

El hidrógeno verde en la Unión Europea: una vía necesaria para la transición energética*

Green hydrogen in the European Union: a necessary path for the energy transition

L'hydrogène vert dans l'Union européenne: un moyen nécessaire pour la transition énergétique

JUAN LÓPEZ ANTORANZ**



PALABRAS CLAVE

Hidrógeno verde; Transición energética; Unión Europea; Descarbonización.

RESUMEN El hidrógeno verde es un activo fundamental para complementar el despliegue de energías renovables y ofrece múltiples oportunidades para descarbonizar sectores difíciles de electrificar, contribuir a la integración del sistema energético y desarrollar redes de comercio y cooperación tecnológica a nivel internacional. La Unión Europea ha liderado en los últimos años numerosas iniciativas en materia de reducción de emisiones y transición energética, incorporando el hidrógeno verde entre sus prioridades y planes de inversión. Aún en desarrollo, este vector energético podría ser clave para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030.

KEYWORDS

Green hydrogen; Energy transition; European Union; Decarbonisation.

ABSTRACT Green hydrogen represents a key asset to complement the deployment of renewable energies and offers multiple opportunities to decarbonise sectors that remain difficult to electrify, to contribute to the integration of the energy system and develop international trade and technological cooperation networks. The European Union has recently led several initiatives in the field of emissions reduction and energy transition, incorporating green hydrogen among its priorities and investment plans. Still under development, this energy vector could be crucial to attain the Sustainable Development Goals (SDG) of the 2030 Agenda.

* Recibido: 6 de septiembre de 2021; aceptado: 10 de octubre de 2021.

** Juan López Antoranz pertenece al Departamento de Relaciones Internacionales e Historia Global, Facultad de Ciencias Políticas y Sociología, Universidad Complutense de Madrid.

MOTS CLÉS

Hydrogène vert; Transition énergétique; Union européenne; Décarbonisation.

RÉSUMÉ L'hydrogène vert représente un atout essentiel pour compléter le déploiement des énergies renouvelables et offre de multiples possibilités de décarboniser de secteurs difficiles à électrifier, de contribuer à l'intégration du système énergétique et de développer de réseaux internationaux de coopération commerciale et technologique. L'Union européenne a récemment mené de nombreuses initiatives pour réduire les émissions polluantes et accomplir la transition énergétique, intégrant l'hydrogène vert parmi ses priorités et plans d'investissement. Encore en cours de développement, ce vecteur énergétique pourrait être la clé pour atteindre les Objectifs de développement durable (ODD) de l'Agenda 2030.

Introducción

Desde el Acuerdo de París de 2015 y la adopción de la Agenda 2030 de Naciones Unidas, la acción por el clima y el impulso de las energías renovables representan uno de los pilares fundamentales a la hora de abordar el desarrollo. La Unión Europea (UE) se ha perfilado en las últimas décadas como una potencia con vocación de liderazgo en la transformación energética y ecológica de las economías. El último hito de este proceso ha venido dado por el Pacto Verde Europeo, un conjunto de iniciativas y marcos legales que tienen como objetivo “responder a los desafíos del clima y el medioambiente”, pero que también se plantean como “una nueva estrategia de crecimiento destinada a transformar la UE en una sociedad equitativa y próspera”, con una economía eficiente y sin emisiones netas de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en 2050, proponiendo una reducción de entre el 50 y el 55% para 2030, respecto a las emisiones de 1990 (Comisión Europea, 2019).

Con esta iniciativa, la Unión marca una senda de descarbonización del sistema energético, el desarrollo de un sector eléctrico “basado en gran medida” en fuentes de energía renovables y un abastecimiento energético seguro (Comisión Europea, 2019: 3). Pero, más específicamente, se afirma la necesidad de impulsar tecnologías clave como las redes de hidrógeno, en particular hidrógeno limpio o verde, por parte de las industrias de la UE y en colaboración con los Estados miembros, que “fomentarán la investigación y la innovación en materia de transporte” (Comisión Europea, 2019: 7, 10, 21). El hidrógeno verde ha adquirido presencia en los planes comunitarios recientes, especialmente a partir de la Estrategia Europea del Hidrógeno, que apunta a este gas como un activo energético y económico clave para el crecimiento productivo de la Unión y la descarbonización de múltiples sectores.

El potencial del hidrógeno verde para la descarbonización en la UE representa un ejemplo de las nuevas líneas de acción necesarias para abordar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 7 (energía asequible y no contaminante) y 13 (acción por el clima) a nivel global. En este artículo se abordarán las posibilidades que presenta este gas y las tecnologías asociadas para el proceso de transición energética hacia fuentes renovables, utilizando el caso de estudio de la Unión Europea. El objetivo es ahondar en el conocimiento sobre los procesos de transición energética que se están dando a nivel global, centrandolo en el análisis en el caso de la UE. Ello puede servir para mejorar la comprensión del papel de la transición energética en el cumplimiento de la Agenda 2030 y en los diversos procesos de cooperación para el desarrollo. Se revisa, en primer lugar, el papel que juega la UE en la transición energética global y el estado del arte respecto al hidrógeno verde como vector energético. En segundo lugar, se estudia el estado de desarrollo de la industria del hidrógeno verde en la Unión, así como de las iniciativas comunitarias puestas en marcha dentro de este campo. Finalmente, se analizan las oportunidades y desafíos a los que se enfrenta esta apuesta energética.

La Unión Europea en la transición energética: cumplimiento de acuerdos climáticos internacionales y vocación de liderazgo

La degradación medioambiental y el acercamiento a un punto de no retorno en la lucha contra la emergencia climática son cuestiones candentes en el debate global. Desde los años setenta, la creciente conciencia medioambiental ha acuciado a la transformación de, entre otras cosas, los sistemas de producción y aprovechamiento de energía. Para conseguir la descarbonización de las economías, limitando fuertemente o eliminando la emisión de GEI a la atmósfera, la transición energética desde un sistema económico basado en el petróleo, el carbón y el gas natural representa un pilar fundamental. En el conjunto de conferencias internacionales para lograr compromisos globales de reducción de emisiones la UE ha tenido un papel fundamental a la hora de aumentar la ambición de los objetivos. Destaca, por ejemplo, el papel activo en conseguir las ratificaciones suficientes para que el Protocolo de Kioto (1997) entrase en vigor en 2005 (Darmo, Hardie y MacKenzie, 2008), o el liderazgo ejercido antes y durante las negociaciones conducentes al Acuerdo de París en el seno de la COP21, como compensación al fracaso de la COP15 de Copenhague (Torney y Davis Cross, 2018).

En los sucesivos momentos de la gobernanza global del medioambiente, la UE ha mostrado: a) una preferencia por el multilateralismo en base al sistema de Naciones Unidas, b) una ambición de liderar con el ejemplo, combinando regulaciones estrictas en materia medioambiental y desarrollo económico, c) un esfuerzo por hacer vinculantes los acuerdos internacionales (Delreux, 2018). En este sentido, la UE ha ejercido un liderazgo relevante en las negociaciones sobre cambio climático desde la Cumbre de Río de 1992 que, si bien cambiante en función del contexto económico y la cohesión de los Estados miembros, ha llevado a hitos como el compromiso para la

Conferencia de las Partes de París de reducir un 40% de emisiones en 2030 respecto a niveles de 1990 (Ruiz Campillo, 2015).

Ello conduce a algunos autores a hablar del poder normativo de la UE en materia medioambiental, dada su capacidad para difundir ideas y normas a nivel internacional (Zito, 2005; Falkner, 2007; Afionis y Stringer, 2012; Ruiz Campillo, 2020). Por ejemplo, en el ámbito del comercio, a pesar del estancamiento de las negociaciones multilaterales en la Organización Mundial del Comercio (OMC), la UE ha vehiculado sus regulaciones en materia de medioambiente a terceros actores mediante acuerdos preferenciales de comercio (Postnikov, 2018). También, la política de cooperación al desarrollo de la UE ha buscado integrar objetivos medioambientales y climáticos en el diseño y la implementación de sus proyectos (Adelle *et al.*, 2018). Otros autores son más críticos con esta visión, planteando las incoherencias recurrentes por parte de la Unión en su acción exterior, ya que el imperativo medioambiental suele estrellarse contra los intereses geopolíticos (Afionis y Stringer, 2013; Romanova, 2009). Además, se ha argumentado que, a menudo, la UE falla a la hora de aplicar el principio de responsabilidades comunes, pero diferenciadas, especialmente en su intento de condicionar los estándares medioambientales fuera de sus fronteras (Scott y Rajamani, 2012).

Por otra parte, dada la ratificación de múltiples tratados internacionales de medioambiente, la UE ha buscado integrar en su legislación las normas necesarias para darles cumplimiento. En concreto, del Acuerdo de París se desprenden las obligaciones de limitar el aumento de la temperatura global —ocasionado por la concentración de emisiones en la atmósfera— a 1,5 °C; presentar planes nacionales integrales de acción por el clima; y medidas de transparencia, evaluación y rendición de cuentas. A ello se le añade el paquete de Katowice, adoptado en la COP24, sobre normas, directrices y procedimientos comunes detallados para poner en práctica el Acuerdo de París (Comisión Europea, 2021a).

Con el objetivo de dar cumplimiento a estas obligaciones internacionales podemos destacar varias iniciativas. Previamente a la COP21, la Comisión Europea propuso su “Hoja de ruta para alcanzar una economía baja en carbono en 2050”, que plantea una reducción del 80% de las emisiones para 2050, con el objetivo de alcanzar un 40 y un 60% en 2030 y 2040, respectivamente (Comisión Europea, 2011). Se pusieron en el centro de la discusión normativa el impulso de las energías renovables en el mix eléctrico y aumentar las cuotas de electrificación en el uso de energía primaria (De Graça Carvalho, 2012). Posteriormente, se especificaron las líneas estratégicas de una política europea orientada a la consecución de los ODS de la Agenda 2030 de Naciones Unidas y las metas del Acuerdo de París (Comisión Europea, 2016). En ellas tiene un papel fundamental la transición energética, destacando la prioridad 3, “una Unión de la Energía resiliente con una política climática prospectiva”, en el marco de la cual se busca integrar los mercados de energía y la cooperación energética europea, así como garantizar “una energía sostenible, segura y asequible para las

empresas y los hogares” (Comisión Europea, 2016: 11), lo que potenciaría la seguridad energética, el liderazgo tecnológico e industrial del bloque y la lucha contra el cambio climático (Comisión Europea, 2016). Por otra parte, la UE presentó actualizadas sus contribuciones determinadas a nivel nacional en diciembre de 2020, con el objetivo de reducir las emisiones para 2030 como mínimo un 55% respecto a los niveles de 1990 (Comisión Europea, 2021a).

Finalmente, los últimos dos años han dado paso a un nuevo marco general para la acción climática y medioambiental a nivel comunitario, con la presentación y aprobación del Pacto Verde Europeo en diciembre de 2019. Este marco normativo proviene de la estrategia “Un planeta limpio para todos”, de 2018, donde la Comisión prevé escenarios de descarbonización a largo plazo y plantea el objetivo de reducir las emisiones netas a cero en 2050, alcanzando una economía “próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra” (Comisión Europea, 2018). El Pacto Verde supone una sistematización de las iniciativas de la Comisión para aplicar la Agenda 2030 y los ODS, cubriendo distintas líneas de acción preferente como: “un mayor nivel de ambición climática para 2030 y 2050”; “un suministro de energía limpia, asequible y segura”; “un escenario de contaminación cero en un entorno sin sustancias tóxicas”; o la “aceleración de una movilidad sostenible e inteligente” (Comisión Europea, 2019: 4-17). Además, se busca una integración de la sostenibilidad en todas las políticas de la UE, mediante distintos fondos para financiar los planes de inversiones para la transición ecológica, como el Fondo de Transición Justa, el Fondo InvestEU o el propio presupuesto comunitario (Comisión Europea, 2019: 18-19).

En la cronología de acciones incluidas en el Pacto Verde, destaca la propuesta de una Ley Europea del Clima, de 4 de marzo de 2020, con el compromiso de alcanzar la neutralidad de emisiones de 2050 y una franja de entre 50 y 55% de reducción de emisiones para 2030 —fijada en 55% en septiembre del mismo año dentro del Plan del Objetivo Climático para 2030 (Comisión Europea, 2021b)—. También se incluyen mecanismos de fiscalidad verde, en especial una tasa sobre el carbono en frontera para subir los aranceles a productos en función de su huella ecológica (Comisión Europea, 2019: 5-6). Además, es relevante la voluntad de despliegue de infraestructuras energéticas innovadoras, como “las redes inteligentes, las redes de hidrógeno, la captura, el almacenamiento y el uso de carbono, y el almacenamiento de energía” (Comisión Europea, 2019: 7).

En definitiva, los objetivos de transición energética de la Unión llevan a un cambio del modelo energético a medio y largo plazo hacia un sistema basado en las energías renovables. La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, combinadas con una serie de iniciativas orientadas a la eficiencia energética y la economía circular, ayudarán a la UE a cumplir con sus obligaciones internacionales y reducir la dependencia energética del exterior, pero también potenciarán su imagen de liderazgo en la gobernanza climática global (Ruiz Campillo, 2020: 1-2).

En el apartado específico del hidrógeno, la Estrategia del Hidrógeno, aprobada el 8 de julio de 2020 por la Comisión —junto con las aportaciones del Consejo de la UE (Council of the European Union, 2020) y el Parlamento (European Parliament, 2021)— marca una nueva línea estratégica de acción por parte de las instituciones comunitarias. Desarrollar un mercado del hidrógeno verde en el continente, impulsando tanto la producción como la demanda, priorizando el hidrógeno basado en energías renovables, asegurando que se utilice especialmente en los sectores con escasas alternativas de descarbonización y poniendo en valor la cooperación multinivel entre administraciones y a nivel internacional con otros socios estratégicos (Comisión Europea, 2020b).

Esta serie de iniciativas representan el esfuerzo de la UE por cumplir con sus obligaciones internacionales en materia de medioambiente, así como por liderar con el ejemplo en las cumbres internacionales. En conjunto, observamos a un actor con vocación de liderazgo en la acción climática global y que está dando pasos normativos importantes para conseguir la reducción necesaria de emisiones de cara a 2050.

La transición energética y el hidrógeno verde

Buena parte de los esfuerzos de descarbonización y reducción de emisiones recaen sobre una transición en la producción y la utilización de la energía en la economía global. Para llevar a buen término esta transformación, resulta esencial el papel que están jugando y pueden jugar en el futuro próximo las fuentes de energía renovables. Entre ellas, destacan en la actualidad la solar fotovoltaica, la eólica, la hidroeléctrica, la geotérmica o la mareomotriz. Sin embargo, la electricidad resultante no siempre representa un instrumento viable para la transformación de sectores como el transporte, ya sea terrestre, aéreo o marítimo. En estos y otros sectores, como en la industria pesada, son necesarias alternativas tecnológicas que cubran los déficits de gestionabilidad y potencia de las renovables, así como innovaciones para gestionar adecuadamente el suministro (Berry y Aceves, 2006; Collado Martín, 2020).

Para cubrir estas necesidades aparece el hidrógeno en tanto que un vector energético con gran potencial de aprovechamiento, pues se considera como una de las pocas soluciones limpias para almacenar y posteriormente generar energía eléctrica (IRENA, 2018). El hidrógeno puede obtenerse mediante la combustión de hidrocarburos, bien a partir de electrólisis de agua (H_2O) u otros procesos, como se lleva décadas haciendo en varias regiones europeas (Aguer Hortal y Miranda Barreras, 2012). Otra vía es también mediante electrolizadores, pero utilizando electricidad procedente de fuentes de energía renovables. En el primer caso hablaríamos de “hidrógeno sucio” o “hidrógeno gris”, por la generación de emisiones de CO_2 en el proceso de separación de las moléculas. El “hidrógeno azul” se obtiene de forma análoga al anterior, pero la mayor parte de las emisiones son captadas antes de liberarse a la atmósfera. Finalmente, el “hidrógeno verde”, “limpio” o “renovable” refiere al producido mediante electrólisis

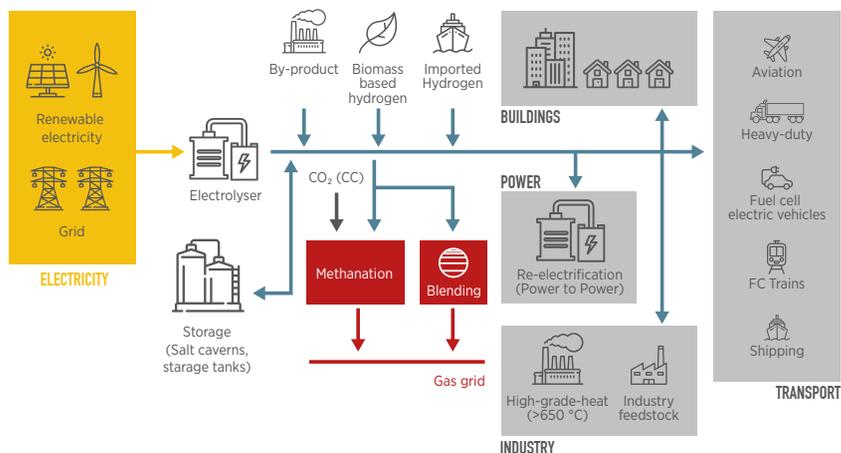
de moléculas de agua y cuya electricidad proviene de fuentes de energía renovables (Yergin, 2020). En este trabajo se ha optado por utilizar el término “hidrógeno verde”, ya que es el que se utiliza mayoritariamente en la normativa comunitaria y los planes nacionales que abordan la materia.

El hidrógeno producido mediante electrolizadores se utiliza para almacenar la energía producida por plantas solares o eólicas, como alternativa a las baterías. Luego es transportado mediante vehículos, contenedores o a través de gaseoductos y sirve en el lugar de destino para volver a generar electricidad al juntar las partículas de hidrógeno con las moléculas del aire, por ejemplo, en celdas de combustible para vehículos o en estaciones descentralizadas que suministren energía a hogares, establecimientos e industrias (Giménez, 2019). Lo que permite, por tanto, es una mayor portabilidad de la energía en términos de almacenamiento y una fácil convertibilidad, si bien esta última presenta aún fuertes carencias en cuanto a eficiencia (Abe *et al.*, 2019). Además, su desarrollo apunta a la posibilidad de producirlo de manera descentralizada y relativamente barata, dada la creciente competitividad de la tecnología solar-fotovoltaica y eólica, lo que hace del hidrógeno un activo importante para la soberanía energética de los países, particularmente de aquellos con un difícil acceso a hidrocarburos (Fúnez Guerra y Reyes Bozo, 2019).

El hidrógeno convencional (producido con combustibles fósiles), está presente desde hace décadas en el mercado de insumos industriales, para su uso en refinerías y diversas industrias de químicos (IRENA, 2018). Tanto en este sector como en el transporte pesado (de carretera, marítimo y aéreo), se presentan grandes oportunidades para sustituir el uso de hidrógeno convencional y de combustibles fósiles por hidrógeno en base a energías renovables (Hydrogen Council, 2017). También, el hidrógeno sería aprovechable en la calefacción de edificios, a lo que se suma la opción de reconvertirlo en energía eléctrica (*power-to-power*) y suplir faltas de oferta o picos de demanda puntuales en el mercado eléctrico (IRENA, 2018). En conjunto, hablamos de un vector energético con múltiples posibilidades de aprovechamiento si se desarrolla la infraestructura y la tecnología necesaria para su uso a gran escala (figura 1).

En conjunto, el hidrógeno tiene un potencial relevante en cuanto a beneficios ecológicos, pero también económicos y técnicos, favoreciendo la disponibilidad de energía y reduciendo la posibilidad de monopolio. Desde la vertiente optimista con un desarrollo acelerado del hidrógeno, Clark y Rifkin argumentaban en 2006 sobre la importancia de un esfuerzo público suficiente, mantenido en el tiempo y bien planificado para crear la infraestructura y el clima tecnológico necesarios para potenciar el sector, entendiendo que las mejoras en tecnologías y eficiencia serían asumibles en el medio plazo (Clark y Rifkin, 2006). En la actualidad se observa un notorio interés internacional por el hidrógeno verde, cuya cartera de inversiones mundiales se ha duplicado en el primer semestre de 2020 (Wood Mackenzie, 2020). La consultora McKinsey & Company (2021) prevé que el hidrógeno represente el 50% del crecimiento de la demanda de energía entre 2035 y 2050, cuando el sector madure a nivel global.

FIGURA 1. Transformación de energía renovable en hidrógeno para su aprovechamiento en distintos usos



Fuente: IRENA (2018): *Hydrogen from renewable power: Technology outlook for the energy transition*, Abu Dhabi, International Renewable Energy Agency. Disponible en https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Sep/IRENA_Hydrogen_from_renewable_power_2018.pdf

El desarrollo de la industria del hidrógeno verde europea

Pese a encontrarse en una fase temprana de desarrollo, y necesitar de un avance en la eficiencia y el abaratamiento de su utilización, las iniciativas de hidrógeno verde se han multiplicado en el territorio de la Unión Europea. Ello ha sido potenciado en gran medida por una regulación estatal y comunitaria muy favorable al sector energético en los últimos años. En este apartado se examina el estado de la industria de hidrógeno verde europea y las distintas iniciativas que han desplegado actores comunitarios, estatales, regionales y privados.

Entre estas iniciativas destacan una serie de formas de colaboración público-privada que ha incluido a actores comunitarios, estatales y privados. En la Declaración de Linz de 2018 las partes firmantes —entre las que está la Comisión, los Estados miembros, varios entes regionales y distintas asociaciones empresariales relacionadas con la economía del hidrógeno— se comprometen a desarrollar la producción del hidrógeno en colaboración multilateral, buscando aprovechar las sinergias que promete para la integración sectorial, la movilidad, el almacenamiento de energía de corta y larga duración, la industria y la calefacción de edificios (Federal Ministry of the Republic of Austria on Sustainability and Tourism, 2018).

Por parte de los Estados miembros, estos han presentado sus Planes de Recuperación y Resiliencia para poder acceder a los fondos de recuperación que se han aprobado en el Consejo. En ellos, el hidrógeno juega un papel fundamental dentro de las

directrices de inversión en acción climática, transición energética y digitalización, entre otras áreas de modernización económica, del Mecanismo de Recuperación y Resiliencia, que contará con 723.800 millones EUR (European Commission, 2021a). Además, varios Estados ya han aprobado sus propias estrategias del hidrógeno nacionales, como es el caso de Alemania, Francia, Italia, España, Países Bajos o Portugal, con diferentes niveles de ambición (Stratas Advisors, 2020).

Los Estados miembros también pueden apoyar colectivamente las iniciativas de innovación en tecnologías de hidrógeno que consideren a través de la inclusión en los Proyectos Importantes de Interés Común Europeo (PIICE), como es el caso de la presentada por varios Estados en colaboración con Noruega (EPRS, 2021). Los PIICE también han cubierto distintas iniciativas de planificación estratégica regional para la producción, la distribución y el consumo del hidrógeno, desde un enfoque transfronterizo, cubriendo toda la cadena de valor del gas (Hydrogen Europe, 2020b: 50). Además, desde la perspectiva de las instituciones públicas regionales, es interesante destacar la European Hydrogen Valleys Partnership, parte de la Plataforma de Modernización Industrial S3, participada por 35 regiones europeas y que busca potenciar cadenas de valor integradas de hidrógeno verde en las zonas rurales.

Por otro lado, la cooperación público-privada en las nuevas tecnologías energéticas viene de lejos, en el seno del programa Horizon 2020 (2014-2020), que financió organismos de fomento del hidrógeno ya existentes, como Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (FCH 2 JU), creado en 2008. La entidad fue diseñada como una colaboración de la Comisión con asociaciones empresariales y entidades públicas nacionales y locales para la inversión en proyectos de baterías eléctricas para vehículos y producción y almacenamiento de hidrógeno, con un presupuesto de hasta 1.330 millones EUR (FCH 2 JU, 2014). Su trabajo se ve reforzado en la actualidad con la propuesta de la Comisión de crear una Asociación del Hidrógeno Limpio, siguiendo la modalidad jurídica de Joint Undertakings del art. 187 del TFUE y continuando la labor de FCH 2 JU (European Commission, 2021b). Además, ha dado un paso más allá con la creación de la Alianza Europea del Hidrógeno Limpio, ente público-privado nacido con la Estrategia del Hidrógeno de la Comisión, que estará encargado de establecer una agenda de inversiones y apoyo a la creación de cadenas de valor basadas en hidrógeno por todo el continente, con unas estimaciones de 430.000 millones EUR hasta 2030 (European Commission, 2021c).

Desde el ámbito estrictamente privado, la agrupación empresarial Hydrogen Europe, que reúne a actores económicos de toda la cadena de valor del hidrógeno a nivel europeo, colabora con la Comisión y las entidades público-privadas para fomentar el desarrollo de la economía del hidrógeno. Para ello, esta industria se ha comprometido a instalar un total de potencia en electrolizadores de 40GW en el territorio de la Unión y la misma cantidad en países del Espacio de Vecindad —especialmente Ucrania y países del norte de África (Hydrogen Europe, 2020a)—. Por la parte de la demanda, EUTurbines, que representa a las empresas manufactureras de turbinas en Europa, y EUGINE, a las empresas de motores, anunciaron un acuerdo para producir

turbinas que utilizaran hasta un 20% de hidrógeno en combinación con gas natural para 2020, con el objetivo de llegar a un 100% de hidrógeno para 2030; a su vez, Airbus ha anunciado distintos diseños para desarrollar una aeronave propulsada por hidrógeno en 2035 (Adler, 2020).

Respecto a los resultados concretos de todas estas iniciativas, Hydrogen Europe ofrece un panorama del estado de la industria en 2018 en su publicación *Clean Hydrogen Monitor*. De acuerdo con la misma, se observan 457 emplazamientos de producción de hidrógeno, divididos entre aquellos que lo producen para consumo *in situ*, aquellos que producen hidrógeno para su comercialización y aquellos en los que el hidrógeno se fabrica como producto secundario de otros procesos (Hydrogen Europe, 2020b: 8). En términos globales, el volumen de producción alcanzado en 2018 asciende a 11,5 millones de toneladas, destacando el monto que representan los emplazamientos en Alemania, Países Bajos y Polonia (Hydrogen Europe, 2020b: 9). No obstante, el 92% de las plantas de producción utilizan combustibles fósiles en calidad de insumos, de manera que solo el 1,6% del hidrógeno producido es a partir de electrólisis de agua (1GW de electrolizadores instalados) y, en el caso de la electrólisis en base a energías renovables —cuyo producto consideramos propiamente como hidrógeno verde o renovable—, hablaríamos de apenas un 0,1% de la producción total (Hydrogen Europe, 2020b: 8-12). En el apartado de la demanda de hidrógeno, sea renovable o no, los principales sectores consumidores son las refinerías (45%), seguidas de la industria de producción de amoníaco (34%) y otros químicos (12%), mientras que aquellos sectores donde se empieza a utilizar el hidrógeno verde, como el transporte, suponen menos del 0,1% de la demanda total (Hydrogen Europe, 2020b: 14).

Estas cifras nos permiten hablar de una industria aún en proceso de desarrollo, que en muchos casos encuentra cabida en proyectos experimentales, donde se están desarrollando las tecnologías e infraestructuras que permitan hacer más eficientes y costo-efectivos los procesos de producción de hidrógeno, en particular, del hidrógeno renovable (FCH 2 JU, 2019). Debemos tener en cuenta que los costes del hidrógeno en base a combustibles fósiles se sitúan en torno a 1,5 €/kg en el caso de la UE, mientras que los del hidrógeno renovable alcanzan actualmente entre 2,5 y 5,5 EUR/kg (Comisión Europea, 2020c: 4). Esta falta de competitividad —que aumentará previsiblemente con las inversiones previstas en infraestructura e innovación de tecnologías— lleva al Consejo Económico y Social Europeo (2019) a recomendar recurrir al hidrógeno verde únicamente cuando no hay opciones más sencillas y costo-efectivas de descarbonización, como es el caso de los sectores mencionados anteriormente.

Oportunidades y desafíos que presenta el hidrógeno verde para la descarbonización de la economía europea

La distancia que apreciamos entre el fuerte impulso político de la iniciativa y su temprana fase de desarrollo representa un caldo de cultivo excepcional para un

análisis de oportunidades y desafíos. Trataremos de aventurar ideas para la reflexión en torno al devenir del mercado del hidrógeno verde en Europa y su influencia en la ruta de la descarbonización, atendiendo a los factores conocidos y a señales sobre escenarios aún por descubrir.

Las oportunidades que se tratan refieren a tres vías de impacto positivo del hidrógeno verde: en cuanto a la recuperación económica tras la pandemia y la mejora de la competitividad industrial europea; la acción climática y los objetivos de reducción de emisiones, donde también se enmarca la contribución a la gestión de la oferta energética; y la vertiente geopolítica, abordando la dependencia energética europea característica en materia de energía, en especial debido a los combustibles fósiles.

Campo económico

En el apartado económico, la consultora IHS Markit destaca cómo la Unión Europea está emergiendo como la “líder clara en instalaciones planificadas y políticas públicas de apoyo al sector” del hidrógeno verde, en un mercado internacional cuyas inversiones se espera que excedan los 1.000 millones USD solo para 2023 y que países de la UE como Francia, Alemania, Italia, Portugal y España plantean expandir con 44.000 millones USD de 2020 a 2030 (Adler, 2020). Las estimaciones colocan la demanda global de hidrógeno en el 14% de la demanda total de energía en 2050 (Pflugmann y De Blasio, 2020). Este desarrollo está siendo potenciado por la bajada de costes —un 40% desde 2015 y se espera que baje otro 40% para 2025— y el apoyo por parte de las instituciones públicas. No obstante, Hydrogen Europe apunta a la necesidad de desembolsar fondos rápidos para cubrir las necesidades de las empresas a corto plazo en materia de investigación y desarrollo, ya que la crisis ocasionada por la COVID-19 está derivando el gasto hacia las necesidades inmediatas y no hacia la innovación (Hydrogen Europe, 2021).

Sin duda, los fondos de recuperación agrupados en torno a Next Generation EU tienen un papel fundamental que jugar a la hora de asegurar la solvencia de esta opción tecnológica: el desarrollo de las tecnologías del hidrógeno, las subvenciones a las instalaciones de producción y la mejora de la infraestructura se contemplan en el Mecanismo de Recuperación y Resiliencia, en el Fondo InvestEU —para asegurar sectores estratégicos para la soberanía tecnológica europea—, en el Mecanismo Reforzado de Transición Justa y el instrumento de cohesión REACT-EU —reconversión regional hacia la producción de renovables e hidrógeno verde—, los Programas Reforzados de Desarrollo Rural —producción de fertilizantes sostenibles con base de hidrógeno— y el Instrumento de Apoyo a la Solvencia (Hydrogen Europe, 2020c). Estos fondos tienen la voluntad explícita de relanzar la economía europea invirtiendo en sectores líderes de la transición energética y digital, aumentando la productividad global y la resiliencia de la estructura económica de los Estados miembros. Serán fundamentales para reducir el coste de las tecnologías del hidrógeno renovable —incluida la infraestructura—, aún tres veces más caro que el producido en base a combustibles fósiles (European Parliament, 2021a: 3).

Por otro lado, los cambios a nivel internacional en sectores como la industria automovilística, que sufre una transformación hacia un modelo basado en baterías, obligan a relanzar la inversión y la innovación en un sector donde el hidrógeno puede jugar un papel fundamental. Los continuos flujos de inversión hacia las pilas de combustible, bien basadas directamente en electricidad, bien utilizando el hidrógeno como vector energético, son necesarios para garantizar una posición europea de liderazgo en los mercados internacionales de baterías y suponen la base de la autonomía tecnológica y el adecuado posicionamiento dentro de los escalones más altos de las cadenas de valor (FCH 2 JU, 2019: 56).

Ello se sumaría a un nuevo mercado internacional del hidrógeno en el que los países de la Unión podrían ser exportadores netos de energía, frente a la situación actual de dependencia de los combustibles fósiles, en un escenario de ventas anuales de 630.000 millones EUR de aquí a 2050 (BNEF, 2020). En 2019, esta posibilidad aún es remota, no obstante, pues los países europeos reportaban más de 100.000 toneladas métricas de exportaciones de hidrógeno (el 1% de la demanda total de hidrógeno), si bien la mayor parte del mismo aún era producida en base a combustibles fósiles y respondería a intercambios entre países europeos (Hydrogen Europe, 2020b: 17-18). Por otra parte, el informe de la Comisión que acompaña la Estrategia del Hidrógeno calcula que la industria del hidrógeno verde podría crear 10.300 puestos de trabajo entre empleos directo e indirecto por cada mil millones EUR invertidos (European Commission, 2020a: 24). Se estima que una implementación ambiciosa de la Estrategia podría generar hasta 1 millón de puestos de trabajo y 150.000 millones EUR en ingresos anuales (European Parliament, 2021a: 3).

Campo climático y energético

En el apartado de acción climática e integración del sistema energético, el hidrógeno juega un papel fundamental para la descarbonización de la red de gas que suministra calefacción a los hogares europeos, del transporte pesado difícil de electrificar, de la producción de electricidad en centrales térmicas o de los procesados de insumos en la industria química. Sin ambición de ser exhaustivos, el hidrógeno puede encontrar su utilidad en: (i) la descarbonización de la industria del acero y los químicos, de la aviación, del transporte ferroviario no electrificado y la navegación marítima, todo ello mediante combustibles sintéticos derivados del hidrógeno o con baterías de hidrógeno; (ii) la flexibilización de la producción de energía renovable, favoreciendo su almacenamiento, distribución y transporte; (iii) su utilización por parte de los consumidores en el transporte privado y en la calefacción de viviendas, junto con las renovables; (iv) la contribución al liderazgo tecnológico de la industria europea y la generación de cadenas de alto valor añadido, que incluyen capital humano, mejora de la infraestructura existente, desarrollo de nuevos sectores económicos asociados y una reducción de la dependencia energética respecto del exterior (FCH 2 JU, 2019: 18-19).

El hidrógeno renovable podría llegar a cubrir hasta un 24% de la demanda energética de la UE para 2050, teniendo un papel importante en la descarbonización de todos

los sectores donde las renovables no puedan sustituir por sí solas a la energía fósil (FCH 2 JU, 2019). Además, el hidrógeno puede contribuir a un 50% de las reducciones de emisiones necesarias para pasar de un escenario de reducción vía eficiencia energética, al escenario necesario para mantener el aumento de la temperatura global en 2 °C (FCH 2 JU, 2019: 5); hablaríamos de un potencial de reducción de emisiones de hasta 560 Mt anuales de CO₂ para 2050 (European Parliament, 2021a: 3). Cuanto más se incline la economía del hidrógeno hacia el hidrógeno verde, mayor será la contribución a la reducción de emisiones.

Y, en efecto, el hidrógeno también sería útil como vector de integración de un sistema energético basado en las renovables. El hidrógeno puede resolver el desequilibrio estructural entre oferta y demanda en un sistema de energías renovables, dada la variabilidad de la intensidad de producción diaria y estacional, pues a través de la electrólisis se puede almacenar la energía producida en forma de gas durante largos periodos de tiempo (FCH 2 JU, 2018: 13-14). En conjunto, permite un almacenamiento a gran escala de la producción de energías renovables —requisito para asegurar la rentabilidad de una producción masiva de energía eólica y solar—, lo que ofrece una mayor flexibilidad en la distribución de la oferta eléctrica, una mayor resiliencia del sistema energético y un suministro más seguro de la energía (FCH 2 JU, 2018: 14-15).

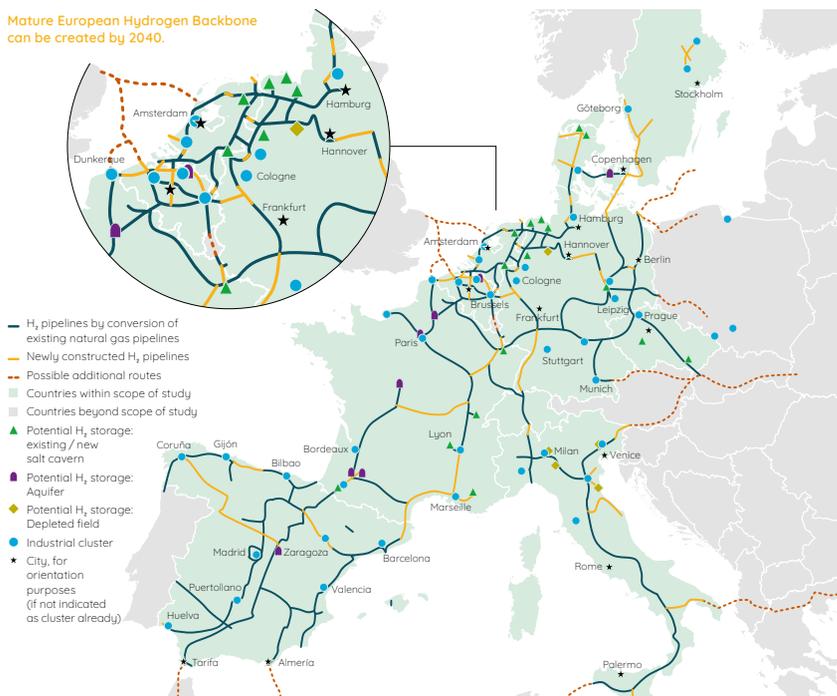
Campo geopolítico

Finalmente, una economía del hidrógeno verde en la UE tendría importantes implicaciones geopolíticas. El papel que un país o una región puede jugar en los mercados de hidrógeno renovables dependerá en gran parte de su capacidad para producir y distribuir hidrógeno renovable a un coste competitivo y a gran escala, aprovechando una alta disponibilidad de energía renovable y de recursos hidrológicos (Pflugmann y De Blasio, 2020: 23). Si bien el continente europeo tiene una cantidad relevante de recursos renovables, estos se encuentran distribuidos geográficamente por los distintos Estados miembros de manera desigual, lo que obliga a una planificación conjunta del transporte, el comercio y el almacenamiento para obtener un sistema energético integrado donde el hidrógeno pueda ser catalizador de sinergias (Hydrogen Europe, 2020a: 9). En este sentido, son muy relevantes las capacidades para la producción de energía eólica en emplazamientos marítimos *off-shore* del mar del Norte, el mar de Irlanda, el Báltico y ciertas partes del Mediterráneo, pero también en emplazamientos terrestres costeros repartidos por todo el continente; por su parte, el potencial para la energía solar fotovoltaica, muy competitiva económicamente, se concentra principalmente en la Europa del Sur con los países mediterráneos a la cabeza (Hydrogen Europe, 2020a: 9).

El desafío es, por una parte, desarrollar el máximo potencial de producción de energía renovable en estas regiones; en segundo lugar, situar los emplazamientos de hidrógeno en lugares adyacentes o fácilmente accesibles, de manera que la energía recorra el menor trayecto posible antes de ser convertida en hidrógeno (debido a las reducciones de eficiencia); y, en tercer lugar, desarrollar la infraestructura necesaria

para conectar las zonas de producción de hidrógeno con las zonas de demanda, mediante una red de hidrodutos que avance sobre los gasoductos existentes (Hydrogen Europe, 2020b: 45-46; figura 2). En esta línea trabajan también las iniciativas mencionadas anteriormente, asociadas a PIICE transfronterizos y distintos valles de hidrógeno.

FIGURA 2. Propuesta de desarrollo de la red de infraestructuras para la distribución del hidrógeno



Fuente: Hydrogen Europe (2020b): *Clean Hydrogen Monitor 2020*.

En efecto, desde un punto de vista geopolítico, el primer hito sería asegurar suficiente capacidad de producción europea de hidrógeno verde, con el consecuente mercado consumidor del mismo en la industria, el transporte o la generación de electricidad. No obstante, en el proceso económico y político hasta llegar al mismo, la dimensión internacional ya tiene un peso relevante. En este sentido, la promesa de Hydrogen Europe de construcción de plantas de hidrógeno renovable 2x40GW abarca tanto la propia Unión como Ucrania o el norte de África. Dado el incremento de la competitividad en producción de energías renovables de países como Marruecos, Argelia o Túnez, una cooperación reforzada de la Unión Europea con estos países en el marco de la Política Europea de Vecindad podría incluir nuevos acuerdos de suministro de hidrógeno proveniente del sur del Mediterráneo, integrando las cadenas de valor del Espacio de Vecindad (Pflugmann y De Blasio, 2020b).

Esta estrategia continuaría los esfuerzos de la Unión por promover la seguridad energética del continente, pero esta vez optando por energías renovables y acordes con los objetivos de descarbonización, a diferencia de los actuales acuerdos en materia de carbón, gas natural licuado y petróleo en el Espacio de Vecindad (Segoviano, 2015: 58-60). La aportación del hidrógeno a las “redes eléctricas más inteligentes y [las] nuevas soluciones de almacenamiento de energía” puede realizarse tanto en el propio territorio europeo como en los países donde se alcancen acuerdos de cooperación energética con la Unión y, por tanto, si bien el escenario no iría necesariamente hacia una menor dependencia energética del exterior, sí que se cubriría el apartado de seguridad energética que se refiere a una reducción del uso de los combustibles fósiles y la resiliencia del modelo energético que promete la transición energética (Comisión Europea, 2014: 15; Segoviano, 2015: 62-68).

Por otro lado, la base mineral sobre la que se sustentan las tecnologías de las energías renovables y también las del hidrógeno está mediada por distintas variables relevantes en clave internacional. Los recursos minerales clave están distribuidos geográficamente de manera muy desigual, destacando la debilidad en este aspecto de los Estados miembros de la UE y el cuasi monopolio que ejerce China en algunos de estos minerales (International Energy Agency, 2021). Incrementar la demanda de estos recursos, presentes también en la industria de las baterías y pilas de combustible eléctricas o la industria de los semiconductores, implica profundizar la dependencia comercial de países como China y, por tanto, reducir las posibilidades de soberanía energética en términos globales. Además, la sobreexplotación y apreciación de estos recursos, así como el agotamiento de las minas a medio y largo plazo, ponen en jaque los esfuerzos tecnológicos por concluir una transición energética de la economía e interpela de manera directa otras apuestas estratégicas que debe desarrollar la Unión en el ámbito de la economía circular y el reciclaje de minerales estratégicos (European Commission, 2020b; Ambrose, 2021). Debemos tener en cuenta que las energías renovables presentan riesgo sustantivo en el suministro de sus componentes minerales.

Conclusiones

La economía del hidrógeno verde se presenta como una fuerte apuesta por parte de las instituciones europeas y ha conseguido aunar voluntades entre los Estados miembros y los actores privados. El hidrógeno, y en particular el hidrógeno verde o renovable, ha experimentado un ascenso fulgurante en pocos años hacia las prioridades políticas para abordar la descarbonización del continente mediante la transición en la producción, la gestión, la distribución y el uso de la energía. No obstante, si bien el desarrollo de estos planes va a ir acompañado de una generosa financiación en los próximos años y se funda en alianzas entre múltiples actores, el estado actual de la industria es bastante primitivo y resulta imprudente avanzar conclusiones respecto a la efectividad de las metas que se plantean para 2030 y 2050 en la Estrategia del Hidrógeno de la Comisión. Serán necesarios análisis sucesivos para determinar la

contribución del hidrógeno a la descarbonización de diversos sectores difíciles de electrificar, así como a la integración del sistema energético europeo y la recuperación económica tras la pandemia.

Esta apuesta estratégica por el hidrógeno dentro y fuera de las fronteras de la UE podría reforzar las relaciones exteriores de la Unión con un espacio clave como es la vecindad mediterránea, pero también con países extracomunitarios de Europa del Este donde la dependencia energética de Rusia ha lastrado el acercamiento político. Además, el posicionamiento de la UE como una potencia en la economía del hidrógeno también le permitiría tener una mayor voz en la dimensión normativa, mediante la exportación de los protocolos y reglamentaciones respecto a la definición del hidrógeno verde. Ello se podría complementar con la inclusión del hidrógeno entre los planes de cooperación para el desarrollo. Sin embargo, frente al optimismo de las instituciones comunitarias, persiste el probable aumento de la dependencia comercial de China en el aprovisionamiento de materias primas, así como los riesgos de abastecimiento que presentan estos minerales críticos y, cada vez más, escasos.

Bibliografía

- ABE, J. O. *et al.* (2019): “Hydrogen energy, Economy and storage: Review and recommendation”, *International Journal of Hydrogen Energy*, nº 44, pp. 15072-15086. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036031991931465X>
- ADELLE, C. *et al.* (2018): “Environmental Instruments in Development Cooperation: Promoting Better Development and Environmental Outcomes?”, en C. Adelle, K. Biedenkopf y D. Torney (eds.), *European Union External Environmental Policy*, Londres, Palgrave Macmillan, pp. 81-101. Disponible en <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60931-7>
- ADLER, K. (2020): “Europe emerges as leader in hydrogen economy”, 15 de diciembre, IHS Markit. Disponible en <https://ihsmarkit.com/research-analysis/europe-emerges-as-leader-in-hydrogen-economy.html#:~:text=Europe%20emerges%20as%20leader%20in%20hydrogen%20economy%2015,planned%20installations%20and%20government%20policy%20supporting%20the%20sector>
- AFIONIS, S. y STINGER, L. (2012): “European Union leadership in biofuels regulation: Europe as a normative power?”, *Journal of Cleaner Production*, nº 32, pp. 114-123. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612001825>
- (2013): “The environment as a strategic priority in the European Union–Brazil partnership: is the EU behaving as a normative power or soft imperialist?”, *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, nº 14, pp. 47-64. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s10784-013-9232-3>
- AGUER HORTAL, M. y MIRANDA BARRERAS, A. L. (2012): *El hidrógeno: fundamento de un futuro equilibrado*, 2ª ed., Madrid, Díaz de Santos.

- AMBROSE, J. (2021): “Record metals boom may threaten transition to green energy”, *The Guardian*, 15 de mayo. Disponible en <https://www.theguardian.com/business/2021/may/15/record-metals-boom-may-threaten-transition-to-green-energy>
- BERRY, G. D. y ACEVES, S. M. (2006): “La economía del hidrógeno como solución al problema de la estabilización del clima mundial”, *Acta Universitaria*, vol. 16, nº 1, enero-abril, pp. 5-14. Disponible en <https://doi.org/10.15174/au.2006.192>
- BIEDENKOPF, K. (2018): “Chemicals: Pioneering Ambitions with External Effects”, en C. Adelle, K. Biedenkopf y D. Torney (eds.), *European Union External Environmental Policy*, Londres, Palgrave Macmillan, pp. 189-208. Disponible en <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60931-7>
- BNEF (2020): *Hydrogen Economy Outlook*. 30 de marzo. Disponible en <https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/BNEF-Hydrogen-Economy-Outlook-Key-Messages-30-Mar-2020.pdf>
- CALDUCH CERVERA, R. (2014): *Métodos y Técnicas de Investigación Internacional*, 2ª ed., Madrid, Universidad Complutense de Madrid. Disponible en <https://www.ucm.es/data/cont/docs/835-2018-03-01-Metodos%20y%20Tecnicas%20de%20Investigacion%20Internacional%20v2.pdf>
- CLARK, W. W. y RIFKIN, J. (2006): “A green hydrogen economy”, vol. 34, nº 17, pp. 2630-2659. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.06.024>
- COMISIÓN EUROPEA (2014): *Comunicación. Estrategia Europea de Seguridad Energética*, COM(2014) 330 final, Bruselas, 28 de mayo. Disponible en [https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014_2019/documents/com/com_com\(2014\)0330_/com_com\(2014\)0330_es.pdf](https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014_2019/documents/com/com_com(2014)0330_/com_com(2014)0330_es.pdf)
- (2016): *Comunicación. Próximas etapas para un futuro europeo sostenible: Acción europea para la sostenibilidad*, COM (2016) 739 final, Bruselas, 22 de noviembre. Disponible en <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:52016DC0739>
- (2018): *Comunicación. Un planeta limpio para todos. La visión estratégica europea a largo plazo de una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra*, COM (2018) 773 final, Bruselas, 28 de noviembre. Disponible en <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0773&from=EN>
- (2019): *Comunicación. El Pacto Verde Europeo*, COM (2019) 640 final. Bruselas, 11 de diciembre. Disponible en <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&from=EN>
- (2020a): *Propuesta de reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se establece el marco para lograr la neutralidad climática y se modifica el Reglamento (UE) 2018/1999 («Ley del Clima Europea»)*, COM (2020) 80 final, Bruselas, 4 de marzo. Disponible en <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020PC0080&from=EN>
- (2020b): “Estado de la Unión: la Comisión eleva la ambición climática y propone una reducción de emisiones de un 55% para 2030”, Bruselas, 17 de septiembre. Disponible en https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_20_1599

- (2020c): *Comunicación. Un nuevo modelo de industria para Europa*, COM(2020) 102, Bruselas, 10 de marzo. Disponible en https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/attachment/863121/EU_industrial_strategy_es.pdf.pdf
- (2020d): *Comunicación. Una estrategia del hidrógeno para una Europa climáticamente neutra*. COM(2020) 301 final, Bruselas, 8 de julio. Disponible en <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0301&from=EN>
- (2021a): “Acción la UE: Acuerdo de París”. Disponible en https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es
- (2021b): “Acción la UE por el clima y el Pacto Verde Europeo”. Disponible en https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action_es
- CONSEJO ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO (CESE) (2020): *Dictamen: Estrategia del Hidrógeno*. TEN/718, 27 de enero. Disponible en https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=PI_EESC:EESC-2020-03535-AC&qid=1617965815201&from=EN
- COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION (2020): *Council Conclusions: Towards a hydrogen market for Europe*. 13976/20, Bruselas, 11 de diciembre. Disponible en <https://www.consilium.europa.eu/media/47373/st13976-en20.pdf>
- DAMRO, C.; HARDIE, I. y MACKNEZIE, D. (2008): “The EU and Climate Change Policy: Laws, Politics and Prominence at Different Levels”, *Journal of Contemporary European Research*, vol. 4, n° 3, pp. 179-192. Disponible en <http://www.jcer.net/ojs.index.php/jcer/article/view/110/103>
- DE GRAÇA CARVALHO, M. (2012): “EU energy and climate change strategy”, *Energy*, vol. 40, n° 1, pp. 19-22. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.012>
- DELREUX, T. (2018): “Multilateral Environmental Agreements: A Key Instrument of Global Environmental Governance”, en C. Adelle, K. Biedenkopf y D. Torney (eds.), *European Union External Environmental Policy*, Londres, Palgrave Macmillan, pp. 19-38. Disponible en <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60931-7>
- EUROPEAN COMMISSION (2011): *Communication. A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*, COM (2011) 112 final, Bruselas, 8 de marzo. Disponible en <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0112:FIN:EN:PDF>
- (2020a): *Hydrogen generation in Europe: overview of costs and key benefits*, Bruselas. Disponible en https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7e4afa7d-d077-11ea-adf7-01aa75ed71a1/language-en?WT.mc_id=Searchresult&WT.ria_c=37085&WT.ria_f=3608&WT.ria_ev=search
- (2020b): *Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU. A Foresight Study*. Bruselas. Disponible en <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42881/attachments/1/translations/en/renditions/native>
- (2021a): *Guidance to Member States: Recovery and Guidance Plans (1/2)*, SWD(2021) 12 final, Bruselas, 22 de enero de 2021. Disponible en https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/document_travail_service_part1_v2_en.pdf
- (2021b): *Proposal for a Council Regulation establishing the Joint Undertakings under Horizon Europe*, COM(2021) 87 final, Bruselas, 23 de febrero. Disponible en <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2021:87:FIN>

- (2021c): “Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs: European Clean Hydrogen Alliance”. Disponible en https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/european-clean-hydrogen-alliance_en
- EUROPEAN PARLIAMENT (2021): *Report on a European Strategy for Hydrogen (2020/2242(INI)) – Committee on Industry, Research and Energy*, 8 de abril. Disponible en https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116_EN.pdf
- EUROPEAN PARLIAMENTARY RESEARCH SERVICE (EPRS) (2021): *Towards climate neutrality. EU hydrogen policy. Hydrogen as an energy carrier for a climate-neutral economy*, abril. Disponible en [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689332/EPRS_BRI\(2021\)689332_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689332/EPRS_BRI(2021)689332_EN.pdf)
- FALKNER, R. (2007): “The political economy of ‘normative power’ Europe: EU environmental leadership in international biotechnology regulation”, *Journal of European Public Policy*, vol. 14, n° 4, pp. 507-526. Disponible en <https://doi.org/10.1080/13501760701314326>
- FCH 2 JU (2014): “Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (FCH 2 JU) under Horizon 2020: launch of activities and first calls”, Bruselas, 9 de julio. Disponible en <https://www.fch.europa.eu/news/fuel-cells-and-hydrogen-2-joint-undertaking-fch-2-ju-under-horizon-2020-launch-activities-and-f>
- (2019): *Hydrogen Roadmap Europe*, Publications Office of the European Union. Disponible en <https://hydrogeneurope.eu/index.php/news/hydrogen-roadmap-europe-has-been-published#:~:text=Hydrogen%20Roadmap%20Europe%20has%20been%20published!%20Hydrogen%20is,sustainable%20pathway%20for%20the%20European%20Energy%20Transition%20%E2%80%9C>
- FCH 2 JU y ROLAND BERGER (2018): *Fuel Cells and Hydrogen for Green Energy in European Cities and Regions. A Study for the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking*. Disponible en https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/181123_FCHJU_Regions_Cities_Final_Report_FINAL.pdf
- FÚNEZ GUERRA, C. y REYES-BOZO, L. (2019): *El hidrógeno como vector energético. Pieza clave de la descontaminación de la economía chilena*, Santiago, Universidad Autónoma de Chile. Disponible en <https://repositorio.uaautonoma.cl/bitstream/handle/20.500.12728/3191/Hidrogeno.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- GIMÉNEZ, J. C. (2019): “La hora del hidrógeno verde”, *Gas actual*, n° 153, pp. 22-28. Disponible en https://www.gasrenovable.org/docs/hidrogeno_renovable/Reportaje-La_hora_del_Hidrogeno_verde.pdf
- HYDROGEN COUNCIL (2017): *Hydrogen scaling up. A sustainable pathway for the global energy transition*. Disponible en <https://hydrogencouncil.com/en/study-hydrogen-scaling-up/>
- HYDROGEN EUROPE (2020a): *Green Hydrogen for a European Green Deal A 2x40 GW Initiative*. Disponible en https://static1.squarespace.com/static/5d3f0387728026000121b2a2/t/5e85aa53179bb450f86a4efb/1585818266517/2020-04-01_Dii_Hydrogen_Studie2020_v13_SP.pdf
- (2020b): *Clean Hydrogen Monitor 2020*. Disponible en <https://www.hydrogeneurope.eu/node/1691>

- (2021): *Hydrogen Act: towards the creation of the European Hydrogen Economy*. Disponible en https://www.hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2021/04/2021.04_HE_Hydrogen-Act_Final.pdf
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2021): *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*. Disponible en <https://iea.blob.core.windows.net/assets/24d5dfbb-a77a-4647-abcc-667867207f74/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>
- IRENA (2018): *Hydrogen from renewable power: Technology outlook for the energy transition*, Abu Dhabi, International Renewable Energy Agency. Disponible en https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Sep/IRENA_Hydrogen_from_renewable_power_2018.pdf
- MCKINSEY & COMPANY (2021): *Global Energy Perspective 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>
- PFLUGMANN, F. y DE BLASIO, N. (2020a): *Geopolitical and Market Implications of Renewable Hydrogen. New Dependencies in a Low Carbon Energy World*, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School. Disponible en <https://www.belfercenter.org/publication/geopolitical-and-market-implications-renewable-hydrogen-new-dependencies-low-carbon>
- (2020b): “The Geopolitics of Renewable Hydrogen in Low-Carbon Energy Markets”, *Geopolitics, History, and International Relations*, vol. 12, nº 1, pp. 9-44. Disponible en <https://www.jstor.org/stable/26918282?seq=1>
- POSTNIKOV, E. (2018): “Environmental Instruments in Trade Agreements: Pushing the Limits of the Dialogue Approach”, en C. Adelle, K. Biedenkopf y D. Torney (eds.), *European Union External Environmental Policy*, Londres, Palgrave Macmillan, pp. 59-80. Disponible en <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60931-7>
- ROMANOVA, T. (2009): “Normative Power Europe: A Russian View”, en A. Gerrits (ed.), *Normative Power Europe in a Changing World: A Discussion*, Netherlands Institute of International Relations, Clingendael European Papers, nº 5, pp. 51-66. Disponible en https://www.clingendael.org/sites/default/files/pdfs/20091200_cesp_paper_gerrits.pdf
- RUIZ CAMPILLO, X. (2015): “El papel de la Unión Europea en las negociaciones sobre cambio climático”, *UNISCI*, nº 39, octubre, pp. 105-126. Disponible en <http://www.unisci.es/papel-de-la-union-europea-en-las-negociaciones-de-cambio-climatico/>
- (2020): “Leadership in the European Union: Climate Energy and Economy”, *The Transformation of the European Union: The Impact of Climate Change in European Policies*, Londres, World Scientific Publishing, pp. 1-32. Disponible en https://www.worldscientific.com/doi/pdf/10.1142/9781786348159_0001
- SCOTT, J. y RAJAMANI, L. (2012): “EU Climate Change Unilateralism”, *The European Journal of International Law*, vol. 23, nº 2, pp. 469-494. Disponible en <https://doi.org/10.1093/ejil/chs020>
- SEGOVIANO, S. (2015): “Nuevos planteamientos en la seguridad energética de la Unión Europea y opciones en el Mediterráneo occidental”, *UNISCI*, nº 39,

pp. 47-84. Disponible en <http://www.unisci.es/nuevos-planteamientos-en-la-seguridad-energetica-de-la-union-europea-y-opciones-en-el-mediterraneo-occidental/>

STRATAS ADVISORS (2020): “Future of Renewable and Low-Carbon Hydrogen in Europe”, 16 de noviembre. Disponible en <https://stratasadvisors.com/insights/2020/111620-future-of-renewable-and-low-carbon-hydrogen-in-europe#:~:text=By%20September%202020%2C%20six%20EU%20and%20EEA%20countries,Poland%20and%20Slovakia%20are%20currently%20developing%20their%20strategies>

TORNEY, D. y DAVIS CROSS, M. K. (2018): “Environmental and Climate Diplomacy: Building Coalitions Through Persuasion”, en C. Adelle, K. Biedenkopf y D. Torney (eds.), *European Union External Environmental Policy*, Londres, Palgrave Macmillan, pp. 39-58. Disponible en <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60931-7>

WOOD MACKENZIE (2020): “Green hydrogen pipeline more than doubles in five months”, 7 de abril. Disponible en <https://www.woodmac.com/our-expertise/focus/transition/green-hydrogen-pipeline-soars/#:~:text=The%20green%20hydrogen%20project%20pipeline%20more%20than%20doubled,for%20hydrogen%20is%20getting%20more%20and%20more%20attractive>

YERGIN, D. (2020): *The New Map. Energy, Climate, and the Clash of Nations*, Nueva York, Penguin.

ZITO, A. (2005): “The European Union as an Environmental Leader in a Global Environment”, *Globalizations*, vol. 2, nº 3, pp. 363-375. Disponible en <https://doi.org/10.1080/14747730500377156>