

María Retuerto y Álvaro Tolosana

Científicos investigadores del Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

“La electrólisis es el proceso más eficiente de producción de hidrógeno a partir de energía eléctrica”

Mónica Ramírez

María Retuerto Millán y Álvaro Tolosana Moranchel son científicos del grupo de investigación del Instituto de Catálisis y Petroquímica (IPC) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Ambos centran su investigación en nuevos materiales para hacer más eficiente la generación de hidrógeno verde mediante electrólisis del agua. Además, la labor desarrollada por esta investigadora ha recibido el reconocimiento de la Fundación L'Oréal y la UNESCO, con uno de los Premios a la Investigación For Women in Science, concedidos anualmente a cinco eminentes científicas españolas. En su caso, en concreto, por su trabajo en el desarrollo de tecnologías que permitan almacenar energías limpias a través del hidrógeno verde.

Por su parte, Álvaro Tolosana es investigador posdoctoral con una ayuda de Atracción de Talento de la Comunidad de Madrid. Técnica Industrial ha charlado con ellos para conocer de primera mano las investigaciones que están llevando a cabo y las principales innovaciones relacionadas con este vector energético, que será clave en la transición energética.

¿En qué se centra la investigación que están llevando a cabo en el grupo de Energía y Química Sostenible del Instituto de Catálisis y Petroleoquímica?

Nosotros somos un grupo de investigación del Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (ICP) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Como tal, nuestras principales líneas de investigación en el campo del hidrógeno verde están centradas en la mejora de los proce-



María Retuerto y Álvaro Tolosana, científicos investigadores del CSIC.

Todavía hay que mejorar las tecnologías de la electrólisis para aumentar su eficiencia

Los catalizadores que ocurren durante la producción de hidrógeno verde en los electrolizadores.

En concreto, en los electrolizadores actuales de tipo PEM se usan metales muy escasos y caros como el platino y el iridio. En nuestro grupo de investigación investigamos sobre nuevos catalizadores que usen menos de estos metales, o incluso que usen sólo componentes abundantes y baratos, y que sean capaces de producir una mayor cantidad de hidrógeno gastando menos energía.

También trabajamos en la mejora

de los electrolizadores alcalinos en los que se usan, sobre todo, níquel. La Agencia Internacional de la Energía ha incluido el níquel en la lista de materiales críticos del 2022 (<https://www.iea.org/policies/15271-final-list-of-critical-minerals-2022>), por tanto, también estamos trabajando en reducir su utilización y tratar de aumentar la eficiencia y duración de ambos sistemas.

En líneas generales, ¿cuáles son las principales ventajas del hidrógeno verde? ¿y de la tecnología de la electrólisis?

El hidrógeno verde, o hidrógeno renovable, es el hidrógeno que se obtiene a partir de fuentes renovables y sin emisiones netas de CO₂ durante su producción.

Para ponerlo en contexto. El hidrógeno no se encuentra libre en la naturaleza (es decir, no hay H₂), pero se puede producir a partir de otras moléculas (H₂O, CH₄, petróleo...). Para obtener hidrógeno a partir de esas moléculas hay que aportar energía. Actualmente el hidrógeno se obtiene principalmente de metano (o gas natural), pero también se puede producir a partir de carbono o de petróleo, por lo que además de producir hidrógeno se produce CO₂. Además, la energía necesaria para producir esta reacción no es de origen renovable, por lo que se generan aún más emisiones de CO₂.

Por el contrario, el hidrógeno verde se produce a partir del agua, por lo que además de hidrógeno no se produce CO₂ sino oxígeno. Aún más, la energía necesaria para la producción de hidrógeno a partir de agua se obtiene a partir de energía renovable (solar, eólica etc.), por lo que no hay emisiones de CO₂ en ninguna etapa del proceso (siempre y cuando

la energía usada sea totalmente renovable).

La electrólisis es la separación del agua en sus elementos, hidrógeno y oxígeno

La electrólisis es el proceso más eficiente de producción de hidrógeno a partir de energía eléctrica. Este proceso es la separación del agua en sus elementos, hidrógeno y oxígeno, cuando se aplica una corriente eléctrica externa (electricidad proveniente de renovables). De esta forma, la electricidad renovable se almacenará en forma de hidrógeno. Las ventajas son que no deja residuos y es completamente renovable.

Una de sus mayores desventajas es el precio, ya que el precio actual de la producción de hidrógeno verde a partir de renovables es de unos 5 €/kg, pero este coste (OPEX) depende principalmente del precio de las energías renovables, por tanto, ya a día de hoy este precio se está reduciendo con la disminución del coste de las renovables, siendo cada vez más competitivo con el hidrógeno proveniente de fuentes fósiles. Sin embargo, todavía hay que mejorar las tecnologías de la electrólisis para aumentar su eficiencia y disminuir su coste CAPEX. En este coste hay que tener en cuenta el coste del electrolizador y del balance de planta (convertidores de corriente, acumuladores de agua, presurizadores, sistemas auxiliares). Por tanto, el CAPEX depende en gran medida de una mayor producción de electrolizadores y de un aumento de su capacidad.

Existen varias tecnologías electro-líticas, y todas ellas tienen en común la presencia de dos electrodos donde se producen el hidrógeno (reducción, cátodo) y el oxígeno (oxidación, ánodo). La tecnología más desarrollada y comercial es la electrólisis alcalina convencional.

Esta se basa en la inmersión de los dos electrodos en un electrolito

líquido alcalino que conduce aniones OH⁻. Los electrodos están separados por un diafragma. Es una tecnología simple y barata, el mantenimiento es sencillo, no se necesitan metales nobles y es relativamente estable. Sin embargo, las densidades de corriente que se obtienen son bajas, trabaja dentro de unos límites de operación (inferior y superior) para que no se produzca mezcla de hidrógeno y oxígeno, perdiéndose, por tanto, parte de la energía producida, los electrodos se acaban corroyendo después de un número determinado de paradas y puestas en marcha, y no se ajusta a los requerimientos de acumular energía renovable, ya que su tiempo de respuesta es elevado. Por tanto, generalmente se acoplan a una batería para utilizarse como acumuladores de energía.

Existen otras tecnologías electro-líticas en fase de desarrollo, como son la electrólisis de membrana polimérica protónica (PEM) y la electrólisis de estado sólido. La PEM ya es comercial a menor escala. Es una electrólisis donde el electrolito es una membrana polimérica sólida que conduce H⁺. Se alimenta con agua pura, el hidrógeno producido es muy puro (99.999%), y se presuriza directamente en el sistema, las densidades de corriente que se obtienen son las más elevadas y tiene una respuesta muy rápida y dinámica, que son los requerimientos necesarios para acumular las energías renovables, debidas al carácter fluctuante de éstas. Sus inconvenientes son que los materiales de los electrodos están basados en metales nobles y en las placas bipolares se utiliza titanio, en ambos casos con un precio elevado y con los problemas relacionados con su escasez y abastecimiento. A día de hoy PEM es la tecnología idónea para acumular los excesos de energía renovable.

La electrólisis de estado sólido todavía no se comercializa. Es un sistema sólido que trabaja a altas temperaturas (500-1000 °C). El electrolito es un conductor de iones oxígeno (O²⁻). La eficiencia energética es prácticamente del 100%, no necesita metales nobles, puede trabajar a alta presión y es reversible a una pila de combustible. Sin embargo, debido a sus altas temperaturas, aún existen

problemas respecto a la durabilidad de sus componentes y no se ajusta a los requerimientos de las energías renovables debido a estas temperaturas. Esta condición puede ser una ventaja si se acopla a sistemas en los que se libere calor y éste se pueda utilizar. Es una de las tecnologías electro-líticas más prometedoras. Existen otras tecnologías electro-líticas en fase experimental, como son la de membrana microbiana, la de membrana de intercambio aniónico, la membraneless o la de agua salada.

Respecto a las dos tecnologías comerciales, los electrolizadores alcalinos se comercializan de mayor capacidad llegando a 40 MW aproximadamente, mientras que los electrolizadores PEM suelen ser más pequeños, siendo los mayores comercializados del orden de 6-10 MW aproximadamente. En la actualidad, los electrolizadores de estado sólido que se están empezando a desarrollar tienen una capacidad aproximada de 10 kW.

Entre las compañías que comercializan electrolizadores alcalinos convencionales y PEM destacan NEL Hydrogen, Giner Inc., Hydrogen Pro, Cummins y Siemens. En España cabe destacar HIDROGENA Desarrollos Energéticos S.L., H2 Green y H2B2 Electrolysis Technologies S.L.

El aumento de la eficiencia es uno de los objetivos de las investigaciones

¿Qué usos se le puede dar a este tipo de hidrógeno?

En la actualidad, el hidrógeno (no verde) se usa en la industria para diversos procesos tales como la producción de amoníaco, la producción de combustibles y la producción de metanol y derivados. No se usa, al menos directamente, en el sector energético como vector energético.

Por el contrario, el hidrógeno verde puede usarse en el sector energético, además de los procesos anteriores en los que se usa el hidrógeno actualmente. Los usos del H2 verde

serán los siguientes:

En el sector energético, su uso principal es como vector energético. Como hemos dicho anteriormente, el hidrógeno se produce a partir del agua usando energía renovable mediante un proceso de electrolisis (ruptura de la molécula de agua por electricidad). Ese hidrógeno producido por electrolisis acumula la energía (renovable) que se ha aportado en el proceso siendo por tanto un acumulador de energía renovable en los períodos de baja demanda. Como ha acumulado energía, puede usarse como vector energético (combustible) para volver a producir electricidad (reacción opuesta a la de producción, en la que el hidrógeno se transforma en agua y produce electricidad), sin emisiones de CO₂. Esto se haría en una pila de combustible en la cual de nuevo el H₂ junto con O₂ del aire produciría agua y electricidad. Esta electricidad se puede usar en muchos sectores, como el transporte. Si te das cuenta usamos agua y electricidad renovable para producir hidrógeno verde, que cuando lo usamos produce agua y electricidad, siento un ejemplo perfecto de la economía circular.

El H₂ también puede producir energía mediante combustión directa, por ejemplo, para producir calor industrial o en aplicaciones como la aeroespacial. O mezclado con CH₄ en las líneas de gas natural.

En este sentido también puede realizarse la reacción de metanación, utilizando H₂ verde y captura de CO₂ e introducir este metano verde en la red gasista. El H₂ verde también puede usarse para las siguientes aplicaciones:

En el sector químico/industrial tradicional, para la producción de amoníaco, metanol, reformado petróleo etc. En el sector químico/industrial, en procesos que se necesita un agente reductor como en la producción de acero, y que resulta en grandes emisiones de CO₂. Al usar hidrógeno se evitan dichas emisiones.

¿Qué efectos puede tener en el sector de la industria?

Como acabamos de explicar la utilización de H₂ verde como reactivo, como agente reductor o como combustible para producir calor industrial. Por tanto, el H₂ verde ha sido

considerado clave para descarbonizar gran parte del sector industrial.

¿En qué otros sectores puede ser beneficioso el hidrógeno verde para tratar de descarbonizar el planeta?

Es una herramienta muy valiosa en el sector transporte, ya que se puede utilizar en pilas de combustible en transporte pesado y de larga distancia, o incluso en coches, aunque en este caso quizás sea más aconsejable utilizar coches de batería. En cualquier caso, para descarbonizar el sector transporte, ya sea mediante coches eléctricos (baterías y pilas de combustible), o biocombustibles o combustibles sintéticos; en ambos casos es fundamental la introducción del H₂ verde.

El H₂ puede producir energía mediante combustión directa para producir calor industrial

¿Es posible capturar CO₂? ¿Existen investigaciones en este sentido?

Sí, nosotros no trabajamos en esta línea actualmente, aunque sí que estamos comenzando a trabajar en la electrorreducción de CO₂ para producir productos de alto valor añadido como metano, metanol, combustibles, etc., a partir de CO₂ capturado y energía renovable.

En el CSIC existen otros grupos que trabajan en captura de CO₂, como en el INCAR, donde utilizan CaO como sorbente regenerable (procesos de carbonatación-calcinación o "calcium looping"), o captura y separación de CO₂ de corrientes gaseosas mediante otros procesos de adsorción. También existen investigadores (IDAEA) que trabajan en inyectar el CO₂ en formaciones geológicas profundas para su almacenamiento permanente.

¿En qué otras iniciativas o investigaciones habría que trabajar para lograr una verdadera transición energética y lograr un planeta más sostenible?

Básicamente en todos los pilares

clave establecidos para realizar la transición energética: invertir e investigar más en nuevas o modificadas energías renovables y en aumentar la eficiencia de las existentes (por ejemplo, las perovskitas solares), captura de CO₂, H₂ verde por las diferentes tecnologías electrolíticas mejorando las debilidades de cada una de ellas, y sistemas de almacenamiento de energía alternativos y complementarios al H₂ verde (baterías Li, baterías flujo redox, baterías metal-aire, etc.), biocombustibles y e-fuels. Este último punto es esencial para descarbonizar muchos sectores; utilizando como reactivos H₂ verde y CO₂ capturado se pueden producir muchos compuestos de valor añadido como metano, metanol, combustibles sintéticos, dimetiléter, etc. Además, seguir investigando en sectores más fundamentales de la ciencia, que quizás no están tan cerca de la aplicabilidad, pero son necesarios; producción de H₂ a partir de fotocatalisis, ciclos termoquímicos, etc.; electrorreducción de CO₂ o electrosíntesis de amoníaco, etc.

De manera global, ¿es necesario también consumir energía de una manera más eficiente?

Por supuesto, el aumento de la eficiencia es uno de los objetivos para cualquiera de las investigaciones detalladas anteriormente. Por ejemplo, en el caso de la producción de H₂ verde mediante PEMWE, nosotros tratamos de utilizar catalizadores con mayor actividad para hacer el proceso más eficiente, es decir, utilizar menos energía para producir la misma cantidad de H₂.

Por último, como reconocimiento al trabajo realizado en esta materia, María Retuerto ha sido galardonada con el prestigioso premio L'Oréal-UNESCO, por la investigación realizada sobre la electrolisis del agua y la generación de hidrógeno verde. ¿Qué supone para usted recibir este tipo de galardones?

Conseguir un premio tan prestigioso como éste es un reconocimiento a mi carrera científica. Es, de alguna manera, una demostración de que el trabajo, la constancia, el esfuerzo, y no tirar la toalla, al final, tienen su recompensa.