
El desarrollo del hidrógeno: estrategias y políticas en Europa y España

*Gonzalo Escribano*¹

UNED y Real Instituto Elcano

*Lara Lázaro*²

Centro de Enseñanza Superior Cardenal Cisneros y Real Instituto Elcano

*Ignacio Urbasos*³

Real Instituto Elcano

Recibido: 11-10-2022

Aceptado: 02-12-2022

¹ gescribano@cee.uned.es/gescribano@rielcano.org

² llazaro@rielcano.org

³ iurbasos@rielcano.org

El desarrollo del hidrógeno: estrategias y políticas en Europa y España

Resumen. El desarrollo del hidrógeno como vector de la descarbonización se ha convertido en un tema de actualidad en el debate energético y económico, tanto europeo como global. Ese interés se ha visto reforzado por la crisis energética europea causada por la invasión rusa de Ucrania, que junto con el imperativo de la descarbonización ha supuesto un impulsor adicional. Este artículo aborda las estrategias y políticas europeas para impulsar el hidrógeno, con foco en sus implicaciones para el caso español. Para ello, se exponen primero de manera somera las características económicas del hidrógeno y sus diferentes tipos, así como las tendencias más destacadas sobre su desarrollo. A continuación, se comparan los principales rasgos de las estrategias europeas de hidrógeno, tanto en el plano nacional como en su modelo de inserción internacional, concluyendo que las divergencias existentes constituyen un obstáculo para la integración de los mercados y por tanto para su despliegue. A continuación, se analizan las políticas españolas de promoción del hidrógeno verde, tanto a nivel nacional como regional, incluyendo la reciente actualización de la Hoja de Ruta presentada por el gobierno español. El artículo concluye que las estrategias de los Estados miembros no son totalmente consistentes y entrañan el riesgo de fragmentar el mercado europeo en mercados nacionales.

Palabras clave: Política Energética, Política Industrial, Hidrógeno, Transición Energética, Descarbonización, Unión Europea, Geopolítica.

Clasificación JEL: F15, L52, Q48, Q56.

The development of hydrogen: strategies and policies in Europe and Spain

Abstract. The development of hydrogen as an energy carrier has become a prominent issue in the energy and economic debate, both in Europe and globally. This interest has been reinforced by the European energy crisis caused by the Russian invasion of Ukraine, which together with the imperative of decarbonisation has provided an important additional driver for hydrogen. This article deals with EU strategies and policies to promote hydrogen, with a focus on the Spanish case. For this purpose, it begins by outlining the economic elements of hydrogen and its different types, as well as the most important trends in its development. It then compares the main features of European hydrogen strategies, both at the national level and in terms of their international engagement model, concluding that the existing divergences constitute an obstacle to market integration and thus to market deployment. It then analyses Spanish policies for the promotion of green hydrogen, both at national and regional level, including the recent update of the Roadmap presented by the Spanish government. The article concludes that EU Member States' strategies are not entirely consistent and run the risk of fragmenting the European Union market into national markets.

Keywords: Energy Policy, Industrial Policy, Hydrogen, Energy Transition, Decarbonisation, European Union, Geopolitics.

JEL codes: F15, L52, Q48, Q56.

1. Introducción

El desarrollo del hidrógeno como vector energético se ha convertido en un tema de actualidad en el debate energético y económico, tanto europeo como global, despertando gran interés tanto entre algunos gobiernos como en el sector privado. Ese interés se ha visto reforzado por la crisis energética europea causada por la invasión rusa de Ucrania, que junto con el imperativo de la descarbonización ha supuesto un impulsor adicional importante del hidrógeno. En Europa, algunos Estados miembros y sus vecinos mediterráneos poseen recursos renovables con suficiente potencial como para convertirse en productores de hidrógeno verde competitivos. No obstante, pese a que la práctica totalidad de los actores energéticos europeos anticipan oportunidades económicas importantes para el hidrógeno, los Estados miembros reflejan preferencias divergentes en sus sendas tecnológicas y de integración de mercado.

La mayoría de los gobiernos europeos están interesados en desarrollar la industria del hidrógeno, pero unos están más interesados en el hidrógeno verde o renovable (España y Alemania), mientras que otros apuestan por el de origen nuclear o rosa (Francia), y otros por azul o gris producido con gas descarbonizado o no, respectivamente (Países Bajos). Alemania necesitará importaciones de hidrógeno verde para su industria intensiva en energía, mientras que Francia favorece la autosuficiencia con apoyo nuclear. Por su parte, España y Portugal apuestan a corto plazo por un desarrollo a escala local y regional, pero a medio y largo plazo también quieren ser exportadores de hidrógeno verde y piden articular un mercado europeo de hidrógeno integrado, dando preferencia a la producción europea de hidrógeno verde frente a las importaciones de terceros países.

En España, la publicación en 2020 de la *Hoja de ruta del hidrógeno: una apuesta por el hidrógeno renovable* (MITERD, 2020a) puso las bases para su desarrollo, estableciendo preferencias tecnológicas (hidrógeno producido mediante electrolisis con electricidad de origen renovable) y objetivos (4 GW de capacidad instalada de electrolizadores en 2030 y el 25% del consumo industrial de hidrógeno de origen renovable). El desarrollo del hidrógeno renovable en España tendrá implicaciones de largo plazo para su posicionamiento en el espacio energético europeo. A corto plazo y medio plazo, dado el carácter eminentemente regional de su desarrollo temprano y las propias estrategias y planes industriales de las comunidades autónomas, puede también reconfigurar el mapa energético peninsular, como ocurrió con las energías renovables.

Este artículo aborda las estrategias y políticas europeas para impulsar el hidrógeno, con foco en el caso español. Se exponen primero de manera somera las características económicas del hidrógeno y sus diferentes tipos, así como las tendencias más destacadas sobre su desarrollo. A continuación, se comparan los principales rasgos de las estrategias europeas de hidrógeno, tanto en el plano nacional como en su modelo de inserción internacional, concluyendo que las divergencias existentes constituyen un obstáculo para la integración de los mercados y por tanto para su despliegue. A continuación, se analizan las políticas españolas de promoción del hidrógeno verde, tanto a nivel nacional como regional, incluyendo la reciente actualización de la Hoja de Ruta presentada por el gobierno español. El artículo concluye con algunas consideraciones finales de política pública nacional, europea e internacional.

2. Una visión económica del hidrógeno como vector energético

Antes de esbozar sus principales implicaciones económicas, conviene aclarar el origen del hidrógeno y sus diferentes tipos, así como los medios para su transporte. Aunque hay diferentes definiciones y tipologías o ‘colores’ del hidrógeno, se emplean las siguientes:

- El hidrógeno gris y negro se obtienen por electrolisis a partir del gas natural y el carbón, respectivamente, sin captura ni almacenamiento de carbono (CAC). Ambos, especialmente el negro, tienen una alta intensidad en carbono.
- El hidrógeno azul se extrae principalmente por electrolisis del gas natural con CAC, por lo que la intensidad en carbono es baja; si se consigue a través de pirólisis, es potencialmente neutro en emisiones, por lo que a menudo recibe la denominación de hidrógeno turquesa.
- El hidrógeno rosa se obtiene mediante electrolisis a partir de energía nuclear y es neutro en carbono.
- El hidrógeno verde se obtiene mediante electrolisis a partir de energías renovables y también es neutro en emisiones.

El hidrógeno (verde o descarbonizado), se plantea como un nuevo combustible de transición, que complementaría a las energías renovables en los sistemas de energía del futuro, gracias a corto plazo a su capacidad para sustituir al gas en los procesos industriales que requieren altas temperaturas; y a más largo plazo por su contribución al almacenamiento y a ampliar las opciones de movilidad sostenible (IRENA, 2019). Según la ‘*Roadmap Hydrogen and Gas markets Decarbonisation Package*’ de la Comisión Europea, el biogás, el bio-metano, el hidrógeno renovable y descarbonizado, y el metano sintético cubrirán aproximadamente dos tercios de los combustibles gaseosos en la cesta energética de la UE para 2050, mientras que el gas fósil con CAC representará el resto.

El hidrógeno renovable es clave para la transición energética (IRENA, 2022a). Producido mediante la electrolisis del agua con energías renovables, puede descarbonizar buena parte de los procesos productivos no electrificables, como la siderurgia, la petroquímica, el refinado de petróleo, los procesos caloríficos intensivos, la producción de combustibles sintéticos o el transporte pesado, incluido el marítimo y la aviación. Por el potencial en reducción de costes y la capacidad de reducir emisiones, a largo plazo el hidrógeno renovable será la senda dominante, especialmente en la Unión Europea. Su desarrollo procederá por etapas: en la década de 2020 se dirimirá el liderazgo tecnológico e industrial, con caídas significativas de costes y un rápido despliegue de la infraestructura necesaria para su uso alrededor de valles o *clusters* de carácter regional; para 2030 la producción y la demanda habrán crecido considerablemente, generando países autosuficientes, importadores y exportadores, y propiciando el comercio internacional de hidrógeno y sus derivados (Ram et al., 2020). Sólo a partir de 2040 se producirá la consolidación tecnológica, la intensificación del comercio y la incorporación de los países en desarrollo como productores y consumidores (IEA, 2021).

Otra de las peculiaridades del hidrógeno es su transporte, mucho más complejo técnicamente que el de otras materias primas energéticas. A pesar de que actualmente la producción se desarrolla de forma aislada cerca de los centros de consumo, a largo plazo pueden surgir elementos de comercio regional y, más adelante, transfronterizo en función de los diferenciales de costes de producción y disponibilidad tecno-económica para su transporte (Giuli, 2022). El transporte por tuberías (hidroductos) es considerado la alternativa más eficiente para el transporte de hidrógeno en grandes cantidades y distancias

inferiores a 3.000 km, sobre todo si existe infraestructura fósil que pueda ser readaptada. Por el contrario, las alternativas de transporte por barco en estado líquido o empleando un derivado como amoníaco, metanol o líquidos orgánicos son más costosas y deberán reflejar grandes diferenciales en los costes de producción de hidrógeno para ser rentables. Las estimaciones sobre el coste de la nueva infraestructura necesaria para el transporte de hidrógeno y de la adaptación de la red ya existente implican que el transporte marítimo se verá constreñido a situaciones en las que no exista otra alternativa, como el transporte transoceánico (Wang et al., 2020). El comercio de hidrógeno también se producirá integrado en insumos para consumo industrial como hierro de reducción directa para el acero, amoníaco para la producción de fertilizantes o combustibles sintéticos para el transporte marítimo o aéreo.

Entre los elementos económicos que impulsan el desarrollo del hidrógeno está la voluntad de fomentarlo como objetivo de la política industrial, pero también garantizar la sostenibilidad de las industrias de alto consumo energético. Asimismo, deben considerarse los beneficios económicos derivados de la creación de nuevas cadenas de valor y oportunidades de empleo, ofreciendo alternativas de transición justa para sectores y regiones en declive. La Estrategia de hidrógeno de la UE prevé la creación, directa o indirecta, de hasta 1 millón de empleos. El objetivo de desarrollar los mercados industriales y las cadenas de valor del hidrógeno a nivel europeo es un factor político de impulso importante. Otro objetivo económico es mantener el liderazgo tecnológico en electrolizadores y tecnologías asociadas, sobre todo en lo concerniente a la competencia con China.

Según la Agencia Internacional de Energía (2019), la abundancia de recursos energéticos solares y eólicos en España implica que los costes a largo plazo ligados al hidrógeno verde se ubican entre los más bajos del mundo. La capacidad de electrólisis de 50 GW sería el 'punto de inflexión' para alcanzar la competitividad del hidrógeno verde, sobre todo si se emplean energías renovables de bajo coste en torno a los 10 US\$/MWh en 2030. Además, los países europeos y sus vecinos mediterráneos ocupan puestos altos en la mayoría de los rankings renovables. Por poner un ejemplo, el Green Future Index 2021 analiza el progreso y el compromiso de 76 economías con la creación de un futuro bajo en carbono, entre las que destacan Francia (4ª) y España (18ª) en el top 20, seguidos de Italia (22ª), Marruecos (26ª), Portugal (30ª), Grecia (37ª), Israel (38ª), Egipto (58ª), Ucrania (63ª), Turquía (68ª) y Argelia (72ª)⁴.

Las estrategias europeas sobre exportaciones e importaciones reflejan la realidad geográfica de la distribución de los recursos energéticos renovables. Los países con mayor potencial son España y Francia, seguidos de Rumanía y Polonia (Kakoulaki et al., 2021). Otro vector económico de impulso europeo es la existencia de una industria de hidrocarburos asentada que dispone del *know-how* necesario para desarrollar el comercio de hidrógeno a gran escala y de infraestructura gasística que puede ser reacondicionada para hidrógeno. La proximidad geográfica y los costes de transporte relativamente bajos (en comparación con exportadores del Golfo Pérsico, América Latina o Australia) son otro factor de impulso para las exportaciones mediterráneas de hidrógeno.

No obstante, también hay barreras e incertidumbres económicas para el desarrollo del hidrógeno verde. Aunque la literatura técnico-económica proyecta bajos costes de producción, la demanda dependerá de los precios, que a su vez vienen dados por un número de elementos que van más allá de los costes de producción. Así, la demanda de

⁴ The Green Future Index, MIT Technology Review Insights, 2021.

hidrógeno verde dependerá, entre otros factores, del número de sectores y tipos de usos que se incorporen a su producción y transporte, y del nivel de apoyo a los mismos; de las interconexiones que se construyan y del alcance de la integración de su mercado; y de la posibilidad de que nuevos mecanismos regulatorios y de gobernanza entren en vigor. Las proyecciones de empleo del hidrógeno como componente del consumo energético total y final de la UE para 2050 oscilan entre 25% (Hydrogen Europe, 2019) y 10% (Shell, 2020). La industria europea pide una mayor certidumbre política y unos objetivos de descarbonización más claros para atraer la inversión (Eurogás & EBA, 2020). Junto con los vacíos normativos, la falta de interconexiones intra-europeas plantean el riesgo de un desarrollo fragmentado en mercados regionales, prolongando los pasados obstáculos a la integración en electricidad y gas al caso del hidrógeno, afectando a las exportaciones de hidrógeno verde.

En resumen, el desarrollo del hidrógeno tiene sentido desde una perspectiva económica, en tanto se dan varios impulsores que fomentan su desarrollo, tanto a nivel de la UE como de los Estados miembros, incluida España. No obstante, persiste la incertidumbre en torno a la demanda de los diferentes tipos de hidrógeno y su articulación en el mercado, debido a los precios, las medidas de apoyo a aplicar, la adopción de estándares y marcos regulatorios adecuados, y los sectores concretos que abarcará. Aunque el incremento de los precios del gas natural y el CO₂ fomentan la competitividad del hidrógeno verde, existe un consenso generalizado sobre la necesidad de adoptar medidas de apoyo para acelerar su desarrollo, especialmente tras la invasión rusa de Ucrania y la voluntad europea de ganar autonomía estratégica en el ámbito energético.

3. Estrategias de hidrógeno: UE, Estados miembros y actores globales

La dimensión económica del hidrógeno ha impulsado diferentes estrategias de posicionamiento por parte de los Estados miembros, en buena medida acordes con sus ventajas comparativas energéticas. Como se aprecia en el Cuadro 1, la Estrategia de la UE da prioridad al hidrógeno verde, aunque incluye el hidrógeno azul y turquesa ‘con carácter transitorio’, al igual que la estrategia alemana. Francia se decanta por el hidrógeno ‘descarbonizado’, lo que abarcaría el hidrógeno rosa de origen nuclear sin mencionarlo explícitamente. Las tres estrategias consideran el hidrógeno descarbonizado como un combustible de transición que iría sustituyendo gradualmente al gas natural, el cual contribuiría al desarrollo de los mercados, la normativa y las infraestructuras para allanar el camino hacia el hidrógeno verde. En cambio, las estrategias de Portugal y España, y especialmente la española, están claramente orientadas a privilegiar el hidrógeno verde. La importancia de la disparidad entre estas aproximaciones tecnológicas radica en la falta de consistencia de las estrategias nacionales de hidrógeno y la dificultad que ello entraña para avanzar en la integración de los mercados europeos.

Cuadro 1. Estrategias y narrativas europeas sobre hidrógeno

	Tipos de H ₂	Electrolizadores	Exportación / Importación	Narrativas
UE	Verde Azul & Turquesa con carácter transitorio Con CAC 'provisional'	6 GW (2024) 40 GW (2030)	- Comercio transfronterizo intra-europeo sin restricciones - Importaciones desde vecinos (40GWx2 2030)	- H ₂ limpio como combustible de transición. - H ₂ como política industrial y de cooperación. - Reducir la dependencia energética y tecnológica. - Prioridad alta en política energética exterior: rediseño de partenariados energéticos - Acuerdos: Ucrania, Norte de África, Balcanes Occidentales, África. - Foros y estándares multilaterales - Estándares para transacciones en €
Francia	Descarboniza do (incl. rosa)	6.5 GW (2030)	Autosuficiencia	- H ₂ descarbonizado como política industrial - Reducir la dependencia energética y tecnológica
Alemania	Verde Azul & Turquesa con carácter transitorio Sin CAC	5 GW (2030)	Importaciones a medio plazo	- H ₂ verde facilita política industrial y de cooperación. - Acuerdos: Marruecos, Ucrania
Países Bajos	Limpio, neutro en carbono, sostenible Con CAC	3-4 GW (2030) 500 MW (2025)	- Convertirse en hub de H ₂ - Interconexiones en 2030 - Importaciones a largo plazo	- Sostenibilidad de las industrias intensivas en energía - H ₂ como política industrial y tecnológica - Integración en 'noroeste de Europa' ('si factible, global') - Acuerdos con Portugal, Arabia Saudí
Portugal	Verde Con CAC (limitado)	250-500 MW (2025) 1.75-2 GW (2030)	Exportaciones a partir de 2025	- H ₂ verde como catalizador de la política industrial y de cooperación - Reducir la dependencia energética y tecnológica. - Acuerdos: Marruecos, España, Países Bajos
España	Verde Sin CAC	300-600 MW (2024) 4 GW (2030)	Exportaciones a partir de 2030	- H ₂ verde como catalizador de la política industrial y de cooperación - Reducir la dependencia energética y tecnológica. - Acuerdos: Portugal, Italia

Fuente: Escribano (2021).

La estrategia de hidrógeno de la UE fija el objetivo de finalizar un mercado europeo del hidrógeno, abierto y competitivo, para el año 2030. Ello implicaría la introducción de normas de funcionamiento y desarrollo de infraestructuras que abran la economía a los beneficios del 'comercio transfronterizo sin restricciones': competencia, accesibilidad y seguridad del suministro. No obstante, el término 'interconexiones' sólo es mencionado una vez para referirse al papel que ejercen las interconexiones físicas existentes con Ucrania y los países del vecindario sur. En ningún momento mencionaba la Estrategia Europea la falta de interconexiones entre la Península Ibérica y Francia⁵.

Respecto a la dimensión exterior, la estrategia de la UE contempla la importación de hidrógeno desde sus vecinos del este y del sur. La estrategia hace referencia explícita a la Iniciativa de Hidrógeno Verde 2x40 GW (*2X40 GW Green Hydrogen Initiative*), proyecto promovido por la asociación europea de la industria (*Hydrogen Europe*) para lograr 2x40

⁵ Comisión Europea (2020). *A Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe*.

GW en electrolizadores para 2030: 40 GW en Europa y otros 40 GW en la vecindad con destino UE (Van Wijk & Chatzimarkakis, 2020). Como casi todas las demás, la estrategia incluye el fomento del hidrógeno verde como política industrial y de cooperación europea, y como medio para aumentar la seguridad energética y la autonomía estratégica reduciendo la dependencia energética y tecnológica europeas.

También destaca la necesidad de participar en foros multilaterales y redes globales de investigación, pero sobre todo en liderar la formulación de estándares y normas (convertirse en *standard-setter*), y de fomentar el empleo del Euro en las transacciones internacionales de hidrógeno.

Las estrategias de los Estados miembros comparten algunos objetivos, tanto entre ellas como con la estrategia de la UE. Los objetivos comunes incluyen la reducción de la dependencia energética y la disminución de las vulnerabilidades de las cadenas de valor, alcanzar las metas de descarbonización fijadas, la promoción del hidrógeno como política industrial (por ejemplo, en lo concerniente a los electrolizadores), el potencial de cooperación con otros países, y la participación en el diseño y establecimiento de estándares internacionales. Sin embargo, como se avanzaba, hay matices diferenciales clave en las tecnologías preferidas: mientras Francia y Países Bajos ponen el foco sobre políticas industriales que fomenten el hidrógeno “descarbonizado” (rosa) o “sostenible” (azul), respectivamente, el resto de Estados miembros apuestan por el hidrógeno verde.

En lo que se refiere a modelos de integración, las estrategias alemana y holandesa apuestan por la importación de hidrógeno verde y azul desde fuera de la Unión Europea en el corto plazo. Por el contrario, las estrategias portuguesa y española apuestan por exportar al mercado europeo a partir de 2025 y 2030, respectivamente. Francia parece decantarse por una estrategia de autosuficiencia basada en el hidrógeno rosa nuclear. Estas divergencias vaticinan una situación en la que Alemania podría cubrir sus necesidades de importación con las exportaciones ibéricas, pero se lo impediría la barrera que representa el modelo de mercado cerrado y autosuficiente que persigue Francia. Esta coyuntura dificultaría el tránsito de hidrógeno a través de gasoductos readaptados o de nuevos hidroductos. Las exportaciones de hidrógeno provenientes del Norte de África se encontrarían con los mismos obstáculos que la Península Ibérica al tratar de alcanzar los mercados del norte de Europa, a no ser que se procediera a la construcción de hidroductos que sorteen Francia o el transporte por mar fuera competitivo.

En cambio, la estrategia holandesa aspira a convertirse en un nexo -hub- para Europa noroccidental (y si fuera posible, global) para el hidrógeno, centrando sus esfuerzos en establecer un ‘contacto directo’ con la Comisión Europea, el Foro Pentalateral (Benelux, Alemania, Francia, Austria y Suiza), los países del mar del Norte y Portugal. Para ello, Países Bajos se ha unido a la plataforma H₂Global, creada por Alemania, para subsidiar las primeras importaciones de hidrógeno por medio de un modelo de Contratos por Diferencias dotado de 4.000 millones de euros que permitirá cubrir la diferencia entre el precio que necesita la industria europea y el precio del mercado internacional del hidrógeno descarbonizado. El enfoque introvertido de Francia no incluye ninguna cooperación bilateral en particular y se presenta como un contrapeso regulatorio y diplomático del modelo abierto e interconectado. Alemania y Portugal entienden el hidrógeno como una oportunidad para conseguir una mejor sintonía entre sus políticas de cooperación y sus estrategias nacionales, habiendo entrado ambos en acuerdos con Marruecos. Los criterios de sostenibilidad juegan un rol clave en la estrategia alemana, pues busca garantizar que las exportaciones de hidrógeno verde por terceros países sean adicionales a sus objetivos domésticos de renovables, y demanda un uso sostenible del agua y de las cadenas de valor.

Como se verá con mayor detalle en la sección siguiente, y pese a promover la cooperación internacional, la hoja de ruta española para el hidrógeno prioriza la dimensión nacional y europea: esto es, articular primero un mercado local, regional y nacional, y posteriormente europeo integrado “sin restricciones”, tal y como postula la Estrategia para el Hidrógeno de la UE, lo que permitiría a España convertirse en un exportador neto en el futuro. Aunque la estrategia española no rechaza la importación de hidrógeno de terceros países, considera que la consecución de la Unión Energética y el Pacto Verde Europeo respalda la explotación e integración de los recursos europeos de energía renovable más competitivos antes de recurrir a las importaciones.

Independientemente de que se redirija el uso de infraestructura ya existente o se planifiquen entramados nuevos (como el reciente BarMar entre Barcelona y Marsella en sustitución del Midcat), Portugal y España quieren asegurarse de sortear los impedimentos a las interconexiones futuras. A pesar de que el estado actual de la tecnología limita las expectativas del comercio transfronterizo de hidrógeno a pequeños volúmenes y lo desplaza a la próxima década, la evolución del mercado exige prepararse para el futuro. Así, la integración de la Península Ibérica en los mercados de hidrógeno de la UE no debería plantearse exclusivamente como una prioridad para los países ibéricos, pues los beneficios económicos y medioambientales asociados a la integración de los recursos renovables de los Estados miembros con mayor potencial y menor costo incumben a todo Europa. Esta priorización del enfoque de integración europea explicaría en parte por qué España ha concluido memorandos de entendimiento con Italia y Portugal para valorar la cooperación en Proyectos de Interés Común relacionados con el hidrógeno.

Otros países han formulado estrategias para el hidrógeno, o se encuentran en fase de preparación (Consejo Mundial de Energía, 2020). Se espera que, para 2025, las estrategias H₂ cubran mercados que representan más del 80% del PIB global. En Europa, Reino Unido, Italia, Suiza y Noruega son ejemplos destacados; pero también Ucrania y Rusia antes de la guerra. Italia tiene una estrategia centrada en el hidrógeno verde y en su potencial para posicionarse como hub mediterráneo, replicando sus aspiraciones con el gas natural. En cambio, la estrategia polaca combina hidrógeno verde, producido en parques eólicos de la región báltica, con hidrógeno azul. Por su parte, Estados Unidos ha articulado una estrategia para el hidrógeno de bajas emisiones obtenido a partir de hidrocarburos, pero carecía de marco para el hidrógeno verde hasta la reciente *Inflation Reduction Act*. La estrategia australiana refleja la ambición de erigirse como un exportador global de peso hacia 2030⁶, apostando por el ‘hidrógeno limpio’, que incluye las tecnologías verdes y de CAC. Japón desea situarse a la cabeza de una red global de suministro de hidrógeno y reorientar la importación para sustituir al gas natural (Nagashima, 2020). Chile plantea una estrategia de exportación a partir de 2025, mediante la que aspira a ‘conquistar’ los mercados globales desde 2030. Corea del Sur, China y Marruecos son otros de los países que están desarrollando sus propias estrategias e itinerarios.

Marruecos suele aparecer como un actor destacado en la mayoría de estudios acerca del desarrollo del mercado de hidrógeno debido a un conjunto de factores: proximidad con Europa, la existencia de un amplio mercado doméstico de amoníaco para la industria de fertilizantes, y una infraestructura para la exportación de gas natural desaprovechada (Pariente-David, 2020). Su potencial para la generación de energía renovable hace que los precios de las subastas se sitúen entre los más bajos del mundo y tiene una hoja de ruta ‘*Power to X*’ para posicionar a Marruecos como productor y

⁶ Ministerio de Energía, Gobierno de Chile (2020).

exportador líder de hidrógeno verde, siendo capaz de suministrar entre el 2% y 4% de la demanda global (Eichhammer et al., 2019). El uso doméstico sería también una manera de reducir los volúmenes de carbón y gas de importación: dado que Marruecos cuenta con amplios recursos de fosfatos y una industria de fertilizantes, la producción verde y competitiva de amoníaco puede ser un impulsor importante en el sector industrial y un vector de comercio exterior (especialmente para no afrontar los pagos por el inminente Mecanismo de Ajuste de Carbono en Frontera de la UE, que incluirá la industria petroquímica⁷).

En suma, la inconsistencia en torno a distintos elementos de las estrategias europeas para el hidrógeno representa la primera barrera económica para el desarrollo de un mercado de hidrógeno europeo integrado y competitivo. Estas divergencias son reconocibles a lo largo de todo el proceso de formulación de políticas, desde el fallo a la hora de identificar prioridades políticas y sectoriales hasta la incapacidad para establecer marcos de gobernanza favorecedores, incluyendo la cuestión de la certificación de origen del hidrógeno verde. Las asociaciones europeas de estandarización están desarrollando una metodología europea para certificar la producción de hidrógeno según las emisiones. La regulación del hidrógeno requerirá un ejercicio de exploración y experimentación regulatoria para reducir las incertidumbres económicas que rodean su desarrollo. En ese contexto incierto sobre el grado de integración de los mercados europeos de hidrógeno y el carácter de su regulación, las estrategias nacionales ganan peso y determinarán en buena medida su desarrollo.

4. España y las políticas de apoyo al hidrógeno verde

En España, el potencial económico del hidrógeno verde se estima muy importante. El desarrollo de una economía del hidrógeno se percibe como una herramienta de desarrollo industrial y de diversificación económica, además de una forma de avanzar en una descarbonización competitiva (Escribano y Urbasos, 2022). Los proyectos de hidrógeno destacan entre los presentados por España al programa Next Generation de la UE (Escribano, 2021). Aunque la estrategia española contempla la exportación de los excedentes de hidrógeno verde nacional a largo plazo, a corto y medio plazo las estrategias públicas e industriales se centran en la creación de *clusters* y valles de hidrógeno que concentren producción y consumo, y atraigan actividad económica asociada. Además, España se beneficiaría de los costes de hidrógeno renovable más competitivos de Europa gracias a la posibilidad de hibridar recurso solar y eólico, a la disponibilidad de terreno y a la experiencia en el desarrollo de proyectos renovables (Agora Energiewende y AFRY, 2021).

Actualmente, España produce y consume unas 500.000 toneladas de hidrógeno anuales para usos casi exclusivamente industriales: el 70% para refinerías y el 25% para la industria química. La *Hoja de ruta del hidrógeno* de España establece para 2030 el objetivo de alcanzar, al menos, un 25% de hidrógeno renovable sobre el total de hidrógeno utilizado en la industria, propiciando una demanda incipiente. Para 2030, el hidrógeno renovable se destinaría a usos no convencionales como la siderurgia, el transporte pesado, los fueles sintéticos e industrias como la azulejera o cementera. Se generaría así la demanda para escalar los proyectos de electrolizadores, impulsando esa industria; también se establecería una primera red local de hidrodutos. Por el lado de la oferta, la hoja de ruta pretendía instalar una potencia de 4 GW de electrolizadores para 2030, capaces de alcanzar los

⁷ Ver el capítulo sobre Marruecos en World Energy Council (2020).

objetivos establecidos para la industria existente, su expansión a la siderurgia y su uso progresivo en el transporte pesado y los fueles sintéticos.

La hoja de ruta española vino acompañada de la aprobación, a propuesta del MITERD, del *Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica (PERTE) de Energías Renovables, Hidrógeno Renovable y Almacenamiento (ERHA)*. Este PERTE sitúa al hidrógeno renovable en posición preferente, con una dotación de 1.555 millones de euros públicos, que esperan movilizar casi el doble de capital privado para alcanzar los objetivos fijados a 2030. Sin embargo, la crisis energética europea y el plan REPowerEU de la UE han acelerado las ambiciones españolas. En octubre de 2022, el gobierno aprobaba el “Plan + Seguridad Energética”, incrementando la dotación económica del Plan de Recuperación y proyectando a España como un futuro proveedor de hidrógeno en la UE. El gesto confirma el cambio estratégico español, pasando del enfoque doméstico e industrial plasmado de la Hoja de Ruta de 2020 a un enfoque más ambicioso y adaptado a la nueva realidad geopolítica europea tras la invasión rusa de Ucrania. Además, el plan acelera la ejecución del PERTE de Energías Renovables, Hidrógeno Renovable y Almacenamiento, ampliándolo en 1.000 millones de euros adicionales (Urbasos, 2022). España se alinea así con REPowerEU, que duplicó los objetivos europeos de producción e importación de hidrógeno descarbonizado para 2030.

Una dimensión importante de la emergente economía del hidrógeno y de las políticas públicas para impulsarla reside en el ámbito geográfico de aplicación. Las páginas precedentes han expuesto las políticas y estrategias de la UE y de los principales Estados miembros y otros productores potenciales relevantes. En España, la dimensión regional de las políticas públicas de promoción del hidrógeno es un componente clave del paquete de medidas aplicadas a diferentes niveles. En consonancia con la efervescencia europea y del gobierno central, las comunidades autónomas han comenzado a desarrollar sus propias estrategias regionales de hidrógeno. Aragón fue pionera con dos estrategias sucesivas en 2011 y 2016, pero desde la publicación de las estrategias europea y española en 2020 se han sucedido las autonómicas. Dada la descentralización de la administración española, su papel será crucial en la articulación de valles, *clusters* o *hubs* de hidrógeno renovable, con las respectivas implicaciones a escala regional, nacional e internacional (Escribano y Urbasos, *op. cit.*).

Cuatro comunidades autónomas ya han presentado sus planes, cuyos objetivos combinados ascienden a 1 GW de electrólisis para 2030, un 25% de los objetivos nacionales establecidos en la hoja de ruta de 2020. Las estrategias incorporan objetivos específicos para el transporte y la industria, con diferentes aplicaciones según la estructura económica de cada región. En el País Vasco y la Comunidad Valenciana se centran en sustituir el consumo de hidrógeno convencional en los sectores de refino y petroquímico. Navarra, sin consumo convencional de hidrógeno, apuesta por una sustitución paulatina del gas fósil, hasta un 5% para 2030, y el desarrollo tecnológico asociado. Castilla y León identifica como objetivo las exportaciones a la industria metalúrgica asturiana. En cuanto al transporte, todas las estrategias incorporan objetivos para la construcción de estaciones de servicio de repostaje de hidrógeno enfocadas a la descarbonización del transporte de mercancías, priorizando las rutas de mayor volumen de tráfico. La Comunidad Valenciana es la única en establecer objetivos específicos asociados al ferrocarril de hidrógeno.

A estas cuatro estrategias se unen las de Aragón, Canarias y Andalucía, que no cuentan con objetivos específicos, pero sí con líneas maestras y planes de actuación diferenciados. Aragón prioriza la integración de la región en el Valle del Ebro, identificando posibles redes de gas fósil convertibles a hidrógeno, ubicaciones para el almacenamiento

subterráneo y polos industriales de consumo final, así como el desarrollo de hidrogeneras y su uso en el proyecto de ferrocarril Canfranc-Pau. Las Islas Canarias identifican la generación de hidrógeno renovable como vector de descarbonización, principalmente como solución para el almacenamiento de la generación renovable excedentaria. También han surgido iniciativas público-privadas de carácter regional enfocadas a descarbonizar sectores específicos, como el Valle del Hidrógeno de Cataluña en torno al complejo petroquímico de Tarragona, el Valle del Hidrógeno Verde en Murcia para desarrollar la cadena de valor en torno a Escombreras, y el *cluster* Puerta de Europa de hidrógeno verde para descarbonizar el polo químico de Huelva.

Idealmente, estas estrategias regionales se articulan progresivamente en corredores de hidrógeno que permitan una mayor escala. El Corredor del Hidrógeno del Ebro es una iniciativa público-privada con un objetivo de 1,5 GW de capacidad instalada de electrolizadores y 6 GW de renovables para 2030, que abarca País Vasco, Navarra, Aragón y Cataluña, y que articularía una cadena de suministro de hidrógeno desde las regiones con abundancia de renovables, como Aragón, hasta los *clusters* industriales de demanda en Bilbao y Tarragona. En el Atlántico se espera un desarrollo temprano en torno a la producción de acero en Gijón, así como un corredor desde Castilla y León hasta los altos hornos de Arcelor Mittal en Asturias, cerca del fin de su vida útil y cuya descarbonización requiere una nueva planta de DRI (Reducción directa de mineral de hierro) con hidrógeno. El corredor Mediterráneo tiene gran potencial por su industria petroquímica, metalúrgica y azulejera, ofreciendo buen recurso solar y en el futuro eólico marino flotante. Cataluña se posicionaría en la intersección del Valle del Ebro, el Corredor Mediterráneo y una posible ruta de tránsito hacia el resto de Europa si se construyera el gasoducto *offshore* listo para hidrógeno entre Barcelona y Marsella, BarMar, que sustituye al Midcat definitivamente rechazado por Francia a finales de 2022.

5. Conclusiones y consideraciones finales

Este trabajo articula los niveles europeo, nacional y regional de las políticas públicas para el desarrollo del hidrógeno. En el plano europeo, la invasión rusa de Ucrania ha elevado la ambición de los planes de despliegue del hidrógeno renovable. Al doble objetivo de promover la industrialización con descarbonización, se añade ahora el imperativo de aumentar la autonomía estratégica europea en el plano energético. No obstante, las estrategias de los Estados miembros no son totalmente consistentes y entrañan el riesgo de fragmentar el mercado europeo en mercados nacionales.

Las políticas españolas de apoyo al hidrógeno verde son muy ambiciosas. El gobierno central acaba de actualizar su hoja de ruta de 2020, elevando los objetivos y reorientando la estrategia, además de reforzar el PERTE correspondiente. La estrategia española también se ha reorientado y, aunque a corto y medio plazo sigue centrada en la creación de *clusters*, valles y corredores de hidrógeno, el nuevo contexto geopolítico ha aumentado el peso de la dimensión exterior y del futuro papel de la exportación de excedentes de hidrógeno verde. Las comunidades autónomas pueden desempeñar un papel axial en el desarrollo temprano de esos *clusters* y valles de hidrógeno, así como en su posterior articulación en corredores transregionales y subnacionales; y a más largo plazo, en la integración ibérica en un mercado europeo del hidrógeno renovable.

Como consideración final cabe destacar que, para España, la economía del hidrógeno ofrece numerosas oportunidades en escenarios diferentes. En un modelo cerrado de

mercados nacionales, España puede apostar por combinar renovables e hidrógeno para ofrecer precios de la electricidad y del hidrógeno muy competitivos y atraer inversiones industriales intensivas en energía. En un modelo integrado, España puede convertirse en exportador de hidrógeno verde, pero también de equipos y tecnologías asociadas, contribuyendo a la seguridad de suministro energético y económica de la UE. Una senda probable de desarrollo del mercado europeo del hidrógeno es la intermedia, con países más interconectados que otros y con ritmos de integración también diferentes. Si España sigue constreñida por la limitación de interconexiones, en este caso de hidrógeno, la estrategia más equilibrada puede consistir en seguir desarrollando mercados nacionales y regionales competitivos mientras se trabaja para aumentar la integración a largo plazo.

Bibliografía

- Agora Energiewende and AFRY Management Consulting (2021). *No-regret hydrogen: Charting early steps for H₂ infrastructure in Europe*, Berlín.
- AIE (2019). *The Future of Hydrogen*, Agencia Internacional de la Energía, París
- Consejo Mundial de Energía (2020). *International Hydrogen Strategies*, El Consejo Mundial de Energía, Alemania, septiembre.
- Escribano, G. (2021). H₂ Med: impulsores y barreras geopolíticas y geoeconómicas para el hidrógeno en el Mediterráneo. *Elcano Policy Paper*. Madrid: Elcano, mayo.
- Escribano, G. y Urbasos, I. (2022). *La geopolítica del hidrógeno renovable en España: Implicaciones internacionales y reconfiguración regional*, Panorama Social, Funcas. Madrid.
- Eichhammer, W. (2019). *Study on the opportunities of 'Power-to-X' in Morocco*, Fraunhofer ISI, Karlsruhe, febrero.
- Eurogás y EBA (2020). *Proposal for binding 2030 EU-level targets to lower the greenhouse gas intensity of gas consumed in Europe and increase the demand for renewable gas*, septiembre.
- Giuli, M. (2022). *The Geopolitics of Clean Hydrogen – Opportunities and Challenges for Italy*, IAI, Rome, mayo.
- Hydrogen Europe (2019). *Hydrogen Europe Roadmap*, Informe preparado para el Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking, Bruselas.
- IEA (2021). *Global Hydrogen Review 2021*, IEA, París.
- IRENA (2019). *Hydrogen: A Renewable Energy Perspective*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA (2022). *Geopolitics of the Energy Transformation: "The Hydrogen Factor"*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Kakoulaki, G., I. Kougias, N. Taylor, F. Dolci, J. Moya y A. Jäger-Waldau (2021). Green hydrogen in Europe – A regional assessment: substituting existing production with electrolysis powered by renewables, *Energy Conversion and Management*, nº 228:113649
- MITERD de España, V. C. D. G. (2020a). *Hoja de ruta del hidrógeno: Una apuesta por el hidrógeno renovable*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), Madrid.

- MITERD de España, V. C. D. G. (2020b). *Plan Nacional de Energía y Clima*. Ministerio Para La Transición Ecológica y El Reto Demográfico, (MITERD), Madrid.
- Nagashima, M. (2020). *Japan's Hydrogen Society Ambition: 2020 Status and Perspective*, Notes de l'Ifri, Paris: septiembre.
- Pariente-David, S. (2020). *COVID-19: a catalyst for decarbonization and integration of the Mediterranean energy market*, Opinión, Policy Center for the New South, junio.
- Ram M., Galimova, T. and Bogdanov, D. (2020). *Powerfuels in a Renewable Energy World - Global volumes, costs, and trading 2030 to 2050*, LUT University y Deutsche Energie-Agentur GmbH, Lappeenranta, Berlín.
- Urbasos, I. (2022). *España aprovecha la crisis energética para redoblar su apuesta europea por el hidrógeno verde*, Real Instituto Elcano, Comentario. Madrid, mayo.
- Van Wijk, A. y Chatzimarkakis, J. (2020). *Green hydrogen for a European Green Deal: a 2x40 GW initiative*, Hydrogen Europe, Bruselas
- Wang, A., Van der Leun, K., Peters, D. y Buseman, M. (2020). *European Hydrogen Backbone: How a Dedicated Hydrogen Infrastructure Can Be Created*, Guidehouse, Utrecht.