcanzar de manera exitosa un sistema energético completamente sostenible y libre de emisiones. Por su impacto, tanto a nivel medioambiental como social, cabe destacar los siguientes retos:

- 1. Actividad Industrial:** La industria es uno de los sectores con mayor consumo energético. El 30 % del consumo global de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero son producidas por esta actividad. Por lo tanto, un reto importante será conseguir una **industria menos contaminante**. En este sentido, supone un gran desafío la sustitución de tecnologías que emiten gases de efecto invernadero por otras basadas en electricidad procedente de energías renovables. Actualmente, estas últimas solo suponen un 7 % de la energía consumida por la industria.

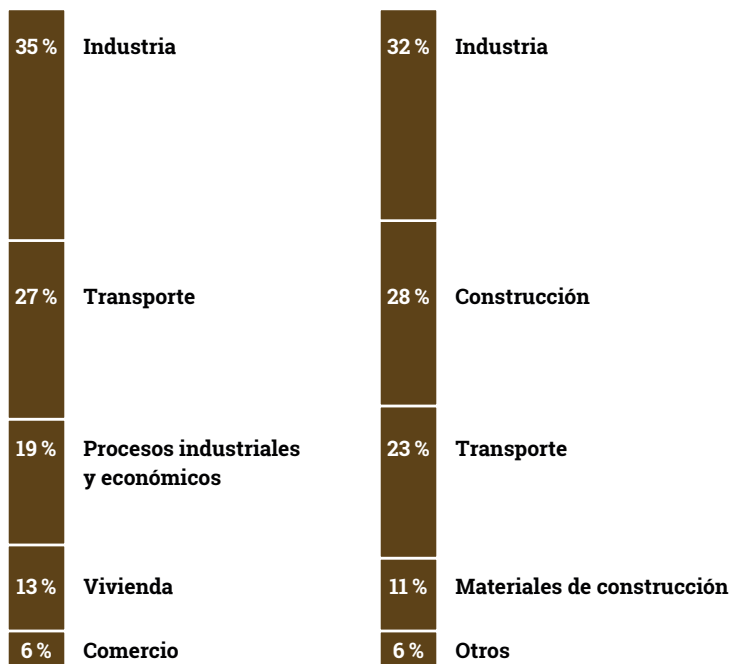
Aunque quedan muchos aspectos científicos y tecnológicos por resolver, la electrificación es una de las herramientas más eficaces para alcanzar los objetivos de descarbonización industrial marcados para el año 2050. Además, la mejora de las tecnologías basadas en la combustión (por ejemplo, bombas de calor o inducción) y el desarrollo de nuevas soluciones a partir del calentamiento electromagnético (por ejemplo, microondas, láser, haz de electrones o arco de plasma) reducirían drásticamente las emisiones de dióxido de carbono.

- 2. Transporte:** Junto con la industria, el transporte es otro sector que consume una gran cantidad de energía. De hecho, es el segundo que más energía consume en Europa y produce el 25 % de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, se trata de un sector muy dependiente de los combustibles fósiles, ya que el 95 % de sus necesidades energéticas son atendidas con el petróleo. Por lo tanto, la electrificación de la movilidad supone otro importante reto que, por su elevado impacto ambiental y social ha de abordarse con la mayor celeridad posible.

### Gráfico 2.1

Consumo de energía  
por sectores

Emisiones de CO<sub>2</sub>  
por sectores



**3. Almacenamiento:** El empleo de electricidad de origen renovable en los sectores mencionados supondrá un importante incremento de su producción. Por lo tanto, otro gran reto será el desarrollo de tecnologías de almacenamiento y redes inteligentes capaces de solucionar el carácter discontinuo de las energías renovables empleadas para generar electricidad (solar y eólica, fundamentalmente). Las redes inteligentes permitirán el transporte, distribución y conversión de la energía eléctrica e interconectarán las distintas fuentes renovables con los puntos de uso de un modo eficiente, flexible y fiable. Estas redes se basarán en convertidores de potencia y usarán la inteligencia artificial para integrar las fuentes renovables intermitentes, la previsión de la demanda de consumo, la mejora de la calidad de la energía, la recuperación de la red y la participación activa de los consumidores en los mecanismos de oferta y demanda.

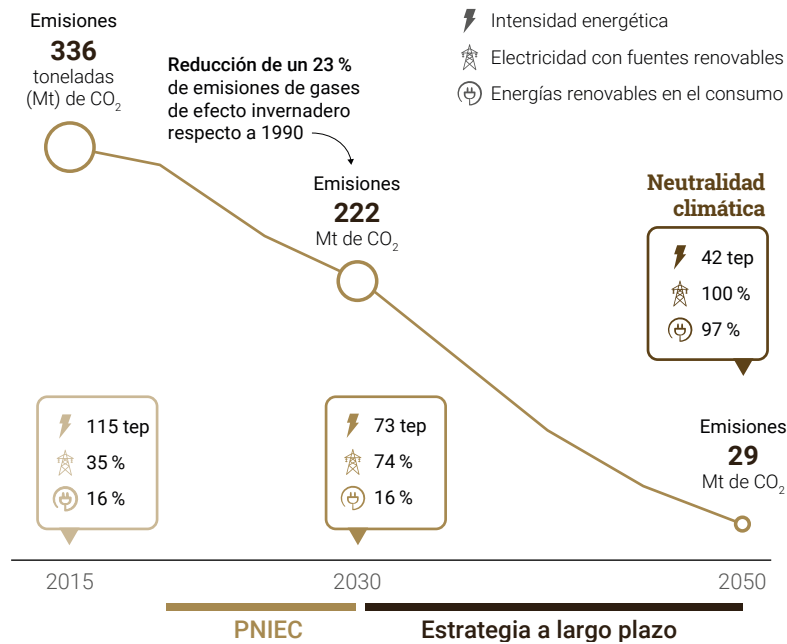
**4. Eficiencia y recuperación de energía:** Ambos suponen un importante desafío al ser conceptos clave para conseguir un sistema energético sostenible. Se trata de desarrollar tecnologías para recuperar y ahorrar energía en nuestro ámbito más cotidiano: edificios y objetos. Los edificios son responsables del 40 % de la energía consumida en Europa, pero un 75 % de ellos son ineficientes desde el punto de vista energético. Los materiales inadecuados y el mal aislamiento de las construcciones son los mayores responsables. Por lo tanto, otro de los retos estaría relacionado con el desarrollo de nuevos materiales de construcción y con la planificación de construcciones que, desde el punto de vista energético, incrementen su eficiencia energética y permita una disminución drástica del consumo de energía.

**5. Sectores adictos al carbono:** La descarbonización de sectores de la economía que son adictos al carbono es otro reto urgente. Se trata, fundamentalmente, de las industrias que fabrican cemento, cerámica, metalurgia (por ejemplo, acero o hierro) y productos químicos. Actualmente, estos sectores generan grandes cantidades de dióxido de carbono por su alto consumo de combustibles fósiles o por la necesidad de carbono para obtener sus productos químicos, que luego se descomponen y generan CO<sub>2</sub> (por ejemplo, los fertilizantes o los plásticos). Además de medidas como electrificar y hacer renovable todo su consumo energético, capturar el dióxido de carbono de estas industrias y evitar su emisión a la atmósfera es la única forma de lograr cero emisiones en estos sectores.

Todo lo dicho hasta el momento refleja la importancia de establecer un sistema energético que, además de ser sostenible, no genere emisiones de dióxido de carbono. En este sentido, la Comisión Europea aprobó en 2020 el Pacto Verde Europeo, un conjunto de iniciativas políticas cuyo principal objetivo es lograr que la Unión Europea (UE) sea climáticamente neutra en 2050. Este documento prioriza la eficiencia energética y establece la necesidad de desarrollar un sector eléctrico basado, en gran medida, en fuentes renovables.

Para conseguir un abastecimiento energético seguro y asequible dentro de la UE, el pacto señala la necesidad de conseguir la plena integración del mercado energético, es decir, que esté interconectado, digitalizado y que respete la neutralidad tecnológica. Esta transición energética ha de ser limpia y debe implicar y beneficiar a los consumidores. Además, el Pacto Verde Europeo menciona, de forma explícita, la necesidad de abordar el problema de la pobreza energética de los hogares que no pueden permitirse servicios energéticos esenciales para garantizar un nivel de vida básico.

**Gráfico 2.2** ¿Dónde se quiere llegar?



tres



# Áreas prioritarias de acción



# Producción de energía renovable

**L**as fuentes de energía fósiles (no renovables), como el petróleo, el carbón y el gas natural, suponen el 80 % del modelo energético utilizado por la sociedad actual. Su impacto negativo sobre el medioambiente hace necesario afrontar un cambio estructural en la producción energética mundial. Por lo tanto, el desarrollo de fuentes de energía renovables que sean estables, fiables, eficientes y rentables es de suma importancia, ahora más que nunca. Además, desde una perspectiva nacional, este reto supone una oportunidad para que España se convierta en líder mundial en un campo de base tecnológica en el que ya cuenta con una sólida posición.

La implantación efectiva de renovables como fuente primaria de energía requiere alcanzar la capacidad de suministrar energía en cantidad suficiente, bajo demanda y a un precio competitivo, al igual que ocurre con las fuentes de energía convencionales. Las barreras para conseguir este importante objetivo solo pueden superarse mejorando la eficiencia, la estabilidad, los costes y la gestión de las distintas tecnologías limpias. Estos retos específicos tienen diferentes implicaciones a medio y largo plazo para cada una de las fuentes de energía renovables que aquí se consideran: solar, eólica, geotérmica, biomasa y fusión nuclear.

## Qué se sabe y qué se está haciendo

## Energía solar

- **Fotovoltaica:** La conversión de la luz solar en electricidad mediante tecnologías fotovoltaicas desempeñará un papel fundamental en el cambio de paradigma energético hacia una sociedad descarbonizada. De hecho, las últimas previsiones apuntan a que antes de 2050 existirán infraestructuras con una potencia fotovoltaica solar de varios teravatios (un teravatio, TW, equivale a 1000 GW). Estas previsiones se sustentan en el hecho de que el Sol suministra a la Tierra cientos de veces el consumo mundial de energía, en la existencia de una tecnología fotovoltaica ya madura y cada vez más económica, y en la aparición de tecnologías emergentes que pretenden mejorar el rendimiento de las actuales mediante una mayor capacidad de despliegue fotovoltaico.

En la actualidad, la mayor parte de la energía fotovoltaica se encuentra instalada en lo que se conoce como huertos solares, es decir, pequeñas instalaciones de paneles fotovoltaicos que generan la energía suficiente para atender la demanda de un núcleo poblacional reducido. A medio plazo, la energía fotovoltaica se centralizará en granjas más eficientes y se distribuirá por todo el terreno construido. Se espera que alimenten dispositivos portátiles, formen parte del mobiliario urbano o se integren en edificios, carreteras, vehículos e, incluso, ropa y complementos. Esta visión se hará realidad a medida que lleguen al mercado tecnologías más versátiles. Algunas de las características de las futuras tecnologías fotovoltaicas son el bajo coste, los cortos plazos de amortización, la flexibilidad, el ajuste del color, el aspecto de camuflaje, la ligereza o la dureza. A largo plazo, la sostenibilidad se convertirá cada vez más en el factor dominante para el desarrollo o la elección de la tecnología fotovoltaica.

- **Energía solar de concentración** (CSP, por sus siglas en inglés): Una central de energía solar por concentración utiliza espejos o helióstatos (dispositivo que sigue el movimiento del Sol) para concentrar los rayos solares sobre una superficie pequeña, generalmente un líquido o un gas. Cuando la luz concentrada se convierte en calor, este se utiliza para mover una turbina de vapor o gas que impulsa un generador eléctrico, produciendo así la electricidad. España es líder en la producción de energía solar por concentración con cincuenta plantas operativas con una capacidad acumulada de 2,3 GW.

Actualmente, el precio de la electricidad producida por la energía solar de concentración es más alto que el de la fotovoltaica. No obstante, se han realizado importantes esfuerzos para reducir su coste y hacerla así competitiva respecto a la electricidad generada de forma convencional, sin subvenciones. El programa Horizonte 2020 (H2020) de la UE ha reconocido la importancia de la investigación centrada en esta reducción de costes. Específicamente, menciona que es necesario «mejorar la competitividad de la tecnología de con-





A diferencia de la energía solar o eólica, la geotérmica produce energía de forma continua. / PIXABAY

delante un enorme potencial de despliegue. Esta energía puede clasificarse en generación de electricidad o uso directo del calor. En el primer caso, el calor del interior de la Tierra debe ser lo suficientemente elevado como para calentar un fluido que hará girar la turbina de un generador para producir electricidad. En el segundo caso, se aprovecha que la temperatura del subsuelo es inferior a 150 °C para realizar un uso directo del calor en procesos domésticos, industriales o recreativos (por ejemplo, baños termales).

## Biomasa

El procesamiento de biomasa para la producción de energía es una tecnología ya consolidada, principalmente en los países del norte de Europa (Finlandia, Noruega y Suecia). Sin embargo, quedan importantes desafíos para la comercialización completa de los procesos termoquímicos que permitan convertir la biomasa en energía, biocombustibles líquidos y productos químicos. Esto se debe, principalmente, a la naturaleza compleja, la estructura física y la composición química de la biomasa. La investigación futura debe abordar retos como: mejorar el rendimiento de los procesos, reducir el impacto ambiental, utilizar las tecnologías con todo tipo de residuos orgánicos y disminuir los costes de capital y de explotación.

## Fusión nuclear

La energía de fusión es la principal fuente de energía en el universo. En las estrellas, dos núcleos de hidrógeno se combinan para formar uno de helio, liberando una gran cantidad de energía en forma de luz y calor. Desde su descubrimiento, esta energía es considerada como una fuente muy prometedora para producir energía segura y libre de dióxido de carbono, de manera ilimitada. La reacción nuclear más adecuada para los reactores de fusión implica la generación de helio a partir de deuterio y tritio. Dado que la concentración de deuterio en los océanos es bastante elevada y que el tritio puede generarse mediante la reacción nuclear de neutrones con litio, se puede afirmar que existe suficiente combustible para generar la energía necesaria para la humanidad durante millones de años. El sueño de conseguir reactores que generen electricidad mediante la fusión ha perseguido a la humanidad durante los últimos sesenta años y, para ello, se ha investigado en múltiples direcciones para conseguir que esta fuente prácticamente inagotable de energía sea una realidad.

Sin embargo, para generar la energía por fusión es necesario unir los núcleos de dos átomos que, al estar cargados positivamente, se repelen y evitan que se produzca la reacción de fusión. Para solucionar este problema se puede recurrir a la fusión por confinamiento magnético, es decir, se calienta el combustible gaseoso hasta alcanzar temperaturas de millones de grados a una presión elevada, obteniendo un plasma (gas caliente de partículas cargadas eléctricamente: iones) donde los núcleos chocan por agitación térmica. El diseño y construcción del reactor International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) se convirtió en un impulso extraordinario hacia la consecución del conocimiento necesario para construir reactores de generación de electricidad mediante fusión. No obstante, la consecución de imanes superconductores de alta temperatura (HTS), mucho más potentes que los de baja temperatura (LTS) con los que se ha construido el ITER, constituye un cambio paradigmático de las reglas de juego. Por un lado, se prevé disminuir el volumen de los tokamaks, es decir, del sistema de confinamiento de plasma mediante un campo magnético. Es lo que se conoce como *fusión compacta*, por la capacidad de desarrollar reactores de menor tamaño y de igual potencia. Por otro lado, se cree que se podrá

Por ejemplo, según las previsiones del consorcio público-privado formado por el Massachusetts Institute of Technology y la empresa Commonwealth Fusion Systems, en Estados Unidos, se dispondrá de reactores de más de 100 megavatios (MW) en 2030. La consecución de reactores de menor tamaño que los diseñados con superconductores de baja temperatura permite abordar escenarios muy distintos, además de la generación continua de electricidad. Dichos reactores pueden convertirse en el primer peldaño para generar hidrógeno verde o para electrificar buques de transporte. En definitiva, todo parece indicar que se ha iniciado una nueva industria con un potencial de expansión extraordinario.

## Qué se hace en el CSIC

## Energía solar

- **Fotovoltaica:** En el área de las tecnologías fotovoltaicas, el CSIC ocupa una posición destacada en aspectos relacionados con la ciencia y tecnología de materiales, así como en la utilización de estrategias transversales para mejorar el rendimiento, como la fotónica y las simulaciones. Estas investigaciones del CSIC se desarrollan entre varios institutos, entre los que se encuentran el Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (ICMS), el Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona (ICMAB), y el Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón (INMA), el Instituto de Micro y Nanotecnología (IMN-CNM), el Instituto Catalán de Nanociencia y Nanotecnología (ICN2) y el Instituto de Tecnologías Químicas (ITQ).



Sus actividades abarcan desde la síntesis y el estudio básico de materiales hasta la investigación y optimización de células fotovoltaicas completas, pasando por la deposición y crecimiento de películas fotovoltaicas. Investigadores del CSIC participan en el proyecto ProperPhotoMile, que involucra a cinco países (España, Alemania, Suiza, Estados Unidos e Israel) y cuyo objetivo principal es integrar la inteligencia artificial en la fabricación de celdas solares.

- **Energía solar de concentración:** En esta tecnología el CSIC trabaja en dos líneas relacionadas con la ciencia y tecnología de materiales y con la tecnología química. Sus equipos de investigación cuentan con experiencia en el desarrollo de espejos más eficientes, recubrimientos, cerámicas avanzadas y materiales cerámicos cementados con metales que son de interés en este tipo de energía y en el estudio de fluidos a alta temperatura o de procesos de almacenamiento termoquímico. Aunque el número de grupos del CSIC directamente implicados es escaso, sus logros y contribuciones son significativos. De hecho, el CSIC es socio de uno de los grandes proyectos del programa H2020 relacionado con esta tecnología y forma parte de un consorcio involucrado en dos proyectos del Centro para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación (Spire y Solar blue) que han demostrado que la hibridación de la tecnología solar de concentración y la fotovoltaica es completamente viable. Muchos otros científicos del CSIC desarrollan importantes trabajos en campos como la corrosión y la catálisis, que también pueden implementarse en la práctica para mejorar esta tecnología.

### **Energía eólica**

El CSIC tiene experiencia en muchos temas transversales que contribuyen a la mejora de las tecnologías relacionadas con los generadores eólicos. El ICMAB trabaja en la aplicación de la ciencia de materiales a las nuevas cintas superconductoras y en el desarrollo de aplicaciones electrotécnicas, en colaboración con otros grupos de ingeniería eléctrica. Por otro lado, se espera que los institutos de ciencia y tecnología de materiales del CSIC que trabajan en metales y aleaciones resistentes a la corrosión, como el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, contribuyan a la mejora de las tecnologías relacionadas con los generadores eólicos.





El CSIC investiga en mejorar el rendimiento de las tecnologías fotovoltaicas, en integrar la inteligencia artificial en su fabricación, en el crecimiento de películas solares o en demostrar que la hibridación de la tecnología solar de concentración y la fotovoltaica es viable



gicas (CENIM), en formulaciones de cemento y hormigón para nuevos procedimientos constructivos de torres, como el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETCC) o en recubrimientos específicos para el deshielo de las palas, como el ICMS, desempeñen un papel clave. El potencial del CSIC puede dar lugar a contribuciones de alto impacto en este campo, llenando un vacío que afecta a muchas otras instituciones de investigación en Europa. Ejemplos recientes ilustran cómo este conocimiento horizontal puede contribuir a hacer de la institución un referente en aplicaciones de energía eólica, como el proyecto Hormiven, centrado en el desarrollo de molinos de viento de gran altura basados en un novedoso tipo de hormigón, o el proyecto Fet-open, coordinado por el CSIC dentro del consorcio europeo Sound of Ice y con la participación del ICMS, el INMA y el Instituto de Síntesis Química y Catálisis Homogénea (ISQCH), que propone el desarrollo de una nueva tecnología inteligente de deshielo.

### Energía geotérmica

La investigación del CSIC abarca toda la gama de aplicaciones de este tipo de energía en función de la temperatura de extracción alcanzada. El uso de sistemas geotérmicos de baja temperatura para satisfacer la demanda de energía térmica se investiga en el Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA). El Centro de Automática y Robótica (CAR) trabaja en el desarrollo de sistemas específicos de control inteligente para minimizar la demanda térmica. El IDAEA también participa en diferentes proyectos sobre sistemas geotérmicos de alta temperatura, donde se desarrollan técnicas de estimulación para mejorar la permeabilidad de los yacimientos y minimizar la sismicidad inducida, es decir, la provocada por la actividad humana (por ejemplo, debido a la extracción de minerales o hidrocarburos). La caracterización de sistemas geotérmicos de alta temperatura en zonas volcánicas se realiza en el Geociencias de Barcelona (GEO3BCN). Además, recientemente, en el IDAEA se ha investigado la viabilidad del uso de yacimientos supercríticos en zonas volcánicas, cuya principal característica es que contienen un fluido con una presión y temperatura superiores a un punto crítico, lo que hace que se comporte como un híbrido entre líquido y gas. En su trabajo destaca el enfoque pionero utilizado mediante la simula-



## Biomasa

En cuanto a las tecnologías de conversión química, el ITQ, el Instituto de Catálisis y petroleoquímica (ICP) y el ICMS son líderes en el desarrollo de catalizadores y procesos catalíticos eficientes para la conversión de biomasa en combustibles para el transporte, así como en la producción de metano sintético e hidrógeno. El ITQ y el ICP realizan importantes desarrollos en tecnologías catalíticas y en procesos como el reformado seco de metano (obtención de hidrógeno y monóxido de carbono, también llamado gas de síntesis, a partir de metano y dióxido de carbono), Fischer Tropsch (proceso químico para obtener hidrocarburos líquidos a

partir de gas de síntesis), la síntesis de metanol y de dimetil éter, y el hidrotratamiento de aceites vegetales. Además, el ICP trabaja también en el fraccionamiento de la lignocelulosa o materia seca vegetal para extraer soluciones de carbohidratos y proceder a su transformación en diferentes biocombustibles y productos químicos mediante catálisis heterogénea (cuando el catalizador está en un estado diferente a los reactivos). El ICMS trabaja en proyectos relacionados con la hidrólisis-hidrogenación catalítica de biomasa lignocelulósica para obtener biocombustibles derivados de fuentes renovables, conocidos como *combustibles de generación avanzada*. También trabaja en la formulación, conformación y estructuración de catalizadores adaptados a aplicaciones específicas, así como en la síntesis, en un único reactor, de combustibles líquidos a partir de biomasa mediante hidrólisis ácida, en la que se utiliza un ácido en fase líquida para romper los enlaces de una molécula. Posteriormente, se produce su hidrogenación sobre catalizadores, metales que se depositan en otro material llamado soporte, de ahí su nombre de catalizadores metálicos soportados, diseñados específicamente para este fin.

Dentro de la Plataforma Temática Interdisciplinar de Transición Energética Sostenible (PTI TransEner+) se lleva a cabo un ambicioso proyecto en el que se están escalando tecnologías propias del CSIC para la producción de biocombustibles destinados al transporte marítimo y aéreo, y para generar hidrógeno bajo en emisiones (proyecto CSICBiorrefina). A través de los institutos mencionados, el CSIC está presente en numerosas instituciones internacionales, como la European Energy Research Alliance, la mayor comunidad de investigación energética de Europa con 250 universidades y centros públicos de investigación de treinta países, y la asociación Bio-based Industry Consortium de la UE.

### Fusión nuclear

En el CSIC, concretamente en el ICMAB, el personal investigador lleva más de veinte años estudiando materiales superconductores de alta temperatura (HTS), en concreto, el desarrollo de las cintas HTS utilizadas para los imanes superpotentes que participan en la fusión compacta. También trabajan en su integración en diversos dispositivos de potencia, en colaboración con equipos y empresas especializadas en ingeniería eléctrica y con



grandes instalaciones, como el Centro Europeo para la Investigación Nuclear (CERN) o, lo que es lo mismo, el laboratorio de investigación básica más importante del mundo.

Sincrotrón Alba, una instalación para analizar la materia a nivel atómico y molecular. / UAB

El potencial del CSIC para contribuir a la naciente industria de la fusión compacta es muy elevado. Por ello, resulta muy aconsejable incentivar la colaboración del ICMAB y otros centros del CSIC con experiencia en criogenia, como el INMA, y en materiales o dispositivos electrónicos de bajas temperaturas, como el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), la Universidad de Sevilla y las instituciones internacionales activas en el campo emergente de la fusión compacta. En los últimos años, el ICMAB ha liderado diversos proyectos europeos e internacionales en el campo de los superconductores de alta temperatura (por ejemplo, el proyecto Ultrasupertapes o la prueba de concepto Impact), ha participado en proyectos de H2020 (por ejemplo, Fastgrid) y de Eurofusion y ha conseguido contratos con empresas multinacionales (por ejemplo, Sumitomo Electric Industries). Asimismo, dentro de la PTI TransEner+, el ICMAB ha puesto a punto un sistema de análisis *in situ* del crecimiento de cintas HTS mediante la radiación sincrotrón, es decir, la radiación que se produce cuando las partículas cargadas (con electrones, por ejemplo) son aceleradas en una trayectoria curva u órbita; este sistema está instalado en el laboratorio de luz Sincrotrón Alba, en Barcelona. Todo ello ha abierto un amplio espectro de capacidades para el desarrollo de cintas HTS de altas prestaciones.

# 3.2.

## Eficiencia energética y almacenamiento

**E**L cambio de paradigma energético para poder mantener nuestra sociedad tal como la conocemos y para permitir un progreso que supere las desigualdades a nivel mundial debería, idealmente, implicar el paso a un sistema libre de emisiones al mismo tiempo que se alcanza la máxima eficiencia energética. Además de la necesidad de conseguir la eficiencia energética en procesos industriales y en las tecnologías desarrolladas, también es vital lograr edificios que sean lo más eficientes posible. De hecho, actualmente, un 75 % de los edificios de la UE se consideran energéticamente ineficientes y un 35 % de los mismos tiene una antigüedad de más de 50 años. Si bien la descarbonización en sectores que se basan en el consumo directo de combustible es compleja, porque implica el desarrollo de nuevos modelos para procesos que ya se aplican a gran escala y de manera generalizada (por ejemplo, la producción de acero u hormigón), en el caso de la electricidad, las fuentes renovables nos brindan una oportunidad única para generar energía evitando emisiones.

Sin embargo, la electricidad generada únicamente con fuentes renovables no será viable si no se acompaña de la posibilidad de almacenar la energía producida en parques eólicos o granjas solares para poder utilizarla en el momento en que sea necesaria. Las variaciones diarias, semanales o estacionales en el consumo doméstico o industrial, siguen patrones más o menos conocidos por lo que, si queremos asegurar el suministro, es necesario tener energía almacenada para no depender de la variabilidad de las fuentes intermitentes (como la energía solar o la eólica). En este caso, la utilización de tecnologías de almacenamiento eficientes también es fundamental para aprovechar al máximo la energía generada. Dada la problemática anterior, es necesario actuar al mismo tiempo en dos ejes principales:

1. Mejorar la eficiencia energética en todos los ámbitos y desarrollar soluciones para captar y aprovechar la energía que, de otro modo, se perdería en forma de vibraciones o calor.
2. Desarrollar tecnologías de almacenamiento de energía que permitan transitar hacia un sistema en el que se genere energía sin emisiones y a partir de fuentes renovables, y que po-

En el primer caso, no solamente es clave maximizar la eficiencia de procesos industriales y tecnologías (incluyendo las relacionadas con la captación, generación y almacenamiento de energía), sino también el desarrollo de soluciones destinadas a implementarse en edificios. Además, será necesario captar la energía que pueda perderse en forma de vibraciones o calor para compensar las posibles ineficiencias derivadas de diversos factores (algunos intrínsecos a las propias tecnologías). En el segundo caso y dada la complejidad de la red eléctrica, será primordial elaborar un análisis detallado de las necesidades de cada aplicación en relación a la cantidad de energía que se debe almacenar, el tiempo de almacenamiento y la rapidez de liberación requeridos para identificar la mejor solución en cada caso. La electrificación en el ámbito del transporte ya se ha iniciado, si bien todavía existen retos para potenciarla (aumento de la vida y disminución del coste de las baterías, por ejemplo).

Tiempo de  
descarga

Finalmente, hay también criterios generales que aplicar en todos los desarrollos destinados a alcanzar los objetivos enunciados anteriormente: la necesidad de que sean sostenibles y respetuosos con el medioambiente y, al mismo tiempo, que tengan la máxima durabilidad para amortizar el coste de implementación.

### Qué se sabe y qué se está haciendo

En el campo de la eficiencia energética y la captación de energía es clave optimizar el aislamiento de los edificios, maximizando el aprovechamiento de la luz natural. Por ejemplo, mediante la implementación de *ventanas inteligentes* o la reducción de la energía asociada a la iluminación mediante el uso de tecnologías eficientes (como la luz led), además del desarrollo de tecnologías de construcción lo más sostenibles posible. Por otro lado, es fundamental capturar la energía que, de otro modo, se perdería en forma de calor, ya sea a gran (edificios o infraestructuras) o pequeña escala (sistemas microelectrónicos), para su transformación en energía eléctrica que pueda ser reutilizada o almacenada. Algunas de estas tecnologías están ya comercializadas, como la tecnología led, mientras que otras se encuentran en desarrollo (por ejemplo, algunos conceptos de ventanas inteligentes) o en fase de prototipo de laboratorio (dispositivos termoelectrónicos, por ejemplo). El impulso de la eficiencia en electrodomésticos, refrigeración, iluminación y envolventes de edificios ha moderado, sin duda, la demanda de electricidad. Sin embargo, el repunte significativo de la actividad, junto con el uso cada vez más común de bombas de calor para calefacción, ha contribuido a un aumento constante de la demanda de electricidad en edificios. Se estima que alcanzará el 66 % del consumo total de energía en 2050.

Las tecnologías de almacenamiento de energía pueden clasificarse en atención a parámetros técnicos, pero su clasificación en función del tipo de energía almacenada es particularmente relevante. En esta clasificación adoptada por la Asociación Europea de Almacenamiento Energético y la Alianza Europea de Investigación en Energía, se encuentran la energía mecánica (como la energía hidroeléctrica), la energía química (por ejemplo, en forma de hidrógeno), la energía electroquímica, la energía eléctrica y la energía térmica.





## La batería de vanadio del CSIC

El CSIC desarrolló en 2022 un prototipo de batería de flujo redox de vanadio, con 10 kW de potencia y 20 kW/h de energía, para acumular energía eléctrica destinada a aplicaciones estacionarias, como en viviendas o en pequeños comercios. En 2023, ha puesto en marcha la fase de demostración de un prototipo de batería de 50 kW con el objetivo de conseguir el almacenamiento estacionario de energía a gran escala para su aplicación en el sector industrial y para una mayor integración en las energías renovables. Sus principales ventajas son su flexibilidad y su largo ciclo de vida.



Actualmente, el sistema de almacenamiento de la energía hidroeléctrica es el que presenta mayor capacidad, eficiencia y durabilidad, y está ya implementado con éxito desde hace años, tanto en Europa como en España. Otros conceptos, como los volantes de inercia, los superconductores para el almacenamiento de la energía magnética o los sistemas de almacenamiento de energía térmica, están todavía en desarrollo. Finalmente, en el caso del almacenamiento electroquímico existe una gran variedad de sistemas: supercondensadores (basados en carbón, por ejemplo), baterías de plomo, níquel o ion litio, o baterías de flujo redox. Estas últimas son dispositivos en los que la energía está almacenada en electrolitos. Estos electrolitos se encuentran en tanques externos y fluyen gracias a la acción de bombas hidráulicas por el interior de las celdas electroquímicas de la batería que convierten la energía química en electricidad.

El almacenamiento electroquímico en baterías convencionales es la tecnología clave para la electrificación del transporte mientras que, en el almacenamiento de energías renovables, el espectro se amplía e incluye también baterías de flujo redox y otras tecnologías todavía en desarrollo.

## Qué se hace en el CSIC

En lo que respecta a la eficiencia energética, el IETCC realiza actividades prospectivas de sistemas constructivos para rehabilitar edificios en condiciones de alta eficiencia energética, estudios de modelado energético de edificios y el desarrollo de nuevos materiales de construcción. Además, dispone de laboratorios de eficiencia energética en edificaciones.

En el ámbito de la investigación fundamental, en el CSIC se desarrollan materiales y prototipos de dispositivos piezoeléctricos, termoeléctricos o de almacenamiento electroquímico, y se investiga en materiales para almacenamiento térmico. De manera genérica, existe un gran dinamismo en el área de materia a través de institutos como el Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM), el ICMS, el ICMAB o el Instituto de Cerámica y Vidrio (ICV), entre otros. Por ejemplo, en el desarrollo de materiales funcionales con las propiedades requeridas para las aplicaciones mencionadas anteriormente y con prestaciones mejoradas, bajo coste y mayor sostenibilidad o durabilidad respecto a los ya existentes. Por otro lado, también se llevan a cabo actividades relevantes dirigidas a la caracterización de los mecanismos de operación, tanto de nuevos materiales como de los actualmente utilizados a escala comercial, ya que el conocimiento de los mismos a escala atómica permitiría mejorar las prestaciones de los dispositivos en los que se integran. Esta investigación se lleva a cabo en colaboración con grandes infraestructuras, como, por ejemplo, el Sincrotrón Alba.

En el campo de los materiales piezoeléctricos (cristales que presentan cargas eléctricas en superficie al someterlos a tensiones mecánicas), triboeléctricos (electricidad causada por el contacto entre dos materiales) y termoeléctricos (que convierten el calor en electricidad), los mayores retos se centran en aumentar su capacidad de conversión y la potencia, y en su integración en dispositivos. La mayor actividad se vuelca en el campo de los materiales termoeléctricos, que abarca tanto materiales inorgánicos, más convencionales, como nuevos materiales orgánicos. Uno de los objetivos más relevantes a largo plazo es su integración en diversos sensores, incluyendo dispositivos del conocido *Internet of Things* (Internet de las cosas) o ropa con tecnología

|||||

## Los laboratorios del CSIC en eficiencia energética

El IETCC cuenta con varios laboratorios dedicados al análisis de los componentes constructivos para mejorar sus prestaciones térmicas, reducir la demanda de energía y aprovechar mejor las energías renovables. En primer lugar, los investigadores poseen un módulo de celdas adiabáticas (que no intercambian calor con su entorno) para estudiar la envolvente térmica de los edificios y sus prestaciones; en segundo lugar, existe una infraestructura enfocada al estudio de los componentes que forman parte de las instalaciones solares fotovoltaicas y térmicas (por ejemplo, captadores solares o circuitos); y en tercer lugar, otro laboratorio cuenta con instrumentación para estudiar la capacidad aislante de los sistemas constructivos. Además, el IETCC posee un *software* de modelado energético para realizar simulaciones destinadas a mejorar el aprovechamiento de la energía en edificios.



*wearables*. En el campo de los dispositivos de almacenamiento electroquímico (por ejemplo, supercondensadores, baterías o baterías de flujo redox), la investigación del CSIC se orienta a aumentar la potencia y densidad de energía a través de la investigación en nuevos materiales, sin olvidar el estudio de mecanismos redox en materiales convencionales ya utilizados para mejorar sus prestaciones comerciales. El esfuerzo de vertebrar dichas actividades en el marco de la PTI TransEner+ contribuirá a mejorar los resultados obtenidos. Una de las cinco áreas temáticas de la plataforma es la de «almacenamiento eficiente de energía», en la que cabe destacar dos actividades que sirven para mostrar su marcado carácter pluridisciplinar:

1. El desarrollo de un banco de ensayos y un laboratorio conjunto con el Sincrotrón Alba, que abarca materiales tanto superconductores como materiales para baterías o electrocatálisis. Esto permite la caracterización avanzada de los materiales durante su uso práctico y un mayor conocimiento sobre cómo funcionan, lo que es fundamental no solo para mejorar sus prestaciones, sino también para aumentar su durabilidad.
2. La construcción de un demostrador de una batería de flujo redox, de vanadio y de 50 kW, como sistema de almacenamiento de energía, que permitiría realizar ensayos en parques solares y en nuevos materiales desarrollados en el CSIC para mejorar sus prestaciones, sostenibilidad o coste.





Equipos del CSIC trabajan con el calcio y el magnesio para obtener baterías con mayor densidad energética y más baratas, estudian el vanadio para lograr baterías redox con más recargas y el silicio para dispositivos portátiles alimentados con calor

# 3.3.

## Electrificación y descarbonización industrial

**S**E prevé que la demanda mundial de electricidad se duplique con creces entre 2020 y 2050, y la mayor parte de este aumento se debe a su uso industrial, como el calor a baja y media temperatura o la producción de acero reciclado. Esto pone de manifiesto la necesidad de seguir invirtiendo en la producción de electricidad renovable que satisfaga la creciente demanda del sector industrial y que reduzca su impacto medioambiental, a la vez que se desarrollan nuevas tecnologías para el uso eficiente y a gran escala de la electricidad en procesos termoquímicos industriales.

### Qué se sabe y qué se está haciendo

La electrificación del transporte se está acelerando rápidamente. Aunque actualmente menos de 2 % funciona con electricidad se estima que, en 2050, alrededor del 45 % funcione con este tipo de energía. Las ventas mundiales de turismos estarán dominadas por los vehículos eléctricos, que supondrán más del 60 % de las ventas en 2030 y, previsiblemente, el parque automovilístico estará casi electrificado en su totalidad para 2050. La electrificación de los camiones es más lenta, debido a la necesidad de baterías más densas e infraestructuras de carga de alta potencia. Se estima que alrededor del 25 % de las ventas mundiales de camiones pesados en 2030, y dos tercios en 2050, serán eléctricas. La electrificación del transporte marítimo y aéreo será más limitada, ya que está condicionada a lograr grandes mejoras en la seguridad y densidad energética de las baterías. En 2050, la demanda de baterías para el transporte alcanzará aproximadamente los 14 teravatios/hora (TWh), 90 veces superior a la de 2020. Este crecimiento de la demanda de baterías conllevará un aumento de la demanda de minerales críticos, por ejemplo, la demanda de litio se multiplicará por 30 en 2030 y por más de 100 en 2050. Además del uso directo de la electricidad, se prevé un importante aumento de su utilización para la producción de hidrógeno mediante electrólisis, para los sectores del transporte e industrial, consumiendo 12 000 TWh de electricidad en 2050. Este dato supone superar la demanda anual de electricidad de Estados Unidos y China.

La captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS) es también una herramienta fundamental para la descarbonización, que posibilita la transición hacia emisiones netas cero de dióxido de carbono. Tiene el potencial de evitar las emisiones de algunos de los sectores más desafiantes y permitir la eliminación o captura directa del dióxido de carbono de la atmósfera, consiguiendo emisiones negativas. La inversión en CCUS y en

infraestructuras compartidas de transporte y almacenamiento de dióxido de carbono permitirá su uso en la producción de hidrógeno y biocombustibles, en procesos industriales (por ejemplo, en la metalurgia o la industria cerámica) y en la reconversión de centrales térmicas de carbón, gas o biocombustibles para producir electricidad. La captura directa del aire es una nueva tecnología para absorber dióxido de carbono del aire, en la que están involucrados actores internacionales principales como las empresas Climeworks, Carbon Engineering o Infinitree. Esta tecnología de captura utiliza sorbentes químicos con fuertes características aglutinantes. Sin embargo, actualmente es cara y consume mucha energía, ya que se necesitan grandes equipos de captura debido al bajo contenido de dióxido de carbono en el aire del ambiente. A pesar de sus dificultades, existen oportunidades para desarrollar líneas de investigación innovadoras en el CSIC.

Se espera que la captura mundial de dióxido de carbono aumente hasta alcanzar 1,6 gigatoneladas (Gt) anuales en 2030 y 7,6 Gt en 2050. Parte del CO<sub>2</sub> capturado y almacenado se guardará en depósitos geológicos permanentes, mientras que otra gran parte se utilizará como una valiosa materia prima para crear combustibles sintéticos limpios y para reemplazar al petróleo dentro de la industria química en la producción de plásticos, textiles, fármacos o detergentes. Además, en 2050 se utilizarán al menos 0,5 Gt de dióxido de carbono capturadas para producir combustibles sintéticos destinados al transporte aéreo.

### Qué se hace en el CSIC

La electrónica de potencia es una tecnología fundamental para la conversión eficiente de la energía eléctrica y para la electrificación industrial. Engloba campos interdisciplinarios, cuyo núcleo son los dispositivos semiconductores de potencia. El Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB-CNM) es líder internacional en la investigación de la electrónica de potencia mediante el desarrollo de nano- y microtecnologías innovadoras. La actividad de I+D se divide en tres líneas: semiconductores de banda ancha, dispositivos de potencia de silicio, e integración y fiabilidad de sistemas de potencia, cubriendo toda la cadena de valor necesaria para desarrollar módulos de potencia funcionales y fiables.





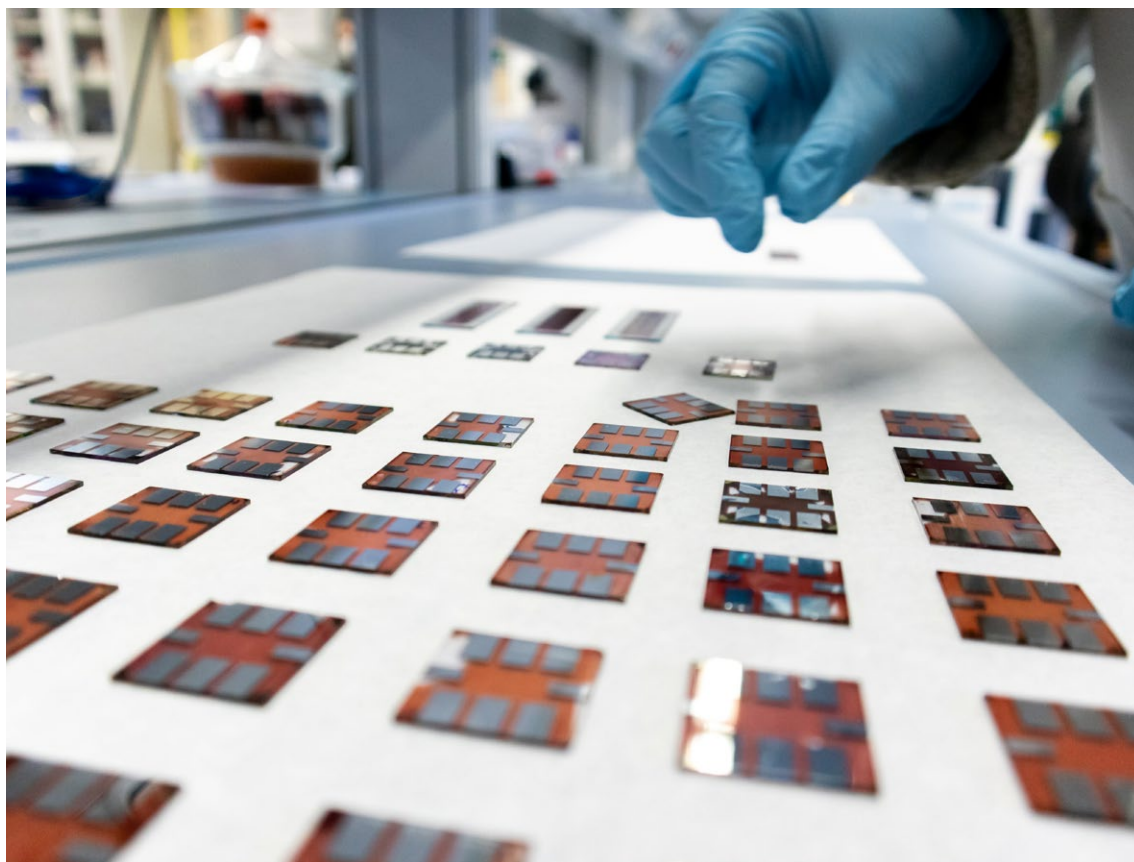
La implantación de reactores electroquímicos en la industria química y petroquímica es un punto estratégico para la intensificación y electrificación de procesos, dando lugar a sistemas eficientes y respetuosos con el medioambiente. El desarrollo de estos dispositivos implica el estudio de ciencia de materiales, catálisis, modelización y análisis fenomenológicos fundamentales, áreas en las que numerosos institutos del CSIC tienen experiencia. Los institutos están especializados en electroquímica, desde actividades fundamentales y a escala de laboratorio, hasta actividades de demostración más aplicadas. Se han realizado importantes contribuciones a la electrificación mediante el uso de reactores electroquímicos de membrana para la producción química y la mejora de procesos. Algunos ejemplos son la conversión de mezclas con metano en productos petroquímicos mediante la reacción de deshidroaromatización de metano (que produce hidrógeno y compuestos aromáticos, como el benceno o el naftaleno) y la producción de hidrógeno comprimido puro mediante un reformador de membrana de protones, que permite conducir protones al mismo tiempo que actúa como aislante frente al oxígeno y el hidrógeno. El CSIC goza de gran prestigio en foros internacionales y ha asumido funciones de coordinación en varios proyectos de la UE.

Además, el CSIC trabaja con reconocidas instituciones de investigación e importantes empresas relacionadas con electrólisis, electrosíntesis, preparación de catalizadores, química verde, petroquímica y biorrefinerías. Por ejemplo, los proyectos europeos Co2smos y Ecoco2 son ejemplos notables de las contribuciones del CSIC. Estos proyectos suponen el desarrollo de un electrolizador cerámico, conductor de protones y de 10 kW, para la producción de hidrógeno a presión y de un reactor de membrana iónica (que transporta iones y, por tanto, electricidad), basado en la tecnología de celdas electrolíticas, cerámicas y conductoras de protones, para la conversión de dióxido de carbono y vapor de agua en combustibles sintéticos. El CSIC también cuenta con equipos que trabajan en el procesamiento de datos digitales complejos, las comunicaciones y la inteligencia artificial, como el Instituto de Investigación en Inteligencia Artificial (IIIA) y el Instituto de Robótica e Informática Industrial (IRII). Estos grupos están desarrollando herramientas para gestionar redes inteligentes y herramientas avanzadas de teoría de control que permitan integrar pilas de combustible en redes inteligentes. En resumen, el CSIC está contribuyendo significativamente a la investigación y desarrollo de tecnologías facilitadoras de la electrificación industrial y de otros campos que podrían beneficiarse del estudio sobre nuevos métodos y técnicas de producción. Su investigación abarca diversas áreas estratégicas, como la inteligencia artificial y el procesamiento digital de datos, junto con las ciencias medioambientales, humanas y sociales, lo que indica su enfoque interdisciplinar para alcanzar el objetivo de la electrificación.

La captura de dióxido de carbono es crucial en las cadenas de valor de CCUS, y con este fin se han desarrollado tres tecnologías principalmente: poscombustión (aprovecha el oxígeno de los gases ya quemados para aumentar el rendimiento), precombustión (separación de los gases combustibles) y oxicomustión (separación del oxígeno del aire). Existen tecnologías maduras

- Tecnologías de ciclos químicos (*chemical looping*) a alta temperatura.
- Materiales adsorbentes avanzados para la captura de dióxido de carbono.
- Membranas de separación de gases.

Las tecnologías de ciclos termoquímicos a alta temperatura se basan en reacciones gas-sólido, es decir, reacciones en las que un gas se pone en contacto con un sólido, reacciona con él y lo transforma. En esta tecnología, las reacciones gas-sólido son reversibles a altas temperaturas entre un óxido metálico con oxígeno o dióxido de carbono. La tecnología de combustión química en ciclos, liderada por el ICB, es una prometedora tecnología de combustión que transporta oxígeno a una cámara de combustión y evita el contacto directo entre el combustible y el aire. La tecnología de ciclos de calcio, impulsada por el INCAR y el ICMS, utiliza la reacción reversible entre el dióxido de carbono y el óxido de calcio para formar carbonato de calcio. Es una prometedora tecnología de captura de dióxido de carbono que también puede descarbonizar la producción de cemento, manteniendo muy altas eficiencias energéticas y sinergias con la planta productiva en la que se integre.



En el ICMAB-CSIC se desarrollan celdas solares orgánicas. / ARTUR MARTÍNEZ

SCIENCE  POLICY | 53

# 3.4.

## Tecnologías de hidrógeno

**E**l hidrógeno renovable será clave a largo plazo, ya que tanto su producción como su consumo es climáticamente neutros y no genera emisiones contaminantes. El hidrógeno se puede usar directamente como combustible, como vector energético o como materia prima en la industria. En la actualidad, el hidrógeno se usa ampliamente en la industria del refino (33 %), en la producción de amoníaco (27 %), en la producción de metanol (11 %) y en la industria del acero (3 %). Por ello, es de vital importancia la extensión del uso del hidrógeno renovable en la industria, lo que disminuirá las emisiones.

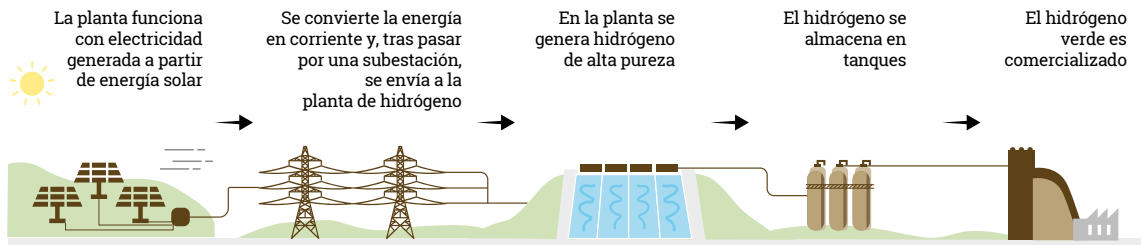
La aplicación del hidrógeno renovable en el sector del transporte es una forma muy prometedora de descarbonizarlo, ya que es responsable de un alto porcentaje de las emisiones de dióxido de carbono. Para ello se usan las pilas de combustible que utilizan el hidrógeno producido a partir de fuentes renovables para generar electricidad, aportando la energía necesaria para poner en marcha los vehículos eléctricos de pila de combustible. Sin embargo, para que el hidrógeno se pueda usar de forma masiva es necesario que se pueda almacenar de forma segura. Existen dos tipos de métodos para almacenarlo: los basados en propiedades físicas (gas a presión) y los basados en portadores de hidrógeno, compuestos que contienen una gran cantidad de hidrógeno que puede liberarse fácilmente. Ambos métodos necesitan todavía de un gran desarrollo.

Las tecnologías de hidrógeno presentan un gran potencial, pero antes de alcanzar su despliegue masivo han de superarse importantes retos, tanto en su producción renovable como en su almacenamiento.

### Qué se sabe y qué se está haciendo

En la actualidad, las fuentes de energía que se utilizan para producir hidrógeno incluyen las renovables, como la solar, la eólica o la biomasa; pero también los combustibles fósiles, como el gas natural y el carbón. De hecho, la mayor parte del hidrógeno se produce a partir de combustibles fósiles. Esto significa que la producción de hidrógeno genera una cantidad muy significativa de emisiones de dióxido de carbono.

**Gráfico 3.2** Así se produce hidrogeno verde a partir de energía solar



Es muy importante que el hidrógeno se produzca de manera sostenible, por ello hay que garantizar el avance de las tecnologías del hidrógeno renovable. De hecho, la Hoja de Ruta del Hidrógeno Renovable, del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, establece tres horizontes temporales (2024, 2030 y 2050) para la descarbonización y sitúa el foco del primero de los objetivos sobre el sector químico y las hidrogeneras (estaciones de servicio que surten combustible a vehículos de hidrógeno). Para 2030, el objetivo estratégico es instalar al menos 40 GW de electrolizadores y aumentar la producción de hidrógeno renovable en la UE hasta los 10 millones de toneladas. En la última fase, que se extiende hasta 2050, una cuarta parte de la electricidad renovable podría usarse para producir hidrógeno verde en 2050 y así el hidrógeno podría penetrar en nuevos sectores, como el del transporte marítimo, la aviación u otros usos industriales.

Hay varios modos de producir hidrógeno bajo en emisiones a partir de energía renovable. Por ejemplo, partiendo de la biomasa se puede producir hidrógeno mediante diferentes procesos, siendo la gasificación convencional el que mejor rendimiento presenta. De hecho, su uso para producir hidrógeno se extiende en Estados Unidos desde principios de la década de los noventa. En todo caso, la mayor parte de hidrógeno bajo en emisiones se produce por electrólisis de agua. Los electrolizadores alcalinos utilizan agua junto con una solución electrolítica líquida, como hidróxido de potasio o hidróxido de sodio. Llevan utilizándose más de cien años y no requieren metales nobles como catalizador; sin embargo, son equipos voluminosos que obtienen hidrógeno de pureza media y que no son flexibles durante el proceso. A pesar de ello, son los más utilizados, debido a que presentan mayor rentabilidad económica y madurez tecnológica. Además,

es una tecnología con una baja densidad de corriente, lo que implica una baja producción de hidrógeno por volumen de equipo.

Los electrolizadores de membrana de intercambio de protones son compactos, obtienen un hidrógeno de alta pureza y son los más adecuados para adaptarse a la variabilidad de las energías renovables. Aunque implican unos costes superiores al utilizar metales preciosos como catalizadores, también pueden trabajar a mayores densidades de corriente. Por su parte, los electrolizadores de membrana que trabajan en modo aniónico (AEM) son más económicos que los electrolizadores anteriores al permitir la sustitución de los metales preciosos por metales de bajo coste. No obstante, esta tecnología se encuentra en fase de investigación.

Los electrolizadores de óxido sólido funcionan a una temperatura más alta (entre 500 °C y 850 °C) y tienen el potencial de ser mucho más eficientes que los de membrana de intercambio de protones y que los alcalinos. En los electrolizadores de óxido sólido, el electrolito está elaborado con materiales cerámicos, lo que permite reducir costes en su fabricación y alcanzar un alto grado de eficiencia energética. Sin embargo, tecnológicamente están menos desarrollados que los anteriores.

En estos momentos, se están desarrollando diversas iniciativas de plantas de producción de hidrógeno verde. Inaugurada en 2022, destaca la construida en Puertollano por ser la primera a nivel europeo, por producir 3000 toneladas de hidrógeno al año y porque utiliza electrolizadores de membrana de intercambio de protones.

### Qué se hace en el CSIC

El CSIC posee un gran conocimiento y potencial en el desarrollo de tecnologías de hidrógeno debido a sus más de veinte años de experiencia en el estudio de este tipo de tecnologías. Lidera el desarrollo de pilas de combustible y electrolizadores, tanto en tecnología de baja temperatura (pilas y electrolizadores de membrana de intercambio de protones) como de alta (pilas y electrolizadores de óxido sólido), mediante su trabajo en el diseño de componentes y en la fabricación y modelado. En esta área, trabajan investigadores del ICB, del ICP, del INMA, del ICV, del ITQ, del ICMM y del IRI.



En el CSIC se estudian diferentes tecnologías de electrólisis, tanto de baja como de alta temperatura. La electrólisis de baja temperatura, de membrana polimérica, es la más idónea para almacenar las fluctuaciones de energía renovable. Sin embargo, esta tecnología conlleva la utilización de materiales críticos, lo que encarece el proceso. La investigación que se realiza en el CSIC está encaminada a la sustitución de dichos materiales por otros más abundantes y baratos. En el ICP se están estudiando catalizadores basados en materiales no críticos para este tipo de electrolisis.



Banco de pruebas para pilas de hidrógeno. / ICB

Además, para evitar el uso de materiales críticos en los catalizadores, se trabaja en medio aniónico (electrolizadores de membrana en modo aniónico). Así, en el ICB y en el ICP se están estudiando diferentes catalizadores basados en metales de bajo coste a través de los proyectos Storelec e Itn-bike. A ello se suma el trabajo de tres grupos del ICB y del ICP que están desarrollando un electrolizador de baja temperatura con membrana polimérica de intercambio aniónico. El objetivo es producir hidrógeno incorporando nuevos electrodos basados en metales más baratos y más disponibles en la naturaleza que los usados en catalizadores comerciales. Además de este proyecto, desarrollado a través de la PTI TransEner+ y financiado con el Plan Complementario de Energía e Hidrógeno Verde de las comunidades autónomas, el ICMS está trabajando también en el desarrollo de electrolizadores de membrana en modo aniónico.

El INMA trabaja en electrolizadores de alta temperatura, de óxido sólido, en toda su cadena de valor, desde el desarrollo de materiales hasta su integración con el objetivo de transferir al mercado una tecnología que permita crear una industria propia que produzca hidrógeno mediante electrólisis.

En estos momentos, investigadores del ICB y de IRI, dentro de la plataforma TransEner+, están diseñando una hidrogenera que sea capaz de generar 60 kg de hidrógeno al día, que esté alimentada por energía renovable y que dé servicio a automóviles (con un surtido a 700 bares de presión), autobuses (350 bares) y depósitos para transporte (350 bares). La hidrogenera se abastecerá totalmente con energía solar y será la primera de uso público.

Por último, en el área de almacenamiento de hidrógeno, investigadores de los institutos de Investigaciones Químicas (IIQ) y de Ciencias de Materiales de Sevilla (ICMS) y de Madrid (ICMM) aportan nuevas soluciones con el diseño de nuevos materiales que actúan como adsorbentes y catalizadores para almacenar hidrógeno.

cuatro



# Conclusiones y recomendaciones

## Conclusiones

|||||

Nuestro país está llamado a desempeñar un papel clave en el futuro de las energías renovables. En este contexto, **el CSIC tiene un enorme potencial para convertirse en una pieza clave** que ofrezca soluciones innovadoras y viables.

|||||

El principal reto en la implantación de las **energías renovables es que puedan suministrar la cantidad suficiente de energía, bajo demanda y a un precio competitivo**, igual que las fuentes de energía convencionales. Para ello, es necesario mejorar la eficiencia, estabilidad, costes y gestionabilidad de las tecnologías limpias.

|||||

El amplio abanico de tecnologías implicadas en la transición energética obliga a la **colaboración entre gobiernos, empresas, universidades y centros de investigación a nivel internacional** para que alcancen su madurez y puedan cubrir las necesidades finales.

|||||

La **energía fotovoltaica**, cuyo mercado crece a un ritmo vertiginoso, **todavía presenta un gran margen de mejora** en cuanto a materiales y dispositivos que reduzcan los costes de producción y que la acerquen a nuevos nichos de mercado, como el transporte y los dispositivos portátiles.

|||||

La **energía solar por concentración** ofrece la posibilidad de almacenar energía a medida que se produce y, aunque también podría hacerse más eficiente, **su principal reto reside en la integración con otras fuentes de energía limpias**.

|||||

La **eólica** es la energía renovable que **más contribuye al mercado mayorista de generación de energía eléctrica**. Sin embargo, requiere de nuevos materiales y redes de distribución de electricidad capaces de funcionar en condiciones extremas.

|||||

La **energía geotérmica** tiene el potencial de ser **la única fuente de energía limpia que no fluctúa**, pero es la que presenta un menor nivel de desarrollo y se enfrenta a importantes retos relacionados con la eficiencia de los procesos necesarios para utilizarla y con la localización geográfica de las fuentes disponibles.

|||||

La **fusión nuclear** requiere de inversión en I+D para el desarrollo de reactores de fusión compactos y para abordar cuestiones sobre el manejo del plasma y sobre los materiales que trabajan en condiciones extremas. No obstante, **el desarrollo de materiales e imanes de alta temperatura es el reto más relevante**.

|||||

El **hidrógeno puede ayudar al desarrollo de las energías renovables** mediante su empleo para almacenar electricidad a gran escala. Si hay un exceso de electricidad, se puede derivar a los parques de electrolizadores, donde se produciría y almacenaría el hidrógeno para luego volverlo a transformar en electricidad mediante el uso de pilas de combustibles.

|||||

Las **energías renovables supondrán un gran impacto en nuestra sociedad**. No solo tecnológico, sino también social, económico o paisajístico, a través de una producción descentralizada de la energía que hará menos vulnerables las economías locales y que ya dibuja nuevos paisajes rurales con molinos de viento y grandes campos fotovoltaicos.

## Recomendaciones

|||||

El sistema energético presenta una gran complejidad. Si se quiere avanzar hacia la transición energética es necesario **coordinar y estimular las actividades de sectores muy diversos** a lo largo de toda la cadena de valor, desde la generación de energía hasta su utilización final.

|||||

La **transición energética debe ir asociada al desarrollo de sistemas de almacenamiento energético eficientes** para mantener el suministro. Para ello será clave la diversificación en tecnologías como el almacenamiento electroquímico, que será clave en la electrificación del transporte y en la integración de las energías renovables en la red eléctrica.

|||||

Debido a su impacto en el consumo global de energía, **la edificación** es clave para alcanzar la máxima eficiencia energética en todos los ámbitos, tanto a nivel industrial como doméstico. Por ello, además de mejorar el aislamiento de los edificios y maximizar la eficiencia en la iluminación, **es necesario promover un marco regulatorio adecuado y crear un entorno que favorezca la inversión**.

|||||

Para alcanzar un sistema energético más sostenible es necesario **incentivar la electrificación directa de sectores** como el transporte o la industria de procesos, **desarrollar redes eléctricas interconectadas, inteligentes y optimizar las tecnologías digitales** para mejorar la previsión de la demanda.

|||||

El **hidrógeno representa una gran oportunidad para la descarbonización**. Su desarrollo requiere de impulsar tecnologías de hidrógeno limpias, tanto en la escala básica con el desarrollo de materiales más baratos, duraderos y eficaces, como en la escala tecnología con el estudio de demostradores y plantas pilotos.

|||||

El **desarrollo de procesos avanzados de captura de dióxido de carbono es crucial** para reducir el coste de este proceso, para aplicarlo en industrias que no pueden descarbonizarse y para habilitar sistemas de carbono negativo, como la captura directa de CO<sub>2</sub> en el aire. Por ello, se deben optimizar las tecnologías destinadas a separar gases a gran escala e investigar su integración en los productos sintéticos sostenibles.

|||||

Es necesaria la formación y sensibilización de la sociedad para **concienciar de la complejidad de nuestro sistema energético a una escala global**. El objetivo es mejorar la aceptación de las medidas relacionadas con el ahorro energético mediante la sensibilización, pero también mediante incentivos destinados a mejorar los edificios y a electrificar el parque automovilístico.

|||||

Las **políticas de sensibilización deben prestar especial atención a una divulgación adecuada de las tecnologías de hidrógeno**. No es cierto que el hidrógeno sea altamente explosivo, tal y como lo percibe la sociedad, sino que es más seguro que otros combustibles al necesitar de una concentración mínima para incendiarse (límite por debajo del cual la mezcla de gases no es explosiva) más alta que la mayoría de combustibles.

|||||

Se debe promover la **inclusión de las tecnologías de hidrógeno en los itinerarios curriculares**. Además de trasladar el conocimiento de estas tecnologías a la sociedad, será necesario incentivarlo en públicos más especializados, como partes interesadas, técnicos y mecánicos.

|||||

El contexto actual de cambio climático **requiere de una política pública transparente e imparcial**. El objetivo es corregir la paradoja que existe entre lo que se necesita para alcanzar el objetivo de que el calentamiento global no supere los 1,5 °C en 2050 y lo que perciben como positivo la sociedad y los responsables políticos.

|||||

# Listado de centros



|||||

<b>CENTRO</b>	<b>PÁGINA WEB</b>	<b>CORREO ELECTRÓNICO</b>
<b>Centro de Automatización Automática y Robótica</b> [CAR, CSIC-UPM]	<a href="http://www.car.upm-csic.es">www.car.upm-csic.es</a>	<a href="mailto:direccion.car@csic.es">direccion.car@csic.es</a>
<b>Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas</b> [CENIM]	<a href="http://www.cenim.csic.es">www.cenim.csic.es</a>	<a href="mailto:direccion.cenim@csic.es">direccion.cenim@csic.es</a>
<b>Geociencias de Barcelona</b> [GEO3BCN, CSIC]	<a href="http://www.geo3bcn.csic.es">www.geo3bcn.csic.es</a>	<a href="mailto:direccion.geo3bcn@csic.es">direccion.geo3bcn@csic.es</a>
<b>Instituto Catalán de Nanociencia y Nanotecnología</b> [ICN2, CSIC-UAB-Generalitat de Catalunya-FundaciónICN2]	<a href="http://www.icn2.cat">www.icn2.cat</a>	<a href="mailto:info@icn2.cat">info@icn2.cat</a>
<b>Instituto de Carboquímica</b> [ICB, CSIC]	<a href="http://www.icb.csic.es">www.icb.csic.es</a>	<a href="mailto:direccion.icb@csic.es">direccion.icb@csic.es</a>
<b>Instituto de Catálisis y Petroleoquímica</b> [ICP, CSIC]	<a href="http://www.icp.csic.es">www.icp.csic.es</a>	<a href="mailto:direccion.icp@csic.es">direccion.icp@csic.es</a>
<b>Instituto de Cerámica y Vidrio</b> [ICV]	<a href="http://www.icv.csic.es">www.icv.csic.es</a>	<a href="mailto:comunicacion@icv.csic.es">comunicacion@icv.csic.es</a>
<b>Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona</b> [ICMAB, CSIC]	<a href="http://www.icmab.es">www.icmab.es</a>	<a href="mailto:direccion.icmab@csic.es">direccion.icmab@csic.es</a>
<b>Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid</b> [ICMM, CSIC]	<a href="http://www.icmm.csic.es">www.icmm.csic.es</a>	<a href="mailto:direccion.icmm@csic.es">direccion.icmm@csic.es</a>
<b>Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla</b> [ICMS, CSIC-US]	<a href="http://www.icms.us-csic.es">www.icms.us-csic.es</a>	<a href="mailto:direccion@icmse.csic.es">direccion@icmse.csic.es</a>
<b>Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros</b> [ICTP, CSIC]	<a href="http://www.ictp.csic.es">www.ictp.csic.es</a>	<a href="mailto:direccion.ictp@csic.es">direccion.ictp@csic.es</a>
<b>Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono</b> [INCAR, CSIC]	<a href="http://www.incar.csic.es">www.incar.csic.es</a>	<a href="mailto:contacto@incar.csic.es">contacto@incar.csic.es</a>
<b>Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja</b> [IETCC, CSIC]	<a href="http://www.ietcc.csic.es">www.ietcc.csic.es</a>	<a href="mailto:direccion.ietcc@csic.es">direccion.ietcc@csic.es</a>

66 |  **CSIC**  
 Consejo Superior de Investigaciones Científicas





# Ciencia para las Políticas Públicas



Informe de transferencia  
de conocimiento



**CSIC**  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN

SCIENCE  POLICY