

# Hidrógeno verde y transición energética

ANTONIO SERRANO RODRÍGUEZ

**D**entro de la complicada, frágil e inestable dinámica que registra el planeta y sus habitantes, destaca una “transición energética” no exenta de problemas ni de contradicciones, que, teóricamente, pretende colaborar a transformar la relación de la sociedad con la naturaleza y abordar las crisis del clima, la biodiversidad y la contaminación de manera conjunta, con el fin de garantizar un futuro sostenible y prevenir futuras pandemias.

Esta transición energética tendría una de sus bases, para satisfacer la creciente demanda de energía mundial prevista, en una electrificación producida por energías renovables –dada su esperada rápida reducción de costes– con un almacenamiento de electricidad en momentos de sobreproducción renovable sobre la demanda, y con el gas natural como principal energía de respaldo.

## El hidrógeno verde como parte de la transición energética mundial

Como posible forma de almacenamiento se considera el “hidrógeno renovable, limpio o verde” obtenido mediante la electrólisis de agua, con la electricidad procedente de fuentes renovables, que es un gas incoloro, inodoro, insoluble en agua e inflamable, que ha sido considerado durante más de medio siglo como la energía del futuro sin que las condiciones económicas hicieran viable esa opción.

La producción de hidrógeno existente es reducida. El 96% se extrae del gas o del carbón (que denominaremos hidrógeno gris), no tiene unas pérdidas energéticas demasiado elevadas, pero tiene el problema de la generación de gases de efecto invernadero (GEI) y un coste dependiente de las energías fósiles y sus fluctuaciones; adicionalmente al del coste del carbono progresivamente implantado en la UE y con tendencia a su generalización mundial. No obstante, existe la esperanza

de que su producción se pueda asociar, de forma rentable, a la por ahora costosa y poco desarrollada captura del carbono generado en el proceso de producción, dando lugar al que denominaremos hidrógeno azul.

El hidrógeno verde se obtiene con muy reducidas emisiones de GEI en su ciclo de vida y prácticamente nula contaminación, pero con pérdidas energéticas en el proceso respecto al uso directo de la energía eléctrica utilizada. Su ventaja es que

**El hidrógeno verde ha sido considerado durante más de medio siglo como la energía del futuro sin que las condiciones económicas hicieran viable esa opción**

la electrólisis se utilizaría en los tiempos en que la producción energética renovable superara a la demanda, almacenando una energía que, en otro caso, exigiría el paro de la generación renovable o un sistema de almacenamiento alternativo. Como el coste marginal de esa generación es mínimo, aunque se pierda energía, su coste en la obtención del hidrógeno verde puede hacerle competitivo frente a formas alternativas de almacenamiento, y

ante ciertos usos energéticos para los que la electrificación no es eficiente desde el punto de vista de los costes (industrias de procesos con requisitos de alta temperatura, como el hierro y el acero, o como el cemento, el químico, la minería y el petróleo y el gas), algunos de los cuales ya utilizan el hidrógeno gris.

Su futuro también se asocia a que puede ser alternativa viable y económica al petróleo y sus derivados en el transporte por carretera, aéreo y marítimo; e, igualmente, en la calefacción o uso energético en edificios.

## Escenarios globales para el desarrollo del hidrógeno verde

La viabilidad del papel del hidrógeno verde en la “transición energética” se enmarca en un ámbito donde es complicado hacer previsiones, ya que las multinacionales de la energía y distintos tipos de organismos (fundamentalmente los fondos especulativos que operan en los mercados de futuro –ya incluido el del hidrógeno– y los países productores integrados en la OPEP+), en algunos casos, se juegan miles de millones en derechos de explotación de energías fósiles consolidados.

Gran parte de los escenarios de futuro definidos por distintas fuentes tras la pandemia, se sustentan en la hipótesis de que la crisis generada a partir de las medi-

das adoptadas para combatir los efectos de la COVID-19, está obligando a una intervención pública excepcional, que va a canalizar ingentes cantidades de inversión para la I+D+i y los planes de intervención de las multinacionales de la energía, poniendo en valor, entre otros aspectos, el almacenamiento con hidrógeno verde.

En todo caso, las previsiones están ligadas a la evolución de los precios de las alternativas de oferta y almacenamiento energético que, a su vez, van a depender muy directamente, tanto de las políticas de los distintos agentes intervinientes en el proceso, como de la viabilidad de llevar a cabo las ingentes inversiones necesarias que, hasta ahora, se han basado en fuertes ayudas públicas y en unos tipos de interés muy reducidos.

Además, su papel potencial está muy directamente asociado al cobro por emisiones de CO<sub>2</sub> en todas las actividades generadoras de las mismas. Y a la viabilidad de hacerlo sin generar conflictos con los consumidores, políticamente inasumibles (los conflictos con los chalecos amarillos en Francia o en otros países por este motivo no son políticamente despreciables).

En 2017, 39 de las principales empresas energéticas y fabricantes de automóviles del mundo formaron el International Hydrogen Council (IHC) para acelerar la inversión y el apoyo político a las tecnologías basadas en hidrógeno y a las pilas de combustible, sin esconder que, sin ayudas públicas, no se consideraba factible que el hidrógeno verde se desarrollara antes de 2030; y que se necesitaba un apoyo específico para la producción y para estimular la demanda de hidrógeno en los sectores donde las oportunidades a corto plazo para su implantación son mayores.

En julio de 2020, la Comisión Europea (CE) presentaba «Una estrategia del hidrógeno para una Europa climáticamente neutra»<sup>1</sup> apostando por el hidrógeno verde como solución para descarbonizar los procesos industriales y los sectores económicos en los que la reducción de las emisiones de carbono es difícil de lograr. El objetivo mostrado, en 2019, en la Hoja de ruta del hidrógeno para Europa era pasar del aproximadamente 2% del mix energético europeo que representaba el hidrógeno en 2018 a más del 13% para 2050, promoviendo que las inversiones

---

<sup>1</sup> *Una estrategia del hidrógeno para una Europa climáticamente neutra*, Comisión Europea, 8 de julio de 2020, disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0301&from=DA>

acumuladas en hidrógeno verde en Europa se situaran entre 180.000 y 470.000 millones de euros de aquí a 2050, pudiendo satisfacer el 24% de la demanda mundial de energía, con unas ventas anuales de 630.000 millones de euros. Ello requeriría, además, una inversión de entre 3.000 y 18.000 millones de euros para el hidrógeno a partir de combustibles fósiles con bajas emisiones de carbono, asumiendo que la aparición de una cadena de valor del hidrógeno podría emplear hasta a un millón de personas, directa o indirectamente.

Sin embargo, hoy en día el hidrógeno verde y el hidrógeno azul no son rentables en comparación con el hidrógeno gris. Los costes estimados del hidrógeno gris, que

**Donde la electricidad renovable es barata –caso de España– se espera que el hidrógeno verde pueda competir con el hidrógeno gris en precio para 2030**

dependen mucho de los precios del gas natural y del carbón, se sitúan en torno a 1,5 €/kg para la UE, frente a los entre 2,5 y 5,5 €/kg del hidrógeno verde,<sup>2</sup> aunque esté bajando rápidamente, ya que los costes de los electrolizadores se han reducido en un 60 % en los últimos diez años y se espera que se reduzcan a la mitad en 2030 gracias a las economías de escala, a obtener a través de las ayudas pro-

puestas. Donde la electricidad renovable es barata –caso de España– se espera que el hidrógeno verde pueda competir con el hidrógeno gris en precio para 2030.

La CE, contando con la Directiva sobre fuentes de energía renovables y el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión (RCDE), así como con Next Generation EU, el Plan del objetivo climático para 2030 y la nueva Estrategia industrial para Europa, propone invertir del orden de 400.000 millones de euros para conseguir que el hidrógeno verde baje por debajo del euro el kilo, con la instalación de, al menos, 6 GW de electrolizadores de hidrógeno verde en la UE y la producción de hasta un millón de toneladas de hidrógeno verde para 2024; y conseguir 40 GW y hasta 10 millones de toneladas de hidrógeno renovable en la UE para 2030.

El Informe Especial del World Energy Outlook de 2020<sup>3</sup> señala que hay que avanzar todavía mucho en el desarrollo tecnológico necesario y en reducir el precio del

<sup>2</sup> En 2019, los costes serían entre 1,4 y 2,6 €/kg obtenido de combustibles fósiles con captura y almacenamiento de carbono, y entre 2,4 y 4,2 €/kg para el hidrógeno verde, según BloombergNEF, que estima que en 2030 para este último podrían mejorar hasta 1 y 1,5 €/kg. En España el hidrógeno gris se sitúa por debajo de 1,8 €/kg y el verde oscila entre los 4,5 y los 6,4 €/kg.

<sup>3</sup> International Energy Agency, «World Energy Outlook Special Report in collaboration with the International Monetary Fund», junio de 2020, disponible en: <https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery>

hidrógeno verde, haciendo hincapié en las necesidades de apoyar públicamente las inversiones en las infraestructuras e instrumentales necesarios, tanto para producirlo, como para transportarlo, y para desarrollar y viabilizar económicamente las aplicaciones de los consumidores que pudieran demandarlo. En particular, hay que señalar que como posible solución significativa lleva más de veinte años constituyendo la gran esperanza del sector automovilístico, siendo los fabricantes orientales los que lo ven como parte de la solución de su futuro.<sup>4</sup>

Los planes de inversión en producción de hidrógeno verde han pasado de 3,2 GW, en 2019 a 8,2 GW para 2030, tras la apuesta de la UE por esta tecnología. Y las compañías que forman parte del International Hydrogen Council (IHC) han pasado a 81 en 2021, prediciendo un mercado de 2,5 billones de dólares para equipos de pilas de combustible de hidrógeno para 2050.

Desde la perspectiva de posibles escenarios futuros compatibles con rebajar a un máximo de 2°C el calentamiento global, el *New Energy Outlook Climate Scenario* (NCS) analizado por BloombergNEF<sup>5</sup> se centra en una generación de electricidad libre de carbono y en el uso del hidrógeno verde para almacenaje y uso energético complementario. Se pasaría de una electricidad que representa actualmente alrededor del 20% de la energía final, a una electricidad verde del 45% para el 2050, y a un uso del hidrógeno que en la actualidad representa menos del 0,001% a un hidrógeno verde que representaría del orden del 25% de la energía final mundial utilizada. El 30% de demanda restante se basaría en la bioenergía existente, más el uso residual de petróleo y gas en la aviación y el transporte marítimo, y del carbón en la industria donde ni la tecnología eléctrica directa ni el hidrógeno puedan actuar como sustitutos. Pero este escenario exigiría inversiones totales de entre 78 billones y 130 billones de dólares en las próximas tres décadas.

También en el escenario de futuro definido por McKinsey<sup>6</sup> se da un papel creciente al hidrógeno verde, fundamentalmente a partir de 2035, principalmente para su uso en industria y transporte, de manera que se asume la hipótesis de que entre 2035 y 2050 la demanda de energía “indirecta” para electrólisis representaría, apro-

<sup>4</sup> Se otorga al vehículo de hidrógeno entre el 10% y el 25% del mercado mundial entre 2030 y 2050, ya que un parque 100% eléctrico resulta inviable en esos plazos.

<sup>5</sup> BloombergNEF, *New Energy Outlook 2020*, disponible en: [https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/928908\\_NEO2020-Executive-Summary.pdf](https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/928908_NEO2020-Executive-Summary.pdf)

<sup>6</sup> McKinsey, *Energy Insights - Global Energy Perspective 2021*, enero de 2021, disponible en: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Oil%20and%20Gas/Our%20Insights/Global%20Energy%20Perspective%202021/Global-Energy-Perspective-2021-final.pdf>

**La Comisión propone invertir del orden de 400.000 millones de euros para conseguir que el hidrógeno verde baje por debajo del euro el kilo**

ximadamente, el 40% del crecimiento de la demanda de la electricidad. Pero solo sería viable si el hidrógeno verde se vuelve competitivo en la década de 2030, aspecto impredecible, ya que no se conoce cómo será la curva de aprendizaje y cuánto pueden cambiar los costes a medida que aumente la producción.

## La Hoja de ruta del hidrógeno verde en España

En España se pretende lograr una transición energética justa e inclusiva, de la que forma parte la Hoja de ruta del hidrógeno renovable,<sup>7</sup> aprobada en octubre de 2020, y su integración sectorial, aportando para dicha transición el 9% de los recursos totales (6.408 millones de euros) del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia Español (PRTRE).

Dicha Hoja de ruta desarrolla lo contemplado en el Plan Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030, e incluye 60 medidas, movilizandando unos 1.500 millones de euros, agrupadas en cuatro ámbitos de actuación:

- a) Regulaciones fiscales y financieras para impulsar la implantación del hidrógeno verde, con reglas claras, y modificar las pautas de protección medioambiental, con un marco regulatorio de certificación a nivel europeo, que permita comprobar la huella medioambiental a lo largo del ciclo de vida del vector hidrógeno, mostrando las ventajas del hidrógeno verde sobre otras formas de hidrógeno.
- b) Medidas de carácter sectorial para incentivar el uso de hidrógeno renovable y la puesta en marcha de proyectos en ámbitos como el industrial, el energético o el de la movilidad, destacando, en particular, las industrias con altos requisitos de calor (fabricación de acero y química, por ejemplo) donde, aproximadamente el 30% de las emisiones de CO<sub>2</sub> es difícil de reducir solo con electricidad. Se pretenden clústeres/valles locales (descentralizados y/o insulares) integrados por empresas vinculadas a la producción y consumo locales de hidrógeno.

---

<sup>7</sup> *Hoja de ruta del hidrógeno: una apuesta por el hidrógeno renovable*, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, octubre de 2020, disponible en: [https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/hoja\\_de\\_ruta\\_del\\_hidrogeno\\_una\\_apuesta\\_por\\_el\\_hidrogeno\\_renovable\\_tcm30-513830.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/hoja_de_ruta_del_hidrogeno_una_apuesta_por_el_hidrogeno_renovable_tcm30-513830.pdf)

- c) Medidas de carácter transversal para fomentar el conocimiento del potencial del hidrógeno renovable en el conjunto de la sociedad.
- d) Fomento de la I+D+i vinculada a estas tecnologías.

Sus objetivos son acordes con la Estrategia y Hoja de ruta europeas para el hidrógeno señaladas, y plantea objetivos nacionales de fomento del hidrógeno renovable a 2030 y, la perspectiva del 2050. Entre otros, los principales objetivos para el 2030 son:

- 4 gigavatios (GW) de potencia instalada de electrólisis para producción de hidrógeno verde, lo que representa un 10% del objetivo marcado por la CE para 2030 del conjunto de la UE, con una potencia instalada de electrolizadores para el 2024 de entre 300 y 600 MW.
- Un mínimo del 25% del consumo de la industria será hidrógeno verde en 2030, sustituyendo al medio millón de toneladas de hidrógeno gris como materia prima y/o vector energético actual, evitando emisiones de 9 kg de CO<sub>2</sub> por cada kilogramo de hidrógeno sustituido.
- Para 2030 se espera una flota de al menos 150 autobuses, 5.000 vehículos ligeros y pesados y dos líneas de trenes comerciales propulsadas con hidrógeno renovable.
- La implantación de un mínimo de 100 hidrogeneras y la instalación de maquinaria de *handling* propulsada con hidrógeno en los cinco primeros puertos y aeropuertos.

En paralelo, también la Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación 2021-2027 incluye, entre sus líneas estratégicas de I+D+i nacional, al hidrógeno verde. Y su uso para almacenar energía renovable a gran escala y de manera estacional, aportando capacidad de gestión, se considera en la Estrategia de almacenamiento,<sup>8</sup> aprobada en febrero de 2021.

Para la inclusión del hidrógeno verde en el PRTRE se estableció una «manifestación de interés», hasta el 19 de diciembre de 2020, para que los agentes interesados identificaran y localizaran proyectos solventes en España, precisando su impacto en toda la cadena de valor y desarrollo industrial, así como en el empleo,

<sup>8</sup> *Estrategia de almacenamiento energético*, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, febrero de 2021, disponible en: [https://www.miteco.gob.es/es/prensa/estrategiadealmacenamientoenergetico\\_tcm30-522655.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/prensa/estrategiadealmacenamientoenergetico_tcm30-522655.pdf) La Estrategia contempla disponer de una capacidad total de almacenamiento de 20 GW en el año 2030, contando con los 8,3 GW de almacenamiento disponible a día de hoy, y de unos 30 GW de almacenamiento en 2050.

capacidad de transformar con sus capacidades de I+D+i la economía, colaborar en la descarbonización, y favorecer la cohesión social y territorial.

La respuesta desde las multinacionales de la energía a la «manifestación de interés» y a las potencialidades del *European Green Deal* ha sido muy significativa, con planes en firme en España –contemplando específicamente acciones para desarrollar el hidrógeno verde– con una inversión de unos 30.000 millones hasta 2025, contando todos ellos con la ayuda de los fondos europeos aplicables al PTRRE.

Entre otros, cabe citar la implicación de grandes consorcios internacionales y la participación de todas las multinacionales españolas de la energía, como HyDeal Ambition (67 GW de electrólisis, produciendo 3,6 millones de toneladas anuales de hidrógeno verde a 1,5 €/kg, antes de 2030); H24All, en el que está incluido

**La estrategia española contempla que para 2030 funcionen 150 autobuses, 5.000 vehículos ligeros y pesados y dos líneas de trenes comerciales impulsadas con hidrógeno renovable**

Repsol (53 proyectos, con 2.200/2.900 millones de inversión y más de 1,2 GW, en 2030, en electrolizadores); Green Hydrogen Catapult, que integra a Iberdrola (53 proyectos, con 2.500 millones de inversión y más de 1 GW en electrolizadores); el consorcio internacional que lidera Enel Green Power, que propone una planta de hidrógeno de 100 MW en Castellón para la industria cerámica; el sector de la cogeneración, con plantas para su puesta en servicio en 2023, usando 100% de hidrógeno producido en electrolizadores *on site*;

Naturgy (plantas de hidrógeno verde e instalación de hasta un total de 120 hidrogeneras); Acciona, con Plug Power (2.000 millones de inversión para producir 1.000 toneladas de hidrógeno verde en todo el mundo para 2028, abasteciendo el 20% de la demanda de España y Portugal); o Endesa (23 proyectos de electrolizadores con 340 MW, con 2.908 millones de inversión, transformando las antiguas centrales térmicas en complejos de hidrógeno verde, con una producción total de 26.000 toneladas anuales).

Por último, también en otros campos, como el del transporte, hay iniciativas de Renfe, junto a Adif, Enagas, el Centro Nacional del Hidrógeno (CNH2) y CAF, entre otros, para poner en marcha dos prototipos de trenes con tracción de hidrógeno verde, del que ya existen experiencias en Talgo, CAF y Alstom. O Iberia, Aena, Enaire y Vueling y Airbus aliados para invertir 11.000 millones en aviación con



combustibles sostenibles, hidrógeno renovable y la infraestructura y almacenamiento en los aeropuertos y en el avión, para lograr un avión de pasajeros libre de emisiones antes de 2035, al que se dedicaría unos 1.000 millones de euros.

## Consideraciones finales

Distintos objetivos, supuestos de contorno y prioridades más o menos implícitas, benefician de manera desigual a multinacionales, empresas locales, distintas actividades productivas y a los ciudadanos, a la vez que implican la asunción de distintos modelos de desarrollo, e inciden en la asignación de recursos de los gobiernos.

Las iniciativas de la Unión Europea de apoyo al hidrógeno verde surgen tras la formación del “Consejo del Hidrógeno” en 2017, promovido por multinacionales energéticas y del automóvil, ante la problemática derivada de las progresivas actuaciones públicas para reducir las emisiones de GEI y la contaminación generada por sus actividades, que ponían en cuestión varias de sus líneas de negocio.

El conseguir la viabilidad del hidrógeno verde se asocia al establecimiento de grandes ayudas y subvenciones públicas a consorcios multinacionales que, en España, han presentado «manifestaciones de interés», a canalizar a través del PRTRE, apostando por las promesas que estos grupos establecen de generación de valor, empleo y futuras competitividades del hidrógeno verde y de todos los procesos implicados en la cadena de valor asociada. Se estima que conseguir los objetivos para dicho hidrógeno verde en 2030 implicaría generar electricidad a menos de 20 €/MWh, reducir un 30% o un 40% el coste del electrolizador, y dar ayudas a grandes instalaciones para ganar en escalabilidad.

Estas «manifestaciones de interés» cumplen el objetivo, con su distribución territorial dispersa, de colaborar en la vertebración territorial española, y en la reconversión de actividades en crisis (el mejor ejemplo es Endesa, que propone convertir las plantas térmicas de carbón que está cerrando en instalaciones modernas que produzcan hidrógeno alimentadas con energía verde). Pero están lejos de tener asegurado su éxito a largo plazo, cuando las ayudas públicas –dados los niveles de deuda y déficit público existentes– sean inviables, si el hidrógeno no logra costes de producción y de puesta a disposición de los usuarios

que le hagan competitivo con otras formas de almacenamiento y aportación energética.

En su viabilidad actúa la elevada potencia eléctrica instalada en España (108 GW) solo utilizada, en media, del orden de su tercera parte. Pero, en todo caso, el Gobierno debería prever y evitar que la demanda eléctrica asociada a una producción de hidrógeno verde, ayudada por la intervención pública, genere tensiones en el sector y lleve a un incremento de precios de la electricidad en los próximos años.

El principal problema del proceso es la consideración de si estas ayudas públicas no tendrían, en la situación actual, alternativas más consistentes con la transición ecológica supuestamente deseada; y si la actual situación de incertidumbre y fragilidad de la evolución socioeconómica, territorial y ambiental mundial, con graves desigualdades, desempleo y tensiones sociales, no recomendaría su empleo en actividades más ligadas a procesos más consolidados, de menor riesgo en su desempeño a corto-medio plazo, y más útiles a la deseable transición ecosocial.

**Antonio Serrano Rodríguez** es Dr. Ingeniero de caminos y economista. Es miembro del Foro Transiciones.

