

CSIC
INVESTIGA



Revista de ciencia

Número 3 · Enero-junio 2022

ENERGÍA

Ciencia para impulsar la transición energética

RENOVABLES
**Solar, térmica
y fusión**

HIDRÓGENO
**Un vector para la
energía limpia**

ALMACENAMIENTO
**Metales para
destronar al litio**

DESCARBONIZACIÓN
**Captura de CO₂
y reutilización**

Ciencia para un nuevo sistema energético

“

El mundo moderno se ha basado en la combustión masiva de combustibles fósiles, pero esta práctica se ve claramente limitada por su abundancia en la corteza terrestre, así como por las consecuencias ambientales de la quema de carbón e hidrocarburos, de modo que nuestras sociedades solo podrán garantizar su supervivencia si llevan a cabo una transición hacia fuentes de energía no fósiles.”

Vaclav Smil. *Energía y civilización. Una historia.*

La urgente transformación del sistema energético

por **Clara Blanco** (INCAR) y **Antonio Chica** (ITQ)
Coordinadores de la PTI+TransEner



Revista CSIC Investiga
Departamento de Comunicación
Gabinete de Presidencia
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Calle Serrano 117. 28006 Madrid
Email: comunicacion@csic.es

Jefe de Comunicación:
Abel Grau

Consejo de redacción:
Isidoro García Cano, Alejandro Parrilla

Redactores:
Eduardo Actis, Gema de la Asunción, Agathe Cortes, Lydia Gallego, Isidoro García Cano, Marta García Gonzalo, Esther María García Pastor, Jesús García Rodrigo, Ana Iglesias, Mónica Lara del Vigo, Anna May, Alda Ólafsson, Alejandro Parrilla, Sabela Rey Cao

Fotógrafos:
Gema de la Asunción, César Hernández, Joan Costa, Artur Martínez y Rafael Álvarez.

Infografía:
Martín García

Diseño y maquetación:
David Pamplona

NIPO:
833-21-013-8



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

El agotamiento de los recursos fósiles, el deterioro medioambiental y la centralización del modelo energético son factores de peso que justifican la transformación, cuanto antes, del sistema energético. Por ello, tanto la Comisión Europea (a través del Pacto Verde Europeo) como el Gobierno español (a través del Plan Nacional de Energía y Clima) han marcado sus objetivos y estrategias de reducción de emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

La lucha contra la emisión de GEI y contra el cambio climático requiere una profunda transformación energética basada en el uso de fuentes de generación distribuida y renovable, así como en tecnologías limpias y sostenibles capaces de descarbonizar el transporte, la industria o el sector residencial, responsables de más del 70% de las emisiones. Pero esta transformación requiere una importante inversión en I+D para desarrollar nuevas tecnologías que puedan mejorar la vida de los ciudadanos.



El programa de recuperación Next Generation EU, aprobado por el Consejo Europeo para aminorar los daños económicos de la pandemia, busca favorecer el tránsito hacia este nuevo sistema energético en el que las energías renovables, en general, y el hidrógeno, en particular, contribuyan a alcanzar la descarbonización total del sistema energético y a lograr la neutralidad en carbono para el 2050. España deberá aprovechar estos fondos para potenciar su red de energía renovable mediante proyectos y políticas que saquen partido de los recursos renovables autóctonos, incrementando así el porcentaje de renovables en su mix energético. Con esta estrategia, España podría alcanzar un sistema energético suficiente, bajo en carbono, inteligente y de calidad, en línea con la política energética europea.

El CSIC ha publicado su Libro Blanco de Desafíos Científicos 2030 donde, en su Capítulo 8, identifica los principales retos científicos para alcanzar un sistema energético limpio, seguro y eficiente. Entre ellos se encuentran la produc-

ción de energía renovable, el almacenamiento y la eficiencia energética, la electrificación de la industria, la valorización de biomasa como fuente de energía, la descarbonización de la industria mediante tecnologías de captura de CO₂, catalizadores para la producción sostenible de energía y las tecnologías del hidrógeno, sin olvidar los aspectos sociales y medioambientales.

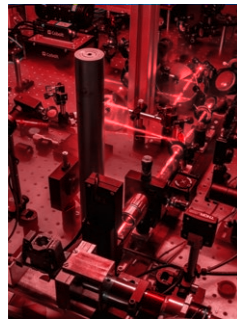
El carácter multidisciplinar de los retos requiere la colaboración de grupos de investigación en campos muy diversos. Por eso, el CSIC ha creado la Plataforma Temática Interdisciplinar de Transición Energética Sostenible (PTI+TransEner) para establecer una red científica con investigadores e infraestructuras, comprometida con un futuro energético limpio, sostenible e inteligente. Su objetivo es impulsar tecnologías clave en el ciclo energético para alcanzar un sistema energético más asequible, fiable, competitivo y sostenible. La plataforma integra capacidades, tecnologías y conocimientos del CSIC para afrontar proyectos con un alto desarrollo tecnológico e impulsar su integración en la industria.

Los grupos de la PTI+TransEner investigan en sistemas de almacenamiento de energías renovables mediante la construcción de un módulo autónomo de batería de flujo redox de vanadio optimizado con una potencia de 50 Kw. En tecnologías de captura de CO₂, están desarrollando pilotos de carbonatación-calcinación para su implantación a escala comercial. En esta línea también tratan de demostrar a escala relevante tecnologías basadas en módulos de electrolitos/membranas hechas de óxidos sólidos que habiliten nuevos sistemas industriales sostenibles, integrando la captura de CO₂ en procesos en oxicomustión y producción de H₂ verde a partir de biomasa o electrolisis a alta temperatura. También trabajan en el diseño de una hidrogenera con capacidad de producción de 60 kg de H₂ diarios. El desarrollo de electrolizadores para la producción de hidrógeno verde es otro de sus objetivos. Finalmente, también estudian el diseño y construcción de pilotos que incorporen tecnologías propias para la producción de biocombustibles e hidrógeno verde a partir de residuos agroindustriales.

No hay duda de que el CSIC y la PTI+TransEner ocupan una posición relevante para liderar muchos de los retos energéticos planteados. ●

CLARA BLANCO es doctora en Ciencias Químicas. **ANTONIO CHICA** es doctor en Ciencias Químicas

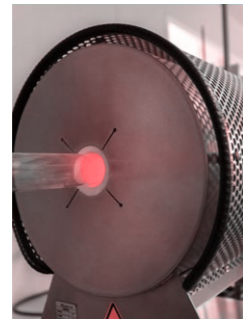
INVESTIGACIÓN



08

DESAFÍOS
Hacia una energía limpia, segura y eficiente

Renovables, almacenamiento, descarbonización, hidrógeno y electrificación para propulsar la transición energética



14

RENOVABLES
Del átomo al Sol sin olvidar la Tierra

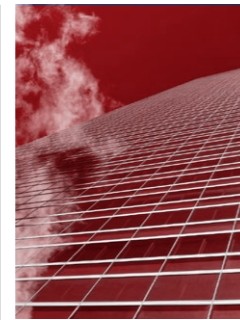
Tecnologías para impulsar las energías solar y geotérmica, y superconductores para los futuros reactores de fusión nuclear



18

ALMACENAMIENTO
Nuevos aspirantes al trono del litio

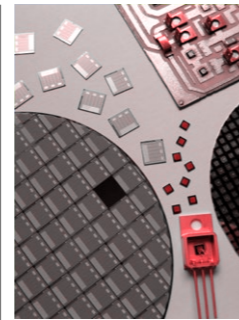
Metales como el calcio, el magnesio y el vanadio podrían ofrecer baterías con mayor densidad energética y más asequibles



24

RECOLECCIÓN
Objetivo: desaprovechar nada de energía

Nuevos métodos y materiales para conseguir edificios 100% eficientes y dispositivos que aprovechen la energía ambiental



28

ELECTRIFICACIÓN
Semiconductores más eficientes y fiables

Materiales que sustituyan al silicio para impulsar la electrificación de la industria de forma sostenible

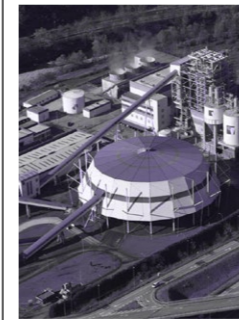


36

BIOMASA
Biorrefinerías para obtener combustibles verdes

Transformar los restos de las industrias agrícolas y forestales para producir bicombustibles y productos químicos verdes

TRANSFERENCIA



60

Nuevas patentes para nuevas energías

Nanogeneradores multifuente, plantas descarbonizadoras, equipos fotovoltaicos más eficientes y catalizadores sostenibles

INTERNACIONAL

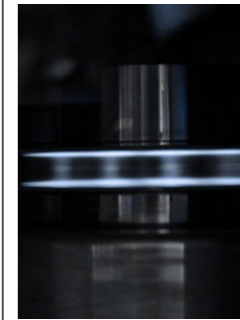


64

Residuos vegetales para impulsar camiones y barcos

Fondos de la UE para lograr combustibles más eficientes que muevan el transporte de mercancías terrestre y marítimo

FORMACIÓN



68

“Es imposible pensar en transición energética sin economía circular”

Investigadores jóvenes estudian procesos y materiales para captar CO₂, obtener hidrógeno y recolectar energía ambiental

CULTURA CIENTÍFICA



72

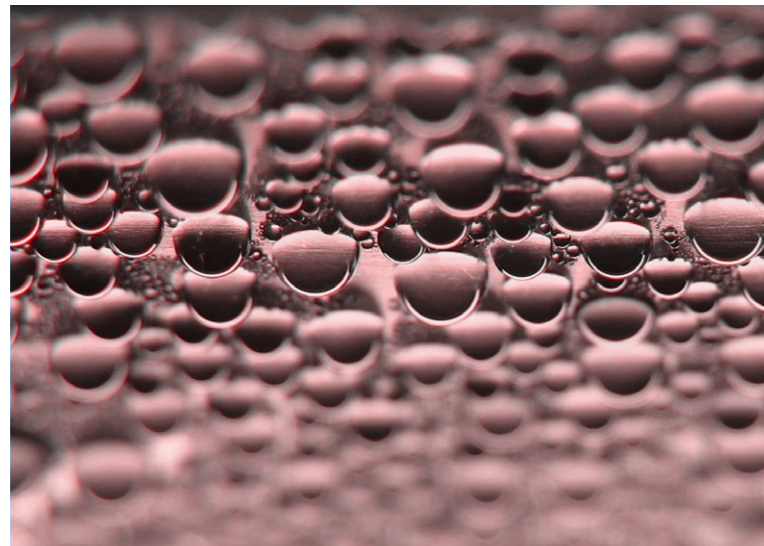
“La escasez de materiales es una estaca en el corazón de la transición energética”

El físico Antonio Turiel advierte del pico de los combustibles fósiles y las dificultades para implantar las renovables

54

HIDRÓGENO
El acumulador energético para un futuro verde

Nuevos procesos de obtención de hidrógeno y pilas de combustible para propulsar las energías renovables



Y ADEMÁS

DESCARBONIZACIÓN:
Capturar el CO₂ para reutilizarlo **P40**

CATÁLISIS:
Aceleradores químicos que mejoran la generación desde plásticos hasta fármacos **P44**

ENTREVISTA con el químico Avelino Corma: “Si queremos un mundo sostenible, lo primero es ahorrar energía” **P50**

Hacia una energía limpia, segura y eficiente

El CSIC investiga para mejorar la producción de energías renovables, potenciar el almacenamiento y la eficiencia, e incrementar la electrificación y descarbonización industrial. El objetivo es un modelo energético menos dependiente de los combustibles fósiles y más sostenible para el planeta

Por **Isidoro García Cano**

Uno de los principales retos que afronta la humanidad en el futuro más cercano es el problema de la energía. Según la Agencia Internacional de la Energía, la demanda energética global se habrá incrementado un 30% en 2040. Sin embargo, nuestra sociedad sigue dependiendo de los combustibles fósiles: las dos terceras partes de la demanda de energía primaria en España se cubre con hidrocarburos. Además del problema de la contaminación y el cambio climático, este modelo nos convierte

en un país dependiente de las importaciones, que cubren el 70% de nuestra demanda energética.

¿Cómo conseguir una energía más limpia, segura y eficiente? Este es uno de los desafíos que el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) ha marcado en su agenda para tratar de buscar soluciones en 2030. "El objetivo es desarrollar tecnologías que faciliten la transición energética desde un modelo basado en combustibles fósiles hacia un sistema autosostenible y respetuoso con el medio ambiente. Para ello, más de 100 grupos de investigación de 50 centros del

CSIC trabajan en diversas líneas", explican José Manuel Serra (ITQ, CSIC-UPV) y Domingo Pérez Coll (ICV, CSIC), coordinadores del Libro Blanco del CSIC, que analiza la situación actual y propone las líneas de actuación. "Es indispensable consolidar modos alternativos y limpios de obtener y almacenar la energía y emplear métodos más eficientes de gestionar los recursos existentes y sus emisiones", apuntan.

Lo primero que pensamos al hablar de alternativas a los combustibles fósiles es en las llamadas **energías renovables**.

Un 15% del consumo diario de energía en el mundo se extrae de fuentes renovables. La principal es la hidráulica, seguida de la eólica y la solar. "España es líder mundial en generación y consumo de energía renovable, resultado de un sistema eléctrico robusto con altas cuotas de energía eóli-

30%
de incremento de demanda energética en el año 2040, según las estimaciones de la Agencia Internacional de la Energía

ca y solar fotovoltaica", describe Hernán Míguez (ICMS, CSIC-US). "Pero, a diferencia de los demás países, en España la eólica es la principal fuente renovable, seguida de la hidroeléctrica y la solar fotovoltaica".

España prevé alcanzar un 42% de renovable en el uso final de la energía en 2030, llegando al 74% renovable en el sector eléctrico. En opinión del investigador del CSIC, nuestro país está llamado a jugar un papel clave en el futuro desarrollo y comercialización de las energías renovables. "Contamos con recursos naturales, un alto nivel de avance tecnológico y el reconocimiento internacional de nuestra posición en este campo", enumera.

El CSIC es una pieza central en el tablero de las renovables en España. Cuenta con personal científico de reconocido prestigio, lo que se refleja en numerosos proyectos de investigación y en una consolidada relación con las empresas del sector. Un ejemplo es el proyecto Bluesolar, para desarrollar una tecnología híbrida entre la fotovoltaica y la CSP (del inglés, *concentrated solar power*). El reto es mejorar la eficiencia, y aquí la principal innovación es la integración de filtros ópticos en los paneles que dividen el espectro de la luz solar en dos: una parte del mismo es aprovechado por las celdas solares y el resto se envía a una torre de concentración para almacenar energía térmica para su uso cuando baja la radiación solar.

Además de conseguir fuentes de energía alternativas, otro de los retos es **almacenar** la energía que se produce. La cantidad de energía almacenada a nivel mundial constituye una pequeña fracción de la generada y consumida. Sin embargo, la electrificación del transporte y la integración de las renovables en la red eléctrica requieren un aumento drástico en la capacidad de almacenamiento, y más considerando que nuestro consumo de energía se



Conjunto de celdas solares orgánicas del ICMA-B-CSIC. / ARTUR MARTÍNEZ

incrementa un 5% cada año. Las necesidades de almacenamiento para España se cuantifican en 20 gigavatios (GW) en 2030, desde los 8,3 GW disponibles ahora.

"El almacenamiento también es crucial para introducir flexibilidad en la red eléctrica y permitir la generación distribuida. A escala europea o española, el aumento de la capacidad de almacenamiento también debería permitir una disminución de las importaciones de energía", opina M. Rosa Palacín (ICMAB, CSIC). La clasificación más común para las tecnologías de almacenamiento de energía considera cinco tipos: químico (hidrógeno), electroquímico (baterías,

celdas de flujo, supercondensadores), eléctrico, mecánico (aire comprimido, volantes de inercia, bombeo hidroeléctrico) y térmico. Las prestaciones que pueden proporcionar y su grado de madurez es desigual. "El desafío se centra en optimizar su desarrollo para disponer de tecnologías de almacenamiento de energía robustas, fiables, económicamente competitivas y sin impacto ambiental negativo", resume Palacín.

La actividad del CSIC abarca todos los tipos de almacenamiento, centrándose en sistemas químicos y electroquímicos. El CSIC participa en diversas iniciativas europeas en este ámbito (Batteries

Europe ETIP, EERA, BEPA, BatteryPlat...). Los institutos del área de Materia del CSIC llevan a cabo proyectos en tecnologías muy diversas y con distintos grados de desarrollo, desde la búsqueda de nuevos conceptos de baterías basados en iones multivalentes hasta el desarrollo de baterías de flujo redox para el almacenamiento de energía a gran escala.

La **eficiencia** y la **recuperación de energía** son otros conceptos clave en este desafío. Se trata de desarrollar tecnologías para recuperar y ahorrar energía en nuestro ámbito más cotidiano: casas y objetos. Los edificios son responsables del 40% de la ener-

gía consumida en Europa, pero un 75% de estos son ineficientes desde el punto de vista energético. Para tratar de paliar este problema se prueban materiales avanzados con funciones adicionales (recubrimientos que reflejen parte del espectro solar, fachadas cubiertas de materiales que recuperen energía, iluminación artificial o pasiva, sistemas eficientes de ventilación, etc.). Además, se desarrollan nuevos métodos constructivos como la impresión 3D o la reutilización de materiales de derribo.

"En el CSIC existen varios proyectos europeos para aprovechar la energía mecánica o energía térmica y convertirla en energía

eléctrica y así aumentar la eficiencia energética actual", expone Marisol Martín (IMN, CSIC). "Uno de los grandes campos de aplicación está en la alimentación de dispositivos portátiles [del inglés *wearables*] y sensores conectados a internet de las cosas o a nuestros dispositivos móviles", revela. La investigación en este campo se centra en aumentar la eficiencia en la conversión de estos dispositivos, así como en desarrollar materiales basados en elementos abundantes y no tóxicos.

"El objetivo es conseguir que estos dispositivos sean flexibles y compatibles para su uso en el cuerpo humano. De este modo se busca obtener fuentes de energía sostenibles, auto recargables y miniaturizables, que pueden utilizarse para alimentar biosensores que envíen señales a la nube o a nuestro propio teléfono para mejorar la calidad de vida de las personas sin aumentar la huella de carbono", asegura Martín.

Otro de los retos es conseguir una industria menos contaminante. Actualmente, el sector industrial supone un 30% del consumo global de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero. El desafío de la **electrificación industrial** tiene como objetivo la sustitución de tecnologías que emiten gases de efecto invernadero por otras basadas en electricidad procedente de renovables, que ahora suponen sólo un 7% de la energía que consume la industria. "La electrificación es una de las herramientas más eficaces que permitirán alcanzar los objetivos de descarbonización industrial para el año 2050, aunque quedan muchos aspectos científicos y tecnológicos por resolver", asegura Xavier Jordà (IMB-CNM-CSIC).

La electrificación industrial requiere nuevos procesos electroquímicos. La mejora de las soluciones existentes basadas en combustión (bombas de calor, inducción, etc.) y el desarrollo de nuevas soluciones de calentamiento electromagnético

“España es líder mundial en generación y consumo de energía renovable, resultado de un sistema eléctrico robusto con altas cuotas de energía eólica y solar fotovoltaica”

Hernán Míguez (ICMS)

(microondas, láser, haz de electrones, arco de plasma...) reducirán drásticamente las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), según Jordà. Por otra parte, el desarrollo de tecnologías electroquímicas y el procesado eléctrico de materiales mediante dispositivos como los reactores de membrana electroquímica tienen gran potencial, aunque su aplicación industrial requiere investigar nuevos materiales. Institutos del CSIC como el ITQ desarrollan numerosas actividades en este campo.

Además, hay que desarrollar un sistema de transporte, distribución, almacenamiento y conversión de la energía eléctrica que interconecte las distintas fuentes renovables y los puntos de uso de un modo eficiente, flexible y fiable. La futura **red eléctrica inteligente** se basa en tecnologías donde también trabaja el CSIC. En el campo de los semiconductores, el corazón de la red que permite una conversión eficiente de la potencia eléctrica, el IMB-CNM desarrolla dispositivos de ‘gap ancho’ (*wide band-gap*, en inglés) como el carburo de silicio, el nitruro de galio e incluso el diamante. “Las redes inteligentes 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”, resume Jordà.

Además de la industria, otro gran consumidor de energía es el transporte. El sector es el segundo

mayor consumidor de energía en Europa y produce el 25% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, depende del petróleo para el 95% de sus necesidades energéticas. La **biomasa** vegetal, la principal fuente de materiales renovables en la Tierra, aparece como una solución posible para la descarbonización del transporte. “La biomasa está disponible en grandes cantidades a muy bajo costo, principalmente como residuos de la actividad agrícola y forestal, y representa una fuente potencial para la producción de energía, combustibles para transporte y productos de alto valor añadido”, opina José Carlos del Río (IRNAS, CSIC).

La investigación en biomasa se centra en el aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales, así como de especies vegetales de crecimiento rápido cultivadas específicamente para la producción de biomasa, para la obtención de biocombustibles de segunda generación (procedentes de cultivos que no entran en competencia con aquellos dedicados a la alimentación), o a partir de algas (tercera generación). Para un máximo aprovechamiento de la biomasa, “la investigación en los procesos catalíticos se centra en mejorar la estabilidad en medios no habituales para la industria y en combinar procesos con varias transformaciones en un único sistema catalítico o varios catalizadores, los llamados procesos en cascada, más eficientes y con menos etapas de purificación”, explica José Miguel Campos (ICP, CSIC). “Otros avances se centran en obtener organismos y encimas

más eficientes en condiciones más extremas, que permitan actuar sobre más sustratos con un mayor rendimiento”.

El desafío sobre biomasa del CSIC pretende dar un salto cualitativo y cuantitativo en la capacidad que posee España en el desarrollo de tecnologías para el despliegue de biorrefinerías de residuos de biomasa y oleaginosos y demostrar con una planta piloto la producción de biocombustibles y otros bioproductos a partir de residuos de la agroindustria.

Para limitar el calentamiento global a menos de 1,5° C a finales del siglo XXI es necesario alcanzar ‘cero emisiones’ cuanto antes. La **descarbonización** de sectores de nuestra economía que son no electrificables es una de las cuestiones urgentes. “Capturar el CO₂ de ciertas industrias y evitar su emisión a la atmósfera, además de hacer renovable todo su consumo energético, es la única forma de lograr cero emisiones en estos procesos”, apunta Juan Carlos Abanades (INCAR, CSIC).

La captura directa del CO₂ del aire tiene también una gran importancia en este proceso de descarbonización, así como la producción de combustibles sintéticos sostenibles a partir de CO₂ renovable (cuando procede de los seres vivos o directamente del aire). El CSIC tiene varios grupos de investigación en estos campos, como el que desde el INCAR trata de desarrollar una planta piloto para capturar CO₂ de los gases de acería, que suponen el 5% de las emisiones antropogénicas de CO₂ en el mundo. El proyecto (C4U) se desarrolla en las instalaciones de Arcelor-Mittal en Asturias.

Otro paso fundamental para una industria menos contaminante pasa por que uno de sus principales procesos, la **catálisis**, también lo sea. Se estima que un 90% de los productos químicos producidos comercialmente involucran catalizadores, compuestos que aceleran las reacciones químicas. La catálisis supone entre el

20 y el 30% del producto bruto mundial, y mejorar sus técnicas podría reducir la huella energética de sus productos entre el 20 y el 40% para 2050.

“La catálisis para una producción industrial sostenible se resume en una menor demanda de energía y mayor eficiencia en la utilización de los átomos”, declara José Carlos Conesa (ICP, CSIC). Hay nuevos procesos catalíticos que pueden usar corriente eléctrica o electromagnetismo, idealmente procedentes de renovables, para procesar biomasa o desechos, o para calentar selectivamente materiales ferromagnéticos. Otros procesos son los fermentativos, que usan enzimas o catalizadores químicos para sintetizar biocombustibles o compuestos químicos.

También se investiga en catálisis para obtener gas de síntesis, una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno que actúa como intermediario para producir gas natural o petróleo sintéticos. Y se desarrollan otros métodos de catálisis a partir de pilas de combustible y electrolizadores para convertir energía o procesos inducidos por fotones. Se usan para generar hidrógeno o para reducir el dióxido de carbono en diversos productos. El CSIC tiene varios institutos que trabajan activamente en estas nuevas formas de catálisis.

El incremento en la producción de electricidad renovable requerirá el desarrollo de tecnologías de almacenamiento y de redes inteligentes capaces de solucionar el carácter variable de este tipo de generación eléctrica. “El hidrógeno, como portador de energía, supone una solución limpia y almacenable capaz de dar respuesta a estas necesidades de electrificación”, sostiene



Proyectos del CSIC desarrollan tecnologías fotovoltaicas más eficientes. / PIXABAY

Antonio Chica (ITQ, CSIC-UPV). “Como combustible, el hidrógeno no genera CO₂ ni otro tipo de contaminantes”. Mientras se avanza en el desarrollo de tecnologías neutras que produzcan hidrógeno renovable (hidrógeno verde) a precios asequibles, una solución de transición es la producción de hidrógeno a partir de gas natural acoplado a tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂ (hidrógeno azul).

El **hidrógeno** es una opción prometedora para descarbonizar el transporte. También se puede utilizar en industrias de alto consumo energético como las acerías, donde puede sustituir al carbón como reductor. El hidrógeno y el CO₂ pueden utilizarse como materia prima para obtener los llamados electrocombustibles, y puede proporcionar mecanismos para almacenar, transportar y distribuir energía de forma estacional en todos los sectores y continentes.

“Aunque las tecnologías del hidrógeno representan una al-

ternativa prometedora para la descarbonización del sistema energético y la estabilización de las energías renovables, hay que superar importantes obstáculos antes de conseguir su uso masivo”, aclara Chica. En su opinión, la investigación coordinada entre ciencia e industria resultará clave para identificar y resolver problemas tanto científicos como tecnológicos. La puesta en marcha de demostradores y pilotos a escalas relevantes será decisiva en el desarrollo de tecnologías válidas que estimulen la inversión empresarial y el desarrollo de toda la cadena de valor del hidrógeno.

Finalmente, no se debe olvidar que la transición y sostenibilidad de un sistema energético limpio, seguro y eficiente

requiere el estudio de una variedad de **impactos sociales y medioambientales** para garantizar su aceptación social. “Hay que realizar una implementación de instalaciones experimentales que permitan realizar evaluaciones previas de las tecnologías, con el fin de prevenir y mitigar los impactos sociales y medioambientales”, indican Mario Díaz (MNCN, CSIC) y Ana Romero de Pablos (IFS, CSIC).

Se trata de analizar de manera conjunta las ventajas y desventajas de las fuentes de energía alternativa, de acuerdo a las necesidades sociales e impactos ambientales, en cada una de las etapas del proceso, sin olvidar que su integración debe ser compatible con otros usos prácticos del suelo. Además, “es indispensable que la evaluación sea realizada teniendo en cuenta las condiciones socioeconómicas de los países, de modo que se pueda garantizar un acceso justo y equitativo a la energía”, concluyen. ●



La energía geotérmica tiene la ventaja de que es continua, no fluctúa como la solar o la eólica. / ADOBESTOCK

Renovables prometedoras: del átomo al sol, sin olvidar la Tierra

Equipos del CSIC avanza en tecnologías fotovoltaicas y geotérmicas y en superconductores para reactores de fusión, tres grandes áreas para lograr energías limpias

Por **Gema de la Asunción**

El sexto informe del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), presentado el pasado verano, alertó acerca de la imposibilidad de cumplir con el promedio global de limitar el calentamiento global a 1.5 grados, firmado en el Acuerdo de París. Se prevé que los fenómenos extremos que ya sufre el mundo, como inundaciones y olas de calor, sean generalizados a partir de los dos grados, por lo que urge encontrar soluciones que mejoren la eficiencia energética, así como incrementar el uso de las energías renovables.

En este reto, la tecnología fotovoltaica es, como explica el reciente libro blanco publicado por el CSIC sobre la materia en su colección Desafíos, una energía relevante para lograr el cambio de paradigma hacia una sociedad descarbonizada, ya que se trata de una de las más eficientes para convertir la luz solar en energía eléctrica.

Las tendencias de investigación en este sector se centran en la búsqueda de nuevos materiales que superen las limitaciones de

las habituales celdas de silicio de las placas fotovoltaicas. **Mónica Lira-Cantú**, del Instituto Catalán de Nanociencia y Nanotecnología del CSIC (ICN2), analiza un mineral prometedor denominado perovskita.

"La *perovskita* es un nuevo material con propiedades estructurales y electrónicas que lo hacen más eficiente para absorber los matices del espectro de la luz solar. En nuestro grupo sintetizamos los nanomateriales, los manipulamos y los convertimos en tintas que se pueden imprimir. Con ellas fabricamos el dispositivo final, compuesto por diferentes materiales depositados en forma



Los expertos estiman que la producción de electricidad se multiplicará por diez con las nuevas tecnologías geotérmicas

de capa fina", explica **Lira-Cantú**. "Estas técnicas de impresión, de bajo coste y de fabricación a gran escala, han supuesto un cambio de paradigma en la fabricación de las celdas comerciales de silicio, cuyo coste es mucho mayor, ya que necesitan materiales monocristalinos de alta pureza obtenidos a altas temperaturas".

En menos de una década, las celdas solares de *perovskita* han alcanzado ya un 25.8 % de eficiencia de conversión, un porcentaje muy similar a las comerciales de silicio, que actualmente están en un 26.1 %. Se espera que las primeras lleguen muy pronto al mercado para abrir nuevos nichos tecnológicos cuando se requiera, por ejemplo, menor peso, flexibilidad, portabilidad o diseños y colores innovadores.

Para ello, la tecnología deberá superar al menos dos grandes retos: reducir la presencia de plomo en los materiales constituyentes y aumentar su vida útil. "En el primer caso, trabajamos con nuevos nanomateriales basados en haluros de *perovskita* libres de plomo. En el segundo, desarrollamos diversos métodos para aumentar la duración de las celdas, como el uso de óxidos semiconductores más estables que actúen como capas transportadoras, o la ingeniería de defectos por medio de la funcionalización de la *perovskita* con aditivos orgánicos", explica la investigadora del CSIC.

Entre los factores que pueden afectar a la eficiencia y longevidad se encuentran la existencia de defectos en el mineral, la sensibilidad térmica de los materiales o los relacionados con el encapsulamiento del dispositivo final. En todos estos casos, la inteligencia artificial puede servir para analizar los parámetros que más influyen en la estabilidad de las celdas solares. El equipo de **Lira-Cantú** participa, entre otros, en ProperPhotoMile, un proyecto que involucra a cinco países (España, Alemania, Suiza, Estados Unidos e Israel), con el objetivo de integrar

la inteligencia artificial en la fabricación de celdas solares. "Utilizamos dispositivos reales para obtener datos fiables de los diferentes mecanismos de degradación que puedan predecir y mejorar su vida útil, la asignatura pendiente de esta tecnología", destaca.

La Tierra como fuente de energía

Una de las energías renovables menos explotada es la geotérmica. El interior de la Tierra genera calor constantemente gracias a la descomposición de elementos radiactivos. El incremento de la temperatura aumenta con la profundidad siguiendo un gradiente geotérmico. Pero la Tierra no solo es fuente de calor. También es posible producir electricidad mediante un sistema análogo al de las centrales térmicas o nucleares. La principal ventaja frente a otras renovables es que se trata de una energía continua, no fluctúa como la solar o la eólica.

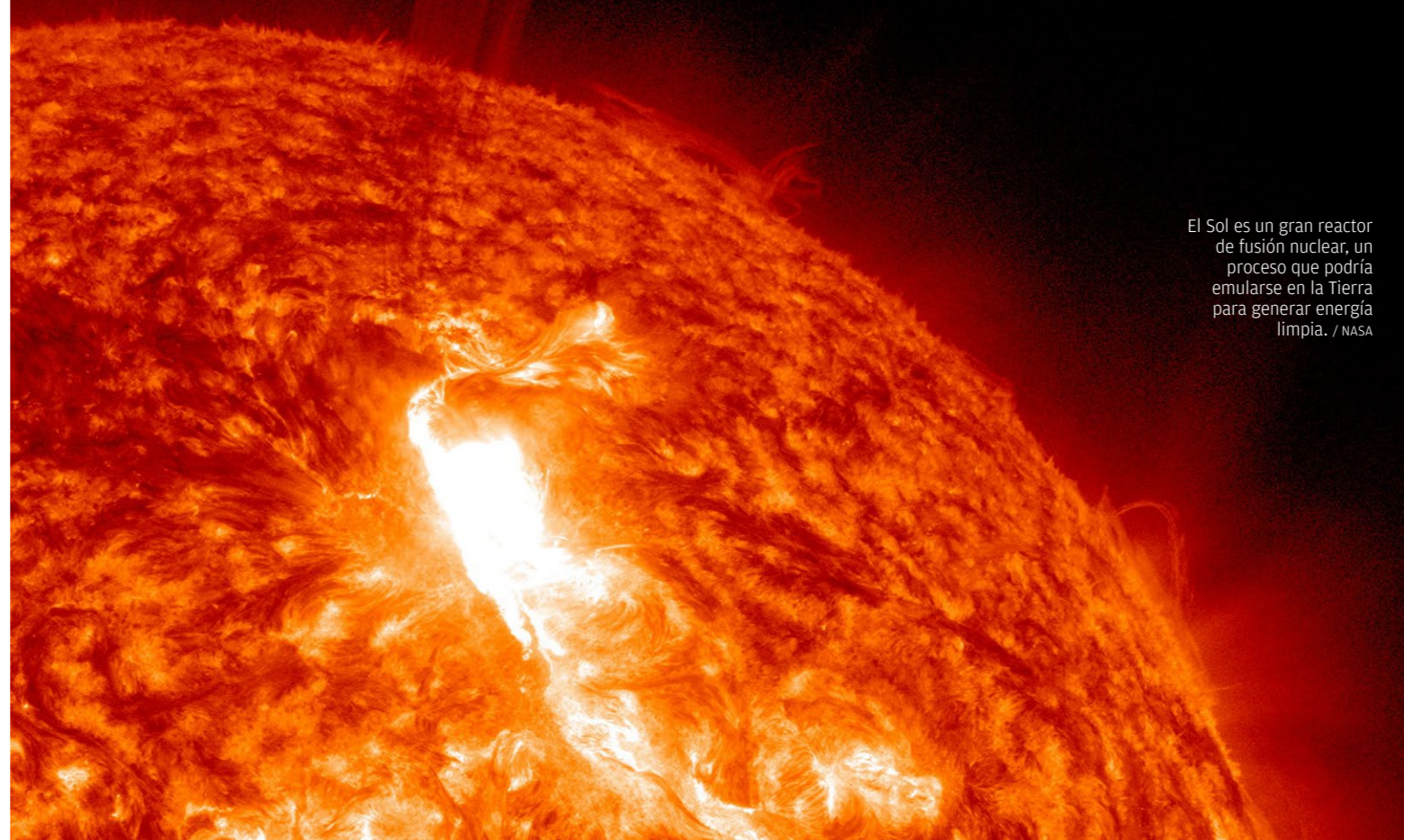
"Si conseguimos circular agua a una profundidad a la que la temperatura sea superior a 100 °C, cuando el agua llega a la superficie, esta se evapora y puede mover turbinas que generen electricidad", explica **Victor Vilarrasa**, investigador del CSIC en el Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA-CSIC) y uno de los mayores expertos en España en energía geotérmica. "Al perforar dos pozos a una temperatura en la que se superan los 100 °C, uno de extracción, por el que bombeamos agua caliente, y otro de inyección, en el que reinyectamos el agua enfriada, deberíamos ser capaces de producir electricidad. El problema es que las rocas que encontramos no siempre son permeables. En los granitos, el agua solo puede circular por las fracturas de forma limitada", explica.

Una solución consiste en inyectar agua a alta presión para mover las fracturas y conseguir que se abran. Este sistema se co-

noce como sistema geotérmico mejorado, pero tiene como desventaja la generación de sismicidad inducida, es decir, la inyección a alta presión suele producir terremotos, lo que ha llevado a cancelar varios proyectos, como ocurrió en Basilea, Suiza, en 2006, y en Pohang, Corea del Sur, en 2017. "Los terremotos no solo ocurren durante la fase de inyección. Lo más desconcertante es que los de mayor magnitud acostumbran a suceder una vez se deja de inyectar, por eso estamos investigando sus causas y cómo limitar su magnitud", añade.

A través de simulaciones, el equipo que dirige Vilarrasa ha demostrado que la circulación continuada de agua para extraer el calor a gran profundidad puede causar un aumento de sismicidad al cabo de varios años. "A diferencia de lo que ocurre en otras tecnologías, que inyectan fluidos a una profundidad de varios kilómetros, en este caso la sismicidad inducida no suele deberse al aumento de la presión de los fluidos. Lo que provoca este fenómeno es el enfriamiento de la roca en torno al pozo de inyección, así que los resultados sugieren limitar la vida útil de estos proyectos entre una y dos décadas", indica el investigador del CSIC.

Aunque implica muchos retos técnicos, los expertos estiman que con la tecnología geotérmica de muy alta temperatura se podría producir hasta diez veces la energía eléctrica que se genera por cada pozo en la actualidad. "Es este elevado potencial de producción de energía libre de carbono lo que hace que esta tecnología resulte tan prometedora. En la actualidad, la mayoría de las plantas de producción existentes están en áreas volcánicas, como Islandia, donde prácticamente la totalidad de la energía proviene de la energía geotérmica. En España no se produce aún, pero hay regiones con mucho potencial. El sitio más sencillo serían las zonas volcánicas inactivas de las Islas Canarias.



El Sol es un gran reactor de fusión nuclear, un proceso que podría emularse en la Tierra para generar energía limpia. / NASA



La perovskita es un material con propiedades estructurales y electrónicas que lo hacen más eficiente en placas solares

Y dentro de la Península también destacan La Garrotxa, el cabo de Gata, Cofrentes y Campo de Calatrava", concluye.

Confinar el sol en una botella

Consultado sobre la tecnología más prometedora para la humanidad en una entrevista para la BBC en 2016, el físico británico Stephen Hawking eligió la fusión nuclear. Esta energía ilimitada, origen del brillo de las estrellas y del sol, es, de alguna forma, inversa a la fisión (división de átomos pesados), ya



Los investigadores Teresa Puig y Xavier Obradors, del ICMAB, muestran cintas superconductoras. / ARTUR MARTÍNEZ

que se basa en la fusión de núcleos ligeros (hidrógeno, deuterio y tritio), lo que reduce la acumulación de residuos nucleares. La energía de fusión aparece, por tanto, como una oportunidad única para lograr energía limpia, segura e ilimitada, en un plazo razonable.

La principal dificultad hacia el objetivo de la fusión radica en contener el plasma, un estado de la materia necesario para que los núcleos de hidrógeno alcancen los 150 millones de grados Celsius dentro del reactor y se unan, liberando enormes cantidades

de energía. "Se trata de conseguir confinar el sol en la botella, un reto extraordinario. La enorme gravedad del astro rey permite la fusión, pero en el laboratorio hacen falta imanes muy potentes para simularla", señala **Teresa Puig**, investigadora del Instituto de Ciencias de Materiales de Barcelona (ICMAB-CSIC).

El equipo de **Teresa Puig** trabaja en la obtención de materiales superconductores que ayuden a crear imanes de campos magnéticos ultraelevados en los reactores de fusión. "El progreso hacia el

objetivo de la fusión dio un salto cuántico con el diseño en los años 60 en Rusia de las cámaras de vacío tokamak, como un sistema de confinamiento magnético del plasma", explica. Su desarrollo condujo al diseño del Reactor Termonuclear Experimental Internacional (ITER), un ambicioso proyecto internacional en el que colaboran 35 países y que está en fase de construcción en Cadarache, al sur de Francia. Pero recientemente se han descubierto unos nuevos materiales que han permitido el diseño de un tokamak más avanzado: los superconductores de alta temperatura, cuyos imanes pueden generar campos magnéticos de 20T (Teslas), en comparación con los 5T obtenidos con superconductores de baja temperatura en el ITER. El principal reto ahora es conseguir nanoestructuras artificiales más competitivas creadas con métodos químicos rentables y de alto rendimiento.

El equipo de investigadores del ICMAB-CSIC ha desarrollado un sistema de producción ultrarrápida de capas superconductoras a bajo coste y con grandes prestaciones que permitan la construcción de reactores de fusión más compactos. Esta tecnología es hasta 100 veces más rápida que los procesos actuales y el grupo ha sido contratado por una multinacional japonesa para que llegue al mercado esta tecnología novedosa. Además, dentro de la plataforma temática de energía del CSIC se está instalando un banco de pruebas de esta tecnología en el sincrotrón Alba de Barcelona.

"La energía de fusión tiene un potencial muy elevado y en los últimos años ha experimentado un gran avance. Las últimas estimaciones prevén que en 2030 se podría disponer de tecnología para la generación neta de energía de fusión para producir, junto con las energías fotovoltaica y eólica, el 100% de energía no fósil antes de 2050", concluye **Xavier Obradors**, director del ICMAB y miembro del equipo. ●

Metales abundantes desafían al litio, rey del almacenamiento de energía eléctrica

Grupos 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

Celdas de ión-litio de alta capacidad, como prototipo de nuevas baterías. / ADOBE STOCK

Por **Lydia Gallego** y **Anna May Masnou**

Vivimos en un mundo que se electrifica, y la electricidad, si no se consume en el momento, debe almacenarse. Estamos rodeados de aparatos electrónicos que llevan baterías, y los vehículos van dejando atrás los combustibles fósiles para pasar a ser eléctricos. En este contexto, el desarrollo de nuevas baterías sostenibles, con buenas prestaciones, y económicas, es una verdadera necesidad.

Varios grupos de investigación del CSIC trabajan para mejorar los sistemas de almacenamiento y suministro de energía. Bien para buscar materiales más sostenibles y abundantes, bien para buscar sistemas complementarios para satisfacer las futuras necesidades energéticas, o para conseguir sistemas termoelectrónicos que pueden alimentar dispositivos sin necesidad de almacenar la energía.

“Las baterías son dispositivos químicos que almacenan energía”, explica **M. Rosa Palacín**, investigadora del Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona (ICMAB). “Una batería está formada por una o varias celdas electroquímicas, que consisten en dos electrodos separados por un electrolito, un líquido que conduce los iones y no conduce la electricidad. Los electrones se transfieren de un electrodo a otro mediante un circuito externo, formando la corriente eléctrica que utilizamos. En paralelo, los iones que compensan esa corriente eléctrica fluyen de un electrodo a otro en el interior de la batería a través del electrolito”, añade.

Durante la descarga, el material del electrodo negativo se oxida (cede electrones) y el del electrodo positivo se reduce (gana electrones). Cuando estas reacciones son reversibles, es posible recargar la batería conectándola a la corriente eléctrica para que ocurra el proceso inverso.

“El potencial de la celda es la diferencia entre los potenciales de los electrodos y depende de los materiales que se utilicen en cada uno de ellos. La capacidad de las baterías (la energía que pueden proporcionar) depende también de cuáles sean esos materiales”, detalla Palacín.

Se expresa por unidad de peso/volumen y está determinada

por el contenedor y por el diseño de los electrodos, que contienen, además del material activo, aditivos para mejorar su conductividad o para mantener la estabilidad mecánica.

La tecnología de baterías recargables más utilizada en los aparatos electrónicos y vehículos eléctricos es la de ion-litio. Es una familia de tecnologías, ya que se usan diversos materiales para los electrodos. En el negativo suele utilizarse grafito, ya que el litio metálico da problemas de seguridad, y en el positivo se utilizan óxidos o fosfatos de metales de transición.

“Si llegara a poder usarse litio metálico, las baterías podrían proporcionar mucha más energía”, explica Palacín. “Una de las alternativas con las que se está trabajando es el uso de electrolitos sólidos, aunque en este caso es necesario que las baterías operen a temperatura elevada para que la conducción de los iones sea eficiente, lo cual no es lo más idóneo”, añade.

Íón-litio
es la tecnología
de baterías recargables
más utilizada en los
aparatos electrónicos y
vehículos eléctricos



El investigador del ICMAB-CSIC, Alexandre Ponrouch, manipulando una celda electroquímica en un potenciostato. / ARTUR MARTÍNEZ

En cualquier caso, el litio es escaso y caro. Entre las alternativas para poder utilizar un metal como electrodo negativo, pensando en aumentar la densidad energética y considerando criterios de sostenibilidad, estarían el calcio y el magnesio, que son más abundantes y más baratos.

Baterías de calcio y magnesio

La principal ventaja de las baterías de calcio y magnesio es que su densidad de energía es muy elevada, el doble que en las de litio. Y serían más económicas. Como quizá no se podría llegar a potencias similares a las de litio, los investigadores proponen la hibridación de baterías de calcio y magnesio, de alta densidad energética, con supercondensadores de alta potencia.

La aplicación quizá más inmediata sería el almacenamiento de energía estacionaria (el exceso

generado por la energía solar, por ejemplo). Así permitiría incrementar la difusión de las energías renovables, ya que el coste del kilowatio por hora y la posibilidad de producción de baterías a gran escala son determinantes para este tipo de almacenamiento.

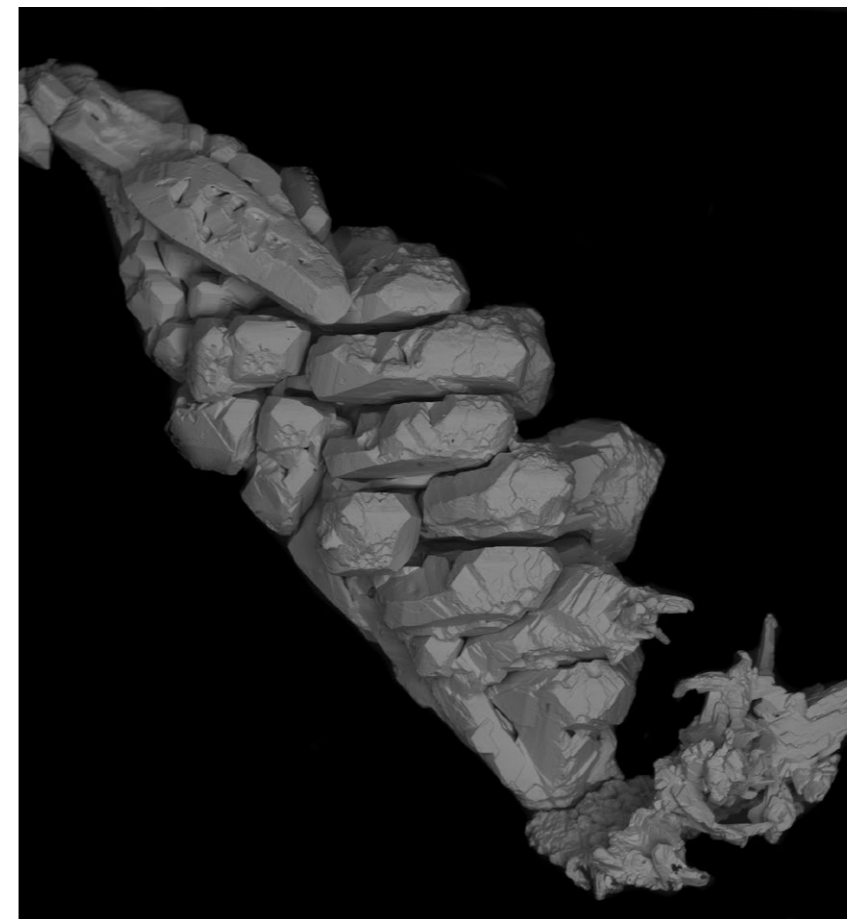
M. Rosa Palacín y **Alexandre Ponrouch**, en el ICMAB, trabajan en el desarrollo de los componentes de estas baterías: los dos electrodos y el electrolito. Todavía no se ha conseguido una batería completa, pero se han obtenido electrolitos que mejoran las prestaciones de los electrodos de calcio y magnesio. "También investigamos los procesos de las

interfaces entre los electrodos y el electrolito, ya que tienen una gran influencia en la potencia y en el número de ciclos de cargas/descargas que pueden proporcionar las baterías", indica Ponrouch.

Además, estudian la cinética de electrodeposición de los iones de calcio y magnesio, y buscan compuestos capaces de reaccionar con estos iones de manera reversible para el electrodo positivo, con el objetivo de conseguir que el proceso de carga y descarga de las baterías sea fácil y rápido. Se estudian compuestos inorgánicos y orgánicos para los electrodos, y se han conseguido varias decenas de ciclos de carga y descarga.



Las baterías de calcio tendrían mayor densidad de energía, por lo que podrían ser de menor tamaño y más económicas



Cristales de vanadio obtenidos mediante electrólisis. / BORIS LOBASTOV

"La investigación en este campo se encuentra en un desarrollo inicial, donde se tiene que optimizar cada componente de las baterías por separado" explica Ponrouch. "Teniendo la tecnología del litio ya desarrollada, es una gran ventaja para estudiar los principales retos con los nuevos materiales: la movilidad de los iones en los electrodos y en el electrolito, la sensibilidad de los materiales a la presencia de impurezas o humedad, y los procesos complejos que tienen lugar en las interfaces entre los electrodos y el electrolito", añade Ponrouch.

La investigación de las baterías de calcio en el ICMAB se aceleró en 2013 con financiación de Toyota Motor Europe para explorar la viabilidad de esta tecnología. Desde 2017, Ponrouch y Palacín cuentan con varios proyectos europeos para estudiar el desarrollo de los electrodos y electrolitos de calcio y magnesio.

Participan en la plataforma europea Battery2030+, que agrupa centros de investigación en el desarrollo de nuevas baterías sostenibles.

Baterías de flujo redox para almacenar energía renovable

Entre los sistemas alternativos y novedosos de almacenamiento de energía eléctrica está la batería de flujo redox de vanadio. El CSIC ha dedicado una Plataforma Temática Interdisciplinar (PTI) -una estructura de investigación que agrupa a científicos, empresas y administraciones para resolver problemas sociales de alto impacto- a investigar el desarrollo de las baterías de flujo redox. La plataforma Flowbat, creada en 2019 y coordinada por el investigador Ricardo Santamaría, del Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono (INCAR), ya ha conseguido un prototipo prometedor.

"Poder disponer de baterías de flujo redox con un mayor rendimiento supondrá una importante mejora en el marco del almacenamiento de energía eléctrica a gran escala, que tradicionalmente se ha realizado con tecnologías de bombeo hidroeléctrico y aire comprimido, las cuales plantean serios problemas tanto ambientales como relacionados con el emplazamiento geográfico de sus instalaciones", explica la investigadora **Zoraida González**, del mismo centro.

Estas baterías son sistemas electroquímicos de almacenamiento de energía con menor coste e impacto ambiental que otros sistemas, como las baterías de ion-litio. El primer objetivo de la plataforma fue la creación de un demostrador a pequeña escala, la batería de flujo redox de vanadio de 1 kilowatio de potencia. El demostrador está disponible desde junio de 2021, con excelentes resultados.

El siguiente objetivo de la plataforma es el diseño, fabricación, puesta en marcha y testeo en un entorno real de una batería de 50 kilowatios para finales de 2022. Esta puede considerarse un módulo precomercial. El objetivo es que todos los componentes de la batería sean diseñados, optimizados y fabricados por los grupos del CSIC miembros de la plataforma Flowbat.

Al igual que otras baterías, cuenta con dos electrodos (donde tienen lugar las reacciones redox relacionadas con los procesos de carga y descarga) y con separadores (membranas de intercambio iónico, entre las dos semiceldas). Sus elementos diferenciadores son los dos tanques externos para almacenar los electrolitos. En cada uno de los electrolitos se hallan disueltas las especies electroactivas de vanadio, que son bombeadas hacia la batería por sendas bombas. En este tipo de baterías, las reacciones redox de dichas especies están relacionadas con la carga y descarga de la batería.



La plataforma Flowbat desarrolla una batería de flujo redox de vanadio que almacena la energía de forma eficiente y permite un mayor número de ciclos de carga y descarga

“En esta tecnología, la energía se almacena en los electrolitos y no en los electrodos, como sucede en otras baterías recargables. Este hecho aporta una mayor ciclabilidad a la batería gracias al menor desgaste de los electrodos”, explica González. El empleo de especies de vanadio en distintos estados de oxidación en ambas semiceldas garantiza una menor autodescarga del dispositivo global. Finalmente, el carácter modular de este tipo de baterías es otra gran ventaja ya que permite diseñar, de manera independiente, la energía y la potencia.

La modularidad de estas baterías plantea también la posibilidad de emplearlas a menor escala. A corto y medio plazo podrían encontrarse baterías de flujo redox a nivel doméstico (acopladas, por ejemplo, a un sistema de placas solares para garantizar el suministro eléctrico sostenible y de calidad en casa) o también en sistemas aislados, donde el acceso a la energía pudiera ser limitado, como en islas.

Para cumplir con los objetivos de la plataforma Flowbat se creó un equipo multidisciplinar orientado a conseguir un dispositivo eficiente a nivel técnico y económico optimizado todos sus elementos, tanto científicos como de diseño y fabricación. Una de las mejoras en la que están trabajando es el desarrollo de nuevas baterías basadas en hierro, un mineral más abundante, económico y fácil de obtener que el vanadio.

La puesta en marcha de la batería de 50 kW en un entorno real demostrará el potencial de la plataforma a la comunidad cien-

tífica y a los usuarios finales de la tecnología, posicionando tanto al CSIC como a España en el mercado de las baterías de flujo redox, en línea con el Pacto Verde Europeo y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU.

Este proyecto cuenta con financiación de la UE a través del Mecanismo de Recuperación y Resiliencia (Next Generation EU) y de la Red Europea de Infraestructuras de Investigación. Cuenta con varias empresas interesadas que podrían fabricar a gran escala los componentes de la batería o la propia batería, y compañías eléctricas que podrían introducir las energías renovables en el mix energético.

Generadores termoelectrónicos para la internet de las cosas

Luis Fonseca, del Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB), trabaja con su equipo en el desarrollo de microestructuras de silicio con las que explotar la temperatura presente en el ambiente para generar electricidad que pueda alimentar sensores de bajo consumo.

Con las tecnologías del silicio se fabrican microgeneradores termoelectrónicos que pueden aplicarse a la internet de las cosas y alimentar sensores que puedan funcionar de manera autónoma donde haya una superficie caliente. Utilizados junto a una batería secundaria (recargable), la mantendrían en un estado continuo de carga.

Esta tecnología se encuentra en desarrollo y se basa en el silicio. Fonseca explica: “la tecnología de silicio ha protagonizado



El investigador del ICMA-B-CSIC, Alexandre Ponrouch, manipulando una celda electroquímica en una caja de guantes en atmósfera inerte. / A. M.

la revolución tecnológica que ha permitido la Sociedad de la Información y es una tecnología madura basada en un material muy abundante, campeón de la miniaturización y de la fabricación a gran escala”.

Para crear dispositivos termoelectrónicos a partir de este

material es importante tanto dotarles de una arquitectura que físicamente permita trasladar la diferencia de temperatura ambiental a su interior, como integrar en ellos materiales termoelectrónicos compatibles con el silicio. De momento, han conseguido integrar nanohilos de silicio en estructuras de silicio, posibilitando una aproximación realizada enteramente con este material.

“Esta tecnología tiene dos retos. Uno es mejorar la efectividad térmica del dispositivo, es decir, que todo el gradiente térmico externo esté disponible para su conversión por el material termoelectrónico”, explica Fonseca. Mejorar esto implica integrar, además, un intercambiador de calor, y hacerlo con un procedimiento automatizado y preciso. Para ello utilizan técnicas de electrónica impresa y prototipado rápido.

“Los nanohilos de silicio reúnen las tres propiedades que un buen material termoelectrónico necesita: al ser un material semiconductor tiene un buen coeficiente de conversión de temperatura a electricidad, una conductividad eléctrica suficientemente alta, y, al ser su diámetro nanométrico, una conductividad térmica baja”, añade el investigador.

El otro reto es ampliar el abanico de materiales termoelectrónicos compatibles con el silicio más allá de los nanohilos, tales como capas delgadas de aleaciones de silicio o de óxidos funcionales, materiales que no contienen elementos tóxicos ni materias primas escasas o inasequibles.

“Aunar las tecnologías del silicio con la integración de materiales funcionales ajenos ha supuesto un diálogo entre dos mundos tecnológicos diferentes: la micromanofabricación y los materiales. Es la vía adecuada para poder fabricar a gran escala la cantidad de dispositivos que las aplicaciones de la internet de las cosas demandan con un coste razonable y un impacto medioambiental asumible”, explica Fonseca.

La idea de esta actividad surgió de un proyecto Explora (un programa nacional de proyectos de alto riesgo) y ha conseguido para su desarrollo financiación europea (proyecto Synergy, coordinado por el IMB) y nacional (proyectos Ugenterm y Minauto). Para el estudio de la integración de óxidos funcionales en las microestructuras están participando en el proyecto europeo Harvestore.

Más allá de las aplicaciones termoelectrónicas, pero dentro de la microenergía, el esfuerzo de compatibilización tecnológica de óxidos funcionales ha dado pie a su participación en el proyecto Epistore fabricando microcélulas de combustible que aprovechan el hidrógeno como fuente de energía en sustitución a los combustibles fósiles. ●



Objetivo eficiencia: desaprovechamiento cero de energía

Investigadores del CSIC trabajan en el desarrollo y mejora de materiales y métodos para conseguir edificios 100% eficientes y dispositivos que recuperen y transformen la energía

Por **Esther María García Pastor**

El desarrollo científico ha permitido que de unos años a esta parte nuestra vida cotidiana se haya simplificado gracias a eso que se ha venido a llamar el Internet de las Cosas (IoT). Con dispositivos inteligentes cada vez más pequeños podemos enchufar la calefacción sin estar en casa o bajar las persianas y apa-

gar las luces sin levantarnos del sofá. Sin embargo, estas mejoras en la calidad de vida en los hogares no se han traducido en una evolución en la eficiencia energética, uno de los puntos clave para el desarrollo sostenible marcado por la agenda 2030.

El hecho es que, a nueve años de la fecha señalada, los edificios son los responsables del 40% del consumo de energía de la Unión

Europea y del 36% de las emisiones de CO₂. Esto los convierte en los mayores consumidores de energía de una Europa centrada en descarbonizar la economía con fecha límite marcada en 2050. La eficiencia en el consumo energético de los edificios se convierte, pues, en un objetivo necesario y urgente.

En lo que a disminución de la huella de carbono se refiere,

los propios dispositivos del Internet de las Cosas también son un punto clave. Estos aparatos no solo hacen la habitabilidad de los hogares más fácil y confortable, sino que suponen también una punta de lanza en campos como la medicina, la ingeniería, la seguridad, la aeronáutica o el medio ambiente. Sin embargo, el Internet de las Cosas, asociado a los dispositivos portátiles o *wearables*, se ve lastrado por su dependencia de baterías, que entorpecen su funcionalidad. Además, estos aparatos se fabrican a



La técnica del *harvesting* recupera energía que se genera continuamente en nuestro entorno en diversas formas, como vibraciones o cambios de temperatura e iluminación

partir de materias primas que ya escasean por el incremento de la demanda y que, sobre todo, tienen un coste muy elevado para el medio ambiente.

Conseguir una fuente de energía alternativa para alimentar estos dispositivos tan beneficiosos para el bienestar de la sociedad es el objetivo y la ciencia ha encontrado el camino: recuperación de energía, también conocido como *harvesting*. De este modo, los investigadores continúan en busca de la mejora en las condiciones de vida, pero a través de metodo-

logías, procesos y materiales que liberen gradualmente al medio ambiente del daño al que se ve sometido.

Desde el CSIC varios equipos de investigadores ya trabajan en los dos grandes campos de estudio claves para alcanzar la eficiencia energética y la recuperación de energía: el desarrollo de edificios energéticamente eficientes y la recuperación de energía a través de dispositivos mecánicos o por aprovechamiento de calor residual para alimentar mecanismos y sensores.

Edificios, clave para la eficiencia energética

Los datos son claros: en nuestro día a día perdemos gran parte de la energía que consumimos y los grandes responsables de ese malgasto energético son los edificios. No solo son los mayores consumidores de energía, sino que además se perfilan como un gran problema para la consecución de los objetivos de eficiencia energética. Los materiales inadecuados y el mal aislamiento de las construcciones suponen un desafío al que los investigadores del CSIC ya buscan una solución.

Desde el Instituto de Micro y Nanotecnología del CSIC (IMN-CSIC), la investigadora **Marisol Martín** identifica tres desafíos clave para obtener edificios con la máxima eficiencia energética. "Estos son la búsqueda de nuevos materiales estructurales avanzados y nuevas técnicas de construcción, experimentación con nuevos procesos y métodos que consigan una mayor vida útil y resistencia a las condiciones ambientales de materiales para el revestimiento de edificios; y la mejora de las cualidades de las ya eficientes luces LED", enumera Martín.

El CSIC trabaja en estudios con distintos materiales estructurales avanzados, que ofrecen una mejora en las funcionalidades con respecto a los que tradicionalmente se han usado. Los investi-



La investigadora Marisol Martín, del IMN, estudia cómo mejorar la eficiencia energética de los edificios. / GEMA DE LA ASUNCIÓN

gadores han trabajado con nuevos recubrimientos para ventanas o edificios enteros que reflejan parte del espectro solar para ayudar en la climatización de interiores, con fachadas cubiertas de materiales recuperadores de energía, sistemas eficientes de ventilación o activación térmica.

Además, Marisol Martín destaca dos metodologías en desarrollo que, combinadas, podrían suponer un gran avance para la eficiencia energética de edificios. La investigadora pone el foco en la impresión 3D y la reutilización de los materiales de derribo. "En otros países se han construido casas con puertas, ventanas e instalaciones de electricidad y agua en menos de veinticuatro horas y en algunos de estos procesos ya se han usado residuos industriales como material de construcción", comenta Martín.

El uso de materiales de derribo combinado con la impresión 3D no solo podría ser una alternativa para conseguir edificios eficientes, sino que, en el proceso, conseguirá reutilizar y descarbonizar, dos conceptos clave en el avance hacia una actividad humana respetuosa con el medio ambiente. Y es que,

tras el derribo de un edificio, los restos son depositados en vertederos, y para las nuevas infraestructuras se utilizan entre un 45 y un 60% de materiales extraídos de la litosfera y su procesado emite niveles de CO₂ incompatibles con una energía limpia y eficaz.

De esta forma, la complementación entre nuevos materiales y nuevos métodos de construcción pueden, en un futuro no muy lejano, evitar el despilfarro de energía. "Esperamos, mediante redes de sensores y actuadores, obtener información para la integración de todos estos sistemas y conseguir edificios con una alta eficiencia energética y comodidades superiores a las de hoy en día", concluye Marisol Martín.

Harvesting: recuperación de energía

En un futuro el consumo y la producción de energía serán más eficientes, pero los investigadores no se detienen en este objetivo, sino que aspiran a recuperar la mayor cantidad posible de energía del entorno. El desarrollo de nuevos dispositivos *harvesting*, que



Los nuevos materiales para recolectar energía ambiental se pueden aplicar a dispositivos 'ponibles' o 'wearables'. / ADOBE STOCK

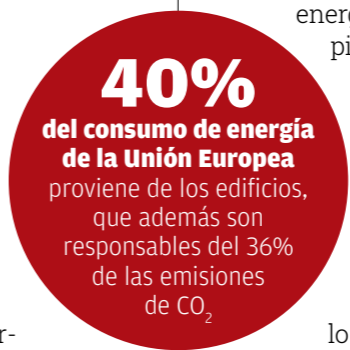
en castellano podría traducirse como "cosechadores", ya está en marcha y su relevancia crecerá en los próximos años empujada por la necesidad de sistemas inalámbricos y portables autónomos, así como de la ampliación del uso del Internet de las Cosas en diversos campos.

En el CSIC se desarrollan varios proyectos del European Research Council (ERC) para aprovechar la energía mecánica o térmica y convertirla en energía eléctrica. Marisol Martín, coordinadora del Área Global Materia del CSIC y directora del grupo de investigación Finder, participa en varios de estos estudios y prevé un gran campo de aplicación del *harvesting*: la alimentación de dispositivos ponibles o *wearables* y sensores conectados al Internet de las Cosas o a los propios móviles.

"La técnica del *harvesting* busca recuperar energía que se genera continuamente en nuestro entorno bajo diversas formas, como vibra-

ciones o cambios de temperatura e iluminación, ya sea solar o artificial", explica la investigadora. Desde el CSIC, los investigadores trabajan en el desarrollo y mejora de dispositivos termoelectrónicos y piezoelectrónicos o triboelectrónicos.

Los primeros transforman la energía térmica que se pierde en medios de transporte o incluso en el propio cuerpo humano. Los segundos obtienen electricidad a través de la energía mecánica, aunque cada uno de ellos lo hace de una forma distinta. Por un lado, los dispositivos piezoelectrónicos se componen de cristales o cerámicas que, al ser accionados, pulsados o tensionados producen energía. Una aplicación del día a día de este tipo de materiales se puede encontrar en los encendedores eléctricos. Por otro lado, los mecanismos triboelectrónicos producen energía al acercarse o alejarse de un material, como cuando un globo se carga de electricidad estática al frotarlo con un jersey.



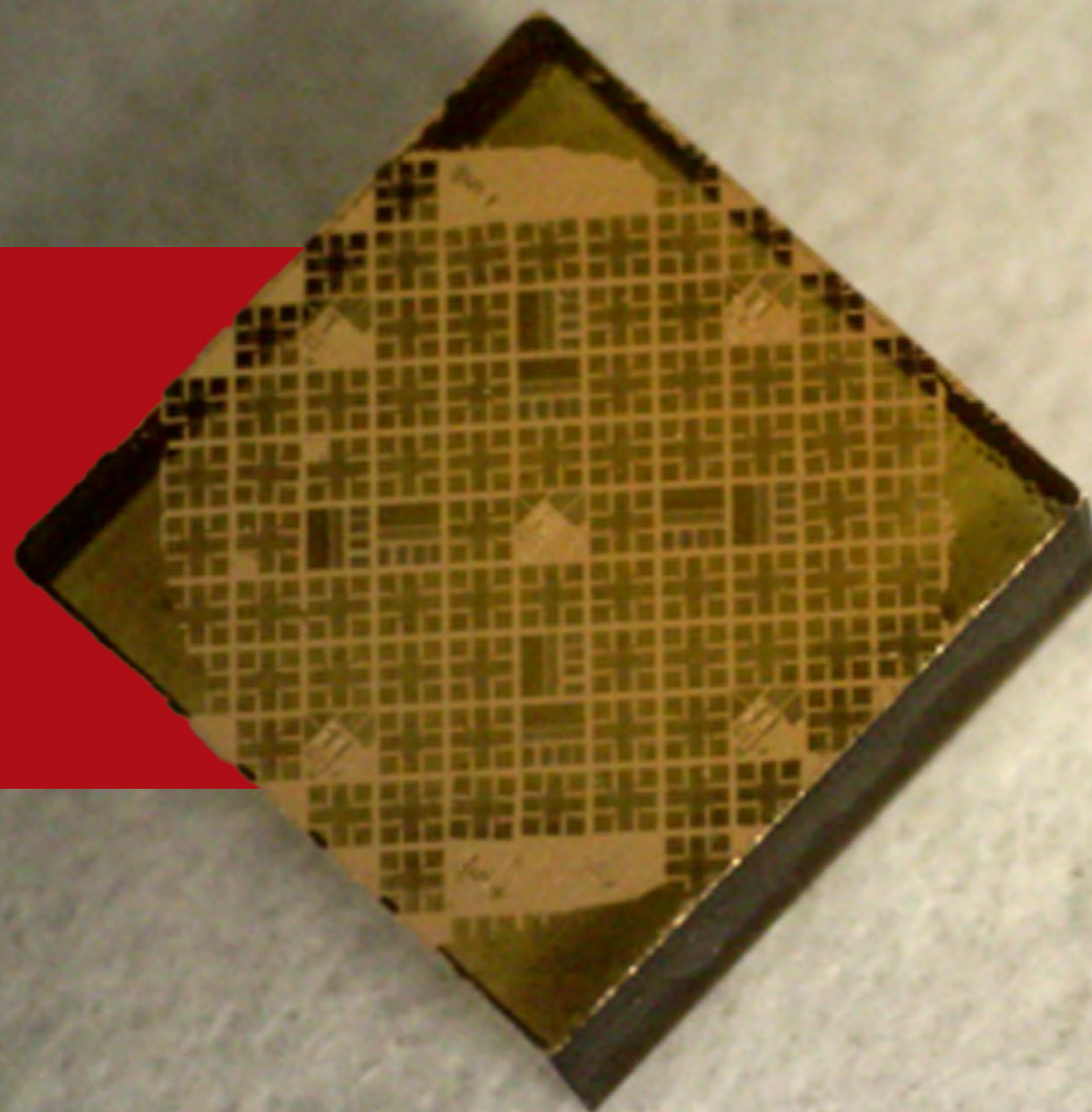
En menos de cinco años la escalabilidad de este tipo de dispositivos será una realidad y se integrarán en nuestras vidas, pero los investigadores siguen trabajando para que en unos veinte años contribuyan definitivamente a conseguir una economía circular basada en la integración de energía híbrida y multifuente. Los científicos del CSIC se centran en la resolución de distintos desafíos para seguir avanzando hacia este objetivo aparentemente lejano, pero cada vez más cercano.

Explica Marisol Martín que la investigación se focaliza en aumentar la eficiencia en la conversión de los dispositivos de *harvesting*, así como en desarrollar materiales basados en elementos que sean abundantes y no tóxicos. El objetivo es conseguir, además, que sean flexibles y biocompatibles para su uso en contacto con el cuerpo humano. De este modo, podrían obtenerse fuentes de energía sostenibles, auto-recargables y miniaturizables para alimentar sensores o microdispositivos sin aumentar la huella de carbono. "Estas fuentes de energía se plantean como una gran alternativa para generar suficiente energía para dar potencia a sensores y biosensores y que estos puedan enviar las señales por *bluetooth* a la nube o a nuestro propio teléfono móvil, lo que supondría una mejora en la calidad de vida de las personas", concluye Marisol Martín.

El campo del *harvesting* es altamente multidisciplinar, pues requiere del desarrollo de nuevos materiales que aumenten la eficacia de los recuperadores y almacenadores de energía y que estos, a su vez, permitan su miniaturización y la mejora de los sensores. Además, todo esto sin perder de vista las distintas arquitecturas para conseguir estos fines. Así, debido a estos desafíos en el avance en la investigación en *harvesting*, equipos de químicos, físicos e ingenieros del CSIC colaboran estrechamente para que estos dispositivos sean una realidad. ●

Semiconductores para electrificar la industria y descarbonizarla

Sustituir el silicio por nuevos materiales más eficientes y fiables es un gran reto para lograr que la industria reemplace tecnologías que usan combustibles fósiles por otros basados en la electricidad



Dados de diamante con transistores MOSFET desarrollados en el IMB. / CSIC

Por **Sabela Rey Cao**

La electrificación de la industria consiste en la sustitución de procesos y tecnologías que utilizan combustibles fósiles (fuentes de energía emisoras de gases de efecto invernadero) por procesos basados en electricidad "limpia" proveniente de fuentes renovables. Uno de los principales obstáculos para conseguir esta implantación es conectar dichas fuentes con una red de distribución flexible, eficiente y estable, algo para lo que la electrónica de potencia y los superconductores buscan una respuesta.

La electrificación es fundamental para intentar descarbonizar la industria, que es responsable de un 30% de las emisiones de CO2 en el mundo, según recoge el Libro Blanco sobre Energía limpia, segura y eficiente del CSIC.

Para cumplir los objetivos europeos de emisiones de dióxido de carbono para 2050, es necesario aumentar el porcentaje de energía

eléctrica proveniente de fuentes renovables empleada por la industria desde el 7% actual hasta el 48%, según datos de IRENA (International Renewable Energy Agency).

"La electrónica de potencia es la rama de la ciencia que se encarga de la conversión eficiente de la energía eléctrica y es una de las tecnologías clave para conseguir la electrificación industrial y contribuir a la descarbonización del sector", indica **Xavier Jordà**, vicedirector del Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB-CNM). Está en el corazón de las turbinas eólicas, los coches eléctricos o las plantas fotovoltaicas y es fundamental para aprovechar la generación de energía renovable. Además, alrededor del 30% de la energía eléctrica que se genera utiliza electrónica de potencia en algún punto de la cadena de producción y se espera que su uso aumente hasta el 80% en la próxima década.

"El CSIC lleva más de 30 años investigando el uso de dispositi-

vos semiconductores de potencia para ayudar a conseguir convertidores más eficientes, robustos, compactos y fiables. El IMB cuenta con el único grupo consagrado a la electrónica de potencia dentro del CSIC", añade Jordà. El grupo de Dispositivos y Sistemas de Potencia explora los semiconductores y la fórmula para conseguir transformar la energía eléctrica minimizando las pérdidas. El equipo tiene a su disposición la Sala Blanca Integrada de Micro y Nanofabricación del IMB-CNM, una Infraestructura Científica y Técnica Singular del CSIC reconocida por el Ministerio de Ciencia e

Innovación, en la que se cumplen las condiciones para fabricar dispositivos semiconductores.

"Los principales retos a los que se enfrenta la electrónica de potencia son la fiabilidad de los dispositivos (su vida útil, el mantenimiento y la corrección de errores), su miniaturización y los nuevos materiales en los que se basan", enumera el investigador. En esta área, se están buscando sustitutos para el silicio con mejores prestaciones, como el nitruro de galio o el carburo de silicio y, a más largo plazo, el diamante y el óxido de galio. "El silicio fue un elemento clave en la miniaturización de la

electrónica hace 50 años y se utiliza profusamente para la gestión de la energía eléctrica desde hace 30, pero ahora se necesitan dispositivos más compactos y modulares capaces de manejar tensiones y corrientes cada vez mayores", indica Jordà.

Componentes electrónicos con una vida útil más larga

El CSIC participa en el proyecto Intelligent Reliability 4.0, del programa ECSEL-H2020, junto a 74 instituciones de 13 países europeos en la búsqueda de una solución al problema de la fiabilidad y

la vida útil de los componentes y sistemas electrónicos. El equipo investiga la detección de firmas de fallos y parámetros indicadores de degradación a través de la inteligencia artificial, para proporcionar al control del convertidor la información que permita tomar decisiones para su corrección.

El perfeccionamiento del mantenimiento predictivo del sistema mediante la autocorrección ayuda a alargar considerablemente su tiempo de vida, sin suponer un cambio en los materiales o el proceso de fabricación. El convertidor podría detectar un funcionamiento incorrecto en el momento en

que empezara a producirse y efectuar una intervención, reemplazando el sistema o componente dañado y alargando su tiempo de vida.

Xavier Perpiñà es el investigador principal del proyecto en el IMB-CNM, cuya contribución se encarga del estudio local de dispositivos de potencia cuando operan en condiciones de sobrecarga, ya que es donde se localizan los fallos más habituales de los componentes. "El desarrollo de convertidores más compactos y fiables permitirá una rápida evolución de alternativas a los combustibles fósiles en el ámbito de la movilidad, cubriendo el transporte terrestre urbano e interurbano, aéreo y marítimo", explica.

Nitruro de galio: el caballo de batalla para la media potencia

El nitruro de galio es un prometedor semiconductor para la sustitución del silicio como base de los dispositivos electrónicos de media potencia. Ayudará a la obtención de sistemas más compactos y con menos pérdidas de energía. Además, tiene propiedades ópticas y su ancho de banda (superior al del silicio) permite su uso en dispositivos de altas frecuencias. Ha sido el elemento central en la transición de bombillas de incandescencia (prohibidas en la Unión Europea desde 2012) hacia sistemas de iluminación LED. Los problemas que presenta la implantación masiva de este semiconductor son la gestión térmica (refrigeración) y la fiabilidad.

Por ello, el instituto ha participado en el proyecto PowerBase, en el marco del programa europeo ECSEL-Horizonte 2020, liderado por la empresa Infineon, fabrican-

“El silicio fue clave en la miniaturización de la electrónica hace 50 años, pero ahora se necesitan dispositivos capaces de manejar tensiones y corrientes mayores”

Xavier Jordà (IMB-CNM)



Los investigadores Xavier Jordà y Mariana Raya Di Francisco, en el IMB. / S. R.

te de chips, y con la participación de 39 empresas y centros, donde se han desarrollado nuevos transistores de tipo HEMT (con canal de alta movilidad de electrones) basados en capas delgadísimas de nitruro de galio sobre sustratos de silicio. Esta tecnología es compatible con las salas blancas actuales para la fabricación de chips de silicio.

El IMB se ha encargado de caracterizar el comportamiento electro térmico de los dispositivos para alcanzar un diseño óptimo del convertidor. "Hemos propuesto nuevas técnicas para conseguir la mejor refrigeración posible de los transistores de nitruro de galio en el marco de su aplicación en sistemas de conexión a redes de energías renovables", indica Jordà, investigador principal del proyecto.

Una óptima refrigeración permite aprovechar las frecuencias de conmutación de los transistores de nitruro de galio, que se deben integrar en pequeños encapsulados de montaje superficial, ya que operan a elevadas densidades de potencia, lo que dificulta el uso de sistemas de disipación tradicionales. La propuesta ha sido hecha en estrecha colaboración con Ikerlan, de la Red Vasca de Ciencia, Tecnología e Innovación, que probaba los dispositivos en convertidores para conexión de fuentes renovables.

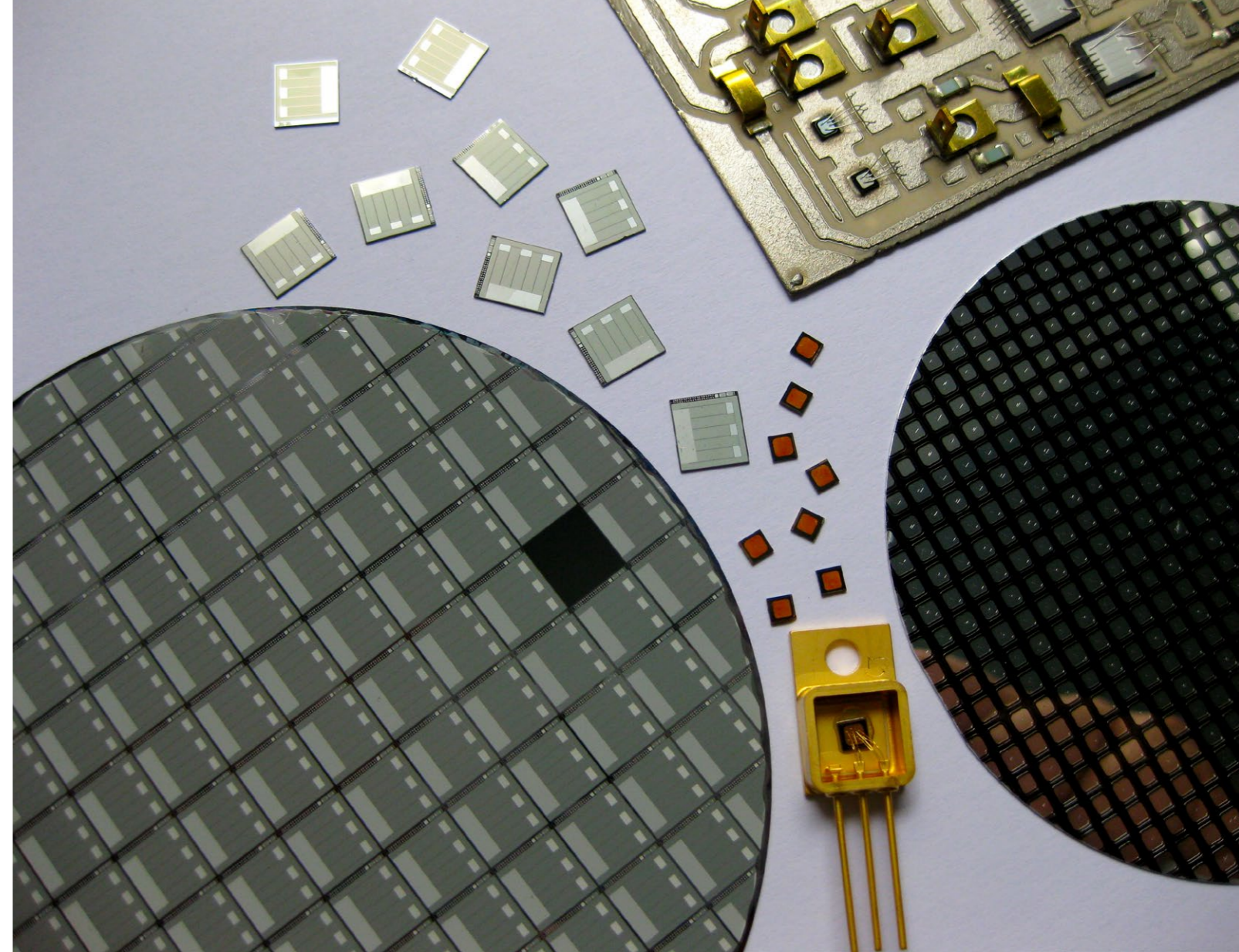
"Los transistores HEMT de nitruro de galio son los mejor posicionados para su uso en convertidores de potencia compactos de muy alta eficiencia, en campos como la generación fotovoltaica o las fuentes de alimentación para todo tipo de sistema electrónicos", añade Jordà. El investigador indica que presentan las mejores

características en frecuencia de conmutación para la media potencia, ya que "la tensión eléctrica máxima de uso se sitúa por debajo de los 1.000 voltios".

El nitruro de galio será de implantación masiva en el campo de la energía fotovoltaica y las telecomunicaciones, así como en componentes de todo tipo, desde cargadores de baterías hasta fuentes de alimentación compactas.

Transistores y diodos en carburo de silicio para la alta potencia

Uno de los objetivos de los proyectos europeos de la última década ha sido encontrar nuevas metodologías para reducir el coste de los semiconductores de alta potencia (por encima de 10 kilovoltios de tensión máxima). Es el caso del



Dos obleas de carburo de silicio y de silicio, con chips, un encapsulado y un módulo electrónico. / IMB

carburo de silicio, un material que presenta mejores prestaciones que el silicio, si bien su coste y rendimiento dificultan su implantación. Los semiconductores de carburo de silicio se emplean en coches híbridos, eléctricos, transporte ferroviario y fuentes de alimentación, entre otros.

El IMB está equipado para la fabricación de dispositivos basados en carburo de silicio. El proyecto europeo Speed, que finalizó en 2017, juntó a los principales fabricantes y centros de investigación para adaptar la tecnología existente y buscar un mejor rendimiento de los convertidores. El equipo del IMB-CNM desarrolló así transistores Mosfet sobre sustratos de carburo de silicio y dispositivos de alta tensión. Las nuevas generaciones de estos dispositivos de carburo de silicio son

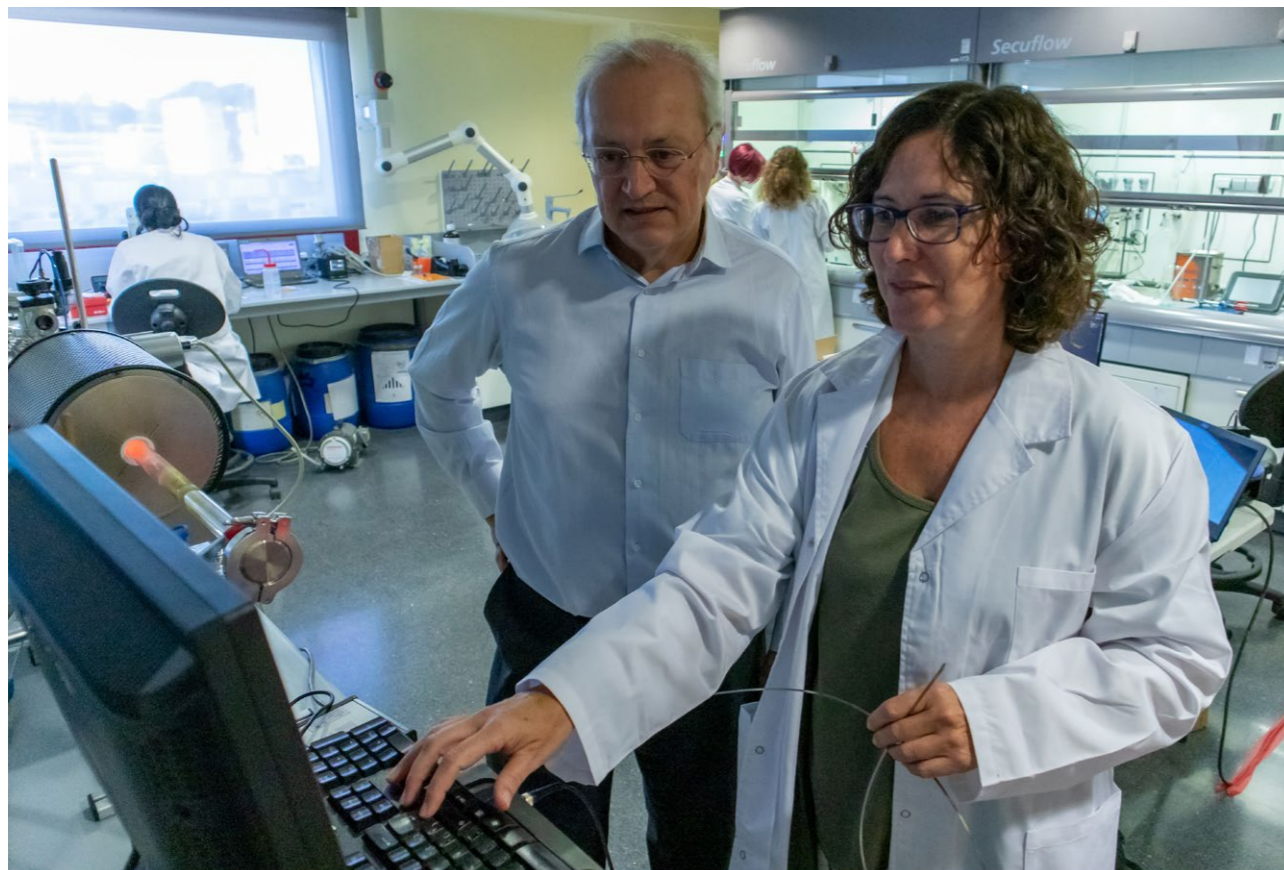
las que permitirán la implantación de redes eléctricas inteligentes (Smart Grids, que combinan medidores inteligentes, paneles de distribución, energías renovables y fibra de banda ancha) para facilitar la electrificación.

Una aplicación única y eficiente de semiconductores basados en carburo de silicio fabricados en el IMB-CNM ha sido la misión espacial BepiColombo (de la Agencia Europea del Espacio, ESA, y la Agencia Japonesa del Espacio, JAXA); cuyas sondas orbitarán Mercurio en 2025 y van equipadas con 700 diodos manufacturados en la Sala Blanca. Se trata de los diodos de protección de las células fotovoltaicas de los paneles solares, preparados para aguantar temperaturas extremas, 300° C en el momento de exposición directa al Sol y -150° C en la fase

de eclipse detrás del planeta. Una participación dirigida por Philippe Godignon.

Los semiconductores de diamante

"El diamante sintético es un semiconductor con banda prohibida (una propiedad física que le confiere mejores características que el silicio), que cambiará la alta potencia y dominará los sistemas energéticos de las próximas décadas", según augura el investigador Philippe Godignon, del IMB. Aguantará líneas eléctricas de muy alta tensión y corriente, resistirá mejor que el carburo de silicio la ruptura dieléctrica (el máximo voltaje que aguantaría un dispositivo) y su conductividad térmica es muy elevada, lo que facilita su refrigeración. Sin embargo, la tec-



Los investigadores Xavier Obradors y Teresa Puig, del ICMAB, en el laboratorio de materiales superconductores. / ARTUR MARTÍNEZ

nología de fabricación es todavía muy incipiente y requiere enormes esfuerzos de investigación.

El objetivo del proyecto Green-Diamond, terminado en 2020, ha sido fabricar el primer dispositivo electrónico de alta potencia con diamante. El equipo, con participación del IMB-CNM dirigida por Godignon, consiguió una estructura MOS (transistor metal - óxido - semiconductor) en régimen de inversión (unas condiciones en las que si se aplica una tensión al semiconductor, pasa de ser aislante a conductor), lo que hace posible controlar la densidad de huecos y electrones en el diamante y obtener transistores operativos.

El IMB-CNM explora nuevos encapsulados capaces de soportar las extremas condiciones de trabajo de este tipo de dispositivos y ha conseguido proponer soluciones para tensiones de más de 8.000 voltios y temperaturas de hasta 250°C. El encapsulado lo constituyen los elementos alrededor del chip, lo cubren, lo protegen y le proporcionan

soporte e interconexión con el exterior. Es la última parte en el desarrollo del componente, que requiere el entorno de una sala blanca para su fabricación.

Una red eléctrica sin pérdidas, la superconductividad

Los superconductores son materiales que no generan gasto de energía, no oponen resistencia y no provocan pérdidas en la corriente eléctrica. La superconductividad empezó hace más de un siglo a temperaturas que oscilaban entre los 4 y los 20 grados Kelvin (260-250 grados °C bajo cero), por lo que un reto de la investigación

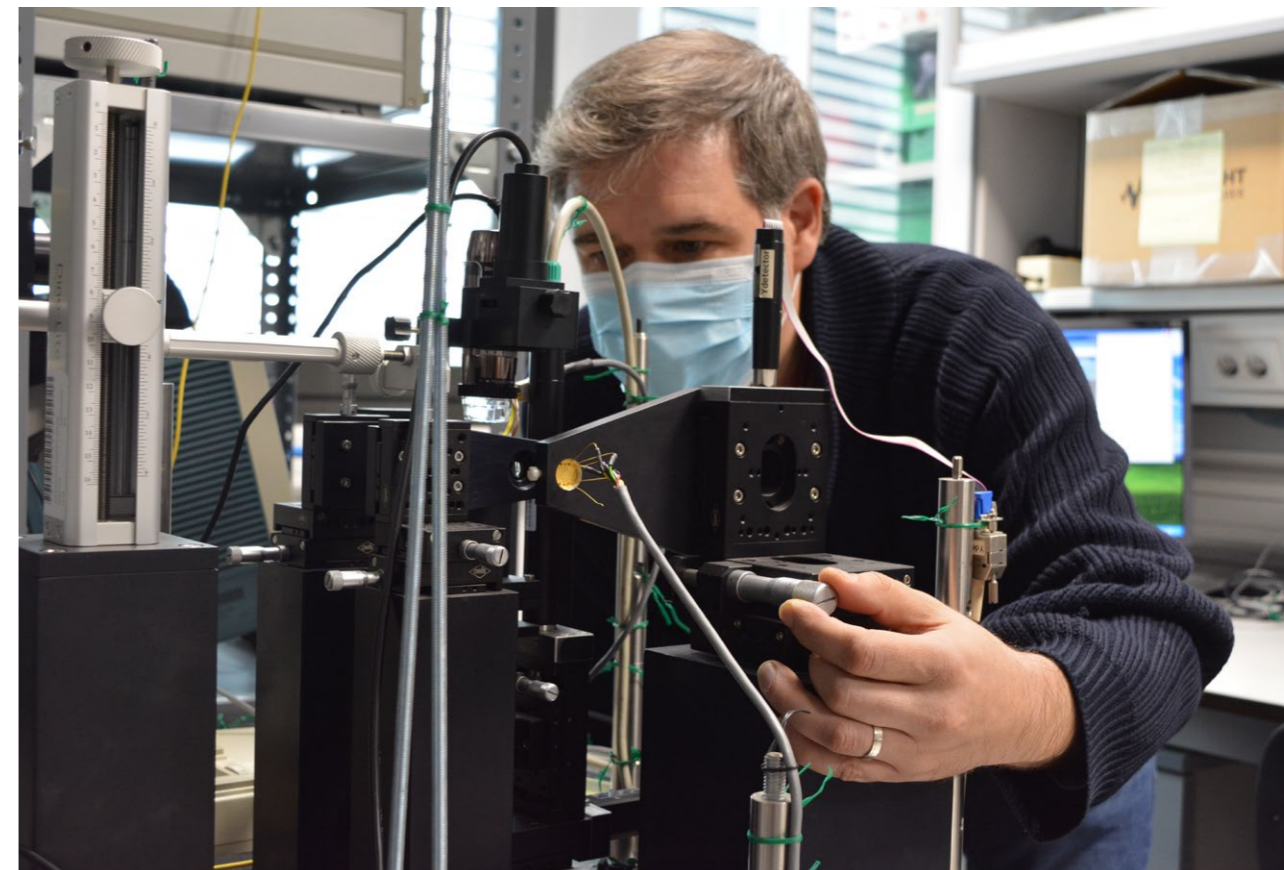


Centros del CSIC buscan transistores mejor refrigerados y más fiables para la generación fotovoltaica y la alimentación de dispositivos electrónicos

ha sido desarrollar materiales a temperaturas más altas. Actualmente, se encuentran superconductores de alta temperatura (HTS, enfriados con nitrógeno líquido) en el área de los cables de alta potencia, las turbinas eólicas, los generadores industriales o el almacenamiento de energía.

Los superconductores HTS son una de las especialidades del grupo Suman del Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona (ICMAB-CSIC), dirigido por **Teresa Puig**, que lleva años buscando un método de fabricación sencillo para facilitar su implantación.

El equipo de Puig trabaja a nivel nanométrico para diseñar materiales cuánticos HTS basados



El investigador Xavier Perpiñà, en el laboratorio de caracterización térmica del IMB. / SABELA REY

en nanocompuestos de cupratos (compuestos de óxido de cobre cuya estructura controla el comportamiento del material al paso de la corriente eléctrica). "Estructuramos en la nanoescala porque nos permite un impulso tecnológico extremo con un rendimiento sin precedentes, y así somos capaces de controlar la composición, la estructura, la forma, la dimensión y la arquitectura del conductor", explica la investigadora del CSIC.

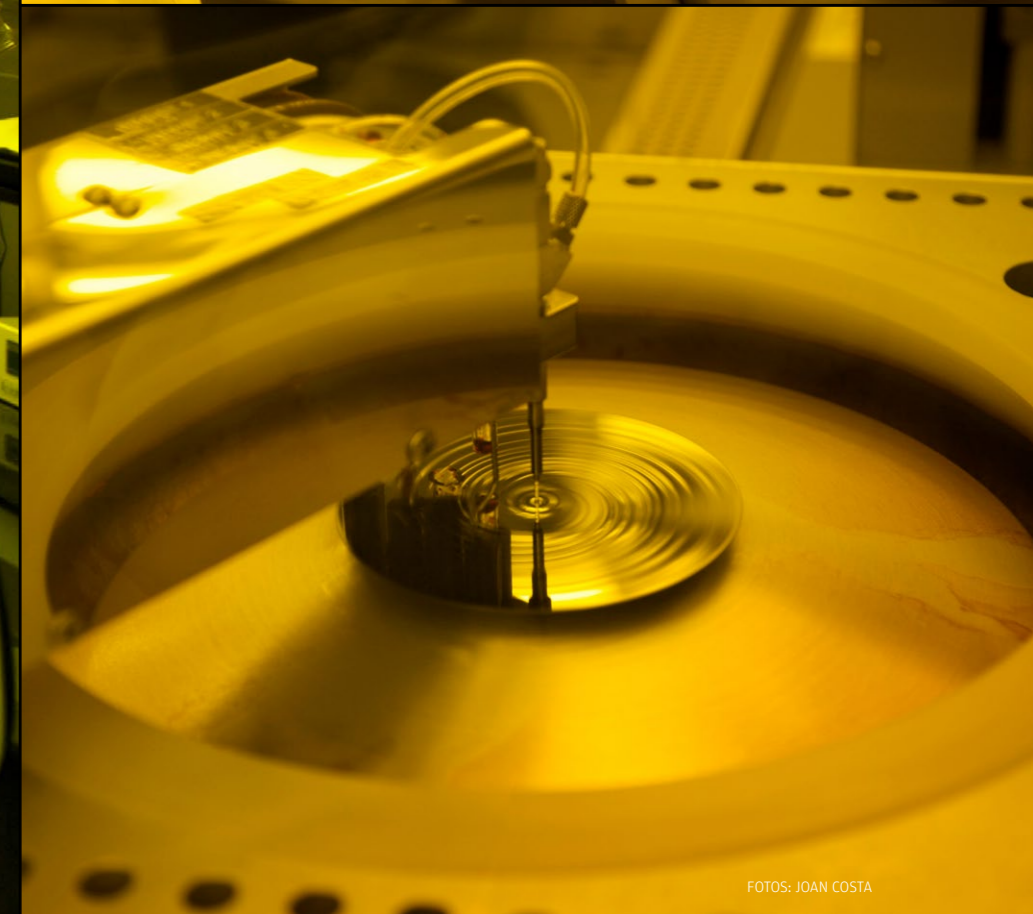
La investigación avanza hacia la manufactura de cintas y cables superconductores enfocados a la electrificación industrial, aunque el elevado coste de producción es el mayor obstáculo para su implantación. "El ICMAB ha desarrollado recientemente una metodología de fabricación de cintas superconductoras con elevadas prestaciones basadas en procesos químicos de alto rendimiento y de bajo coste muy escalable", agrega **Xavier Obradors**, investigador de Suman y director del ICMAB.

La superconductividad se extenderá en el campo de las líneas de transmisión eficientes, contribuyendo a una red más simple y con menos costes.

Reacciones electroquímicas para la síntesis de combustible

Las reacciones químicas que tienen lugar gracias a procesos electroquímicos se presentan como buenos aliados para que la industria reduzca su huella de carbono y su dependencia de los combustibles fósiles. Con frecuencia, los reactores electroquímicos no producen gases de efecto invernadero ni generan residuos si se utilizan con energía renovable. Una de las múltiples aplicaciones de los reactores electroquímicos sería la producción de H₂, un combustible limpio, a partir de H₂O; o la conversión de CO₂, el gas de efecto invernadero que más impulsa el calentamiento global, en productos de alto valor añadido.

El proyecto eCOCO₂, un consorcio liderado por el CSIC con 12 instituciones y empresas de ocho países diferentes, busca conseguir un método escalable y eficiente para la conversión del CO₂ producido en industrias pesadas (acero, cemento, petroquímica) dependientes de combustibles fósiles. **José Manuel Serra**, del Instituto de Tecnología Química (ITQ-UPV-CSIC), lidera la iniciativa para conseguir un proceso de conversión de CO₂ que utilice energía renovable y vapor de agua para la producción de combustibles sintéticos para utilizar, por ejemplo, en aviación. La aviación supone el 2% de las emisiones mundiales de carbono, según la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA). Actualmente, se han realizado grandes avances en la optimización de los componentes del reactor electroquímico, así como la validación de la producción de metano a partir de CO₂ utilizando este tipo de reactores. ●



Sala Blanca del CSIC: fabricación limpia

Los semiconductores son imprescindibles para impulsar la electrificación de la industria, uno de los sectores más contaminantes, pero su fabricación requiere unas condiciones excepcionales. El CSIC

cuenta con una infraestructura idónea: la Sala Blanca de Micro y Nanofabricación, del Instituto de Microelectrónica de Barcelona. Este entorno mantiene un aire extremadamente limpio para eliminar la presencia de polvo, aero-

soles o microorganismos. Ofrece una nanofabricación inmaculada. Es la principal instalación de España en la que se fabrican dispositivos y circuitos integrados completos en tecnologías de semiconductores de silicio y carburo

de silicio, además de sensores, dispositivos micro-nanoelectromecánicos y sistemas electrónicos capaces de explotar las prestaciones combinadas de las micro y nanotecnologías. Las aplicaciones de sus dispositivos abarcan la

biotecnología, la seguridad, el medio ambiente, la alimentación, la energía y la movilidad, las comunicaciones y la electrónica de consumo. Pertenece a la Infraestructura Científico y Técnica Singular Micronanofabs (CSIC-UPM-UPV),

del Ministerio de Ciencia e Innovación. En abril de 2021 recibió una financiación de 14,7 millones de euros de los fondos Feder (UE) y del Ministerio de Ciencia e Innovación para actualizar sus capacidades tecnológicas. ●

FOTOS: JOAN COSTA



Biorrefinerías para convertir residuos vegetales en combustible renovable

Investigadores del CSIC desarrollan procesos que transforman los restos de las industrias agrícolas y forestales para producir biocombustibles y productos químicos sostenibles

Por **Marta García Gonzalo** y **Alejandro Parrilla**

La biomasa vegetal, es decir, la materia orgánica procedente de plantas como la madera y de residuos agrícolas e industriales, es la mayor fuente de materias renovables de la Tierra. Está disponible en grandes cantidades a un coste reducido y representa una fuente potencial decisiva para la producción de energía, para obtener (bio) combustibles para el transporte y bioproductos y materias primas renovables que pueden utilizarse para producir plásticos, tal como recoge el Libro Blanco del CSIC

sobre *Energía limpia, segura y eficiente*.

Las fuentes de energía fósil no renovables, como el petróleo, el carbón y el gas natural, suponen el 80% del modelo energético que mueve la sociedad actual. Su impacto negativo sobre el medio ambiente y el hecho de ser un recurso limitado hacen necesario afrontar un cambio estructural en la producción energética mundial. La biomasa puede ser una alternativa, tanto en el sector industrial como en el transporte, dos de los más contaminantes y donde es muy necesaria la descarbonización.

La biomasa permite obtener energía al ser sometida a diversos procesos. Mediante la combustión, produce calor y electricidad; mediante procesos termoquímicos, se transforma en gas combustible; y mediante procesos bioquímicos, se transforma en biogás o bioetanol (dos productos que pueden utilizarse para producir energía eléctrica). La biomasa también puede ser convertida en biodiésel o en gas de síntesis (syngas), a partir del cual pueden sintetizarse productos químicos (como plásticos) y combustibles líquidos.

“La biomasa residual es un combustible renovable existente en grandes cantidades en España”, explica el investigador **Juan Adánez**, del Instituto de Carboquímica (ICB). “Además de los residuos agrícolas y forestales, incluye los residuos de origen orgánico, como lodos de depuradora, residuos ganaderos o residuos municipales. Se puede utilizar para la producción de energía, biocombustibles o productos químicos con emisiones neutras de CO₂ a la atmósfera, o incluso para conseguir emisiones negativas de CO₂ si el CO₂ generado en estos procesos se captura y almacena”, añade.

El equipo de Adánez estudia cómo utilizar la biomasa para obtener energía y gas de síntesis mediante procesos no contaminantes, es decir, que permitan



La biomasa vegetal es la mayor fuente de materias renovables de la Tierra. / ADOBESTOCK



El bioetanol de segunda generación se obtiene a partir de residuos vegetales industriales y puede utilizarse como combustible para el sector del transporte

simultáneamente capturar el CO₂ del residuo biomásico a bajo coste y almacenarlo. Sería una tecnología útil para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La captura de estos gases es fundamental: es imprescindible retirar CO₂ de la atmósfera para conseguir el objetivo del Acuerdo de París de 2015, que limitaba el calentamiento medio del planeta fuese de a 1,5 °C respecto a los niveles preindustriales.

La biomasa, como la madera de los árboles, retira CO₂ de la atmósfera de forma natural convirtiéndolo en materia orgánica. De esta forma, cuando estos residuos orgánicos son utilizados como combustible, este CO₂ regresa a la atmósfera, pero sin aumentar la proporción de gases en el medio ambiente (se consideran emisiones cero o neutras). Si el aprovechamiento energético de la biomasa se suma a la tecnología de captura de CO₂, se logra conseguir emisiones negativas de CO₂ y

retirarlo de la atmósfera de forma eficiente y a bajo coste.

La tecnología que investiga el equipo de Adánez permite controlar las emisiones de CO₂ en procesos industriales. Pone en contacto el combustible de estos procesos (biomasa, aceites usados, etc.) con un óxido metálico o transportador de oxígeno. De este modo, este óxido suministra el oxígeno necesario tanto para la combustión como para la gasificación, sin ponerlo en contacto con el aire. Como resultado, los productos de la combustión (CO₂ y agua) no contienen nitrógeno y no es necesario separar el CO₂ para su captura y almacenamiento, sino que puede ser capturado directamente. Del mismo modo, en la gasificación se mejora la calidad del gas de síntesis -porque carece de nitrógeno- y se evita la necesidad de utilizar oxígeno de alta pureza, lo que reduce notablemente los costos de operación del proceso.

En estas investigaciones se desarrolla el proceso desde el laboratorio hasta su aplicación a nivel semiindustrial. “Desarrollamos transportadores de oxígeno con características adecuadas tanto para la combustión como para la gasificación o el reformado. Los transportadores desarrollados se caracterizan para su utilización industrial por métodos de laboratorio y, posteriormente, se prueban en plantas piloto con las mismas características que las industriales, en distintas escalas de producción para la demostración de la tecnología. Finalmente, se realiza su modelado matemático para el diseño conceptual de plantas industriales de este tipo”, concluye Adánez. Esta tecnología podría aplicarse en plantas industriales con captura de CO₂ procedente de la combustión de biomasa y residuos, así como en plantas de producción de hidrógeno, biocombustibles sintéticos, fertilizantes y biorrefinerías.

Refinado de restos vegetales

Uno de los instrumentos para producir combustible a partir de la biomasa son las biorrefinerías, un tipo de refinería que convierte biomasa (materia seca vegetal, en concreto, lignocelulosa) en otros subproductos beneficiosos, como biocombustibles y productos químicos. Las biorrefinerías pueden producir diversos productos químicos mediante el fraccionamiento de un material crudo inicial (biomasa) en múltiples productos intermedios (carbohidratos, lignina, lípidos), que pueden transformarse a su vez en productos de valor añadido. El uso de biomasa como materia prima puede contribuir a reducir el impacto en el medio ambiente, así como rebajar la emisión de contaminantes y reducir la emisión de productos peligrosos.

Investigadores del Instituto de Catálisis y Petroquímica (ICP) lideran un ambicioso proyecto para desarrollar una biorrefinería que genere combustible y productos



El investigador José Carlos del Río, del IRNAS, trabaja en la valorización de la biomasa vegetal para la producción de biocombustibles. / IRNAS

Un grupo del ICP desarrolla un proceso que fracciona la lignocelulosa de los restos vegetales y sirve para obtener etanol, polímeros, resinas y plásticos

químicos renovables a partir de residuos vegetales, de forma sostenible. El proyecto, denominado Fraction, ha recibido 6,2 millones de euros del consorcio europeo público privado BBI-JU (Bio-based Industries Joint Undertaking), entre el programa H2020 de la Unión Europea (UE) y la asociación Bio-Based Industries. El proyecto se basa en un método novedoso para tratar los residuos vegetales, fraccionar sus componentes y extraer los que resultan más útiles. “Esta iniciativa pretende establecer que se pueden producir múltiples materiales y productos químicos renovables a partir de biomasa lignocelulósica de forma sostenible y a precios competitivos, reemplazando muchos de los productos que usamos hoy en día y que vienen del petróleo, como botellas de bebidas, envoltorios de plásticos, disolventes de pinturas...”, expli-

ca **David Martín Alonso**, investigador del ICP.

“Para conseguirlo, el proyecto Fraction utilizará un proceso organosolv (tratamiento de biomasa que usa como disolvente un compuesto orgánico en lugar de agua) novedoso y flexible que permite tratar los residuos lignocelulósicos (pino, abedul, bagazo, cartón ondulado, etc.) para fraccionar y obtener de forma separada sus tres componentes principales: celulosa de alta calidad, hemicelulosas y lignina”, explica **Manuel López Granados**, coordinador del proyecto. Este proceso organosolv se basa en un tratamiento a temperatura moderada del residuo lignocelulósico con una disolución acuosa de γ -valerolactona, un disolvente natural que se obtiene de la propia biomasa y que rompe y fracciona la lignocelulosa en dichos componentes.

Estos componentes pueden ser utilizados tanto para la producción de etanol, que puede ser usado como biocombustible, como de otras materias primas, polímeros y resinas, disolventes para pinturas, recubrimientos de superficies o para producir plásticos para empaques o botellas de plásticos.

El sector de la bioeconomía en Europa (responsable en 2016 de 18,6 millones de puestos de trabajo y con una facturación de 2,3 billones de euros) necesita una mayor integración. Se debe impulsar la sinergia entre los sectores químico y de combustibles con las industrias forestales, de pulpa, papel y agroalimentos, para aprovechar los biorresiduos que generan. Por ello, para Europa es estratégico el desarrollo y despliegue de biorrefinerías integradas de segunda generación como las que impulsa el proyecto Fraction, capaces de procesar diferentes residuos lignocelulósicos y de producir un surtido de diferentes productos químicos y materiales.

El proyecto Fraction está coordinado por el ICP en un consorcio multidisciplinar con 12 socios de ocho países europeos. Entre los

miembros se cuentan dos grandes socios industriales, cinco centros de investigación o tecnológicos y cinco pequeñas y medianas empresas. “El proyecto Fraction cubre toda la cadena de valor para cada producto hasta el final de su vida útil, con implicación industrial, y engloba a miembros fuertemente interesados en el posterior escalado de la tecnología para una futura comercialización al acabar el proyecto”, señala López Granados.

Mejora en la obtención de bioetanol

En el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS), el grupo de **Jose Carlos del Río** trabaja en la valorización de la biomasa vegetal para la producción de biocombustibles, bioproductos y biomateriales. Uno de estos productos es un biocombustible, el bioetanol de segunda generación (2G), obtenido a partir de plantas y de residuos vegetales que no entren en competencia con los cultivos dedicados a la alimentación y no provoquen un alza en su precio. El bioetanol 2G, o alcohol celulósico, se obtiene a partir de los polisacáridos (celulosa y hemicelulosas) presentes en la materia vegetal.

“Los polisacáridos de la pared celular vegetal, especialmente la celulosa, se pueden transformar en azúcares neutros mediante un procedimiento denominado hidrólisis enzimática. Esos azúcares neutros pueden convertirse después en etanol mediante fermentación. Sin embargo, ese proceso de degradación tiene un obstáculo importante, la lignina, un polímero aromático complejo y altamente recalcitrante que rodea los polisacáridos de la pared celular, y que es necesario eliminar”, explica José Carlos del Río.

“Para degradar o eliminar parcialmente la lignina es necesario realizar un pretratamiento de la biomasa lignocelulósica, de forma que la celulosa sea más accesible a las enzimas del proceso de

hidrólisis. Existen diversos tipos de pretratamientos, tanto físicos, químicos, o mezclas de ambos, pero generalmente todos emplean productos químicos agresivos”, explica Del Río.

Como alternativa, los investigadores del IRNAS trabajan en el desarrollo de pretratamientos biotecnológicos más respetuosos con el medio ambiente que consigan una eliminación más selectiva de la lignina de la biomasa. “Los pretratamientos desarrollados por el IRNAS para degradar la lignina se basan en el uso de enzimas procedentes de hongos como son las lacasas. Sin embargo, la acción directa de las lacasas sobre la lignina está restringida a unidades fenólicas que sólo representan un pequeño porcentaje del polímero de lignina, un hecho que limita su aplicación biotecnológica”, indica el investigador.

“Una alternativa planteada por nuestro grupo ha sido el uso conjunto de las lacasas con mediadores redox, compuestos simples que forman radicales difusibles estables, y que una vez oxidados por la enzima, éstos oxidan y degradan la lignina”, detalla. Los resultados obtenidos por el IRNAS son muy prometedores y demuestran el gran potencial del sistema lacasa-mediador para degradar la estructura de la lignina en los materiales lignocelulósicos, permitiendo que los polisacáridos queden más expuestos a las enzimas hidrolíticas, lo que se traduce en una mejora significativa en su hidrólisis, así como un incremento sustancial en la producción de bioetanol.

La UE ha marcado el objetivo de conseguir que al menos el 32% de los combustibles del transporte provenga de fuentes renovables para 2030, según la Directiva de Energías Renovables 2018/2001. El desarrollo de biocombustibles a partir de biomasa contribuye a la descarbonización del sector del transporte, uno de los grandes emisores de gases de efecto invernadero. ●

Capturar el CO₂ para reutilizarlo en la industria o almacenarlo bajo tierra

Centros del CSIC trabajan en tecnologías que atrapan el CO₂ en la industria de producción del acero, convirtiendo en hidrógeno parte de sus gases combustibles, y obteniendo CO₂ puro para usarlo o alojarlo en el subsuelo

Por **Jesús García Rodrigo**

Un equipo de investigadores del CSIC en el Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono (INCAR) trabaja en un ambicioso proyecto europeo que tiene como objetivo reducir las emisiones de efecto invernadero de uno de los sectores industriales más contaminantes, el del hierro y el acero. "Intentamos descarbonizar lo no descarbonizable", resume, con un juego de palabras, el investigador **Carlos Abanades**, del INCAR, que dirige la participación del CSIC en el proyecto C4U, financiado con 13,8 millones de euros por el programa Horizonte 2020 de la UE y coordinado por el University College de Londres.

La producción de acero, y en general el procesado de metales, es una de esas industrias difícilmente descarbonizables. Se los conoce como sectores industriales "adictos al carbono". Se trata, fundamentalmente, de las industrias que fabrican cemento, caliza o cerámica, la producción de metales (acero, hierro) y el sector

químico que produce productos con contenido de carbono. Son sectores que necesitan emitir CO₂ para existir, o que necesitan carbono para obtener sus productos químicos, que luego se descomponen y generan CO₂, como los fertilizantes o los polímeros. Las emisiones asociadas a procesos industriales representan el 20% de las emisiones actuales.

También las futuras redes eléctricas alimentadas con energías renovables necesitarán servicios de apoyo, almacenaje y transporte que probablemente tendrán que recurrir a las ventajas que ofrecen los combustibles fósiles, como su alta densidad energética y su bajo coste de almacenaje y transporte.

Descarbonizar estos sectores industriales es crucial si se quieren alcanzar los objetivos del Acuerdo de París de 2015 (limitar el calentamiento global a menos de 1,5°C a finales del siglo XXI, para lo que se requieren cero emisiones de CO₂ o incluso extracción neta de carbono de la atmósfera hacia 2050), puesto que un modelo energético basado al 100% en energías renovables no parece

Las industrias del cemento y los metales producen emisiones denominadas "difícilmente evitables" porque necesitan emitir CO₂ para existir. / PIXABAY



El proyecto eCOCO₂ estudia producir combustibles sintéticos para aviones a partir de CO₂ mediante electricidad renovable y vapor

factible, según recuerda el consenso de los científicos.

Para paliar estas emisiones de la industria denominadas "difícilmente evitables", los investigadores trabajan en las tecnologías de captura y almacenamiento del carbono (carbon capture and storage) y captura y utilización del carbono (carbon capture and utilization). "Básicamente consiste en capturar el CO₂ de la fuente del gas de combustión en los procesos industriales, o bien de la atmósfera, para purificarlo", explica Abanades. "Y luego o bien se almacena permanentemente bajo tierra, para evitar su emisión a la atmósfera, o se reutiliza en diferentes procesos químicos, principalmente la producción de combustible", añade. Pueden desempeñar un papel importante a la hora de facilitar la transición a formas renovables de energía a la vez que fabrican productos útiles como combustibles o productos químicos.

El proyecto C4U, en el que trabaja el equipo de Abanades, combina estas dos tecnologías. "Se trata de transformar un gas combustible empleado en la producción de acero, con un alto contenido en monóxido de carbono y dióxido de carbono, en un gas rico en hidrógeno, libre de carbonato", detalla Abanades. De esta forma, el gas de efecto invernadero generado en la producción del acero se purifica y se puede reutilizar,

como hidrógeno, en el almacenamiento de energía o en la generación de combustible renovable.

Este tratamiento del CO₂ se hace de forma cíclica en tres etapas, según enumera Abanades. En una primera etapa se alimenta el gas objetivo (que contiene CO y CO₂), junto con vapor de agua, a un reactor que contiene sólidos con óxido de calcio y cobre. De ahí sale un gas rico en H₂ (dihidrógeno, o hidrógeno molecular) porque el CO₂ (el que había en el gas original y el formado al reaccionar el monóxido de carbono con el vapor de agua) ha sido capturado como carbonato de calcio sólido. En una segunda etapa se oxida el cobre a óxido de cobre con aire a alta presión para evitar la descomposición del carbonato de calcio.

En la última etapa de cada ciclo, se alimenta un gas combustible al lecho para descomponer carbonato de calcio en CO₂ puro y óxido de calcio con el calor que se desprende al reducir el óxido de cobre a cobre con el gas combustible. De esta última etapa solo sale idealmente CO₂ y vapor de agua, con lo que es fácil ya obtener una corriente pura de CO₂ para uso o almacenamiento permanente. El gas rico en H₂ puede tener muchos usos, sin emitir ya CO₂ en ellos. El proyecto C4U trabaja con el objetivo de aplicar esta tecnología en un clúster o agrupación de industrias del metal (acero) situado en el Puerto del Mar del Norte, en Amberes (Bélgica).

Las tecnologías de captura y utilización de carbono pueden desempeñar un papel importante a la hora de facilitar la transición a formas renovables de energía a la vez que fabrican productos útiles como combustibles o productos químicos.

Electricidad para producir combustible de aviones

El dióxido de carbono emitido por la industria puede reconvertirse, mediante las tecnologías de captura y utilización del carbono, en



Investigadores del IDAEA estudian inyectar el carbono en zonas geológicas profundas para su almacenamiento permanente. / PIXABAY

combustible para transportes muy contaminantes, como el aéreo. Este es el objetivo del gran proyecto europeo eCOCO₂, dotado con 4,4 millones de euros por el programa Horizonte 2020 y coordinado por investigadores del CSIC en el Instituto de Tecnología Química (CSIC-UPV). "Estas tecnologías que usan fuentes de energía de baja emisión de carbono mantienen baja la huella de carbono global. Las actuales, que usan electricidad renovable para producir combustibles, son relativamente caras e ineficientes", explica **José Manuel Serra**, investigador del CSIC que coordina el proyecto, que se enmarca en la hoja de ruta de la UE para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

"El proyecto eCOCO₂ desarrollará un proceso intensificado para producir directamente carburorreactores sintéticos a partir de CO₂ mediante electricidad renovable y vapor de agua", detalla. "Existe una gran cantidad de beneficios para la industria aeroespacial, la posición de liderazgo de la Unión Europea en el cambio climático y el medio ambiente".

La principal novedad del proyecto reside en el proceso de transformación del CO₂, que es altamente eficiente, compacto, flexible y de

bajo coste. Hoy, la transformación del CO₂ se lleva a cabo en diferentes etapas, y en cada una de ellas se pierde eficiencia, lo que incide también en el impacto medioambiental. eCOCO₂ permitirá reducir todas estas fases a solo una. "Las tecnologías integradas que vamos a emplear en el proyecto permitirán realizar in situ la electrólisis de agua y la producción de hidrocarburos en un proceso de un solo paso de eficiencia sin precedentes", apunta Serra.

La transformación se llevará a cabo en una celda electroquímica, que combinará membranas iónicas selectivas junto con catalizadores avanzados, incluyendo zeolitas, unas tecnologías que permitirán generar de manera selectiva las moléculas (de hidrocarburo) requeridas en el combustible de aviación. En concreto, utilizará membranas cerámicas, que permiten purificar el gas CO₂ de forma muy eficiente. En el proceso de separación del CO₂, las membranas ofrecen diversas ventajas: son compactas, simplifican las operaciones, consumen poca energía y tienen buenas propiedades térmicas y mecánicas.

"Con esta tecnología, la industria que emita CO₂ podrá compensar sus emisiones tanto medioam-

biental como económicamente. Cada empresa, si lo estima oportuno, podría transformarlo dándole un nuevo uso", añade Serra.

Almacenar CO₂ en el subsuelo

La captura de emisiones de CO₂ también se puede realizar con el objetivo de almacenarlas en el subsuelo. En esta área trabaja el equipo del investigador **Víctor Vilarrasa**, del Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA). "En este caso hay que capturar el CO₂ antes de que sea emitido a la atmósfera, para lo que existen diferentes técnicas, y posteriormente inyectarlo en formaciones geológicas profundas para su almacenamiento permanente", explica Vilarrasa. "Con esto, no estaríamos más que devolviendo el carbono a su lugar de origen, ya que el carbono que hemos emitido y seguimos emitiendo a la atmósfera proviene de la quema de combustibles fósiles, que hemos extraído y extraemos del subsuelo", añade.

Este proceso, sin embargo, conlleva la posibilidad de que se produzcan fugas, ya que tal y como se realiza en la actualidad, en rocas porosas y permeables situadas entre 1 y 3 km de profundidad, el

CO₂ es menos denso que el agua y, por tanto, flota. Para impedir que el CO₂ vuelva a la atmósfera, las formaciones almacén deben estar ubicadas debajo de una roca muy poco permeable, como las pizarras o los esquistos. Aun así, existe riesgo de fuga a través de pozos mal sellados o de fracturas y fallas permeables. Este es uno de los principales obstáculos que plantea la estrategia de almacenamiento de CO₂.

El equipo de Vilarrasa ha realizado un estudio, publicado en *Geophysical Research Letters*, en el que presenta un método innovador de almacenamiento de CO₂. Demuestra mediante simulaciones computacionales que el CO₂ podría ser almacenado de forma segura, reduciendo significativamente el riesgo de fugas, si se inyecta en pozos donde el agua se encuentra en estado supercrítico, lo que ocurre a temperaturas superiores a 374 °C y 218 atmósferas, respectivamente. "En este estado, la densidad del CO₂ es mayor que la del agua, y, por lo tanto, se hunde", señala Vilarrasa.

Estas condiciones se encuentran a unos 3-5 km de profundidad en zonas volcánicas, y por debajo de los 13 km en el resto del planeta. Perforar a 13 km no es técnicamente posible, por lo que las zonas volcánicas se presentan como una opción más factible. "Descubrimos que cada pozo podría almacenar las emisiones equivalentes a las emitidas entre 75.000 y 1,1 millones de personas", indica el investigador.

Países como España (en las Islas Canarias), Italia o Turquía, cuyos territorios tienen zonas volcánicas, presentan un gran potencial para desarrollar esta tecnología. En Islandia en 2016 encontraron estas condiciones en zonas volcánicas a unos 4,5 km de profundidad, por lo que la pro-

puesta parece viable. "No obstante, quedan muchos interrogantes por resolver, como el desarrollo de técnicas para detectar las zonas con condiciones supercríticas, la evaluación de riesgos inherentes a zonas volcánicas, la mejora de las técnicas de perforación y la adaptación de los aparatos de medida a tan alta temperatura", puntualiza.

Este trabajo forma parte del proyecto GEOREST, financiado por el Consejo Europeo de Investigación (ERC, por sus siglas en inglés) en el programa H2020 de la UE, y cuyo objetivo es desarrollar una metodología para predecir y mitigar los terremotos inducidos por la inyección de fluidos en el subsuelo para el desarrollo de geoenergías que contribuyan a mitigar el cambio climático,

como el almacenamiento geológico de carbono, la energía geotérmica y el almacenamiento subterráneo de hidrógeno. En el marco de este proyecto, el equipo de Vilarrasa ha mostrado que el almacenamiento geológico de carbono tiene

un potencial de inducir terremotos bajo, ya que el CO₂, al ser un gas, tiene una viscosidad muy baja, lo que le permite fluir con mucha facilidad, evitando que se generen grandes sobrepresiones que podrían desestabilizar fallas. Además, la inyección de CO₂ se realiza en rocas sedimentarias, que son relativamente blandas y deformables, por lo que, si rompen, no lo hacen de forma brusca liberando gran cantidad de energía, que es lo que daría lugar a un terremoto.

"La investigación científica en geoenergías pretende minimizar esos riesgos para poder contar con el subsuelo en la descarbonización. Los recursos geológicos, como origen del problema, deben formar parte también de la solución", concluye Vilarrasa. ●

20%
de las emisiones
actuales de CO₂
proviene de la industria,
especialmente de
sectores 'adictos al
carbono'

“Si queremos una química verde, necesitamos una **catálisis verde**”



Investigadores del CSIC estudian nuevos materiales y procesos para mejorar las prestaciones de los catalizadores, aceleradores químicos que mejoran la eficiencia en la obtención de múltiples productos, desde plásticos a fármacos, además de energía

Por **Mónica Lara del Vigo**

Está presente en nuestras actividades del día a día, permite fabricar gran parte de los productos que consumimos y supone más del 20% del PIB mundial. Sin embargo, la catálisis es bastante desconocida por gran parte de la sociedad. Este concepto alude a cualquier proceso que sirva para facilitar o precipitar reacciones. Utilizada intensamente por la industria, gracias a ella podemos obtener más cantidad de producto, en menos tiempo y generando menos residuos. Esto, en un contexto de crisis energética, altos precios de algunas fuentes de energía, posible agotamiento de los combustibles fósiles y lucha contra el cambio climático cobra una relevancia clave.

“Casi todo es catálisis. Cuando queremos producir un compuesto mezclamos varios reactivos en determinadas condiciones y reaccionan; sin catalizador, hay reacciones que no se producirían nunca o serían lentísimas. Así, el catalizador hace que aumente la velocidad de reacción, favorece la selectividad hacia el producto deseado o permite que la reacción ocurra a menores temperaturas”, explica **María Jesús Lázaro**, delegada institucional del CSIC en Aragón e investigadora del Instituto de Carboquímica (ICB).

Su colega **Antonio Chica**, del Instituto de Tecnología Química (ITQ, UPV-CSIC), pone varios ejemplos para demostrar hasta qué punto este proceso forma parte de nuestro día a día: “Muchos de los fármacos que consumimos se producen utilizando catalizadores. También los necesitamos en la gestión del agua, donde se usan para eliminar contaminantes

como medicamentos que excretamos en nuestra orina, y que pasan a formar parte de las aguas fecales que se tratan en las depuradoras. La eliminación de estos compuestos resulta muy complicada con los tratamientos tradicionales de una depuradora. Cuando usamos fotocatalizadores -un tipo de catalizador que se activa con la luz- y ozono, estos, al entrar en contacto con fármacos de uso frecuente como el ibuprofeno, permiten descomponerlos y eliminarlos del agua. De esta manera se consigue obtener un agua limpia, lista para verter a ríos o bien reciclar y utilizar a nivel industrial, o incluso usar como agua potable”.

Los catalizadores también son esenciales para mejorar la calidad del aire. “En la industria, cuando se generan compuestos de azufre o de nitrógeno durante la combustión, antes de ser emitidos a la atmósfera se pueden tratar catalíticamente para su eliminación o transformación en otros compuestos inocuos”, afirma. Si hablamos de energía, aparecen de nuevo: “Hay catalizadores que se utilizan para generar biocombustibles a partir de residuos derivados de la biomasa”. La lista continúa: “La producción de perfumes, jabones y conservantes necesarios en algunos alimentos, la denominada *química fina*, también hace uso de la catálisis. Sin ella es imposible obtener los productos que después compramos en tiendas y supermercados”, remata Chica.

Esta ubicuidad da una idea de la trascendencia de la catálisis. Al introducir en Google las palabras “*catalysis research european commission*”, el buscador ofrece 660.000 resultados. Concretamente el European Cluster of Catalysis considera que los pro-

“

Un catalizador tiene tres características: debe ser muy activo con el menor gasto, muy selectivo hacia los productos deseados para evitar residuos y muy duradero”

Antonio Chica (ITQ)

cesos catalíticos son cruciales para lograr los objetivos marcados para 2050 en eficiencia energética. Como señala **José Carlos Conesa** Cegarra, investigador *ad honorem* del Instituto de Catálisis y Petroquímica (ICP-CSIC) y uno de los autores del libro blanco del CSIC *Energía limpia, segura y eficiente*, “la catálisis es un factor clave en la industria, que va mucho más allá de los procesos de refinado de combustibles: transforma materias primas en productos intermedios y de uso final por los consumidores, y es muy importante para la protección ambiental”.

¿Cuál es exactamente el papel de esta rama de la química en la búsqueda de una mayor sostenibilidad? La catálisis permite la reducción de residuos y el ahorro energético. “Al aumentar la eficiencia de los procesos de transformación, la demanda de energía puede bajar y además posibilita que otras materias primas que antes no eran usadas ahora lo sean”. Chica se refiere a la reutilización de determinados subproductos, algo que interesa cada vez más a la industria y a los gobiernos, que apuestan por reutilizar materiales en sus estrategias de economía circular. Un círculo perfecto para romper con el modelo clásico de economía lineal basado en fabricar-consumir-tirar.

Ya en 2015 **Avelino Corma**, también investigador del ITQ y uno de los mayores expertos en catálisis, hablaba de los objetivos de la química sostenible: “Máximo aprovechamiento de la o las materias primas de partida, utilización mínima de cantidad de energía, minimización de los residuos que se generan en las reacciones y

procesos y, si los hay, reciclarlos en compuestos útiles o bien descomponerlos en moléculas no contaminantes”. Precisamente todo eso puede lograrse con catalizadores. En realidad, “si queremos una química verde, necesitamos una catálisis verde; solo a través del uso de catalizadores conseguiremos los objetivos mencionados”, concluye Chica.

Para ello se necesita avanzar en varias vertientes, como el propio diseño de los catalizadores y su modo de funcionamiento. “La mayor parte de los productos que he enumerado antes han venido fabricándose en varias etapas, una primera en la que formas una molécula que no es la final y otras sucesivas en las que esa molécula se transforma hasta llegar al producto deseado. Cada etapa genera sus correspondientes residuos y consume energía, por eso la investigación se está centrando en desarrollar catalizadores multicentro que puedan realizar todo en una sola etapa, haciendo así el proceso más sostenible”, argumenta Chica.

Nuevos materiales

Otro aspecto a considerar son los materiales que incorpora el propio catalizador. Ahí se sitúa el trabajo que realiza **María Jesús Lázaro**. Su equipo participa en el proyecto europeo Bike, financiado con 3,72 millones de euros y que pretende formar a jóvenes científicos en el desarrollo de catalizadores bimetálicos con fines energéticos. Concretamente, en su grupo el fin es la producción de hidrógeno. “Nuestra aplicación utiliza la tecnología de electrólisis de baja temperatura

de membrana polimérica aniónica: un catalizador que favorece la descomposición del agua en hidrógeno y oxígeno y prescinde de metales críticos. Queremos evitar el uso de iridio, rutenio y platino, que son materiales escasos y muy caros. En su lugar ponemos metales más baratos y accesibles, como níquel, cobalto o hierro”, explica la investigadora. Para que estas tecnologías sean rentables, “debemos desarrollar un catalizador que sea eficiente, duradero y también económico”, añade.

Además, como señala Chica, los propios catalizadores tienen una vida útil. “Por eso hay una línea de investigación que se centra en diseñarlos para que puedan ser reciclados y reutilizados”. En líneas generales, un catalizador tiene tres características fundamentales; la actividad: debe ser lo más activo posible con el menor gasto energético; la selectividad: debe ser lo más selectivo posible hacia los productos deseados para evitar la generación de residuos; y la durabilidad o estabilidad: debe tener la máxima durabilidad para no tener que reponerlo continuamente. Son tres rasgos que de nuevo se relacionan con lo que busca la química verde.

Ahorro de energía

La reducción de residuos y el ahorro de energía también han sido el objetivo de un proyecto de Chica y Avelino Corma en colaboración con Johnson Matthey, una multinacional inglesa dedicada a fabricar catalizadores. “Conseguimos eliminar prácticamente todo el azufre del gas natural mediante unos catalizadores que, al tiempo que reaccionan con los compuestos de azufre, extraen el átomo de azufre y lo retienen, dejando un gas completamente limpio”, cuenta Chica. Hoy esta empresa tiene más de 20 plantas industriales trabajando en la eliminación de estos contaminantes y produce más de 200 toneladas de catalizador al año.



El investigador José Carlos Conesa, experto en catálisis del ICP. / CÉSAR HERNÁNDEZ

“Antes se necesitaban dos procesos catalíticos que se realizaban en dos reactores diferentes, uno en el que descomponían las moléculas que contienen azufre, y otro en el que dicho azufre es atrapado. Nuestro catalizador, que está asociado a varias patentes, les permitió hacer lo mismo en un solo reactor”, prosigue. Esto es un ejemplo de catálisis aplicada a la generación de energía, en este caso gas natural, que en su opinión seguirá siendo una de las fuentes de energía más importantes, “a pesar de que vayamos introduciendo el hidrógeno y otros biocombustibles”.

La catálisis está en el corazón de miles de procesos industriales y, en medio de la transición ecológica, su protagonismo crece. Igual que la Unión Europea, el libro blanco del CSIC *Energía limpia, segura y eficiente* la incluye como uno de los nueve desafíos asociados a la consecución de un modelo energético sostenible. Actualmente

esta institución lidera o participa en decenas de proyectos de investigación centrados en optimizar procesos catalíticos para reducir la generación de residuos, facilitar su reconversión en productos de alto valor añadido, ahorrar energía o bien obtener energías limpias como el hidrógeno verde.

“En el CSIC hay muchos institutos que se dedican a la catálisis. El ITQ y el ICP son los más destacados; este último tiene todo un departamento dedicado a la Biocatálisis [catálisis con enzimas], que aglutina al 25% de su plantilla. Pero también trabajan en este ámbito el Instituto de Síntesis Química y Catálisis Homogénea, el Instituto de Investigaciones Químicas, el Instituto de Carboquímica, el Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla o el Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono, entre otros”, apunta **José Carlos Conesa**.

Dentro del complejo escenario energético global, el hidrógeno verde emerge como posible solución

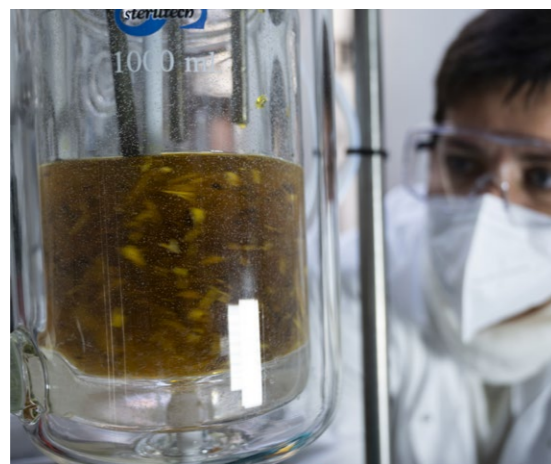
para descarbonizar la economía, esto es, reducir las emisiones de carbono -sobre todo CO₂- prescindiendo del uso de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural). Para ello, además de aumentar el consumo de las energías renovables tradicionales (solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica, etc.), el gran reto a largo plazo es poder almacenar la energía producida; una de las vías es la generación de hidrógeno verde a gran escala mediante electrólisis de baja temperatura.

“Actualmente, la mayor parte del hidrógeno se obtiene a partir de gas natural, pero existen varios inconvenientes. Principalmente, la contaminación que se produce durante el proceso si no se capturan las emisiones de CO₂, y el elevado precio del gas. Por otro lado, aunque se está haciendo una gran inversión en energías renovables, su producción es intermitente; si hay excedente de esta energía, se vierte a la red. Si no se produce, hay

que consumir electricidad de la red. El hidrógeno se ve como una oportunidad para el almacenamiento energético de las energías renovables porque se puede transportar o 'guardar' para luego ser usado en pilas de combustible que, por ejemplo, llevarían los coches de hidrógeno", explica Lázaro.

Esta investigadora trabaja en el proyecto Storelec, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y que persigue el almacenamiento de energía a partir de hidrógeno a través de pilas regenerativas. "Prendemos que estas pilas puedan funcionar de dos maneras: cuando se necesite hidrógeno, para producirlo y almacenarlo [en modo electrólisis]; y cuando se necesite electricidad, produciéndola con ese hidrógeno generado. El catalizador es clave porque tiene que funcionar en ambos sentidos", sostiene. Este tipo de pilas aún no se comercializa, pero si llegaran al mercado abrirían un abanico de posibilidades al suministro energético en lugares especialmente aislados. "Durante el día produciríamos hidrógeno a partir de energía renovable, y por la noche lo podríamos usar para producir electricidad. De este modo lugares remotos, donde incluso no hay conexión eléctrica, podrían ser autosuficientes y producir su propia electricidad. Por ejemplo, campamentos de refugiados u hospitales de campaña".

Chica menciona otra investigación reciente relacionada con el hidrógeno y el ahorro energético. Un proyecto Life de la Unión Europea, Ecoelectricity, en el que han desarrollado catalizadores, ya patentados, que permiten generar energía a partir de residuos de alcohol. "Transformamos residuos de muy poco valor, que se producen en destilerías o en la industria vitivinícola, en hidrógeno. Después, este se utiliza en una pila de combustible y se genera electricidad que la empresa puede



Laboratorio de catálisis del ICP. / c.h.



Un proyecto propone usar metales baratos como níquel, cobalto o hierro para obtener catalizadores aplicados a la obtención de hidrógeno verde

utilizar; además, esa pila produce calor que es posible revertir al proceso de reformado de los alcoholes, con lo que disminuyen los aportes externos de energía. Por un lado, utilizas un residuo de poco valor. Por otro, generas electricidad de origen renovable; y, en tercer lugar, obtienes un calor dentro del proceso que estás reutilizando para evitar el consumo de otro combustible con el que calentar el sistema de reacción". Este piloto ya está construido e instalado en Destilerías San Valero en Cariñena (Zaragoza).

Junto a todos estos avances, hay varios retos inmediatos asociados a la catálisis. Por un lado, "hacer catalizadores mucho más activos, con varios centros de diferente naturaleza para que puedan llevar a cabo distintos tipos de reacciones, y que además sean reutilizables", apunta Chica. Por otro, los catalizadores que sean capaces de utilizar la energía del

sol para llevar a cabo su función serían "el no va a más". Sin embargo, de momento, esto es hablar de futuro. En su opinión, "estamos todavía en pañales, en el inicio del uso de la fotocatalisis, pero podría ayudarnos a mejorar desde el punto de vista energético muchísimos procesos". Y no es que España vaya a la zaga, "de hecho diría que somos *trending topic* en investigación en catálisis", sino que, a nivel internacional, esta tecnología todavía no está madura. Estos desafíos no se enmarcan en energía, medio ambiente o salud; son propios de la catálisis y harían que estas aplicaciones (con independencia de su ámbito de uso) fueran mucho más sostenibles.

Mientras se desarrolla y aplica la investigación, ¿estamos en una situación crítica? Para Lázaro la crisis energética es un tema en el que intervienen variables e intereses que van más allá de la ciencia. "Los combustibles fósiles se están agotando y Europa no tiene suficiente energía para toda la que consume su población. Vivimos en un mundo que demanda este recurso constantemente. En algunos lugares esta insuficiencia ya está ocasionando problemas serios. No sabemos qué va a pasar". En China, por ejemplo, los apagones de luz han afectado a hogares y empresas en varias provincias. Debido a la falta de electricidad, las compañías se han visto obligadas a dejar de producir a determinadas horas o limitar la producción a algunos días de la semana. En Europa, recientemente se ha abierto un debate sobre la posibilidad de que un gran apagón afecte al continente.

Probablemente no exista una sola solución sino muchas que, quizá, converjan en el binomio que propone Avelino Corma: reducir el consumo de energía y aprovechar los avances tecnológicos que nos brinde la ciencia en los próximos años. ●

Probablemente no exista una sola solución sino muchas que, quizá, converjan en el binomio que propone Avelino Corma: reducir el consumo de energía y aprovechar los avances tecnológicos que nos brinde la ciencia en los próximos años. ●



Cultura Científica y Ciencia Ciudadana



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Campus X+ CSIC celebrado en la sede central de la institución, en Madrid

AUTOR: EDUARDO ACTIS

AVELINO CORMA QUÍMICO

“Nuestros catalizadores convierten **residuos de biomasa en biocombustibles**”



El químico Avelino Corma, autor de más de 200 patentes, desarrolla dispositivos que aceleran y dirigen las reacciones químicas para obtener biocombustibles, fibras y polímeros mejorados de forma sostenible

Por **Mónica Lara del Vigo**

Avelino Corma lleva 30 años investigando en catálisis aplicada a diversos ámbitos, pero con un objetivo común: “El proceso catalítico acelera una reacción y, como resultado, obtenemos más producto -el que sea en cada caso-, en menos tiempo y generando menos residuos”. Esta es la función de los catalizadores sostenibles que desarrolla en el Instituto de Tecnología Química (ITQ, UPV-CSIC) que él mismo fundó en 1990. El adjetivo ‘sostenibles’ es crucial en un momento en el que la ciencia busca soluciones para lograr una economía baja en carbono y mitigar el cambio climático. En este punto, la catálisis tiene mucho que decir: procesos industriales más sostenibles, reutilización de residuos o generación de energía limpia como el hidrógeno verde son algunas de las líneas de investigación de esta disciplina.

Galardonado con numerosos premios nacionales e internacionales, Corma es autor de más de 900 artículos en revistas de investigación y más de 200 patentes, muchas de las cuales ya se utilizan en procesos industriales. Este científico sostiene que es una obligación reducir el consumo de energía, pero también es optimista respecto al reto de transitar hacia un modelo energético más sostenible: “La humanidad ha creado problemas y es en la ciencia y la tecnología donde hemos encontrado las respuestas y las soluciones”.

Pregunta: A diario consumimos innumerables productos que se han fabricado mediante catálisis. Sin embargo, este concepto aún es bastante desconocido para el público general. ¿Cómo podemos definirlo?

Respuesta: Con frecuencia escuchamos expresiones como ‘así podemos catalizar las relaciones entre las personas’. En este caso, catalizar significa facilitar; si ha-

“**Muchos procesos químicos utilizan catalizadores para producir el máximo número de kilogramos o toneladas por unidad de reactor**”

blamos de reacciones químicas, catalizar quiere decir aumentar la velocidad de la reacción. Sin catálisis, muchas reacciones tardarían en realizarse horas, días y hasta meses. Cuando utilizamos un catalizador, este tiempo se puede reducir y obtener así el producto deseado en minutos, a veces incluso en segundos. Muchos de los procesos que se llevan a cabo en química utilizan catalizadores para hacer la reacción lo más rápido posible o, dicho de otra forma, producir el máximo número de kilogramos o toneladas por unidad de reactor. Para explicar la catálisis, el modelo de los enzimas -nuestros catalizadores biológicos- es fantástico: no solo aumentan la velocidad de la reacción que se produce en nuestro organismo, sino que la dirigen a los productos que se quieren obtener. De lo contrario, si los enzimas no fueran selectivos, generaríamos en nuestro cuerpo muchísimos subproductos que al final nos envenenarían. Esto es exactamente lo que buscamos en los procesos químicos: llevarlos a cabo de manera rápida, eficaz y eficiente, dirigiéndolos al producto deseado y evitando la formación de subproductos.

P: ¿Hasta qué punto la catálisis está en todas partes? ¿Puede poner algunos ejemplos?

R: Hay muchísimos. En la fabricación de polímeros y fibras sintéticas [todos los materiales plásticos industriales] se utilizan cataliza-

dores; también en la fabricación de la mayoría de los productos farmacéuticos; y otro tanto sucede con gran parte de los procesos de refinación y petroquímica [rama de la química centrada en la transformación del petróleo crudo y el gas natural para obtener productos o materias primas útiles]. Además, la catálisis está en todo tipo de jabones y perfumes. Igualmente, usamos catalizadores en las conversiones que estamos haciendo de biomasa [materia orgánica presente en determinados residuos que puede utilizarse como fuente de energía] en productos químicos, y en la obtención de hidrógeno a partir del agua. También los necesitamos para reducir el CO₂ emitido a la atmósfera en la fabricación de combustibles o productos químicos.

P: Su investigación se ha centrado en el diseño y desarrollo de catalizadores heterogéneos y sostenibles para diferentes aplicaciones. ¿Qué significan esos dos adjetivos?

R: Pretendemos conseguir un diseño molecular y síntesis de los catalizadores para realizarlos a demanda, es decir, según la reacción que queramos catalizar, encontrar el catalizador que sería más adecuado para ella, por su elevada actividad y selectividad al producto deseado. Nuestros catalizadores son heterogéneos porque están en distinta fase que los reactivos empleados. Concretamente preparamos catalizadores sólidos para llevar a cabo reacciones con reactivos que están fase gas o en fase líquida o líquido-gaseosa. La ventaja que tienen es que pueden trabajar de forma constante: se alimentan de manera continua los reactivos a la entrada del reactor y se extraen de manera continua los productos obtenidos. Cuando decimos que son catalizadores sostenibles nos referimos a que no solamente buscamos que los métodos para prepararlos sean lo más sostenibles posible, sino que además con estos catalizadores

“ Los catalizadores se utilizan para fabricar polímeros y fibras sintéticas, en productos farmacéuticos, en petroquímica, para convertir biomasa en productos químicos, y en la obtención de hidrógeno a partir del agua”

vamos a llevar a cabo una química cada vez más sostenible.

P: Algunos de estos catalizadores que ha desarrollado ya se utilizan en la industria. ¿Puede poner algún ejemplo?

R: Sí. Por ejemplo, para la fabricación de biodiésel [biocombustible sintético líquido que se obtiene a partir de aceites vegetales o grasas animales]. Alimentamos los ésteres de los ácidos grasos y en el catalizador eliminamos el oxígeno de la molécula; así obtenemos un hidrocarburo proveniente de la biomasa y que puede ser utilizado directamente como combustible.

P: Decía que con sus catalizadores se logra una química más sostenible. ¿Por qué? ¿Cómo se relaciona su investigación en catálisis con la transición energética y la búsqueda de procesos industriales más eficientes desde un punto de vista energético?

R: Diseñamos catalizadores multifuncionales, es decir, con distintos centros activos para llevar a cabo reacciones en cascada. Esto supone que reacciones catalíticas para obtener productos que usamos a diario, y que ahora se llevan a cabo en 2, 3 o 4 etapas, pueden realizarse en una sola: el reactivo A se transforma en el B, que a su vez se transforma en el C, que a su vez se transforma en el producto final D. Todo esto ocurre en un reactor con un solo catalizador. Así se logra un ahorro de energía muy importante. En un proceso normal en tres etapas, después de

cada etapa habría que hacer separación de productos, purificación, alimentación al segundo reactor, llevar a cabo la reacción, de nuevo separación y purificación, llevar el producto a un tercer reactor, etc. Pensemos en la cantidad de energía que se necesita para esto. Si se hace en una sola etapa, entra el producto A y sale el producto D.

En aplicaciones de la catálisis en procesos de energía sostenible, me he centrado en el desarrollo de catalizadores que permitan convertir residuos derivados de la biomasa (residuos forestales, agrícolas, orgánicos, urbanos) en biocombustibles de aviación, así como la obtención de moléculas que se utilizan en la fabricación de fibras y polímeros, surfactantes, etc.

P: Esto permite el reaprovechamiento o reutilización de determinados residuos y enlaza con la noción de economía circular.

R: Sí, enlaza con la economía circular por la utilización de residuos y la disminución de las emisiones de CO₂ por combustión de hidrocarburos fósiles.

P: ¿Pueden los avances en catálisis aportar soluciones a la crisis energética y contribuir a la transición hacia otro modelo más sostenible, por ejemplo, basado en el uso de hidrógeno?

R: Sí. De hecho, actualmente, para obtener hidrógeno mediante electrólisis del agua se emplean catalizadores. Esta tecnología se utiliza para la producción de hidrógeno verde.

P: El despliegue de esa tecnología responde al objetivo de descarbonizar la economía y que el hidrógeno nos suministre la energía limpia que necesitamos. Pero, de momento, la producción del denominado hidrógeno verde, aquel que se obtiene de energías renovables y sin generar emisiones contaminantes, no está muy extendida.

R: Esta tecnología no está muy desarrollada en el sentido de que aún no está muy explotada comercialmente, porque no compite en precio con la que produce hidrógeno derivado del gas natural. Pero ahora que se quiere obtener hidrógeno verde, el sistema que va a funcionar es precisamente ese: el uso de electrolizadores, que ya existen, para lograr, mediante un proceso catalítico -la electrólisis-, la disociación del agua en hidrógeno y oxígeno.

P: En los próximos años, ¿podría darse una evolución similar a la

que hemos visto en otras energías renovables, en el sentido de que poco a poco se vayan abaratando los costes de esta tecnología y pueda obtenerse hidrógeno verde a gran escala?

R: Claro que sí. Al final el problema es tener energía renovable accesible y barata. Si tenemos la energía, con ella generamos electricidad y disociamos el agua para producir hidrógeno. En estos momentos se está llevando a cabo un esfuerzo de investigación en la obtención de células fotovoltaicas más eficientes.

P: La catálisis puede aportar soluciones para realizar la transición energética, pero ¿serán suficientes? ¿O la ciencia y la investigación se quedan cortas y es necesario un cambio de modelo más profundo, que pase por menos consumo y menos crecimiento?

R: Muchos de los recursos son limitados. ¿Qué sucede con el agua? Que cada vez consumimos más y

más. Está claro que la solución no es solamente la que se persigue en estos momentos: buscar más yacimientos y explorar más reservas que no habíamos considerado. Esto tiene un límite. Tenemos que disminuir el consumo. Y lo mismo sucede con la energía. Si queremos ir hacia un mundo más sostenible, lo primero que tenemos que hacer es ahorrar energía. Probablemente podríamos tener el mismo nivel de vida consumiendo un 15% menos de energía. Eso está ya a nuestro alcance, depende de nosotros, no de la ciencia y la tecnología. Para el resto, sí creo en la ciencia. La humanidad ha creado problemas y es en la ciencia y la tecnología donde hemos encontrado las respuestas y las soluciones.

P: ¿Cuáles serían los grandes retos de futuro en la investigación en catálisis?

R: Tenemos varios desafíos. Uno de ellos es activar moléculas que son más difíciles de activar, por ejemplo, activar y transformar el CO₂ de manera eficaz y eficiente. Eso ya se hace, pero ni mucho menos está en su óptimo, es necesario investigar más porque ahí hay potencial. Otro ejemplo es el nitrógeno. Hoy la energía que se gasta para la fabricación de amoníaco es tremenda. Si tuviéramos métodos catalíticos para activar ese nitrógeno de manera más sencilla, hacerlo reaccionar con el hidrógeno y obtener amoníaco con menos consumo de energía, sería un avance. El segundo reto, que es permanente, es disminuir la producción de residuos con catalizadores más selectivos. Y el tercero sería mejorar la intensificación de procesos mediante la catálisis.

P: ¿Podemos afirmar que para lograr una química verde o sostenible necesitamos sí o sí una catálisis sostenible?

R: Sí, por eso hablábamos antes de catalizadores sostenibles. Por ejemplo, hay muchas reacciones

que se pueden llevar a cabo utilizando ácido sulfúrico o ácido clorhídrico, pero para preparar estos ácidos se necesita una gran cantidad de energía. Para el segundo, tienes que utilizar cloro, y para el sulfúrico, tienes que usar dióxido de azufre y además no es fácilmente manejable, mientras que si tenemos un catalizador sólido-ácido, que no es agresivo y es capaz de hacer la misma catálisis que esos ácidos, el proceso será más sostenible.

P: ¿En qué proyectos relacionados con catálisis y energía trabaja actualmente?

R: Estamos trabajando en el proyecto europeo EBIO, que pretende, a partir de residuos de biomasa y a través de la combinación de un proceso electroquímico -en la electroquímica hay catálisis- y un proceso catalítico clásico (con catalizadores sólidos), obtener moléculas para la industria química y biocombustibles. El objetivo es producir combustibles sostenibles con alto contenido energético a partir de biomasa procedentes de las industrias agroalimentaria y papelera. También tenemos un proyecto nacional, HIDROSAF, que va dirigido a obtener combustible de aviación a partir de residuos forestales y urbanos. Además, estamos trabajando en varios proyectos relacionados con la conversión de residuos de biomasa y residuos plásticos para producir biocombustibles y moléculas para la industria química en general, y en otro proyecto más para atrapar CO₂ procedente de emisiones y transformarlo en hidrocarburos, en el que colaboramos con varias compañías.

P: ¿Estamos a la vanguardia en investigación en catálisis? ¿Qué posición ocupa el CSIC?

R: Yo diría que sí, España está muy bien situada internacionalmente en el campo de la catálisis. Y, desde luego, los centros del CSIC que trabajan en catálisis ocupan un lugar prominente. ●



Dispositivo catalítico en el ICP. / c. H.

Por **Alejandro Parrilla y Abel Grau**

Julio Verne escribió en *La isla misteriosa* (1874): "Creo que un día se empleará el agua como combustible, que el hidrógeno y el oxígeno que la constituyen, utilizados aislada o simultáneamente, proporcionarán una fuente de calor y de luz inagotable". El fascinante pronóstico de Verne en el siglo XIX sobre el futuro del hidrógeno es una realidad en el siglo XXI.

El hidrógeno, el elemento más abundante del universo, es clave para potenciar la transición hacia un modelo energético impulsado por fuentes de energía renovables. Ofrece una gran ventaja: permite almacenar energía limpia, con gran densidad energética, para usarla de forma controlada. Y puede ser fundamental para descarbonizar el sector energético, parte del sector industrial y el transporte, tres de los mayores emisores de gases de efecto invernadero.

Pero el hidrógeno se enfrenta a retos importantes: producirlo de forma limpia y barata, almacenarlo de forma segura y eficiente, lograr una red segura para transportarlo y distribuirlo y desarrollar dispositivos eficientes que convierten la energía química del hidrógeno en electricidad como las pilas de combustible.

Las energías renovables, como la solar, la eólica y la hidráulica, son la base para conseguir un nuevo modelo energético con menos emisiones contaminantes. "Pero tienen un inconveniente importante: son intermitentes y fluctúan, por lo que es imprescindible acumularlas durante los excedentes de producción para poder usarlas de forma controlada", indica la investigadora **María Retuerto**, del Instituto de Catálisis y Petroleoquímica del CSIC. El hidrógeno ofrece una solución.

El hidrógeno no es una fuente de energía, sino un vector energético, es decir, es un medio que permite almacenar energía que ha sido producida por fuentes prima-



El hidrógeno se obtiene de la separación de las moléculas de oxígeno e hidrógeno del agua. /AXEL ROUVIN

unos 900 millones de toneladas de CO₂ en emisiones en todo el mundo, según datos de la Agencia Internacional de la Energía. La tecnología para producir hidrógeno verde y para utilizarlo en pilas de combustible es muy incipiente y se necesita más investigación para alcanzar todo su potencial, tal como constata el Libro Blanco del CSIC sobre Energía limpia, segura y eficiente.

En el CSIC, varios equipos estudian nuevos procesos para obtener hidrógeno verde más eficiente y asequible, para convertirlo en energía mediante pilas de combustible, y para que genere productos químicos verdes. "El hidrógeno verde es la mejor manera de almacenar la energía de fuentes renovables", según Retuerto. "Y se puede aplicar en muchos sectores", precisa. Se puede usar para volver a producir electricidad mediante una pila de combustible (similar a una batería); se puede introducir en la red de gas natural para reducir la emisión de gases de efecto invernadero; se puede utilizar en la industria para obtener productos químicos verdes, como amoníaco y fertilizantes, y biocombustibles; y se puede usar como combustible en la producción industrial.

Electrolizadores y pilas de combustible

La electrólisis es el proceso idóneo para obtener grandes cantidades de hidrógeno verde de forma eficiente. Los electrolizadores son dispositivos que utilizan electricidad para separar las moléculas de hidrógeno y oxígeno del agua, y para conseguir así hidrógeno sin emisiones contaminantes. Existen diferentes tecnologías electrolíticas, cada una con sus ventajas e inconvenientes. Principalmente, se dividen en cuatro tipos más o menos desarrollados a nivel industrial: electrólisis alcalina convencional, electrólisis de membrana polimérica protónica,

El hidrógeno verde, un acumulador energético para catapultar las renovables

Equipos del CSIC exploran nuevos métodos para mejorar la producción de hidrógeno obtenido de energías renovables que contribuya a paliar las emisiones de los sectores de la energía y el transporte

rias de energía y liberarla cuando y donde se demande. Puede obtenerse a partir de cualquier tipo de energía primaria y si esta energía es renovable, entonces el hidrógeno producido será igualmente renovable. Básicamente, ese elemento se consigue mediante electricidad y agua. "El hidrógeno verde se produce principalmente mediante electrólisis: se usa la energía eléctrica para disociar o separar la molécula de agua en oxígeno e hidrógeno", detalla Retuerto. "Y la energía eléctrica se queda acumulada como energía química en la molécula de hidrógeno, que se puede almacenar y usar de forma controlada".

Por tanto, la clave de su sostenibilidad radica en el modo en que se haya producido el hidrógeno. Si se produce a partir de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural), genera emisiones contaminantes (parte del CO₂ producido se puede capturar y almacenar para reducir su impacto); pero si se genera a partir de fuentes renovables (solar, eólica, hidráulica), da lugar al denominado hidrógeno verde, es decir, limpio.

El problema es que la mayoría del hidrógeno que se obtiene actualmente procede de combustibles fósiles porque hasta ahora es la forma más eficiente y económica de generarlo. Esto supone



Un equipo ITQ proyecta diseñar una planta piloto que utilice el hidrógeno en operaciones industriales para transformar materias primas y obtener productos de mayor valor añadido

electrólisis de membrana polimérica de intercambio aniónico y electrólisis de estado sólido.

El equipo de **María Retuerto** y **Sergio Rojas** estudia la electrólisis de membrana polimérica protónica, que es la más idónea para acumular las fluctuaciones de energía renovable. Sin embargo, esta tecnología conlleva la utilización de materiales críticos, lo que encarece el proceso. El grupo estudia la sustitución de dichos materiales por otros más abundantes y baratos, sin comprometer la eficiencia del sistema, lo que es fundamental para la implementación global de esta tecnología.

La electrólisis de baja temperatura es el proceso que utilizan los investigadores del Instituto de Carboquímica (ICB) del CSIC para obtener hidrógeno verde de forma eficiente. Desarrollan nuevos materiales para los electrolizadores, dispositivos que utilizan electricidad para separar las moléculas de hidrógeno y oxígeno del agua, y para conseguir así hidrógeno sin emisiones contaminantes. "Desarrollamos un electrolizador de agua de baja temperatura con membrana polimérica de intercambio aniónico (AEM) para la producción de hidrógeno incorporando nuevos electrodos basados en metales más baratos y que están más disponibles en la naturaleza que metales que se usan en catalizadores comerciales", explica **María Jesús Lázaro**, investigadora del ICB y responsable del proyecto.

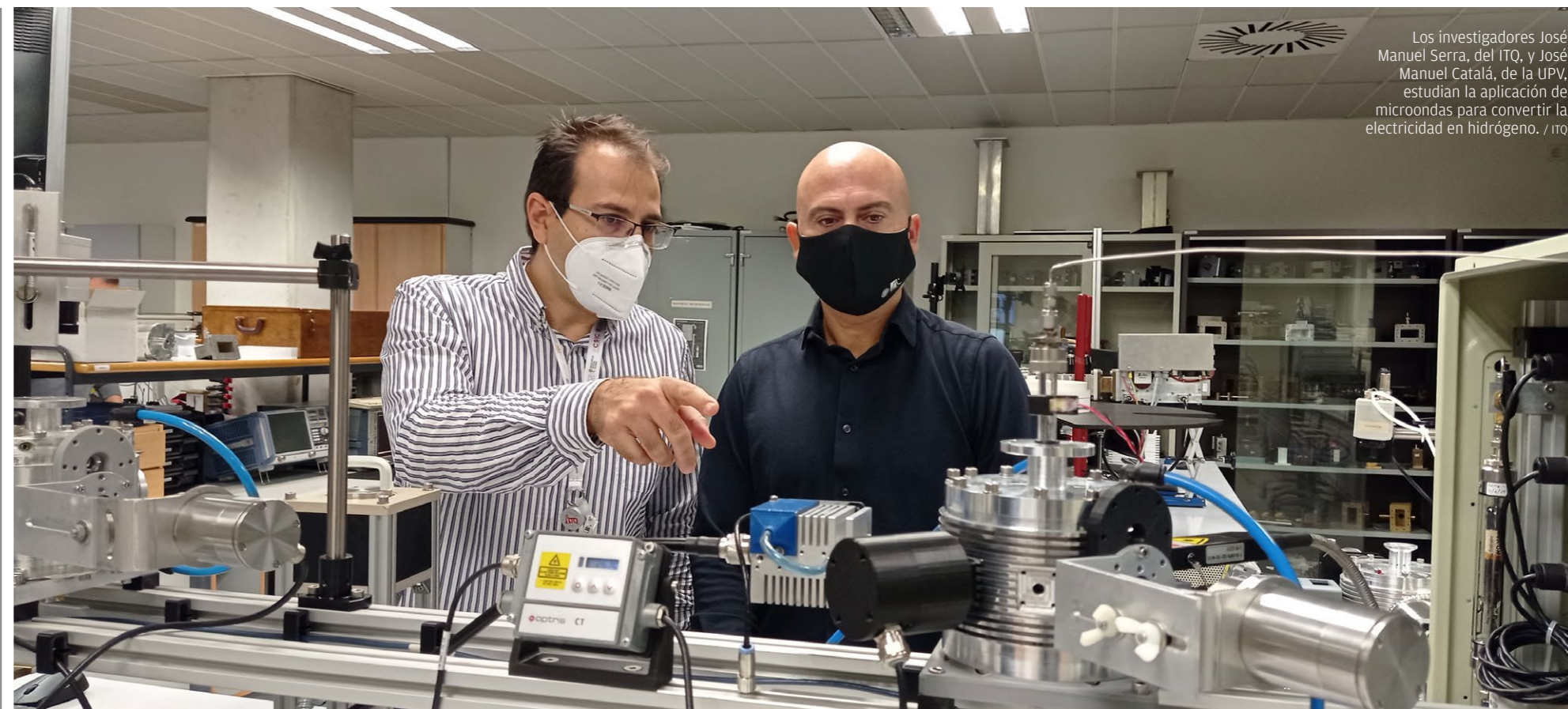
La tecnología de electrólisis del agua mediante membrana polimérica combina las ventajas de la electrólisis líquida, que separa

hidrógeno y oxígeno con un mantenimiento sencillo y sin usar metales nobles; y las ventajas de la electrólisis de membrana protónica, que genera el hidrógeno de forma muy pura (más del 99%). Los dos tipos de electrólisis tienen sus inconvenientes. La líquida pierde producción energética debido a la baja densidad de la corriente que separa los componentes y la de membrana protónica emplea metales nobles en los electrodos, por lo que estos son muy costosos.

La tecnología de electrólisis del agua de baja temperatura que utiliza membranas poliméricas de tipo aniónico, es decir, con iones cargados negativamente, combina las dos ventajas: "de un lado permite el uso de catalizadores sin metales nobles, como el iridio o el rutenio, lo que abarataría el coste y, por otro, da una gran eficiencia", detalla Lázaro.

Este nuevo tipo de electrolizadores facilitarían la obtención eficiente de hidrógeno a partir de agua y podría aplicarse al almacenamiento de energía renovable, indica la investigadora. "Estos electrolizadores son fundamentales para el futuro de la economía de hidrógeno", augura. "La combinación de electrolizadores y pilas de combustible de hidrógeno permitirá almacenar la electricidad generada a partir de energías renovables en forma de hidrógeno", detalla Lázaro.

"Las pilas de combustible funcionan como un electrolizador a la inversa, es decir, utilizan el hidrógeno para producir electricidad cuando se necesite. De ahí que el hidrógeno sirva para almacenar energía para luego utilizarla



Los investigadores José Manuel Serra, del ITQ, y José Manuel Catalá, de la UPV, estudian la aplicación de microondas para convertir la electricidad en hidrógeno. / ITQ

posteriormente en otros usos: domésticos, industriales o en movilidad", explica. El hidrógeno se puede transportar fácilmente, y transformarse en electricidad o en productos químicos.

Microondas para conseguir H₂

En el Instituto de Tecnología Química (ITQ) se investigan nuevos métodos de producción de hidrógeno verde. Un equipo liderado por el investigador **José Manuel Serra**, del CSIC, y **José Manuel Catalá**, de la Universitat Politècnica de València, ha desarrollado una nueva tecnología experimental que permite transformar la electricidad en hidrógeno o productos químicos, aplicando para ello exclusivamente microondas de potencia (radiación electromagnética), sin cables y sin contacto con electrodos.

Su equipo ha observado que las microondas interactúan con materiales iónicos acelerando los electrones y dando lugar a la libe-

ración de moléculas de oxígeno de su estructura (un fenómeno denominado reducción), lo que permite generar electricidad.

Es un logro revolucionario en la investigación energética y un avance clave para el proceso de descarbonización industrial, así como para el futuro del transporte y la industria química, entre otros. Este hallazgo, publicado en la revista *Nature Energy*, ya ha sido patentado.

"Se trata de una tecnología con un potencial práctico enorme, especialmente para su uso en el almacenamiento de energía y producción de combustibles sintéticos y productos químicos verdes", destaca Serra. "Este aspecto tiene una relevancia trascendental, pues tanto el transporte como la industria deben cumplir unos objetivos muy exigentes entre 2030 y 2040 para reducir el consumo de energía y de materias procedentes de fuentes fósiles, principalmente de gas natural y petróleo", añade. Podría tener aplicaciones también en

la industria química, la metalurgia, el sector cerámico y la producción de fertilizantes, entre otros.

El grupo de Serra y Catalá está enfocado ahora en utilizar esta tecnología para la recarga ultrarrápida de baterías. "Nuestra tecnología podría hacer posible la reducción (liberación de moléculas de oxígeno) prácticamente instantánea de todo el volumen del electrodo (ánodo metálico) en el que se almacena la energía. En otras palabras, pasaríamos de un proceso de carga progresivo capa a capa, que puede llevar horas, a un proceso simultáneo en todo el volumen del electrolito, lo que permitiría cargar una batería en pocos segundos", apunta Catalá.

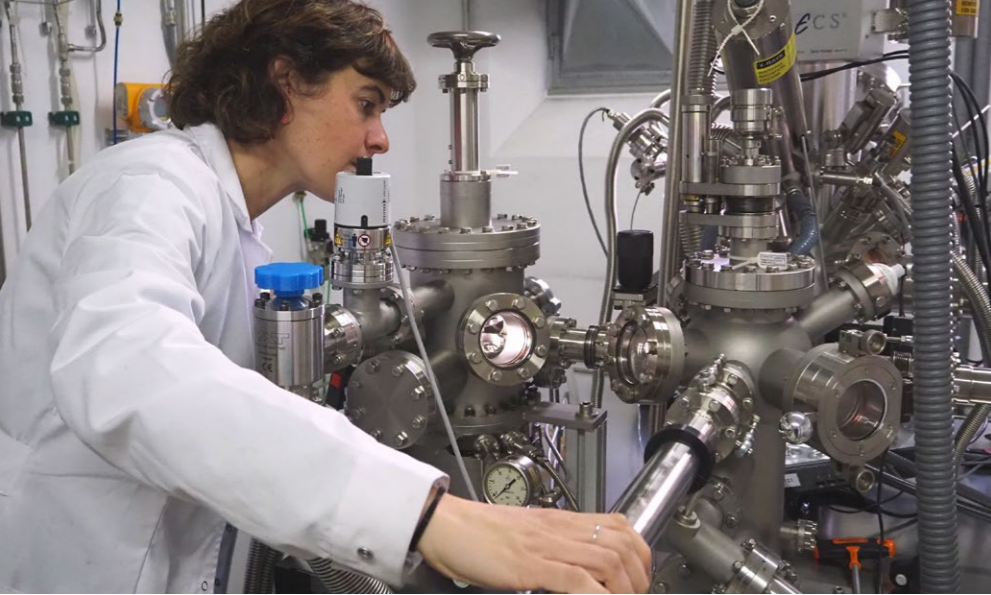
Descarbonización de la industria

El hidrógeno se utiliza desde hace años en el sector industrial con múltiples aplicaciones, como refinar petróleo (33%) o como materia prima para la producción de

amoníaco (27%), según cifras de la Agencia Internacional de Energía. Pero la mayoría del hidrógeno que se utiliza en estos procesos industriales se obtiene a partir de gas natural, un combustible fósil. Por ello es imperativo favorecer la introducción del hidrógeno verde como vector energético en el sector industrial.

Un equipo ITQ proyecta diseñar y construir una planta piloto que utilice el hidrógeno en operaciones industriales para transformar materias primas y obtener productos de mayor valor añadido. En concreto, estudian que la planta sea energéticamente autosuficiente; es decir, que parte del hidrógeno generado sirva para alimentar a la propia planta.

Como fuente de energía primaria utilizan biomasa agrícola y residuos alcohólicos de la industria vitivinícola. A partir de la fermentación de estos restos se obtiene bioetanol (un tipo de alcohol). Este bioetanol, a su vez, es tratado con vapor de agua, a tem-



La investigadora María Retuerto, del ICP, estudia cómo mejorar la electrólisis en la obtención de hidrógeno. / GEMA DE LA ASUNCIÓN



Un equipo del CSIC y la UPV ha desarrollado una tecnología experimental que transforma la electricidad en hidrógeno o productos químicos aplicando solo radiación electromagnética

peraturas entre 500 y 700 grados y a presión atmosférica, para producir hidrógeno. En concreto, producen dihidrógeno (H_2), una molécula compuesta por dos átomos de hidrógeno. “En concreto, el hidrógeno así producido puede ser utilizado en la síntesis de combustibles no contaminantes y en la generación de electricidad y calor, el cual puede ser utilizado en la propia planta, disminuyendo de esta forma la demanda energética del proceso”, según explica **Antonio Chica**, investigador del ITQ y responsable del proyecto.

“Mediante el empleo del hidrógeno producido en una pila de combustible de alta temperatura (SOFC) se generará electricidad y calor. Dicho calor se podrá utilizar en el reactor de reformado de bioetanol con el fin de alcanzar la mayor autosuficiencia energética posible”, añade Chica.

En el ITQ se desarrollan nuevas fórmulas catalíticas que permiten aumentar la velocidad del tratamiento del bioetanol con vapor para originar hidrógeno de forma estable y selectiva. “Una parte del

hidrógeno producido será utilizada para generar biocombustible y otra para generar electricidad que se puede utilizar en la propia industria, según sus necesidades, y calor que se reutiliza para mantener la planta en funcionamiento”, afirma. Este proyecto genera hidrógeno con un doble uso que facilita un ciclo de vida útil de elevada eficiencia que permitiría reducir las necesidades energéticas dentro de procesos industriales.

Hidrógeno para obtener biocombustible

La obtención de hidrógeno a partir de la biomasa también se estudia en el ICP. Un equipo liderado por el investigador **José Miguel Campos** prueba cómo aplicar el hidrógeno en un proceso industrial para obtener biocombustible. Consiste en introducir el hidrógeno en estado gaseoso para hacerlo reaccionar con residuos de aceites vegetales.

“El proceso para producir este biocombustible se compone de dos etapas: la conversión catalítica que permite eliminar los contaminantes del gas y luego el

fraccionamiento del gas para separar sus componentes y obtener productos individuales”, explica **José Miguel Campos**.

“En la primera etapa, los residuos de aceites vegetales se introducen en un reactor junto a una corriente de hidrógeno para dar lugar a óxidos de carbono (CO_2 y CO), hidrocarburos lineales y agua”, explica Campos. La reacción catalítica del hidrógeno, los residuos aceites líquidos y la sustancia catalizadora se desarrolla a una temperatura entre 300 y 400 grados, a una presión de veinte bares. Luego se elimina la fase acuosa de la mezcla y se tratan los demás componentes.

La segunda etapa somete los hidrocarburos lineales a una reacción química que permite obtener hidrocarburos que solo contienen átomos de carbono e hidrógeno. Este procedimiento mejora las propiedades físicas del combustible. Finalmente, el combustible se separa en tres fases: una gaseosa (compuesta por hidrógeno y propano), una fase ligera (formada por hidrocarburos, similares a la gasolina o el queroseno), y una fase pesada (que corresponde al rango del diésel).

Por tanto, el resultado es un combustible originado a partir del uso de hidrógeno renovable que puede elevar la eficacia energética hasta un 85 %, en comparación con el 25% que logran los motores tradicionales de combustión interna. Este combustible está en una fase experimental.

“El hidrógeno verde es una tecnología muy prometedora que puede contribuir a reducir las emisiones contaminantes de los sectores energéticos y del transporte pesado”, augura Retuerto. “Es un elemento clave del conjunto de tecnologías bajas en carbono que puede ayudar a descarbonizar el actual sistema energético, pero también requiere más investigación básica para explorar todo su potencial y permite perspectivas de crecimiento económico”, concluye. ●



Plataformas Temáticas Interdisciplinares del CSIC



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Estructuras de investigación que agrupan a científicos, empresas y administraciones para desarrollar tecnología que resuelva retos sociales

| | |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| Transición energética (TransEner) | Baterías de flujo redox (FlowBatt) |
| Teledetección (TeleDetect) | Plásticos sostenibles (SusPlast) |
| Economía circular (Sosecocir) | Detectores por radiación (RadDet) |
| Vulcanología (Volcan) | |

AUTOR: JOAN COSTA

Nuevas patentes para nuevas energías

Investigadores del CSIC transforman el conocimiento en innovación y desarrollan nanogeneradores multifuente, tecnologías fotovoltaicas más eficientes y catalizadores industriales mejorados

Por Esther María García Pastor

La planta piloto de captura de CO₂ en la central térmica de La Pereda, en Mieres (CSIC-Hunosa-Endesa), es una infraestructura excepcional. Con 2 megavatios (MW) de potencia, es la más grande y activa del mundo en el campo de la carbonatación-calcinación. "En estos procesos se separa el CO₂ de los humos de chimenea (donde se encuentra concentrado al 10-15% en volumen) haciéndolo reaccionar con óxido de calcio para formar carbonato de calcio, con lo que se emiten unos humos con un contenido en CO₂ inferior a 0.5% en volumen", detalla Carlos Abanades, investigador del Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono (INCAR), que trabaja con esta tecnología. "Para extraer el CO₂ puro y regenerar el óxido de calcio a partir de carbonato de calcio, los sólidos carbonatados se someten a una calcinación a alta temperatura en una atmósfera muy rica en CO₂", añade.

Gracias a esta planta, el CSIC ha sido pionero a nivel mundial en la búsqueda de la descarbonización de la producción energética y en la descarbonización de procesos industriales que emiten CO₂ (cemento, acero, etc), incluso cuando se electrifican completamente, en este caso mediante reacciones reversibles a muy alta

Las solicitudes de patentes del CSIC relacionadas con la producción, almacenaje y distribución de energía han supuesto el 7% en los últimos doce años

temperatura para la captura del CO₂. La ventaja de estas reacciones reversibles a alta temperatura es que es posible recuperar gran parte de la energía aportada al sistema como calor a alta temperatura, que es útil para reducir el consumo de combustibles en el proceso o para generar electricidad. Otras variantes del proceso patentadas por el CSIC se desarrollan actualmente para la industria del acero en el proyecto C4U, con financiación adicional del Plan de Recuperación (PTI+TransEnerg+ del CSIC)

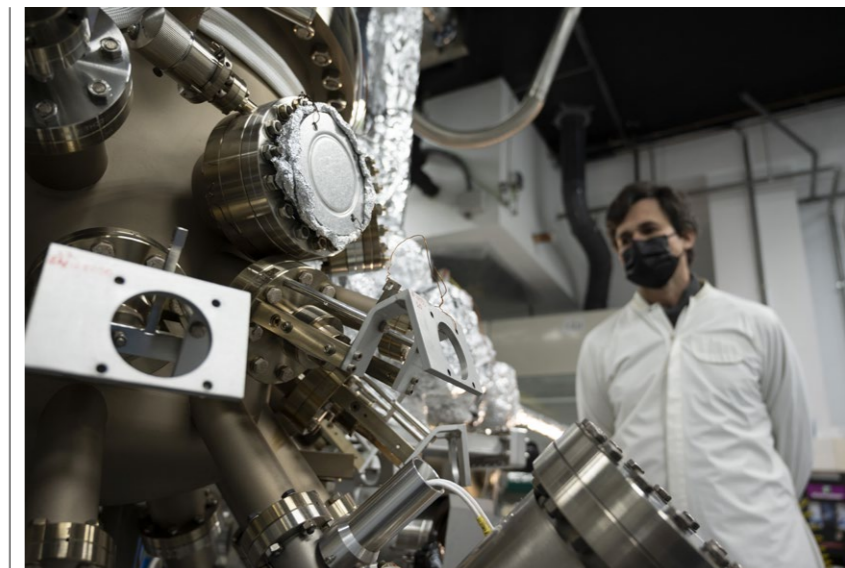
La planta piloto de La Pereda es quizá el ejemplo más claro de que la investigación básica que se realiza en el CSIC para conseguir una energía limpia, sostenible y eficiente se transfiere a la industria y se transforma en procesos innovadores. El CSIC participa en un gran número de colaboraciones público-privadas a nivel nacional e internacional con la energía como gran eje vertebrador transversal.

El CSIC se perfila como uno de los grandes organismos solicitantes de patentes a escala europea y mundial, según el informe *Patents and the energy transition*, publicado en 2021 por la Oficina Europea de Patentes (EPO). En los últimos doce años las solicitudes de patentes del CSIC relacionadas con la producción, almacenaje y distribución de energía han supuesto un 7,4%, y el 90% de estas se centra en el desarrollo de energía limpia, segura y eficiente.

Del informe de la EPO se desprende que España, entre los años 2000 y 2019, ha sido el noveno país en cuanto a número de patentes relacionadas con las energías limpias en Europa y el decimoquinto a nivel mundial. Además, en lo que respecta al ámbito nacional, el CSIC se encuentra a la cabeza de este tipo de patentes, solo superado por Abengoa, multinacional que ha generado muchas de sus patentes en colaboración con el CSIC, su principal socio académico.

En 2021 el CSIC ha incluido en su oferta para desarrollo y comercialización de proyectos científicos cerca de treinta relacionados con la energía. Desde nuevos métodos de catálisis a la producción de nuevos combustibles, pasando por nanogeneradores que recuperan y convierten energía o climatización con menos impacto medioambiental, el CSIC obtiene procesos y productos innovadores para la producción y gestión de una energía limpia, segura y eficiente.

El CSIC, por otro lado, ha apoyado la creación de ocho empresas de base tecnológica que desarrollan su actividad en el sector industrial de la energía. Entre ellas se encuentran Thermal Cooling Technology, que desarrolla equipos de refrigeración más sostenibles y económicos; Bcircular, que recicla la fibra de vidrio de las palas aerogeneradoras; o FutureVoltaics, que ha conseguido paneles solares eficientes en condiciones de baja exposición solar.



José María Ripalda, del IMN, desarrolla tecnología fotovoltaica. / c. H.

Energía solar más eficiente y más rentable

El mundo se encamina hacia la electrificación y la energía solar fotovoltaica se ha convertido en la fuente más rentable de electricidad. Sin embargo, con la tecnología actual, la producción de energía se acumula en exceso al mediodía. "Estos sistemas fotovoltaicos presentan una rendición de electricidad muy variable y tienden a generar excedentes en momentos en los que la red eléctrica no puede absorber tanta potencia, lo que resulta en un notable desperdicio de energía y recursos", explica José María Ripalda, investigador del Instituto de Micro y Nanotecnología (IMN) y fundador de FutureVoltaics, empresa spin-off surgida del CSIC. Ripalda defiende que es necesario solucionar este problema buscando recursos que vayan más allá de sistemas de almacenamiento, pues estos no son económicamente rentables.

Por eso, desde FutureVoltaics, en busca de una energía solar más rentable y eficiente, proponen unos reflectores innovadores para sistemas fotovoltaicos que aplanan la curva de producción tanto diaria como estacional y que están especialmente diseñados

para aumentar el rendimiento de paneles solares bifaciales. Lo que se consigue con este sistema es maximizar la producción de energía cuando el sol se encuentra cerca del horizonte. "De esta manera aumentan las horas de funcionamiento y se aprovecha mejor la energía en periodos de mayor escasez de luz, como en el invierno", comenta Ripalda.

Los reflectores de FutureVoltaics, además de más eficiencia y rentabilidad en la recolección de la energía solar, ofrecen una menor degradación del encapsulante de los paneles fotovoltaicos, menor necesidad de limpieza y mantenimiento, y un mayor tiempo de vida de la instalación. Además, la superficie de estos reflectores contribuye a evitar el calentamiento global y local gracias a un mayor albedo, es decir, refleja un mayor porcentaje de radiación que una instalación convencional.

FutureVoltaics está validando la tecnología con tres prototipos instalados en el Instituto de Micro y Nanotecnología (IMN) y se está preparando para hacer una primera instalación en un entorno de producción.

Refrigeración más ecológica

El calentamiento global es un fenómeno acentuado por la actividad humana. Cada vez suceden más periodos de temperaturas extremas y, para sobrellevar el día a día, se recurre a soluciones que contribuyen a que este problema ambiental no solo no mejore, sino que empeore. Y es que los sistemas de aire acondicionado usados para mantener condiciones internas de confort utilizan refrigerantes que contienen flúor y cloro. Estos son potenciales destructores del ozono estratosférico alto y contribuyen de manera directa al efecto invernadero. Además, este tipo de máquina, incluso cuando no se encuentra en funcionamiento, se mantiene en una presión interior superior a la atmosférica,

lo que se traduce en constantes fugas de refrigerante que contamina la atmósfera.

Por ello, desde el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETCC) del CSIC, el investigador **Marcelo Izquierdo Millán** y su equipo han desarrollado dos tipos de máquinas de aire acondicionado con las que, aseguran, podrían sustituir a las refrigeradoras fluoradas de pequeña potencia usadas actualmente. La innovación reside en el uso de una disolución acuosa de bromuro de litio, donde el agua es el refrigerante. "Usamos el agua como base, con lo que la contribución al calentamiento global es cero y no se destruye el ozono estratosférico. Además, la máquina

trabaja a una presión inferior a la atmosférica, por lo que no se producen fugas. En caso de avería la disolución queda contenida en el recipiente y no se emite a la atmósfera", explica Izquierdo.

De esta investigación, iniciada en 2003, han surgido varias patentes. La primera fue una enfriadora de agua compacta, que se patentó primero en España y más tarde, en 2012 y 2013, en la Unión Europea y en Japón. Ya en 2020 se presentó una enfriadora de agua *plit*, que difiere de las otras en que el evaporador se encuentra instalado en el recinto que se quiere refrigerar, separado del resto de los componentes instalados en el exterior. Este modelo está patentado en Estados Unidos desde 2020

Catalizadores industriales sostenibles

Desde el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM) del CSIC, el investigador Félix López y su grupo han trabajado en dos proyectos patentados para producir catalizadores industriales sin sulfuros, basados en el reciclado de pilas alcalinas. "Los catalizadores habituales se obtienen a partir de recursos naturales, no renovables. Los catalizadores que hemos desarrollado son más baratos, más eficaces, más limpios y se podrían comenzar a utilizar de manera inmediata", manifiesta López.

El grupo de **Félix López** y el de **María Jesús Martínez y Alicia Prieto** del Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) han demostrado la eficacia de nanopartículas de óxidos mixtos de zinc y manganeso como soporte enzimático para producir un biocatalizador robusto para la síntesis de biodiésel. "Hemos sintetizado catalizadores para la producción de biodiésel a partir de ácidos grasos y hemos descubierto que son tan



El investigador Félix López, del CENIM. / c. h.

o más eficaces que los convencionales", explica el investigador.

Además, en colaboración con el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), también a través de óxidos mixtos de zinc y manganeso, el grupo de Félix López ha conseguido materiales que eliminan azufre en procesos

de gasificación. Esta técnica se ha probado también en la gasificación del biogás, la gran alternativa al gas natural ante la crisis energética. "El desarrollo del CSIC puede permitir la producción de un biogás limpio que alimente los motores y turbinas productores de energía eléctrica", asegura López.



La investigadora Ana Isabel Borrás (izquierda), en su laboratorio del ICMS. / RAFAEL ÁLVAREZ

Recolección de energía ambiental para dispositivos

Los dispositivos de recolección de energía ambiental residual, conocidos como nanogeneradores, serán una realidad en un futuro cercano. Se estima que el mercado alcanzará los miles de millones de dispositivos de *harvesting* (algo así como *recolectores* de energía) en 2025. El objetivo es reducir la dependencia de las baterías, cuya producción tiene un enorme coste para el medio ambiente y que limitan la funcionalidad de los aparatos. No obstante, siguen quedando desafíos que superar para llegar a ese momento. Uno de ellos pasa por diseñar nanogeneradores híbridos o multifuente que recolecten distintos tipos de energía desde un

mismo dispositivo. Sin embargo, la eficiencia por unidad de volumen puede disminuir en comparación con los recolectores individuales y todavía se requiere optimizar la fabricación sostenible a gran escala de materiales que puedan servir a este cometido.

El grupo de la investigadora **Ana Isabel Borrás**, del Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (ICME), ha logrado patentar un nanogenerador novedoso. Se trata de paneles de lluvia, basados en nanogeneradores triboeléctricos, que aprovechan la energía cinética del impacto de gotas de agua para generar energía eléctrica y que son compatibles con paneles solares. Este nuevo dispositivo, ya

patentado, se enmarca en el proyecto 3DScavengers, financiado por el programa Horizonte 2020 de la UE, que busca una solución a los dos problemas de los nanogeneradores multifuente. Proponen el método *one-reactor* para la fabricación de estos dispositivos.

La idea es combinar en un solo reactor diferentes técnicas de fabricación y aislarlas a partir de plasma. "La implementación de tecnología de plasma permitirá fabricar estos nanomateriales sin necesidad de procesos de alta temperatura, por lo que se espera dar el paso a la fabricación escalable industrialmente a través de una síntesis sostenible", concluye Borrás.

Residuos vegetales para impulsar camiones y barcos de forma limpia y renovable

Investigaciones del CSIC financiadas por la UE buscan combustibles más eficientes para el transporte de mercancías terrestre y marítimo y mejoran el aprovechamiento del CO₂ para producir energía

Por **Agathe Cortes y Alda Ólafsson**

El transporte y la producción de energía son dos de los sectores más contaminantes. Su fuente de energía sigue dependiendo de los combustibles fósiles, que son limitados y perniciosos. El transporte es responsable del 30% de las emisiones de dióxido de carbono. En el CSIC, equipos de investigadores están desarrollando procesos químicos basados en la catálisis (aceleración y dirección de reacciones químicas) para, por un lado, reciclar el CO₂, y, por otro, mejorar la obtención de biocombustibles líquidos a partir de biomasa (residuos vegetales).

"A pesar de que el transporte de pasajeros en coche se electrificará con baterías en los próximos años, para que otros medios de transporte -como el de mercancías, marítimo y aviación a larga distancia- contribuyan a la descarbonización, se necesita desarrollar combustibles líquidos renovables, no contaminantes, compatibles con los motores existentes y a un precio competitivo", explica el in-

vestigador del CSIC **Gonzalo Prieto**, del Instituto de Tecnología Química (ITQ-UPV-CSIC).

Prieto dirige dos proyectos para obtener biocombustible: Redifuel, dirigido al transporte pesado por carretera (camiones), e Idealfuel, para el transporte marítimo, ya sea de mercancías o personas. Los dos proyectos suman un presupuesto de casi 10 millones de euros financiados por el programa Horizonte 2020 de la Comisión Europea.

Esta investigación avanza en sintonía con el ambicioso plan de la Comisión Europea, lanzado en diciembre de 2020, para reducir un 90% el CO₂ del transporte para 2050. El plan, denominado Estrategia para una Movilidad Inteligente y Sostenible, es una pieza clave del Pacto Verde Europeo (Green Deal), una gran batería de medidas energéticas y medioambientales para que la UE alcance la neutralidad climática en 2050. La idea es que, para ese año como muy tarde, las emisiones netas de CO₂ se hayan reducido a cero.

En el CSIC, varios equipos realizan investigación básica financiada con fondos europeos para

lograr nuevos materiales y procesos químicos que contribuyan a la descarbonización de la industria y el transporte. La institución participa en más de 40 investigaciones internacionales en el campo de la energía sostenible. Son investigaciones que abarcan desde el desarrollo de baterías recargables a base de calcio, a sistemas de captura de CO₂, pasando por la gestión de residuos y el uso de nanoarquitecturas 3D capaces de convertir luz en corriente eléctrica.

El mencionado equipo de Gonzalo Prieto en el ITQ estudia cómo mejorar la calidad del proceso químico que proporciona la energía a los vehículos. Su grupo trabaja en la obtención de nuevos combusti-

bles renovables. Desarrollan catalizadores, materiales que aceleran y dirigen reacciones químicas, para transformar la biomasa lignocelulósica (residuos vegetales) y convertirla en un carburante líquido sostenible.

Su investigación se centra en procesos que logren producir las moléculas adecuadas en cuyos enlaces químicos se encuentra almacenada más energía y en menos volumen que en las baterías, un aspecto por el que los carburantes son hoy más eficientes en transportes pesados y de larga distancia. Además, los biocarburantes obtenidos son menos contaminantes. "Los combustibles resultantes son renovables, pues su combus-

“ Los biocombustibles sólo devuelven a la atmósfera un CO₂ que la propia biomasa ya había retirado de la atmósfera para crecer”

Gonzalo Prieto (ITQ)

tión en los vehículos sólo devuelve a la atmósfera un CO₂ que la propia biomasa ya había retirado de la atmósfera para crecer. La emisión neta es casi nula", explica Prieto.

El uso de estos carburantes líquidos alternativos tiene dos grandes ventajas: reduce las emisiones de inquemados (la materia combustible que ha quedado sin quemar o parcialmente quemada, y que muestra que la combustión es ineficaz y no se ha aprovechado bien el combustible) y reduce también la emisión del material particulado (nanopartículas de carbono), causantes de diversas enfermedades.

La mejora que estudia el equipo de Prieto radica en la regulación

El transporte marítimo, muy dependiente de los combustibles fósiles, es uno de los sectores más contaminantes. / PIXABAY



del contenido y la calidad del oxígeno que contienen las moléculas que conforman los carburantes renovables, que da lugar a un quemado o combustión más eficiente en los motores de camiones y barcos. En conjunto, reduciría los niveles de contaminación atmosférica global, al eliminar las emisiones de CO₂ y también local, al reducirse las emisiones indeseadas de los motores.

En el proyecto Redifuel (para transporte terrestre), la biomasa se fracciona y su carbono se almacena en una molécula simple (monóxido de carbono) y en una mezcla de gases denominada biogás de síntesis, que se usa para construir las moléculas más complejas del biocombustible, explica Prieto.

“El resultado de esta innovación en catálisis es un proceso que da lugar a un biocombustible diésel de alta calidad de combustión, que cumple con la exigente normativa europea EN590 para carburantes diésel, y puede emplearse en la flota de camiones existente sin necesidad de modificaciones”, añade.

En cambio, en el proyecto Idealfuel (para transporte marítimo), Prieto, en colaboración con el equipo de **Marcelo Dómine**, colega en el ITQ, diseñan un proceso catalítico que ‘desmonta’ la lignina (la fracción de biomasa menos valiosa) para que el combustible obtenido tenga las propiedades de fluido requeridas para el sector marítimo.

“En cooperación con empresas de Suiza (Bloom) y Holanda (Vertoro) que logran extraer de manera eficiente la lignina de diferentes materias primas, perseguimos valorizar esta fracción de la biomasa en fluidos renovables que puedan aplicarse como sustitutos de los carburantes marinos tipo bunker: fluidos de origen fósil, poco refinados, muy viscosos y altamente contaminantes”, detalla Prieto.

El proceso catalítico que plantea el equipo del ITQ requiere un consumo mínimo de hidrógeno, solo el necesario para convertir el reactivo de partida, que es sólido, en un fluido con unas propiedades



Aunque se extienda la electrificación de los automóviles particulares, el transporte pesado seguirá necesitando combustibles líquidos, como los biocombustibles. / PIXABAY

de viscosidad y contenidos en oxígeno y energía por unidad de masa que mimetizan los poco refinados carburantes bunker para motores marítimos.

El origen renovable, bajo coste añadido y ajustado contenido en oxígeno (que reduce la producción de inquemados y partículas) del biocarburante resultante pretende reducir las emisiones indeseadas asociadas al sector marítimo, tradicionalmente muy contaminante.

Aunque se extienda la electrificación de los automóviles particulares, el sector del transporte pesado, por tierra y mar, seguirá necesitando combustibles líquidos (como los biocombustibles), que permiten mayor energía de propulsión por unidad de peso (densidad energética) y coste marginal, y que son difícilmente alcanzables por baterías eléctricas o combustibles alternativos como el hidrógeno, que no son líquidos en condiciones ambientales.

La propuesta de este instituto también analiza los factores técnico-económicos. “Trabajamos en mejorar la competitividad económica de la producción de biocombustible para poder competir con los combustibles derivados del

petróleo”, indica Prieto. “La UE es pionera en las regulaciones que están promoviendo el uso de biocombustibles como estos”, apunta. Además, estos nuevos carburantes se diseñan para encajar con las leyes y son compatibles con los vehículos que ya circulan para que su introducción no requiera un cambio de la flota de camiones y barcos. Ambos proyectos están ensayando estas tecnologías a nivel piloto (pre-industrial)

Aprovechar el CO₂ para obtener biocombustible

La mayor parte de las emisiones de CO₂ provienen de la producción de energía. Los investigadores estudian la descarbonización de estos procesos industriales, intentando eliminar y reutilizar el CO₂ emitido. **Fernando Rey y Pascual Oña Burgos**, del ITQ, dirigen el proyecto internacional Laurelin, dotado con casi cinco millones de euros del programa H2020, que busca mejorar el proceso por el que se obtiene metanol, un tipo de biocombustible.

“Perseguimos usar el metanol como vector energético, es decir, como transportador de energía

capaz de utilizar el hidrógeno que proviene de la electricidad”, explica Rey. “Usaremos energía eléctrica para transformar CO₂ e hidrógeno y obtener metanol”, detalla Rey. En el proyecto participan ocho instituciones europeas y dos japonesas, además de centros de investigación y académicos, y pymes.

Mediante este proceso, el CO₂ sirve tanto para obtener biocombustible como también productos químicos renovables y muy útiles para el sector industrial. “Buscamos una descarbonización dual: dar valor al CO₂ emitido y reducir la demanda energética del proceso”, explica Pascual Oña Burgos. “Se trata de capturar el CO₂ y convertirlo en algo que podamos utilizar, como por ejemplo metanol, una molécula plataforma a partir de la que se pueden producir otros productos químicos”, subraya. Este proceso requiere que el hidrógeno utilizado provenga de fuentes renovables, como la solar o la eólica, es decir, que sea hidrógeno verde.

Estos catalizadores se estudiarán en tres procesos complementarios, “mediante calentamiento térmico convencional, con plasma de baja temperatura y con inducción magnética”. Estas tres tecno-

logías suponen una mejora en el uso de los recursos energéticos, lo que es clave para poder llevar a cabo la valorización de CO₂ de manera sostenible.

Un modelo para ensayar el futuro energético

La transición energética desde el actual modelo basado en combustibles fósiles (limitados y perniciosos) hacia uno basado en energías renovables es un proceso muy complejo. Una nueva herramienta informática diseñada por investigadores del CSIC permite simular cómo se desarrollará esta transición. Se trata del proyecto Medeas, liderado por **Jordi Solé**, investigador de la Universitat de Barcelona que puso en marcha el estudio en 2016 desde el Instituto de Ciencias del Mar del (ICM) CSIC, financiado con casi cuatro millones de euros de la UE.

“Esta transición pretende lograr algo que jamás se ha hecho en la historia de la sociedad industrializada: sustituir un combustible por otro”, añade Solé. “Si seguimos como ahora será un desastre asegurado en no más de una década y lo más acuciante no es tanto el cambio climático sino la falta de recursos”, augura.

Su modelo informático prevé la evolución del sector energético en Europa, teniendo en cuenta las restricciones físicas y sociales. Desarrollada en 2019, la herramienta se utiliza varias iniciativas locales que ya se han iniciado en Cataluña.

“El modelo sigue vigente, ya que es de código abierto y cualquiera puede utilizarlo y readaptarlo a diferentes situaciones. Lo que consigue el modelo es evaluar escenarios de transición, con proyecciones hasta el año 2050, con variables como las emisiones, los recursos necesarios, la evolución

del PIB, y busca alternativas para la incorporación de las energías renovables”, señala Solé.

“Básicamente, te dice si los recursos de los que dispone una comunidad o un país son buenos hacia el modelo de transición energética que exigen la UE y los Acuerdos de París”, añade Solé.

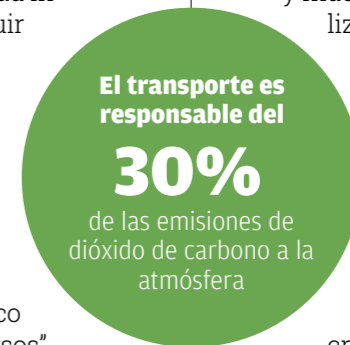
Los investigadores han desarrollado tres escenarios, basados en 35 sectores socio económicos, para lograr la transición a una economía baja en carbono considerando los límites disponibles, es decir, limitar el calentamiento global por debajo de los 2°C respecto a los niveles preindustriales y lograr el objetivo de la UE de reducción de las emisiones anuales absolutas de CO₂ en un 80 %.

El primer escenario sigue las tendencias históricas, el segundo propone un ligero aumento del uso de energías renovables y el último implementa los esfuerzos máximos que se podrían hacer para conseguir el objetivo de 2050 y muestra que así se estabi-

liza la economía y que se reducen drásticamente las emisiones.

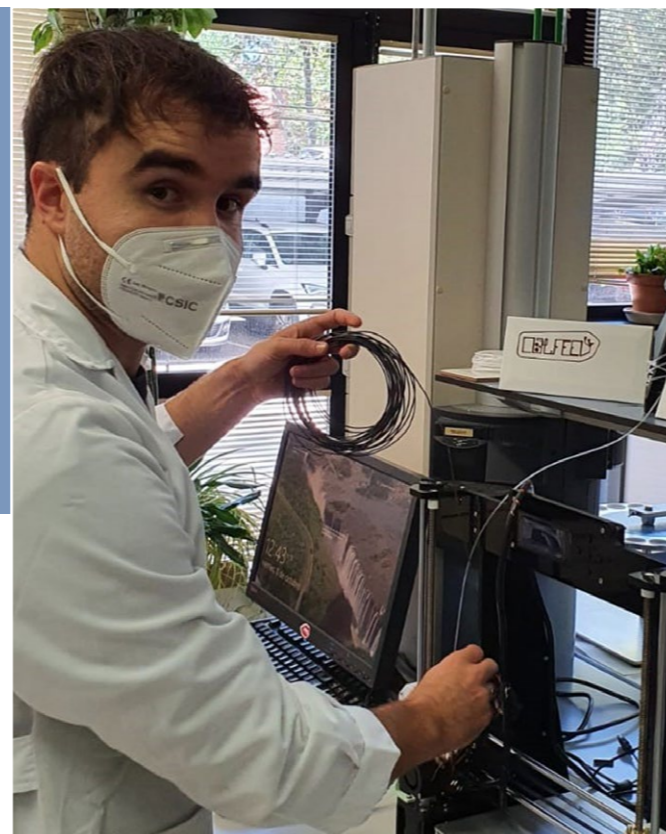
Las principales conclusiones de la investigación Medeas indican que será necesario recurrir a un número creciente de recursos

biofísicos para desarrollar más fuentes de energía renovables. “El nivel actual de implementación de fuentes de energía renovable en la UE no es suficiente para alcanzar una economía libre de carbono para el año 2050 y será imprescindible garantizar una capacidad de almacenamiento suficiente para la estabilidad del suministro de dichas fuentes de energía”, indica Solé. En definitiva, se tendrá que cambiar el modelo socioeconómico instalado desde la revolución industrial al mismo tiempo que se reduce la dependencia de los combustibles fósiles. ●



“Es imposible pensar en transición energética sin la economía circular”

Jóvenes investigadores del CSIC buscan tecnologías para cambiar la industria química y aprovechar al máximo los recursos y residuos



Los investigadores Oxel Urra (ICV), Paula de Navascués (ICMS) y Alma Capa (INCAR). / csic

Por **Agathe Cortes** y **Alejandro Parrilla**

Imagina una tecnología que permite proporcionar energía a tus dispositivos inteligentes mediante la recuperación de la energía residual en el ambiente”, dice **Xabier García** (25 años), doctorando en el Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (ICMS). Se trata de la energía generada por las luces de tu oficina, los movimientos aleatorios de tu cuerpo mientras lees esta revista o por pequeños cambios de temperatura cuando respiras o sales a dar un paseo. Es una tecnología muy incipiente, pero con un futuro prometedor.

“La energía ya está ahí, a nuestro alrededor. Solo hace falta captarla y escalar generadores para llegar a la potencia necesaria que pueda conseguir alimentar los dispositivos más potentes”, indica el investigador. García trabaja en el proyecto europeo 3D Scavengers, dotado con 1,4 millones de euros, para obtener una tecnología que permita alimentar dispositi-

vos a partir del calor residual en el ambiente. “Es una energía limpia que estaba siendo totalmente desaprovechada.”

“Este proyecto se fija sobre todo en sistemas que consumen muy poco pero que pueden tener una gran utilidad cuando funcionen conectados al internet de las cosas [la interconexión digital de objetos cotidianos con internet]”, añade. Por ejemplo, podría aplicarse a redes de sensores inalámbricos para monitorizar el aire de las ciudades o la estabilidad estructural de edificios y grandes infraestructuras, sin necesidad de baterías y recargas. O en dispositivos ponibles (wearables, en inglés), como podrían ser unas zapatillas, camisetas o pulseras inteligentes que monitoricen nuestros movimientos o nuestro estado de salud.

El trabajo de Xabier García es uno de los diversos proyectos en los que avanzan decenas de investigadores jóvenes que se forman y especializan en el CSIC con el objetivo de lograr una energía

más limpia, segura y eficiente, en consonancia con el Pacto Verde de la UE y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU. Estos doctorandos trabajan en nuevos materiales y procesos para mejorar el almacenamiento de energía, las fuentes renovables, nuevas tecnologías del hidrógeno, la descarbonización de la industria y la reutilización de la energía residual del ambiente, entre otros.

El proyecto en el que investiga Xabier García para dar un nuevo uso a la energía residual ambiental se basa en la nanotecnología, es decir diseñar materiales a escala nanométrica que puedan captar la energía ambiente y convertirla en energía eléctrica para alimentar diversos aparatos. Los dispositivos para el aprovechamiento de esta energía residual combinan varios tipos de recolectores de energía (cinética, solar o térmica) en un solo dispositivo y para ello se valen de materiales multifuncionales (semiconductores, óxidos ferroeléctricos y perovskitas) para convertir si-

multáneamente varias fuentes de energía en electricidad. Intentan que, al combinar varios tipos de recolectores en uno, no solo que no se pierda eficiencia, sino que aparezcan sinergias entre los diferentes fenómenos además de que puedan funcionar como recolectores multifuente.

“El proyecto propone aunar eficiencia y versatilidad en una solución todo-en-uno para la recolección de energía multi-fuente, basada en el diseño a nanoescala de materiales multifuncionales”, añade García. “El objetivo es construir nanoarquitecturas para la recolección de energía mediante efectos fotovoltaicos (luz), piezoeléctricos (deformaciones), triboeléctricos (rozamiento) y piroeléctricos (temperatura), minimizando el coste ambiental de su síntesis”, detalla. El despliegue de estas tecnologías podría ayudar a compensar la dependencia actual de las baterías de litio, que alimentan la mayoría de dispositivos portátiles y que son un recurso muy limitado.

Hidrógeno de alta pureza y descarbonización

Las tecnologías basadas en el hidrógeno son una de las grandes promesas para impulsar la transición energética hacia fuentes de energía renovables. La investigadora **Alma Capa** (29 años), del Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono (INCAR), estudia tecnologías de producción de hidrógeno con captura de CO₂ integrada. Con el proyecto BioGas2H₂, financiado por el Plan Estatal de Investi-



Oxel Urra, del ICV, trabaja en la mejora de las baterías mediante el desarrollo de electrodos de grafeno obtenidos por impresión aditiva

gación Científica, Técnica y de Innovación, se dedica a producir hidrógeno de alta pureza a partir de biogás, gracias a un proceso catalítico que además captura el CO₂ de manera simultánea.

El proceso se conoce por sus siglas en inglés SESR (Sorption Enhanced Steam Reforming): es un proceso de captura del CO₂ y reformado simultáneo en el que el biogás reacciona con vapor de agua en presencia de un sorbente con base de óxido de calcio, que captura el CO₂ y un catalizador que promueve el reformado. Así se produce hidrógeno molecular descarbonizado y de alta pureza, por un lado, y por otro, CO₂ concentrado disponible para ser transportado y almacenado o reutilizado.

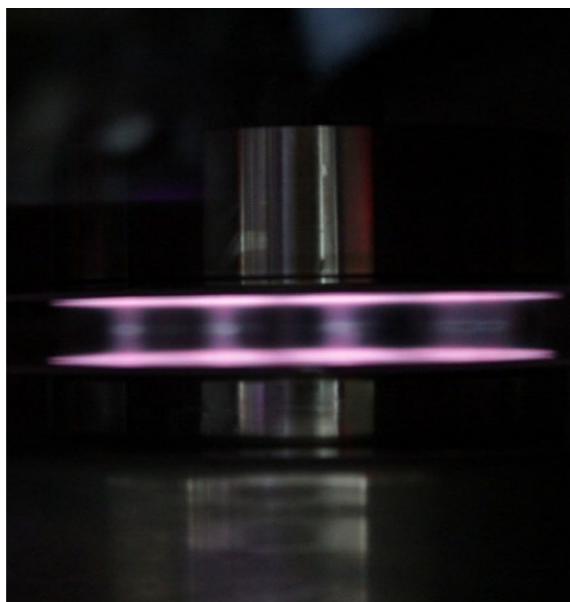
Lo que más le sorprendió a Capa cuando empezó a trabajar en este tema fue descubrir que la mayor parte del hidrógeno producido hoy en día industrialmente se obtiene de un gas natural, es decir, un combustible fósil. “Algo no encaja ahí”, dice la investigadora. “Producimos algo a priori

sostenible (el hidrógeno) con gas natural, que es contaminante, en un proceso que además emite CO₂. Esto es lo que aborda mi tesis: en lugar de utilizar ese gas natural recurrimos al biogás (que se obtiene por digestión anaerobia de la materia orgánica), y unimos así la economía circular y transición energética", cuenta Capa.

Los combustibles fósiles e incluso los metales que se necesitan para la transición energética son finitos, así que es necesario aprovechar el potencial que esconden los residuos. "Es imposible pensar en transición energética sin la economía circular", subraya la investigadora.

Capa eligió el CSIC porque le ofrecía la posibilidad de ir al extranjero durante su tesis y enriquecer su trabajo. Ahora está en Reino Unido, trabajando en una planta piloto que aplica la tecnología SESR para la producción de lo que se conoce como hidrógeno azul. "Es muy interesante ver cómo construyen esta planta para luego poder aplicar el conocimiento adquirido con biogás, bioaceites u otros materiales renovables impulsando su aplicación en procesos SESR", añade.

El grupo en el que investiga Capa investiga la aplicación de materias primas renovables en el proceso SESR tanto en reactores de lecho fijo como de lecho fluidizado y además desarrolla una labor de simulación para el diseño de procesos auto-térmicos, es decir, que sean energéticamente autosuficientes. Así se produce un hidrógeno de alta pureza, gracias al desplazamiento del equilibrio químico producido al capturar el CO₂ in-situ, en un proceso neutro en términos de requerimiento energético y emisiones de CO₂. Este hidrógeno renovable podría aplicarse a diversos sectores de la industria, así como la química y el transporte, entre otros.



Reactor de plasma. / ICMS

"El plasma es un estado de la materia muy singular", explica Navascués. Consiste básicamente en un gas ionizado, formado por átomos o moléculas que generalmente han perdido electrones y por lo tanto tiene carga eléctrica, así como por otras partículas muy reactivas como electrones y radicales. Es muy conductor de la electricidad y sensible a la aplicación de campos magnéticos. "Los rayos y el fuego son ejemplos de plasma", añade.

"Los reactores de plasma a presión atmosférica representan una alternativa prometedora para llevar a cabo procesos químicos que, en la industria química tradicional, requieren altas presiones y temperaturas", explica Navascués.

De este modo, pequeños reactores dispuestos en serie, operados a presión atmosférica y temperatura ambiente, pueden producir sustancias de alto valor añadido, como por ejemplo hidrógeno. "Gracias a los electrones de alta energía presentes en el plasma, es posible romper la molécula de amoníaco o la de metano (que a su vez han podido ser fabricados con la misma tecnología) y obtener hidrógeno en condiciones ambientales", señala.

Esta tecnología es idónea para estar acoplada a fuentes de energía renovable, ya que funciona mediante electricidad que puede obtenerse con fuentes eólicas, fotovoltaicas o termosolar, entre otras.

"Personalmente, lo que más me motiva de trabajar en esta investigación, enfocada en el estudio del plasma para obtener hidrógeno, es su aplicabilidad a corto y medio plazo, y que pueda contribuir a la transición energética en España", añade.

Filamentos para almacenar energía

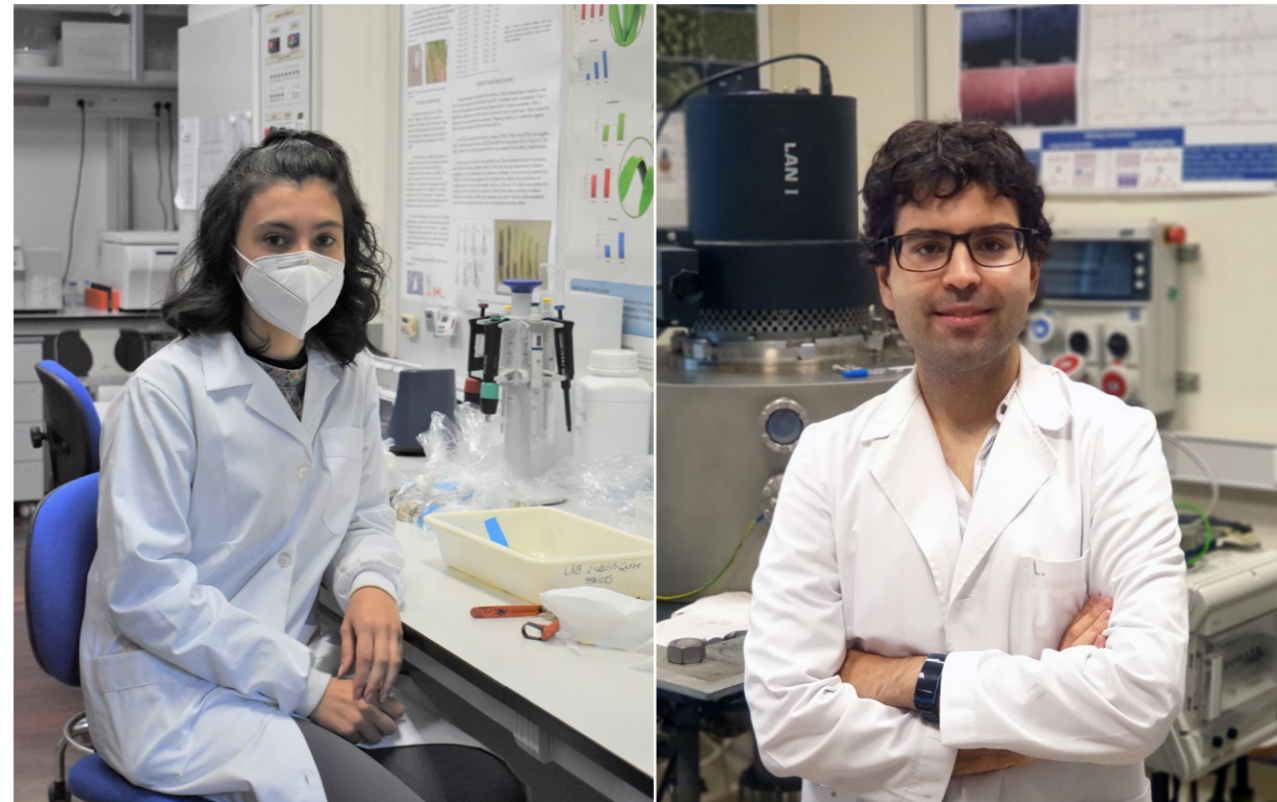
Un reto fundamental que plantean las fuentes de energía renovable,



Xabier García, del ICMS, trabaja en un proyecto para recolectar la energía ambiental, como la luz de la oficina o el cambio de temperatura al respirar, para alimentar sensores o smartphones

Reactores de plasma para obtener hidrógeno

Las tecnologías para obtener hidrógeno limpio cuentan con otro recurso prometedor: la tecnología de plasma. La investigadora **Paula Navascués** (27 años), del ICMS, estudia aplicar reactores de plasma para obtener amoníaco, un vector energético que permite almacenar hidrógeno para usarlo cuando y donde se quiera, o directamente para producir hidrógeno a partir de la molécula de amoníaco o la de metano.



Los investigadores Noemí Gesteiro (MBG) y Xabier García Casas (ICMS). / CSIC

que son muy intermitentes, es la necesidad de almacenarlas cuando hay picos de producción para poder utilizarlas cuando hay escasez. El investigador **Oxel Urra** (27 años), desde el Instituto de Cerámica y Vidro (ICV-CSIC), se ha enfocado en las baterías y en los sistemas de almacenamiento de energías. En concreto, "en la mejora de la fabricación y conformado de electrodos para facilitar el escalado de los sistemas de almacenamiento energético sin dejar de lado la optimización del rendimiento de los dispositivos".

Urra investiga el desarrollo de filamentos de grafeno y ácido poliláctico con alta carga de partículas inorgánicas, un material que es muy conductor y permite una alta eficiencia a los electrodos de las baterías. Su proyecto tiene el objetivo de producirlos mediante la impresión en 3D. "Estos filamentos nos permiten realizar un conformado más específico y eficiente de los componentes fabricados, potenciando las funcionalidades que nos interesan dependiendo de la aplicación final

del dispositivo", explica el doctorando. La impresión 3D y las tecnologías de manufactura aditiva son tecnologías disruptivas que ya están ampliamente integradas en el sector industrial.

Del maíz a un combustible

Otro pilar que facilitará la transición energética es la utilización de la biomasa (residuos vegetales secos o lignocelulósicos) para obtener biocombustibles verdes y productos químicos renovables. La investigadora doctoranda **Noemí Gesteiro** (25 años), de la Misión Biológica de Galicia (MBG-CSIC), estudia los residuos de cultivos para producir etanol lignocelulósico (un tipo de biocombustible). Gesteiro está convencida de que el etanol lignocelulósico derivado del aprovechamiento de los residuos de cultivos de rápido crecimiento se ha convertido en "una opción relevante" para la transición verde, y en particular, para la industria de transporte.

Gesteiro explica que la materia prima lignocelulósica con

más disponibilidad es la generada a partir del maíz, por ser el cultivo con mayor extensión y producción a nivel mundial. "Sin embargo, es necesario saber si el cultivo en ese proceso de mejora hacia una mayor y más eficiente producción de etanol no adquiere simultáneamente una mayor susceptibilidad a la herbivoría", advierte.

Gesteiro pretende construir modelos de predicción genotípica para cantidad y calidad del residuo orientado a producción de etanol, y luego determinar si estos modelos son efectivos. Señala que el uso de bioetanol como combustible no es algo nuevo, sino que ya se usaba en el siglo pasado, en los primeros automóviles asequibles, como los llamados modelos T de Henry Ford, por ejemplo, e incluso algunos coches se movían con aceite de cacahuete. "Pero nosotros queremos ayudar a optimizar este proceso y que el bioetanol que se produzca tenga mayor rendimiento y pueda competir económicamente", apunta Gesteiro. ●

El teléfono del despacho de Antonio Turiel (León, 1970) en el Instituto de Ciencias del Mar no deja de sonar. Los motivos: la escasez de materiales y la crisis energética. Periodistas, empresas y administraciones quieren consultarle, especialmente desde que compareció en el Senado ante la Comisión de Transición Ecológica para hablar sobre los retos de una transición energética sostenible. Lo hizo en calidad de doctor en Física Teórica experto en recursos energéticos, aunque también es matemático y oceanógrafo. En sus intervenciones, al igual que en el blog *The Oil Crash* y el libro *Petrocalipsis*, dibuja un escenario complicado: los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) han comenzado su declive o están a punto de hacerlo, y las renovables no pueden sustituirlos siguiendo el modelo actual. Considera que la tecnología no va a servir para hacer frente a la situación si no abandonamos la idea de crecimiento.

Pregunta: Microchips, combustible... ¿Por qué parece que falta de todo?

Respuesta: El factor más relevante es el energético. El barril de petróleo está en unos 85 dólares, un precio alto, pero no de ruptura. Como estamos lejos de los 120 dólares, que se considera un precio que lleva a la quiebra a la economía global, la gente no piensa en el petróleo como causante de esta situación. Pero aquí hay un error, porque nosotros no utilizamos el petróleo en crudo, sino combustibles derivados del petróleo, y lo que escasea es el diésel.

P: ¿Por qué escasea?

R: Porque el petróleo crudo convencional llegó a su máximo en 2005. La producción lleva 16 años sin aumentar y ha empezado a caer. Para compensar, hemos



ANTONIO TURIEL FÍSICO Y MATEMÁTICO

“La escasez de materiales es una estaca en el corazón de la transición energética”

El investigador del CSIC en el Instituto de Ciencias del Mar explica el pico de los combustibles fósiles y las dificultades para la implantación de las energías renovables

Por Eduardo Actis y Ana Iglesias

extraído otros líquidos similares, pero no valen para hacer lo mismo. Por eso en 2015 llegamos al pico de la producción de diésel. En 2019 la producción empezó a bajar y ahora se está estrellando.

P: ¿Esto está afectando al conjunto de la economía?

R: El diésel es la sangre del sistema. Mueve los camiones, las excavadoras, los tractores y los barcos. Los barcos ahora necesitan un tipo de combustible que compite con el diésel en la misma franja de destilación y refinera. Todo ello ha contribuido a que el coste del transporte por barco se

haya multiplicado por 10 desde el año pasado.

P: ¿Y qué hay del gas?

R: Se espera que el máximo sea entre 2020 y 2030. Pero Europa ya ha llegado a su máximo de suministro, porque el gas no es tan fácil de transportar como el petróleo. Los productores que nos lo hacen llegar por tierra, Argelia y Rusia, alcanzaron su máximo hace 10 años y su consumo interno sigue creciendo, por lo que sus exportaciones bajan. El gasoducto que viene desde Oriente Medio nos proporciona una gran cantidad de gas, pero tiene sus

limitaciones, así que el resto tiene que venir por barco, y eso requiere unas instalaciones muy costosas. Por eso el gas que se importa por barco es tres o cuatro veces más caro. El problema del precio del gas ha venido para quedarse. Esta situación tiene una cadena de interacciones tremenda porque, por ejemplo, el gas repercute en el precio de la electricidad.

P: ¿De qué forma?

R: En España, para la fijación de precios en el mercado mayorista, donde las comercializadoras compran el gas, empleamos un sistema marginalista. Es decir, se

paga la electricidad, el kilovatio hora (kW·h) producido, al precio del kW·h más caro que entra en cada momento. La tecnología más cara suele ser la de las centrales de ciclo combinado, que utilizan gas, y el precio del gas ahora se ha disparado.

P: ¿Por qué se utiliza este sistema?

R: Porque los economistas dicen que favorece que aparezcan nuevas tecnologías más baratas que la más cara, para así ir la sustituyendo y conseguir un rápido progreso tecnológico. Piensan que el conjunto de tecnologías y las

fuentes de energía son infinitas, pero no es verdad. En el mundo real, el sistema marginalista hace que, cuando una materia prima como el gas escasea, el precio se vaya por las nubes. Este sistema se ha implantado a través de la normativa europea y España no puede modificarlo por sí sola.

P: ¿Por qué necesitamos el gas si tenemos otras fuentes de energía?

R: En España hay instalados 112 gigavatios (GW) de potencia eléctrica para cubrir una demanda que tuvo su pico máximo de 45 GW en 2008 y que desde entonces

ha ido cayendo: en la actualidad equivale a 30 GW. Necesitamos tener un cierto grado de redundancia en la generación eléctrica, porque no siempre sale el sol o sopla el viento; incluso hay que parar las nucleares de vez en cuando para recargar o por incidentes. Pero con 70 o 80 GW de potencia instalada nos llega para cubrir una demanda media de 30 GW. Y, sin embargo, tenemos que recurrir continuamente al gas. ¿Por qué? La explicación es muy técnica, pero muy interesante. No solo tenemos el problema de la intermitencia de las fuentes renovables, sino el de la estabilidad de la corriente. La gente tiene tendencia a pensar que la corriente eléctrica es como un líquido. Pero la electricidad no fluye, es una onda que oscila 50 veces por segundo. Lo importante aquí es mantener la sincronía perfecta de todos los sistemas que producen electricidad. Todos tienen que subir y bajar al mismo tiempo. Cuando tienes sistemas renovables distribuidos en un territorio muy amplio, conseguir esa sincronía es complicadísimo. Si todo no está perfectamente sincronizado, se empiezan a generar frentes de onda. Pensemos en dos niñas que no se ponen de acuerdo moviendo una comba. Cuando una sube, la otra baja y la de en medio se lleva un tortazo.

P: ¿Las renovables no son la solución al pico de los combustibles fósiles?

R: No tengo duda de que vamos a una sustitución de energía fósil por renovable. Lo que es discutible es el modelo actual de 100% renovable y que con las renovables vayamos a producir la misma cantidad de energía que estamos consumiendo hoy. Las renovables pueden producir muchísima energía, pero quizá no tanta como la que consumimos actualmente. En todo caso, la energía renovable puede ser suficiente para satisfacer las necesidades reales de las personas en todo el mundo. Nues-

tro estilo de vida tendría que cambiar, pero seguramente se podría hasta mejorar el nivel de vida. Sin embargo, el modelo de renovables eléctricas que se está planteando hoy tiene tres inconvenientes serios. El primero es que hay limitaciones a la cantidad de energía que se puede extraer de los flujos del planeta. Se dice que la energía que nos llega del sol es casi 10.000 veces toda la energía que consume la humanidad en un año, pero lo cierto es que esta energía llega muy dispersa. El máximo que se puede extraer sin perturbar los ciclos naturales del planeta es alrededor de un 0,04%. Esto implica cuatro veces el consumo energético actual, pero no existe un consenso científico sobre cuál es el máximo que se puede extraer de los procesos renovables. Básicamente, hay dos posturas: quienes estiman que podemos llegar a producir la mitad de lo que consumimos hoy y quienes piensan que podríamos producir unas cinco veces más.

P: ¿Cuál cree que va mejor encaminada?

R: Yo me alinee con la parte de la

franja baja porque los argumentos físicos me parecen más convincentes. Si diéramos por válido el escenario más optimista, la economía en un momento dado tendría que estacionar. Si tenemos en cuenta que el consumo de energía de las últimas décadas se ha duplicado cada 30 años, antes de acabar este siglo llegaríamos al tope. Este es el primer problema, que el potencial es limitado y acaba con la idea del crecimiento económico en un plazo breve, 60 o 70 años.

P: ¿Cuál es el segundo inconveniente de las renovables?

R: El que para mí es el más grave: su dependencia de combustibles fósiles y materiales escasos. Lo primero significa que a día de hoy nadie ha sido capaz de construir una presa hidroeléctrica, un aerogenerador o una placa fotovoltaica de forma que en el proceso de fabricación, instalación, mantenimiento y desmantelamiento no se utilicen combustibles fósiles. Nadie lo ha conseguido solo con energía renovable porque no es evidente que se pueda hacer. A lo mejor se podría en una virguería

“

Vamos a una sustitución de energía fósil por renovable, pero es discutible que vayamos a producir la misma cantidad de energía”

técnica, pero seguramente gastaríamos más energía de la que el sistema nos devolvería, con lo cual tendríamos un sumidero energético y no una fuente de energía. Por otra parte, no nos damos cuenta de que materiales que damos por garantizados, como el cemento y el acero, dependen críticamente de la existencia de combustibles fósiles.

P: ¿No se está investigando para acabar con esta dependencia de los combustibles fósiles?

R: Nadie aborda este problema seriamente porque es un punto insalvable. No está en absoluto demostrado que estos sistemas se puedan hacer sin combustibles fósiles. De hecho, algunos autores dicen que los sistemas renovables actuales, los eléctricos, son solamente extensiones de los combustibles fósiles. Obviamente

tienen menos huella de carbono, emiten menos CO₂ por unidad de energía producida, pero sin CO₂ fósil no se pueden poner en marcha.

P: ¿Y qué ocurre con los materiales escasos?

R: Hay muchos materiales que se acabarían si todo el mundo hiciera la transición energética a las renovables. El último informe de la Agencia Internacional de la Energía dice que, para cumplir con los objetivos de descarbonización, de aquí al 2050 la producción anual de litio se tiene que multiplicar por 100 y la de cobalto y níquel por 40. Esto es físicamente imposible. Además, hay que tener en cuenta las reservas. Tomando las reservas probadas y probables de materiales críticos, Alicia Valero, de la Universidad de Zaragoza, señala una decena de materiales

que resultan insuficientes para la transición: el neodimio, el litio, la plata, el platino, el cadmio, el manganeso, el cobre, el zinc, el plomo...

P: ¿Estos materiales no se pueden sustituir?

R: Claro, pero pierdes eficiencia y obtienes menos rendimiento. Y hay que tener en cuenta que España importa todos estos materiales. La crisis de los materiales lo frena todo. Para la transición a un modelo renovable eléctrico, es una estaca clavada en el corazón.

P: ¿No podemos usar estos materiales de forma más eficiente?

R: Las empresas están haciendo cambios para ser más eficientes. Esto va a permitir mejoras de un 10 o un 20%, a veces de un 50% en industrias muy ineficientes, pero no se puede hacer indefinidamente. A los economistas no les entra en la cabeza que la eficiencia no se puede incrementar hasta el infinito. No puede llegar un momento en el que no necesites nada. Hay un límite material, físico, termodinámico.

P: ¿Cuál es el tercer problema de las renovables?

R: Que están orientadas a la generación de electricidad y, aunque la electricidad es energía, no toda la energía es electricidad. A nivel mundial, la electricidad representa aproximadamente el 20% de toda la energía final utilizada; en países avanzados, un poco más. Hay una gran dificultad para electrificar el resto. Estamos dando por hecho que vamos a hacer una transición a un modelo no solo 100% renovable sino 100% eléctrico, cuando eso no está ni medio claro.

P: ¿El hidrógeno sirve como combustible?

R: Mediante un proceso de electrólisis se puede utilizar electricidad para separar el hidrógeno de una molécula de agua. Pero la clave



La producción de petróleo lleva 16 años sin aumentar y ha empezado a caer, advierte Turiel. / PIXABAY

es el rendimiento del proceso. Se suele decir que la eficiencia de la electrólisis es del 80-85%, pero esa cifra se obtiene si solo se tiene en cuenta la electricidad empleada, no la energía que se consume en calentar primero el agua a 80° C. Si miras la eficiencia total en las mejores plantas de electrólisis, el rendimiento es del 53%. El hidrógeno es la única alternativa razonable para motores de camiones, excavadoras, maquinaria pesada, tractores, barcos y aviones. Con baterías no pueden ir, porque la densidad en volumen es muy pequeña: en un camión que fuese a 80 km/h y tuviera una autonomía normal, la batería ocuparía el 80% de la carga. El hidrógeno almacenado a una cierta presión tiene una densidad energética que no es maravillosa, pero no es tan mala como la de las baterías.

P: Pero también tiene problemas.

R: Sí. Podrías quemar hidrógeno directamente en un motor de combustible, pero con una eficiencia del 15%. Después de haber perdido un 50% en la electrólisis, tienes una eficiencia del 7,5%, que no es nada. Por eso se ponen pilas de combustible. Las buenas tienen una eficiencia del 50%, que está bien, pero llevan platino, que es justo de estas cosas que se nos acaban. Además, las pilas producen electricidad en un régimen constante, con lo cual este proceso almacena una batería de litio o cobalto para luego mover un motor eléctrico, que utiliza neodimio y disprosio. Por lo tanto, un motor de hidrógeno en el fondo sigue siendo un motor eléctrico; con una batería más pequeña, sí, pero que necesita todos esos materiales. Además, la pila implica pérdidas del 50%. Añadidas al 50% perdido en la electrólisis, tienes una eficiencia del 25%. Meter el hidrógeno en el depósito a 700 atmósferas supone un gasto energético bastante grande. Esto implica pérdidas del 10-15% respecto a la energía original. Además, la eficiencia del motor eléctrico no es

“

Nadie ha sido capaz de construir una presa hidroeléctrica, un aerogenerador o una placa fotovoltaica sin utilizar combustibles fósiles”

perfecta y el hidrógeno se escapa del depósito progresivamente, así que las pérdidas totales son del 90% o más. Esto es lo típico de un motor de hidrógeno a día de hoy.

P: ¿Y no se puede mejorar?

R: Sí, probablemente, pero las pérdidas serán del 80%, lo que tampoco es muy bueno. El hidrógeno está muy inmaduro, por no decir que no va a estar maduro nunca. El último informe del Grupo III del IPCC [Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático] dice que la tecnología del

hidrógeno no está en un punto para ser utilizada. La síntesis de los problemas de las renovables que tienen un potencial limitado; dependen de los combustibles fósiles y materiales raros; y están orientadas a la producción de electricidad, lo que trae consigo el problema de la conversión.

P: ¿Cuál sería entonces un modelo factible?

R: Un modelo en el que se produjera cierta cantidad de electricidad, pero donde el aprovechamiento principal de las renovables no

fuera eléctrico. Siempre que hay un proceso de transformación de la energía de un tipo a otro hay una pérdida en forma de calor, y las pérdidas son tanto más grandes cuanto más diferentes son los tipos de energía.

P: ¿Estamos en un punto crítico?

R: Sí, el próximo lustro es decisivo porque ya se está notando el efecto de desinversión de las compañías petroleras y gasísticas. Esto anticipa bajadas en la producción que la propia Agencia Internacional de la Energía está mostrando. Estamos en un punto muy volátil por la complejidad de las interacciones. Aquí la política tiene mucho que decir. En función de las decisiones y las medidas, lo que viene puede ser muy malo o mucho mejor que eso. Es muy importante entender que hay que actuar ya y, si algo no funciona, rápidamente rectificar.

P: Dice que la crisis energética impide el crecimiento infinito.

R: La humanidad tiene varios problemas de sostenibilidad, no solo el agotamiento de fuentes de energía y materiales: el cambio climático; la contaminación por plásticos y metales pesados; la mala calidad del aire; la degradación de los suelos... Todos tienen un origen común: un sistema económico acelerado que nos lleva a un crecimiento infinito y exponencialmente rápido en un planeta finito. Estamos alterando la biosfera y su capacidad de sostenernos, y eso nos puede llevar a la autodestrucción. Cuando discuto con economistas, me dicen: “usted no tiene en cuenta que el progreso tecnológico trae una mejora en la eficiencia de los usos materiales”. Y yo les digo que todos los estudios muestran que la eficiencia es útil, pero no tiene un recorrido infinito.

P: ¿Tenemos que cambiar nuestra concepción de la economía?

R: Kenneth Boulding decía que la humanidad tiene que pasar del modelo de la verde pradera del cowboy, que no se acababa nunca, al modelo nave espacial Tierra, en el que has crecido ya mucho y tienes unos recursos finitos. Somos 7.900 millones y tenemos que aprender a gestionar los residuos, reciclarlos y cerrar los ciclos, porque estamos en una nave espacial aislada en medio del cosmos. El sistema económico se ha constituido en los dos siglos de expansión desde la revolución industrial. Pero ahora las bases materiales están llegando a su fin, tanto por los insumos que se necesitan (materias primas energéticas y materiales) como por los residuos que se generan y causan problemas como el cambio climático. Hay que aceptar que la fase expansiva terminó. El capitalismo es una fase más de la evolución histórica de la humanidad. No tenemos que destruirlo, sino superarlo, madurar. Si nos empeñamos en seguir creciendo en una situación en la que esto es imposible, vamos a colapsar.

P: ¿Qué rol juega la ciencia en este escenario?

R: En nuestras sociedades está muy extendido el mito del progreso, que hace que el hueco que antes ocupaba la religión en la sociedad ahora la ocupe la ciencia. Esto me parece peligroso, porque la ciencia no es una religión, es una cosa completamente distinta. Nos ha hecho progresar, pero también nos ha hablado de límites. No solo de límites ecosistémicos, también de que no podemos superar la velocidad de la luz o evitar que la entropía crezca. En el discurso neoliberal, esta parte de la ciencia desaparece. La ciencia aparece solamente como proveedora salvífica, solucionadora de todos los problemas. Pero la ciencia también dice que hay cosas que no se pueden hacer. ●



Un modelo energético factible sería el que produjera cierta cantidad de electricidad, pero en el que el aprovechamiento principal de las renovables no fuera eléctrico, considera Turiel. / PIXABAY

Centros CSIC en España



CSIC
INVESTIGA
 Revista de ciencia



www.csic.es



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN