
ESTRATEGIAS NACIONALES SOBRE HIDRÓGENO: UNA VISIÓN COMPARADA

JUAN BAUTISTA SÁNCHEZ-PEÑUELA LEJARRAGA

Representación Permanente de España ante la UE

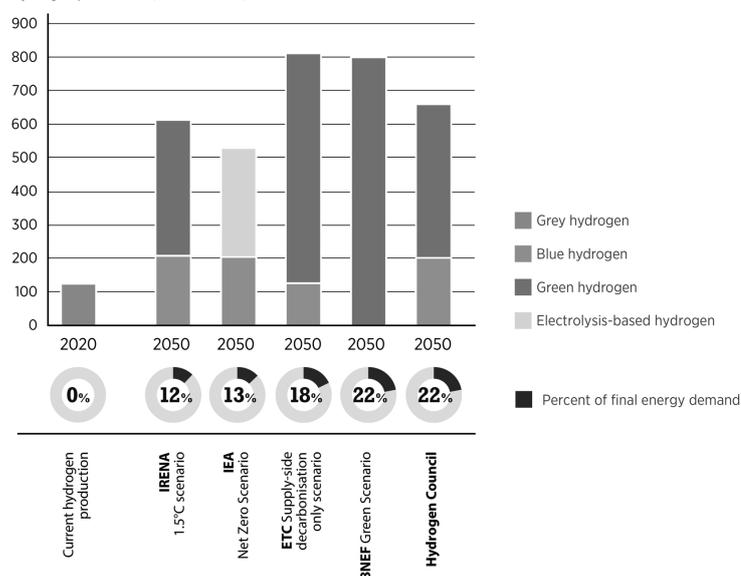
El hidrógeno se ha asentado en todos los estudios prospectivos de los últimos años como el vector energético imprescindible para alcanzar los objetivos climáticos, aprovechando el papel del hidrógeno producido por electrólisis para facilitar la integración sectorial entre electricidad y combustibles líquidos y gaseosos. Aunque existen naciones pioneras como Japón o Corea del Sur, lo cierto es que desde 2019 las tecnologías vinculadas al hidrógeno han pasado de ser contempladas como una solución de futuro, a una prioridad a corto plazo para países y regiones de características económicas y climáticas muy diferentes. Sin minusvalorar los avances técnicos que han permitido el desarrollo comercial de algunos eslabones de la cadena de valor, las principales razones para este *momentum* hay que buscarla en factores externos al sector.

Por una parte, destaca la rápida adopción de compromisos de neutralidad climática generalmente dirigidos al año 2050, que, automáticamente, han extendido y refinado los estudios prospectivos nacionales dirigidos a identificar las matrices energéticas que permitirán alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de la forma más eficiente en costes. El resultado de dichos estudios es de sobra conocido: el despliegue masivo de fuentes renovables en el sector eléctrico necesita ir acompañado de soluciones de almacenamiento y, además, continúa sin dar solución algunos consumos energéticos difícilmente electrificables, tales como determinados procesos industriales de alta temperatura o el transporte marítimo y aéreo. Estas dos necesidades, almacenar y servir electricidad donde ésta no es

eficiente o técnicamente útil, pueden ser cubiertas por el hidrógeno procedente de electrólisis de forma simultánea y complementaria entre sí. En todo caso, las pérdidas de energía durante los procesos de transformación y la incertidumbre sobre la curva de madurez tecnológica y comercial de la electrólisis explican la disparidad del papel del hidrógeno en función de los escenarios considerados. En la Figura 1 se puede observar como, comparando los escenarios de neutralidad climática en 2050 de distintas entidades internacionales, el peso del hidrógeno oscila entre el 12 y el 22% de la demanda y la producción mundial entre 500 y 800 millones de toneladas anuales.

Por otra parte, las consecuencias económicas de la pandemia del COVID-19 han urgido a la adopción

FIGURA 1
PRODUCCIÓN MUNDIAL DE HIDRÓGENO Y PORCENTAJE DE LA DEMANDA ENERGÉTICA EN DISTINTOS ANÁLISIS PROSPECTIVOS



Fuente: 'Geopolitics of the Energy Transformation. The Hydrogen Factor', IRENA (2022) [1].

de planes de estímulo a la economía en los que la descarbonización de la economía y, en particular, el despliegue de las energías renovables ocupa un lugar preferente en las prioridades de inversión. El desarrollo del hidrógeno electrolítico requiere inversiones masivas que han encontrado en este momento de liquidez y estímulos públicos un catalizador perfecto.

DOCUMENTOS ESTRATÉGICOS: ORIGEN Y OBJETIVOS

Las razones expuestas en las líneas anteriores dan respuesta a la pregunta: ¿por qué el hidrógeno ahora? Pero no de forma completa, aunque sí parcial, a la cuestión: ¿por qué es necesaria una estrategia nacional en hidrógeno? Volviendo la vista hacia el pasado, conforme avanzaba la liberalización de los sectores energéticos en la mayor parte de economías, la planificación energética pública ha quedado reducida a los monopolios naturales de las redes de transporte y distribución de electricidad y gas. Por ello, los documentos estratégicos han sido inusuales durante las primeras dos décadas de siglo, máxime centrados en una tecnología o vector concreto, con excepciones singulares como los Planes Nacionales Integrados de Energía y Clima en la UE o las estrategias sobre energía eólica marina en geografías muy determinadas. ¿Por qué naciones tan diversas han coincidido en el tiempo en la elaboración y lanzamiento de estos documentos?

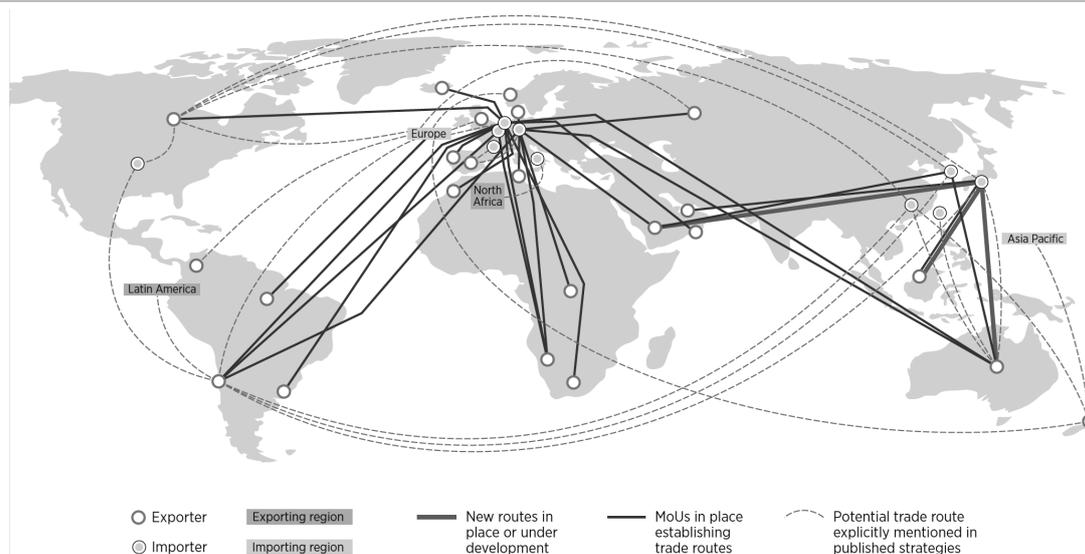
En primer lugar, los dos factores mencionados en el apartado anterior que han creado el *momentum* del hidrógeno explican su plasmación sobre el papel: los largos ciclos de maduración de las infraestructuras energéticas y el momento irrepetible de estímulos públicos determinan que las decisiones de inversión en

los próximos tres años estén llamadas a tener un peso determinante en las posibilidades de revertir el cambio climático y alcanzar los objetivos de neutralidad climática a mitad de siglo. A la vez, la única vía para que el hidrógeno sea competitivo lo antes posible y se cierren los interrogantes en su cadena de valor es comenzar a construir el sector desde este mismo momento.

Sin embargo, el protagonismo que tendrá el sector público en esta primera etapa a través de los planes de recuperación no justifica por entero el énfasis en el hidrógeno. Para explicarlo, un tercer factor a considerar es la evidencia de que estamos asistiendo a la creación de un nuevo mercado, que precisa de determinadas reglas de funcionamiento que se van a decidir e implementar en el corto plazo, por lo que cada país trata de hacer oír sus prioridades. El principal debate se centra en el 'color' del hidrógeno: aunque existe el convencimiento de que sólo el hidrógeno renovable es un vector sostenible en el largo plazo, los países productores de gas natural (principal materia prima para la producción de hidrógeno actualmente) o aquellos que cuentan con un parque de centrales nucleares relevante defienden la necesidad de otras rutas tecnológicas en el corto y medio plazo para hacer crecer la producción de forma más rápida. Pero también existen otras muchas discusiones abiertas, tales como el grado de necesidad de infraestructuras de transporte y almacenamiento y su marco regulatorio, los modelos de negocio, la certificación medioambiental o los sectores finales en los que el hidrógeno electrolítico será realmente eficiente.

Finalmente, la disparidad de puntos de partida nacionales y la carrera por posicionarse lo mejor posible en

FIGURA 2
RUTAS POTENCIALES DE INTERCAMBIOS COMERCIALES DE HIDRÓGENO



Fuente: 'Geopolitics of the Energy Transformation. The Hydrogen Factor', IRENA (2022) [1].

la línea de salida tiene una explicación que excede al sector energético: como ha manifestado recientemente IRENA [1], el hidrógeno está llamado a modificar la geoestrategia de la energía y dar un vuelco a las relaciones entre países productores e importadores que han contribuido decisivamente a configurar las relaciones internacionales durante el último siglo.

Los principales exportadores de energía fósil ven una oportunidad de reposicionarse en el corto plazo, exportando hidrógeno producido mediante reformado de gas natural combinado con captura y almacenamiento de carbono (en adelante «hidrógeno azul»), mientras que en el largo plazo aprovecharían sus recursos renovables («hidrógeno verde»), en particular mediante procesos de electrólisis. Otras regiones, hasta ahora irrelevantes en el tablero geoestratégico, ven posible convertirse en socios comerciales preferentes de las economías importadoras.

En cuanto a estas últimas, contemplan el fin de los combustibles fósiles como una oportunidad para deshacer lazos obligados de dependencia energética, incrementando su autonomía estratégica y construyendo nuevos vínculos con socios fiables. La Figura 2 muestra algunas de estos posibles vínculos a partir de la información disponible sobre rutas en desarrollo, acuerdos no vinculantes (*memorandums of understanding*) o estrategias nacionales estableciendo las rutas más plausibles.

La magnitud real de este seísmo en el tablero geopolítico es todavía una incógnita: además de los interrogantes anteriormente mencionados sobre el papel final del hidrógeno en los sistemas energéticos climáticamente neutros, subsisten dudas sobre el tamaño real y alcance geográfico que podrá alcanzar un mercado global de hidrógeno. Mientras algunos escenarios anticipan un mercado internacional análogo al del

gas natural licuado, que ha registrado un crecimiento espectacular a lo largo de las últimas tres décadas, otros limitan los intercambios al ámbito regional por los elevados costes, la baja eficiencia energética y la huella medioambiental de la cadena logística.

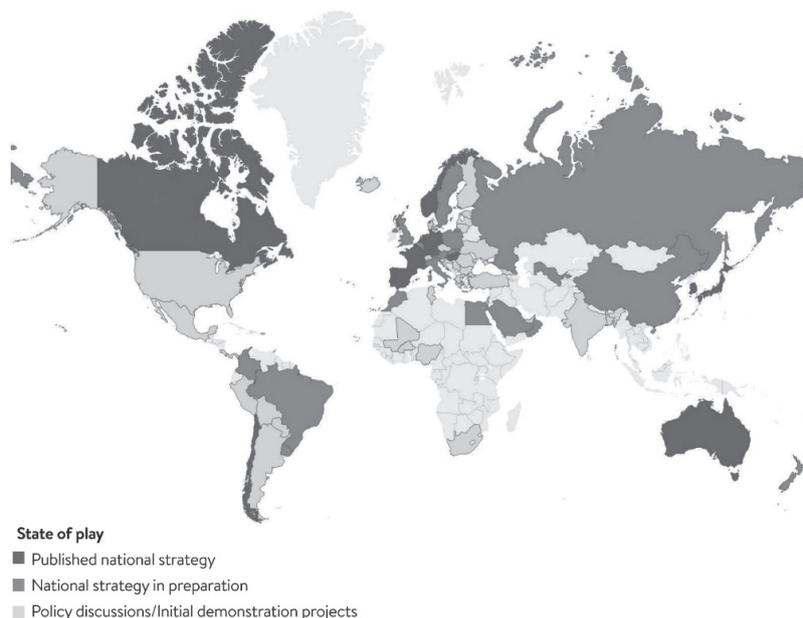
El propósito de este artículo es proporcionar una mirada breve pero rigurosa hacia el estado del arte en esta carrera de documentos estratégicos, una fotografía efímera puesto que la evolución del sector está siendo vertiginosa. Como una de las visiones de referencia más actualizadas, el Consejo Mundial de la Energía proporcionó en septiembre de 2021 un último mapa de las estrategias nacionales [2], en el que las regiones de Europa y Asia-Pacífico tienen un protagonismo indiscutible, tal y como se puede observar en la Figura 3.

Este artículo distingue entre economías que se definen de forma nítida como importadoras o exportadoras en sus estrategias, con un foco específico en la Unión Europea y un ejercicio de identificación de prioridades en el caso de los principales consumidores de energía que están en proceso de definición: Estados Unidos y China.

ECONOMÍAS IMPORTADORAS ↓

Japón es uno de los principales importadores de energía primaria del mundo, debido a su elevada densidad de población, alta intensidad energética de la economía y escasez de recursos energéticos autóctonos. Por tanto, su visión a largo plazo de una 'economía del hidrógeno' para reemplazar a los combustibles fósiles está firmemente arraigada en los planes nacionales de I+D+i y en los programas privados de las principales compañías privadas desde los años noventa, con énfasis en el liderazgo tecnológico en el segmento de las pilas de combustible.

FIGURA 3
MAPA DE DESARROLLO DE ESTRATEGIAS NACIONALES SOBRE HIDRÓGENO



Fuente: 'Hydrogen on the Horizon: National Hydrogen Strategies'. World Energy Council (2021) [1]

El accidente en la central nuclear de Fukushima en 2011 incrementó de manera abrupta las importaciones de gas natural licuado (GNL) y tensionó los mercados mundiales, con un impacto relevante en la balanza de pagos y la competitividad de su industria, dando prioridad a la búsqueda de una mayor diversificación de fuentes y rutas de suministro.

En este contexto, el ambicioso paquete de políticas 'Development of dramatic growth and reducing cost of Battery /Fuel Cell', contenido en la 'New Growth Strategy' de junio de 2010, se revelaba claramente insuficiente. Por ello, el Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) de Japón creó en 2013 un órgano formado por representantes del sector público y privado responsable de marcar las directrices a largo plazo: el 'Council for a Strategy for Hydrogen and Fuel Cells'. Este órgano pondría en marcha la 'Strategic Road Map for Hydrogen and Fuel Cells' (2014), revisada de nuevo en 2016. En 2017, el propio METI publicó su 'Basic Hydrogen Strategy' [3], el primer documento estratégico de un gobierno nacional, de carácter muy esquemático pero claro, con objetivos en 2030 de coste de producción del hidrógeno y de penetración en movilidad y generación eléctrica (ver Figura 4). Entre otros: una producción de hidrógeno de 300.000 toneladas/año de hidrógeno bajo en carbono en el año 2030 a un precio medio de 3\$/kg, además de objetivos en movilidad como una flota de 800.000 vehículos de pila de combustible.

En 2019 Japón redobló su apuesta con el 'Strategic Roadmap for Hydrogen and Fuel Cells' [4] y, como Presidencia del G20, encargó a la Agencia Interna-

cional de la Energía (AIE) el informe 'The future of hydrogen' [5].

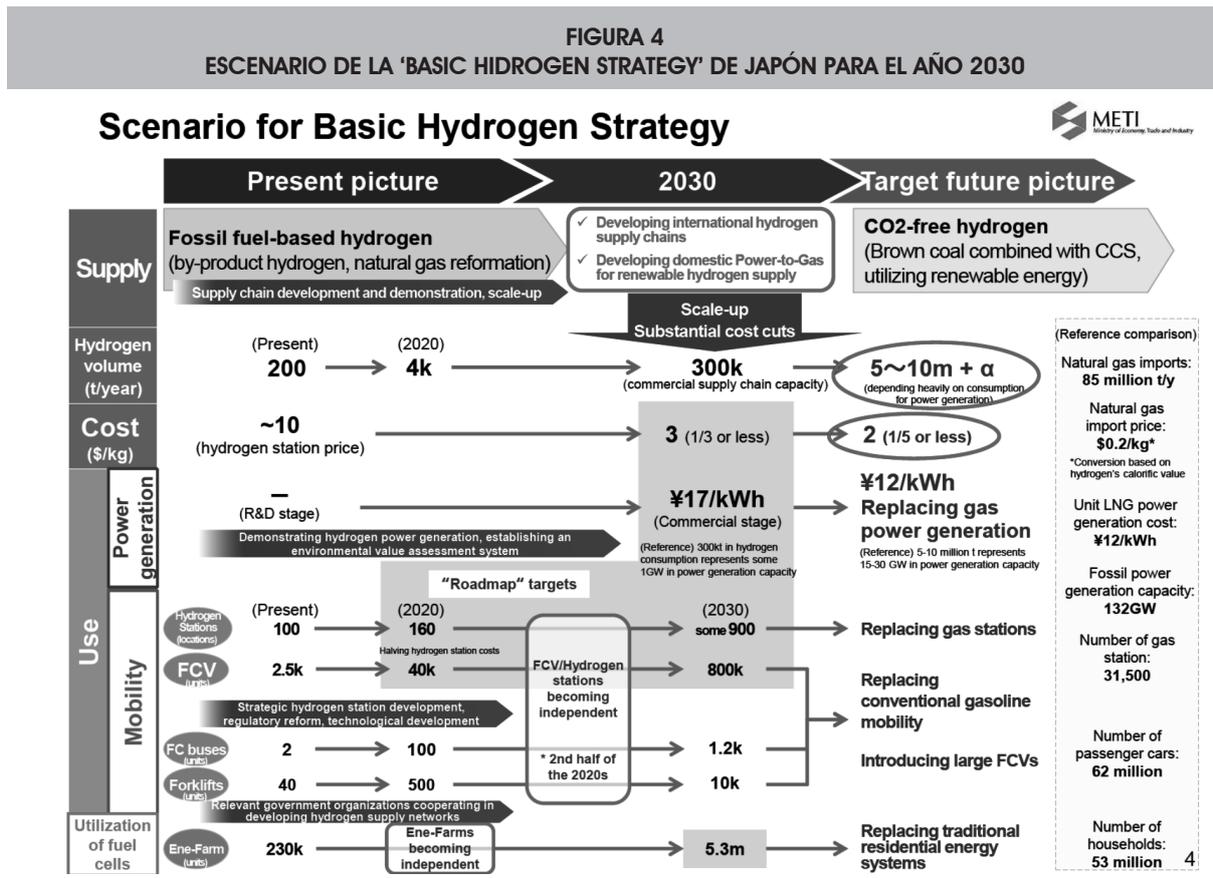
El caso de Corea del Sur presenta muchas similitudes con el de Japón, tanto por su elevada dependencia energética como por haber apostado por la I+D+i en pilas de combustible desde hace dos décadas. La publicación del 'Hydrogen Economy Roadmap' (2019) [6] supuso el establecimiento de objetivos para el año 2040 en ámbitos como la movilidad (producción de vehículos de pila de combustible, despliegue de autobuses o hidrogenaras) y la generación eléctrica. En los programas de I+D+i se priorizan claramente los vehículos de pila de combustible sobre los vehículos de baterías.

Las estrategias de Japón y Corea tienen evidentes puntos comunes: pretenden implantar una 'economía del hidrógeno' y este vector debe ser clave para la movilidad y la generación eléctrica. Para ello, son conscientes de que deberán importar hidrógeno porque no poseen los recursos para producirlo, ni de combustibles fósiles ni de generación eléctrica con renovables, contando en cambio con exportar tecnología, en particular pilas de combustible.

ECONOMÍAS EXPORTADORAS ↓

Ante los planes de Japón y Corea para reemplazar los combustibles fósiles, en particular el GNL, por hidrógeno, sus principales suministradores se posicionan como socios. Es el caso de los mayores productores de petróleo de Oriente Medio y muy en particular de tres países del área del Pacífico que priorizan el hidrógeno renovable orientado a la exportación: Australia, Canadá y Chile.

FIGURA 4
ESCENARIO DE LA 'BASIC HYDROGEN STRATEGY' DE JAPÓN PARA EL AÑO 2030



Fuente: 'Basic Hydrogen Strategy'. Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan (2017).

Pacífico

Australia se posiciona como principal candidato a proporcionar el suministro de hidrógeno a Japón y Corea, habiendo aprobado su estrategia nacional en noviembre de 2019. Aunque los primeros documentos estratégicos de Australia estaban inicialmente orientados a producir hidrógeno a partir de carbón y gas natural, la 'Australia's National Hydrogen Strategy' [7] está orientada al «hidrógeno limpio»: prácticamente en exclusiva al producido mediante electrólisis utilizando electricidad renovable, combinada con la producción de hidrógeno por reformado de metano y captura de CO₂ en determinadas áreas. Aunque la estrategia no ha fijado objetivos de capacidad de electrólisis, considera que el tamaño medio de los proyectos hacia 2030 oscilará entre 500 MW y 1 GW.

Canadá publicó en diciembre de 2020 la 'Hydrogen Strategy for Canada' [8], que en su introducción identifica una serie de fortalezas para la producción de «hidrógeno limpio», tanto renovable como bajo en emisiones (en este caso, «hidrógeno azul»):

- Sistema eléctrico muy potente (sexto generador de electricidad mundial) y descarbonizado (el 82% de la electricidad no tiene emisiones, gracias especialmente a la hidráulica).
- Sector petrolero relevante a nivel mundial, tanto en exportaciones (tercer exportador mundial tras

Arabia Saudí y Rusia) como en reservas probadas.

- Infraestructura para la captura y uso/almacenamiento de CO₂ (20% de la capacidad mundial en operación).
- Alto nivel de desarrollo en todas las etapas de la cadena de valor del hidrógeno, desde la producción (10% de la producción mundial) hasta el almacenamiento y la exportación, contando con más de 100 empresas y 2.000 trabajadores en el sector del hidrógeno, en nichos tales como los electrolizadores o las pilas de combustible.

Los objetivos nacionales se establecen en volumen anual de producción de hidrógeno y reducción media de emisiones, partiendo de los actuales 3 millones de toneladas hasta unos 20 millones en 2050, destinados tanto a la exportación (espera ser uno de los tres primeros productores mundiales de «hidrógeno limpio») como al consumo interno (el hidrógeno limpiaría hasta el 30% de la matriz energética nacional, con un 'blending' de hasta el 50% en la red de gas natural).

Por su parte, Chile aprobó la 'Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde' [9] en noviembre de 2020, que contempla como única vía tecnológica el hidrógeno procedente de fuentes renovables, fijando el ambicioso objetivo de 5 GW de capacidad instalada de electrólisis en 2025 y 25 GW en 2030. La estrategia propone

potenciar los siguientes sectores de consumo final: refinera, amoníaco (fertilizantes), transporte pesado del sector de la minería, transporte pesado por carretera, autobuses de larga distancia e inyección en la red gaseista. El Gobierno chileno ha suscrito distintos acuerdos no vinculantes con Gobiernos europeos (Alemania) y asiáticos (Corea del Sur, Singapur) y autoridades portuarias (Rotterdam, Amberes, Zeebrugge) para fomentar la exportación.

Europa ▼

Noruega es el segundo exportador de gas natural a la Unión Europea, además de ofrecer en el medio plazo una gran capacidad de almacenamiento de CO₂ con proyectos como 'Northern Lights'. Adicionalmente, prevé un importante desarrollo de generación de electricidad renovable a partir de eólica marina. Por último, forma parte del Espacio Económico Europeo y participa en programas de I+D+i de la UE como Horizonte 2020. Estos cuatro aspectos la posicionan como un potencial exportador de hidrógeno renovable y bajo en carbono a la UE y a otras regiones del Atlántico Norte.

En junio de 2020 se presentó la 'Norwegian Government's hydrogen strategy' [10], que no establece metas cuantitativas concretas más allá de garantizar la producción y consumo seguro de hidrógeno (con énfasis en la normativa de seguridad), desarrollando de forma acompasada el hidrógeno tanto para consumo interno como para exportación.

Oriente Medio ▼

Arabia Saudí se ha marcado como objetivo convertirse en el primer productor de hidrógeno del mundo, combinando la producción de «hidrógeno azul» e hidrógeno renovable [11]. El primero se producirá a partir del reformado de gas natural y procesos de captura de CO₂ con almacenamiento en el entorno de yacimientos como Jafurah, mientras que la producción del segundo se apoyará en su recurso solar.

Aunque a la fecha de redacción de este artículo Arabia Saudí no ha publicado un documento estratégico específico sobre el futuro del hidrógeno, tanto la 'Saudi Vision 2030', dirigida a transformar la economía en su conjunto como la 'Renewable Energy Initiative' prevén rápidas y ambiciosas inversiones en energía renovable. Por el momento, esta voluntad se ha materializado en la búsqueda de socios comerciales y el anuncio de proyectos emblemáticos.

En la primera línea de trabajo, el primer exportador mundial de petróleo mira a sus socios comerciales como futuros demandantes de hidrógeno: la Unión Europea y Japón. En el segundo ámbito, el reino saudí ha anunciado el proyecto de hidrógeno renovable más grande del mundo en la zona económica planificada de NEOM: 5.000 millones de dólares de inversión para la producción anual de 1,2 millones de toneladas de amoníaco verde [12].

En Emiratos Árabes Unidos, el emirato de Abu Dhabi encargó a la Abu Dhabi National Oil Company (ADNOC) [13] que elaborase un plan estratégico para el desarrollo del sector del hidrógeno, con parámetros muy similares a los de Arabia Saudí: combinando «hidrógeno azul» e «hidrógeno verde». El primer paso ha sido la creación de la Abu Dhabi Hydrogen Alliance en enero de 2021 [14], integrada por tres entidades estatales: la propia ADNOC, el fondo inversor Mubadala y el holding público ADQ.

Por su parte, Dubai ha puesto en marcha en octubre de 2021, a través de la Dubai Electricity and Water Authority (DEWA), una licitación para desarrollar una estrategia dedicada al «hidrógeno verde» [15]. Al contrario que en Abu Dhabi, el emirato de Dubai no cuenta con producción relevante de hidrocarburos.

Otros países de la región que han mostrado su interés en desarrollar estrategias nacionales para posicionarse en el sector del hidrógeno, en particular el «hidrógeno verde» por su elevado potencial de generación eléctrica a partir de tecnología fotovoltaica, destacando Israel y Omán. El primero de ellos tiene un posicionamiento técnico favorable, en particular en *start-ups* especializadas en pilas de combustible y tecnologías innovadoras alternativas a la electrólisis, como la separación molecular por microondas.

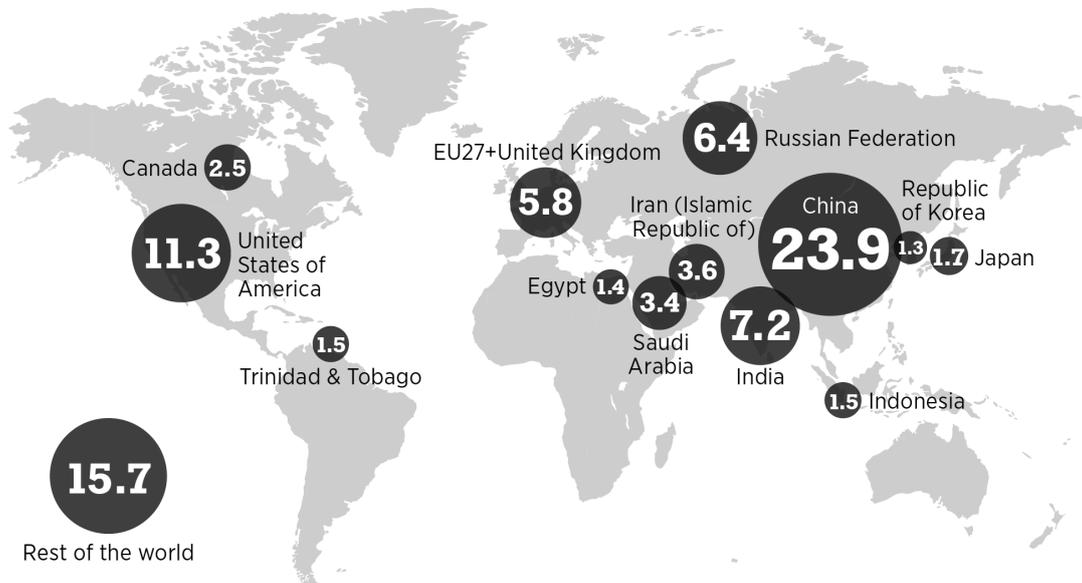
LAS GRANDES INCÓGNITAS ▼

La producción y la demanda mundial de hidrógeno se situó en el año 2020 en torno a 120 millones de toneladas, tanto puro (en torno a 90 millones de toneladas) como mezclado con otros gases. Una parte destacable de la demanda (y por ende de la producción, dado que el comercio internacional es aún reducido) se localiza en países que aún no han publicado estrategias del hidrógeno o sólo han hecho públicos compromisos u objetivos parciales. Tal y como se puede observar en la Figura 5, entre ellos destacan los cuatro primeros países por consumo: China (23,9 millones de toneladas anuales de hidrógeno puro), Estados Unidos (11,3), India (7,2) o Rusia (6,4), que suman de forma agregada más del 50% de la producción y demanda mundial. Aunque las vías de producción y los usos del hidrógeno están destinados a ampliarse y esta distribución se modificará en los próximos años, esta cifra es lo suficientemente destacable para afirmar que las decisiones estratégicas que tomen estos cuatro países, especialmente los dos primeros, marcarán el futuro del sector.

Estados Unidos ▼

El Gobierno Federal hizo pública en julio de 2020 su 'Hydrogen Strategy. Enabling a low-carbon economy' [16], elaborada por la Oficina de Combustibles Fósiles del Departamento de Energía. El documento estaba dedicado exclusivamente al «hidrógeno producido a partir de combustibles fósiles», es decir, el denominado «hidrógeno azul» sin contemplar el hidrógeno producido por electrólisis por razones de coste. El tex-

FIGURA 5
CONSUMO MUNDIAL DE HIDRÓGENO EN EL AÑO 2020



Fuente: 'Geopolitics of the Energy Transformation. The Hydrogen Factor', IRENA (2022).

to concluye que los programas de I+D deben estar dedicados a la producción basada en tecnologías de gasificación y reformado, infraestructura de transporte y almacenamiento a gran escala (*in situ* y subterráneo) y los usos del hidrógeno para generación eléctrica, producción de combustibles e industria manufacturera.

Esta estrategia ha quedado definitivamente superada por la modificación de las políticas energéticas y climáticas tras el cambio de administración y el establecimiento del objetivo de neutralidad climática a más tardar en 2050, con una apuesta decidida por el hidrógeno producido por electrólisis y, en particular, el uso de electricidad de origen renovable. No existe por el momento previsión de la próxima publicación de un nuevo documento estratégico, pero los posicionamientos a nivel nacional e internacional, participando en estos últimos el Departamento de Estado, se han reorientado en los últimos quince meses. Como muestra de dicha reorientación, el Departamento de Energía anunció en julio de 2021 la meta de reducir el coste del «hidrógeno limpio» a 1 \$/kg en 1 década. Esta voluntad se materializó en febrero de 2022 en forma de un programa de 8.000 millones de dólares para desarrollar 'hubs' de hidrógeno limpio, 1.000 millones destinados al desarrollo de las tecnologías de electrólisis que utilizan electricidad sin emisiones y otros 500 millones para el fortalecimiento de las capacidades de fabricación y las cadenas de valor nacionales.

Algunos estados han presentado iniciativas propias en materia de hidrógeno en los últimos años, sirviendo como ejemplo dos casos muy diferentes: California y Wyoming.

El estado de California ha apostado por el hidrógeno desde hace algunas décadas como solución de descarbonización del transporte a través de la colaboración público-privada. El principal vehículo de la misma ha sido la 'California Fuel Cell Partnership (CaFCP)', creada en 1995 por tres agencias estatales (entre ellas, la Comisión de Energía de California [18]) y seis empresas privadas de automoción y refino. Actualmente es una iniciativa más amplia, que incluye departamentos del Gobierno Federal y empresas de otros sectores. Entre los principales programas de apoyo destaca el programa 'Low Carbon Fuel Standard Hydrogen Refueling Infrastructure', que obliga a que el 40% del hidrógeno suministrado en las hidrogeneras sea de origen renovable, contando en 2020 con un total de 45 hidrogeneras de acceso público operativas y 134 más en desarrollo, tras una inversión acumulada de 166 millones de euros.

El estado de Wyoming es un buen ejemplo de territorio exportador de energía y del modelo de producción de combustibles fósiles en territorio estadounidense: hasta el 90% de su producción de energía se distribuye a otros territorios. La Autoridad de Energía de Wyoming ha publicado a finales de 2021 la 'Wyoming Energy Strategy', que incluye una 'Wyoming Hydrogen Initiative'. El Departamento de Energía del Gobierno Federal emitió una declaración en diciembre de 2021 [19] respaldando estas iniciativas con apoyo financiero y declarando que 'hoy, aproximadamente el 95 por ciento del hidrógeno en los Estados Unidos se produce a partir de gas natural sin captura de carbono, que no es limpio. Estos esfuerzos en Wyoming son un primer paso para demostrar cómo la aplicación de tecnologías de captura de carbono puede promover una economía de hidrógeno rentable y baja en carbono de una manera justa y sostenible'.

Es de esperar que la estrategia federal estadounidense pivote sobre estos dos ejes: hidrógeno renovable en las áreas con potencial solar y eólico, acompañado de la reducción de emisiones en la producción existente mediante el despliegue masivo de tecnologías de captura de CO₂, como una política de transición justa.

China ↓

La Comisión Nacional para el Desarrollo y las Reformas y la Administración Nacional de Energía de China dieron a conocer en marzo de 2022 el Plan de Desarrollo a Medio y Largo Plazo para la Industria del Hidrógeno (2021-2035). Anteriormente, la administración china había catalogado el hidrógeno como una 'tecnología frontera' y una de las seis industrias prioritarias. A pesar de que el Plan de Desarrollo no prioriza de manera suficientemente clara unas rutas tecnológicas sobre otras, sí considera el hidrógeno renovable como el único producido de forma climáticamente neutra.

Los cuatro pilares del Plan de Desarrollo son:

- Establecer una plataforma de innovación centralizada para acelerar las tecnologías disruptivas.
- Promover la construcción de infraestructura para hidrógeno, con énfasis en el almacenamiento y la movilidad.
- Acelerar usos finales comerciales en movilidad por carretera y aviación, almacenamiento, industria pesada o edificios.
- Establecer y mejorar políticas facilitadoras en toda la cadena de valor.

Los objetivos cuantitativos para el año 2025 consisten en la producción de entre 100.000 y 200.000 toneladas de hidrógeno renovable, una cifra muy inferior a la prevista en la UE, o el despliegue de 50.000 vehículos eléctricos de pila de combustible. En todo caso, estos objetivos cuantitativos son menos ambiciosos que los establecidos a nivel provincial.

Rusia ↓

Como país exportador de combustibles fósiles, el caso de Rusia podría analizarse en otro apartado pero se trata aquí por las particularidades de los procesos internos de toma de decisiones, así como por su carácter de cuarto productor mundial de hidrógeno y, por tanto, la existencia de un gran mercado nacional.

Por el momento, Rusia ha publicado dos documentos de carácter estratégico: el 'Roadmap for Hydrogen Development until 2024' [21] y 'Concept for the Development of Hydrogen Energy in Russia' [22], en octubre de 2020 y agosto de 2021 respectivamente. Aunque la gobernanza de la estrategia a largo plazo o la involucración del sector privado no están suficientemente definidas, la posición fundamental de Rusia sobre el hidrógeno es clara: debe impulsar el desarrollo económico y mantener el *status quo* de Rusia en el mer-

cado global de energía. En lo referente a las vías de producción de hidrógeno, apuesta por la neutralidad tecnológica: reformado de metano o electrólisis a partir de electricidad de origen nuclear. La estructura de clústeres e infraestructuras de transporte parece replicar la geografía del gas natural, fijando objetivos de exportar 200.000 toneladas de hidrógeno en 2024 y hasta 2 millones de toneladas anuales en 2035 [23]. En cualquier caso, la invasión de Ucrania iniciada en febrero de 2022, las consiguientes sanciones comerciales y la firme voluntad de la UE de independizarse energéticamente de Rusia ponen en serias dificultades esta estrategia, al menos en el ámbito europeo.

India ↓

El reciente compromiso de alcanzar la neutralidad climática antes de 2070 y la aproximación de India a las principales organizaciones internacionales del sector energético, en particular la Agencia Internacional de la Energía (AIE) y la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA) [24], revelan el propósito del Gobierno indio de abandonar una tradición de aislamiento e integrarse en los circuitos energéticos mundiales.

El primer ministro indio anunció en agosto de 2021, con motivo de la celebración del Día de la Independencia, el inicio de los trabajos en la 'National Green Hydrogen Mission'. El siguiente paso ha sido la remisión desde el Ministerio de Electricidad al Primer Ministro de una breve nota titulada 'Green Hydrogen/ Green Ammonia Policy' [25], que esboza diez medidas dirigidas a producir un mínimo de 5 millones de toneladas de «hidrógeno verde» en 2030. Entre dichas medidas destaca la exención a productores de hidrógeno y amoníaco verdes del pago de peajes de transporte interestatales durante 25 años, siempre que los proyectos estén operativos antes del 30 de junio de 2025.

OTRAS GEOGRAFÍAS ↓

América Latina ↓

América del Sur presenta un potencial relevante para la producción de hidrógeno renovable por el potencial de energía solar, eólica o hidráulica. Asimismo, Brasil, Trinidad y Tobago o Argentina cuentan con producción propia de gas natural e infraestructuras adecuadas para la captura de CO₂. La Agencia Internacional de la Energía (AIE) publicó en agosto de 2021 el informe 'Hydrogen in Latin America' [26] que abarca el estado del sector en la región y las perspectivas de crecimiento. El caso de Chile ha sido analizado anteriormente, pero otros países de la región han desarrollado Colombia, Panamá, Uruguay o están desarrollando (Argentina, Brasil) documentos estratégicos sobre hidrógeno. El mencionado informe de la AIE subraya el potencial de producción de hidrógeno en la región a partir de electricidad renovable, identificándose numerosas áreas en las que se podrían alcanzar precios inferiores a 1,4 \$/kg en el año 2050.

Colombia publicó el 1 de octubre de 2021 su 'Hoja de Ruta del Hidrógeno' [27], que contempla como soluciones tanto el «hidrógeno verde» (en regiones con potencial eólico y solar) como el «hidrógeno azul» (en polos industriales de refino ya existentes). Entre los objetivos planteados a 2030: una capacidad de electrólisis instalada entre 1 y 3 GW para la producción de hidrógeno renovable y una producción de «hidrógeno azul» de 50.000 toneladas anuales.

Panamá presentó en enero de 2022 la 'Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde' [28], que contempla el país como la posible sede de un 'hub transformacional de hidrógeno verde', utilizando su potencial renovable y muy especialmente su localización geográfica e instalaciones logísticas.

Argentina está preparando una 'Estrategia Nacional de Hidrógeno bajo en emisiones 2030', a partir del documento 'Hacia una estrategia nacional de Hidrógeno 2030' [29] publicado por el Centro Económico y Social en septiembre de 2021.

El Gobierno Federal de Brasil publicó en febrero de 2021 un documento preparatorio de intenciones titulado 'Baseline to support the Brazilian Hydrogen Strategy' [30]. En él, siguiendo la línea de trabajo desde 2005, se anunciaba un enfoque de neutralidad tecnológica, denominada 'estrategia de hidrógeno arcoiris', no limitada al «hidrógeno verde» y destinada a aprovechar todos los recursos energéticos del país (biomasa, renovables eléctricas como la hidráulica o la solar, gas natural).

Por último, Trinidad y Tobago es actualmente el primer productor de hidrógeno de América Latina, alcanzando el 40% de la producción regional, principalmente dedicado a la fabricación de amoníaco y metanol. Por las características de su economía, se espera que su futura estrategia en el sector del hidrógeno priorice la vía de captura y almacenamiento de CO₂ en las plantas de reformado de metano existentes.

África ▼

El área del Magreb-Mashreq destaca por su capacidad de producción de hidrógeno renovable a partir de electricidad solar a precios reducidos, con la posibilidad de adaptar los gasoductos existentes de exportación a la UE para el transporte de hidrógeno o aprovechando las cortas distancias de navegación hasta las costas europeas. El desarrollo de la regulación del mercado de hidrógeno y la clarificación de los escenarios de demanda determinará si este hidrógeno es imprescindible para la UE, es competitivo en precio y sostenible una vez contabilizados los costes y la huella medioambiental del transporte.

Marruecos ha sido hasta el momento el país más activo de la región, habiendo suscrito en junio de 2020 un acuerdo de cooperación con Alemania [31] en el campo del «power-to-X» en junio de 2020 y otro con Portugal [32] en febrero de 2021. En enero de 2021 pu-

blicó su 'Hoja de Ruta del Hidrógeno Verde' [33], que incluye proyecciones de producción, demanda interna y exportaciones en 2030, 2040 y 2050 bajo dos escenarios: de referencia y optimista. Considerando las proyecciones de los mercados globales de hidrógeno del World Energy Council, Marruecos estima que podría alcanzar el 4% del mercado mundial en 2030 y el 1% en 2050, es decir, que desempeñaría un papel principal en la primera etapa. A pesar de que no parecen porcentajes muy elevados, su estrategia está volcada en las exportaciones, que absorberían de forma sostenida entre el 70 y el 75% de la producción en cualquiera de los escenarios entre 2030 y 2050.

Los objetivos de producción son elevados, basados en una capacidad de electrólisis instalada muy optimista: entre 2,8 y 5,2 GW en 2030 y entre 31 y 53 GW en 2050. En el año 2030 esta capacidad de electrólisis supondría entre el 7 y el 13% de los objetivos de electrólisis en la vecindad inmediata, previstos en la 'Estrategia del Hidrógeno de la UE'. El documento incluye también un plan de acción construido sobre ocho grandes medidas y un breve catálogo de primeros proyectos. Como aspectos que demuestran el nivel de detalle: la previsión de necesidades de inversión (hasta 95.000 millones de euros en 2050 en el escenario optimista), la inclusión en la prospectiva de capacidad de desalinización adicional para proteger los recursos hídricos del país o la capacidad de producción de amoníaco verde.

Argelia, como principal exportador de hidrocarburos y principalmente gas de la región, dirige su mirada hacia Italia y la posible transformación del gasoducto Transmed. La naturaleza de su toma de decisiones interna no permite prever que apruebe un documento estratégico de forma pública, pero sí son conocidas las conversaciones entre la empresa italiana ENI y la energética estatal Sonatrach, habiendo suscrito una serie de acuerdos no vinculantes en marzo de 2021 que incluyen la producción de «hidrógeno verde» y una serie de reuniones posteriores en septiembre de 2021 [34].

Egipto ha anunciado la publicación de una estrategia a lo largo del año 2022, que podría incluir como objetivo una capacidad instalada de entre 1 y 2 GW en los próximos 5 años y una inversión total de 40.000 millones de euros [35]. Estos planes podrían orientarse tanto a la producción de hidrógeno a partir de la producción nacional de gas natural como al hidrógeno renovable [36]. PRIORIDAD BAJA: En junio de 2022, la Comisión Europea y Egipto suscribieron una declaración conjunta que dejaba espacio sobre cooperación en materia de energía y clima que menciona expresamente como un área de interés el la producción en este país de hidrógeno renovable.

Sudáfrica es la principal potencia industrial del África austral y presenta numerosos sectores difíciles de descarbonizar, destacando la minería tal y como subraya la 'Minerals Beneficiation Strategy'. El Departamento de Ciencia y Tecnología es el competente de desarrollar las políticas de I+D en hidrógeno y pilas de combusti-

ble desde la aprobación de la 'Hydrogen South Africa Strategy' (2007).

En septiembre de 2021 el Gobierno sudafricano aprobó un nuevo 'National Hydrogen Society Roadmap' [37] para los siguientes diez años. Este documento estratégico vino acompañado apenas un mes después por el lanzamiento de un informe de viabilidad público-privado de un valle de hidrógeno [38], que identificó tres posibles polos: Johannesburgo (industria: acero, química), Durban (movilidad, especialmente marítima) y Mogalakwena/Limpopo (minería). Este valle de hidrógeno tendría una demanda estimada de 144.000 toneladas/año a suministrar mediante hidrógeno producido por electrólisis. El estudio incluye un apartado de medidas facilitadoras de carácter político y regulatorio, además de identificar proyectos piloto. El análisis está estrechamente vinculado a la Fase 3 del Plan de Recuperación del Gobierno de Sudáfrica.

UNIÓN EUROPEA

Características generales

La Comisión Europea ha identificado en sus escenarios a largo plazo más recientes la necesidad de acelerar la descarbonización del sector energético para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones en 2030 y la neutralidad climática en 2050. En esos escenarios, los combustibles gaseosos (o «moléculas») siguen siendo necesarios en aquellos sectores en los que la electrificación directa (o «electrones») no es técnicamente posible o no es económicamente eficiente, pero reemplazando el gas fósil por gases renovables. Además de lo anterior, en un contexto de práctica descarbonización del mix eléctrico de los Estados miembros en 2050, el aprovechamiento de los vertidos de generación eléctrica renovable requiere la utilización de distintas formas de almacenamiento de energía a gran escala, mediante una completa integración del sistema, vertebrando los distintos vectores energéticos de manera eficiente.

Con estas restricciones, el hidrógeno renovable surge como un vector energético con gran proyección y la aceleración del sector se convierte en prioritaria en la próxima década. Este rápido desarrollo tecnológico es intensivo en inversiones pero puede permitir a la UE competir por el liderazgo tecnológico en determinados segmentos de la cadena de valor y reducir su dependencia exterior.

Esta visión europea tiene su reflejo en ópticas nacionales muy diferentes entre sí, pero coincidentes en un aspecto esencial: el *momentum* creado para el hidrógeno renovable en el marco de los Planes de Recuperación y Resiliencia.

Comisión Europea

La Comisión Europea ostenta la iniciativa legislativa para proponer instrumentos jurídicos en materia de

energía tales como directivas o reglamentos, que son negociados y adoptados por los legisladores (el Consejo Europeo y el Parlamento Europeo). En la misma tradición de regulación anglosajona, la Comisión Europea, además de publicar un programa anual de trabajo en el que anuncia las propuestas legislativas que adoptará durante el ejercicio siguiente, publica documentos estratégicos, de carácter programático y no vinculante, mediante el instrumento de las 'comunicaciones' a otras instituciones. En dichas comunicaciones, la Comisión identifica una amenaza u oportunidad que requiere acción regulatoria para mitigar o potenciar su impacto, identificando las distintas acciones que pondrá en los próximos meses.

El procedimiento de tramitación de las comunicaciones es mucho más ligero que el de las propuestas legislativas: se celebra una consulta pública sobre un breve documento (denominado 'hoja de ruta') y, tras recabar las contribuciones y elaborar el texto, el Colegio de Comisarios adopta la Comunicación.

Este es el caso de la comunicación 'A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe' [39], para el que la consulta pública se celebró del 26 de mayo al 8 de junio de 2020. El texto definitivo se adoptó e hizo público el 8 de julio.

Su contenido incluye una visión a 2030 y 2050, una hoja de ruta con fases claramente definidas y una estrategia formada por un conjunto de medidas sectoriales y horizontales.

La estructura es la siguiente:

- Introducción, explicando la necesidad de la estrategia a nivel UE.
- Hoja de Ruta a 2050, incluyendo definiciones de las distintas vías tecnológicas de producción de hidrógeno y definiendo fases de desarrollo del sector, con objetivos de capacidad de electrólisis de origen renovable y producción de hidrógeno renovable y bajo en carbono para 2024 y 2030.
 - Primera fase (2020-2024): 6 GW de electrólisis y 1 millón de toneladas anuales.
 - Segunda fase (2024-2039): 40 GW de electrólisis en territorio de la UE y 10 millones de toneladas anuales.
- Agenda de Inversión, indicando las inversiones públicas y privadas que harían falta para alcanzar cada uno de los objetivos.
- Escalar la demanda y ampliar la producción, con medidas de apoyo concretas a través de instrumentos existentes (como las convocatorias de la FCH-JU o el Fondo de Innovación) o nuevos (como un programa piloto de 'contratos de carbono por diferencias' (CCfD) como el propuesto por Alemania en su estrategia).

- Marco regulatorio de la infraestructura y reglas de mercado, resaltando la importancia de una infraestructura para el transporte y almacenamiento del hidrógeno y facilitar la accesibilidad al mercado a productores y consumidores, mediante principios similares a los del sector gasista: neutralidad de los operadores de las redes, acceso de terceros no discriminatorio, simplificación de los procedimientos de autorización y eliminación de barreras administrativas.
- Promover investigación e innovación
- Dimensión internacional, destinada por una parte a instalar fuera de la UE la misma capacidad de electrólisis de origen renovable que en su interior (40 GW en 2030), así como a participar activamente en los procedimientos de estandarización internacional y de creación de reglas para un mercado global.
- Conclusiones, con un resumen de las medidas a adoptar por la Comisión para asegurar la plena implementación de la Estrategia. Destacan las siguientes:
 - Revisión del reglamento de redes transeuropeas de energía (Reglamento TEN-E del año 2013).
 - La Comisión presentó una propuesta en diciembre de 2020, habiéndose alcanzado un acuerdo entre el Parlamento y el Consejo, publicándose el texto definitivo en junio de 2022.
 - Publicación de un paquete de descarbonización del sector del gas (revisión de la Directiva y el Reglamento de Gas del año 2009).
 - La Comisión presentó una propuesta legislativa el 14 de diciembre de 2021.
 - Modificación de la Directiva de infraestructura de combustibles alternativos del año 2014.
 - La Comisión presentó una propuesta legislativa el 14 de julio de 2021.
 - Creación de la Alianza del Hidrógeno Limpio [40], que reúne a la industria, el sector de investigación y las administraciones públicas como instrumento clave para facilitar la agenda de inversiones. La Alianza se lanzó el mismo día 8 de julio de 2020 conjuntamente con la Estrategia.
 - Publicación de convocatorias específicas de ayudas para la construcción de grandes electrolizadores e integración del hidrógeno en puertos o aeropuertos.

Algunas de estas medidas están ya en marcha o al menos planteadas y se concretarán a lo largo de

2022 y 2023, en un proceso de reformas de largo recorrido que no terminará previsiblemente hasta que finalice el mandato de la Comisión actual (año 2024).

La invasión rusa de Ucrania y la amenaza a la seguridad de suministro de gas natural a la UE han llevado a la Comisión Europea a publicar en mayo de 2022 el Plan REPowerEU [41], un conjunto de comunicaciones cuyo objeto es reducir la dependencia del suministro de combustibles fósiles de Rusia, acelerar la transición limpia y avanzar a un sistema energético más resistente en el marco de la Unión de la Energía.

En lo relativo al hidrógeno, se proponen entre otras las siguientes medidas:

- Elevar los objetivos de producción doméstica e importaciones de hidrógeno renovable hasta un volumen de 10 millones de toneladas anuales en 2030 en cada caso.
- Incrementar los objetivos de penetración del hidrógeno renovable establecidos en la Directiva de Renovables para la industria (hasta un 75%) y el transporte (hasta un 5%), aunque se trata de una mera sugerencia a los colegisladores quienes ya han adoptado una posición sobre el texto.
- Aumentar la capacidad de producción de electrolizadores según las líneas descritas en la 'Electrolyser Declaration' suscrita con la industria.
- Disponer en el plazo de un año de un mapa de necesidades de las infraestructuras de hidrógeno para su despliegue inmediato en el marco del mencionado Reglamento TEN-E.

En resumen, el Plan REPowerEU consagra la necesidad de acelerar el despliegue del hidrógeno renovable como una herramienta más para reducir la dependencia energética exterior de la UE y, en particular, de las importaciones de combustibles fósiles de Rusia.

Estados miembros de la Unión Europea ↓

Países Bajos publicó en abril de 2021 su 'Government Strategy on Hydrogen' [42] como paso previo a la formulación de un Programa Nacional sobre Hidrógeno, dentro del marco establecido por el Acuerdo Nacional sobre el Clima, en el que se recogen los objetivos neerlandeses de reducción de emisiones para 2030 y las medidas necesarias para alcanzarlos.

La estrategia identifica una serie de oportunidades para desarrollar «hidrógeno bajo en carbono»: el polo petroquímico de Rotterdam y su infraestructura portuaria conectada con la futura red de transporte y almacenamiento de CO₂ en el Mar del Norte, además del reaprovechamiento de la infraestructura gasista tras el cese de extracción de gas natural en Groningen.

Las políticas a desarrollar se clasifican en cuatro grupos: legislación y regulación; reducción de costes y crecimiento del sector del «hidrógeno verde»; sostenibilidad del consumo final y políticas de apoyo.

En el segundo grupo de políticas, se fija como objetivo el aumento de la capacidad de electrólisis hasta 3 o 4 GW en 2030, facilitando su cumplimiento mediante la concesión de subvenciones de hasta el 45% de los costes de proyectos piloto, el apoyo a los costes operativos, ayudas de hasta 1.064 €/tonelada de CO₂ evitada utilizando tecnologías de electrólisis (dentro del programa de ayudas de estado SDE++), posibles licitaciones integradas de eólica offshore y producción de hidrógeno, o el estudio de la viabilidad del establecimiento gradual de obligaciones de mezcla en la red de gas natural.

En el tercer grupo, se establecen actuaciones dedicadas a cada sector económico, como la identificación de las infraestructuras clave que permitan descarbonizar puertos y clústeres industriales, la firma de acuerdos con los agentes interesados para alcanzar los objetivos fijados en movilidad (15.000 vehículos de pila de combustible en 2025 y 300.000 en 2030) con actuación de autoridades públicas como clientes pioneros, el propósito de fijar una obligación europea de mezcla de combustibles sostenibles en la aviación, el desarrollo de proyectos piloto de uso de hidrógeno para calefacción o la aplicación del hidrógeno como combustible de maquinaria agrícola.

Alemania ha aprobado su 'National Hydrogen Strategy' [43] el 10 de junio de 2020, centrada en el hidrógeno renovable, con la posible contribución a corto plazo del hidrógeno azul (es decir, combinando la producción a partir de combustibles fósiles con la captura y almacenamiento de CO₂).

Está estructurada en cuatro capítulos: objetivos y ambiciones; situación del sector, áreas de acción y mercados del futuro; gobernanza; plan de acción. Este último capítulo incluye 38 medidas específicas en las siguientes áreas: producción de hidrógeno, transporte, industria, calor, infraestructuras de suministro, investigación, educación e innovación, acciones a nivel de la UE, mercado internacional y asociaciones económicas externas.

Los objetivos para 2030 consisten en instalar 5 GW de electrólisis en territorio alemán, para producir 14 TWh anuales de hidrógeno renovable que contribuyan a suministrar una demanda total de hidrógeno de 90-110 TWh/año. Las inversiones públicas mínimas aprobadas en 2020 son de 10.000 M€ en el periodo 2020-2023, incluyendo 2.000 M€ para alianzas internacionales con terceros países, que el Gobierno alemán considera imprescindibles para cubrir el déficit entre la demanda y la producción nacional. En 2022 se ha anunciado la próxima revisión de los objetivos para 2030, incluyendo la posibilidad de doblar la capacidad instalada de electrólisis.

Portugal ha aprobado su 'Plano Nacional do Hidrogénio' [44] en agosto de 2020. Sólo contempla la producción de hidrógeno renovable, con un gran centro de producción en el puerto de Sines, destinando parte de la producción para su inyección en la red gasista y otra parte a las exportaciones hacia el Norte de Europa (ha

suscrito un *memorandum of understanding* intergubernamental con Países Bajos [45]).

Sus objetivos para 2030 son:

- Entre 2 y 2,5 GW de capacidad instalada de electrólisis.
- El hidrógeno renovable supondría el 5% del consumo final de energía, con los siguientes objetivos sectoriales:
 - 10-15% de mezcla en la red de gas natural (*blending*).
 - 5% del consumo del transporte por carretera.
 - 5% del consumo de la industria.
 - 50-100 hidrogeneras.
- 7.000-9.000 M€ de inversiones

Francia presentó en septiembre de 2020 su 'Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France' [46]. Su objetivo es la producción de hidrógeno producido por electrólisis a partir de electricidad baja o nula en carbono, en particular procedente de renovables y nuclear, situando los electrolizadores lo más cerca posible del lugar de consumo.

Sus objetivos a 2030 son:

- 6,5 GW de capacidad de electrólisis, con la meta de construir una «gigafactoría» de electrolizadores.
- Inversiones públicas de 7.000 M€ en 2020-2030, incluyendo 2.000 M€ en el plan 'France Relance' para el periodo 2020-2023.

Italia publicó en noviembre de 2020 su borrador de 'Strategia Nazionale Idrogeno' [47], sin haber publicado por el momento un documento definitivo. Los principales objetivos son la instalación de electrolizadores y la penetración del hidrógeno en el mix energético, en particular en el transporte y mediante la inyección en la red gasista. Por tanto, no se trata de una estrategia exclusivamente de hidrógeno renovable pero sí muy enfocada al hidrógeno procedente de electrólisis.

Su principal objetivo para el año 2030 es de penetración del hidrógeno en el sistema energético hasta un 2% de la energía final, proponiendo hasta un 20% en 2050. Para conseguirlo, sería necesaria la instalación de 5 GW de capacidad de electrólisis.

Hungría ha sido el primer país de Europa del Este en presentar un documento estratégico, la 'Hungary's National Hydrogen Strategy' [48], que combina el «hidrógeno cero emisiones» a partir de electrólisis (electricidad renovable o de origen nuclear) con el «hidrógeno azul» mediante captura de CO₂. En concreto, fija como objetivos en 2030 una producción anual de 16.000 toneladas de «hidrógeno verde o

cero emisiones» y 20.000 toneladas de «hidrógeno bajo en carbono», con una capacidad de electrólisis instalada de 240 MW. Asimismo, se identifican dos regiones con potencial para desarrollar 'valles de hidrógeno'.

República Checa publicó en julio de 2021 la 'Czech Republic's Hydrogen Strategy' [48], posiblemente el documento estratégico más extenso publicado hasta la fecha en la Unión Europea. En ella pretende resolver las discusiones terminológicas, adoptando la definición de «hidrógeno bajo en carbono» de la iniciativa CertifHy (36.4 g CO₂/MJ, que supone una reducción mínima del 60% respecto al proceso de reformado de metano sin captura de CO₂). El objetivo de la estrategia es fomentar la electrólisis utilizando la electricidad de la red, fijando para 2030 un objetivo de producción de «hidrógeno bajo en carbono» de 97.000 toneladas anuales.

Polonia es el tercer productor de hidrógeno de la UE, tras Países Bajos y Alemania y, por tanto, con infraestructura y presencia en la cadena de valor industrial. En noviembre de 2021 aprobó la 'Polish hydrogen strategy until 2030 with an outlook until 2040' [50]. Su esquema es similar al de la estrategia de Hungría: combinación de hidrógeno producido por electrólisis (electricidad renovable generada mediante el recurso eólico marino o baja en carbono tomada directamente de la red) e hidrógeno basado en carbono, aunque aprovechando su fortaleza en sub-sectores tales como la fabricación de autobuses propulsados con pilas de combustible.

Las principales metas a 2030 son:

- Capacidad de producción de 2 GW, combinando hidrógeno por electrólisis e hidrógeno azul.
- Entre 800 y 1.000 autobuses de pila de combustible de fabricación nacional.
- 5 'valles de hidrógeno'.

Reino Unido ↓

El hidrógeno bajo en carbono es una de las diez líneas del 'Plan for a Green Industrial Revolution' [51] presentado en noviembre de 2020.

Posteriormente, en agosto de 2021 ha publicado la 'UK Hydrogen Strategy' [52] que contempla combinar hidrógeno producido por electrólisis, a partir de generación eléctrica procedente de eólica marina, con «hidrógeno azul» producido mediante reformado de metano y captura de CO₂. La capacidad de producción con ambas tecnologías alcanzaría los 5 GW en el año 2030, con apoyos a la inversión como el 'Net Zero Hydrogen Fund', dotado con 240 millones de libras. Como se puede observar en la Figura 6, a finales de la década también se contemplan 4 clústers de captura y almacenamiento de CO₂ (CCS) y una ciudad suministrada con hidrógeno como 'proyecto piloto'.

ORGANIZACIONES INTERNACIONALES ↓

El papel de las organizaciones internacionales en el despegue del sector del hidrógeno es crucial: contribuyen a la definición de su papel en las transiciones energéticas y pueden contribuir a una estandarización técnica y regulatoria decisiva.

En efecto, la Agencia Internacional de la Energía (IEA) y la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA) han publicado trabajos determinantes por servir de compendio del estado del arte en distintas tecnologías de la cadena de valor del hidrógeno y de las barreras existentes a su desarrollo, proporcionando un gran volumen de información a las administraciones públicas. Además, sus análisis prospectivos, tanto sobre el sistema energético en su conjunto como sobre el hidrógeno en particular, han impulsado a los responsables políticos a priorizar este vector energético.

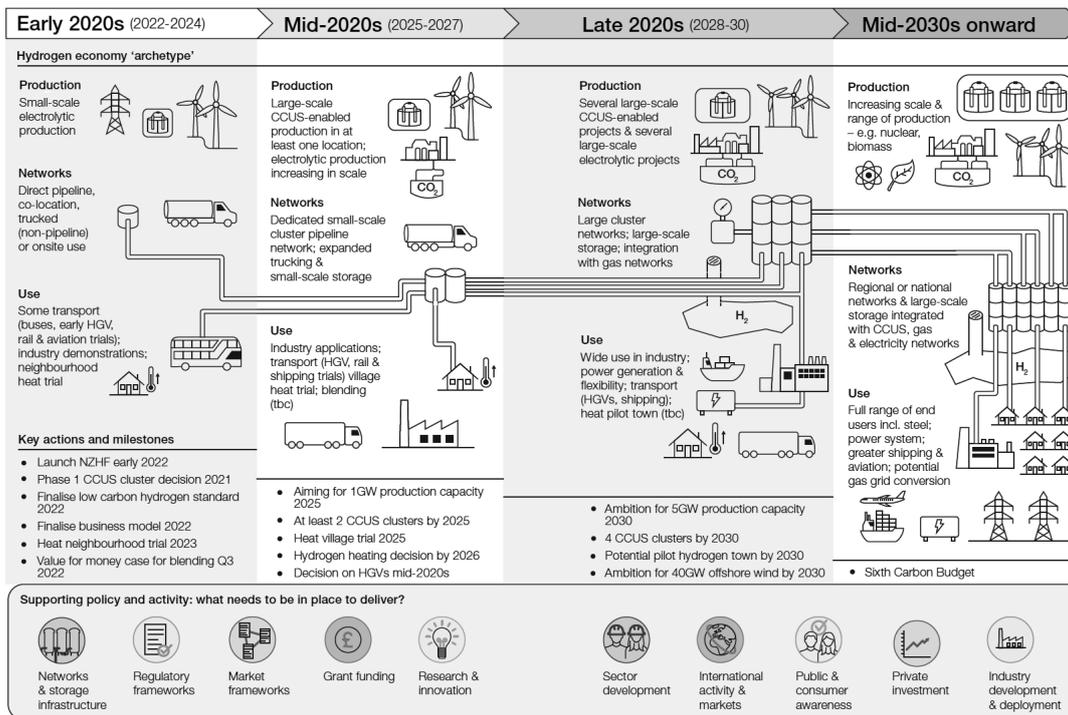
La Agencia Internacional de la Energía (IEA) publicó en 2019 el informe 'El futuro del hidrógeno' [5], por encargo de Japón bajo su presidencia del G20. El documento está estructurado a lo largo de la cadena de valor del hidrógeno (producción, logística, usos finales actuales, usos potenciales) con un último apartado dedicado a las políticas de estímulo. Se ha constituido como el documento de referencia durante los dos últimos años en la elaboración de políticas públicas en materia de hidrógeno.

La IEA ha dado continuidad a este impulso con trabajos de alcance regional, como el informe mencionado anteriormente sobre Latinoamérica [26] y, muy especialmente, la publicación de la primera edición de la 'Global Hydrogen Review' en 2021 [53]. Este nuevo informe, que inicia una serie de periodicidad anual, tiene la vocación de realizar un seguimiento estrecho del crecimiento del sector en aspectos tales como los proyectos de producción, demanda por sectores, infraestructuras o regulación.

La Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA) ha abordado la producción de hidrógeno renovable en su informe 'Green hydrogen: A guide to policy making' de noviembre de 2020 [54]. Además de una breve definición del concepto de «hidrógeno verde» y lo que este comprende (barreras, políticas de apoyo), se definen cuatro pilares: estrategias nacionales, definición de prioridades, esquemas de garantías de origen y sistemas de gobernanza y políticas facilitadoras. Por último, se definen una serie de políticas de apoyo sectoriales.

Este informe fue el primero en valorar la importancia de la aprobación de estrategias nacionales, incluyó una primera valoración de las publicadas hasta la fecha y clasificó los documentos que conducen hacia una estrategia en cuatro tipologías: programas de I+D, documentos de visión, hojas de ruta y estrategias. Se concluye que los documentos analizados en este artículo encajan en su totalidad en la definición de 'estrategia nacional': definen objetivos clave, aseguran la coherencia con el resto de las políticas energéticas, introducen medidas y un calendario.

FIGURA 6
EVOLUCIÓN DE LA ECONOMÍA DEL HIDRÓGENO 2020-2030 EN REINO UNIDO



Fuente: 'UK Hydrogen Strategy'. Gobierno de Reino Unido, 2021. [51]

Simultáneamente a este informe, IRENA publicó el informe 'Green hydrogen cost reduction' [54], de carácter más técnico, diseñado como un estudio prospectivo sobre el potencial y calendario de madurez tecnológica del «hidrógeno verde», con énfasis en la disminución de los costes de los procesos de electrólisis.

Coincidiendo con su Asamblea Anual de 2022, IRENA lanzó su nuevo estudio 'Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor' [1]. El enfoque y el título son particularmente oportunos en un contexto de elevados precios de la energía, en particular del gas natural, causados en buena parte por las tensiones geopolíticas en el Este de Europa. La conclusión del estudio es clara: el hidrógeno puede ser un agente decisivo que cambie las reglas del juego de la geopolítica de la energía, en el marco de los cambios inevitables que conllevará la transición energética. Finalmente, en julio de 2022 IRENA ha dado a conocer una nueva publicación sobre hidrógeno titulada 'Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal' [56], que propone una hoja de ruta a corto plazo para facilitar el comercio mundial, proponiendo medidas en relación a la certificación, la financiación o la infraestructura.

Por su parte, el Consejo Mundial de la Energía publicó en septiembre de 2021 tres documentos de trabajo en materia de hidrógeno: 'Hydrogen Demand And Cost Dynamics' [57], 'Inputs From Senior Leaders on Hydrogen Developments' [58] y 'Hydrogen on the Horizon: National Hydrogen Strategies' [2]. Se trata de tres do-

cumentos de carácter muy ejecutivo que se centran en aspectos muy concretos. El tercero de ellos contiene un análisis conciso de las estrategias nacionales en materia de hidrógeno en tres fases: aprobadas, en preparación y en discusión.

CONCLUSIONES ↓

El análisis de las principales estrategias nacionales aprobadas hasta la fecha permite entender con claridad cuál es el posicionamiento económico y geoestratégico de cada gobierno, anticipando los debates principales que deben resolverse en el corto plazo y esbozando el mapa de las futuras relaciones tecnológicas y comerciales.

Esta instantánea está condenada a evolucionar con rapidez, no sólo por la aparición de nuevas estrategias nacionales o la materialización de las medidas contenidas en las mismas, sino también por la necesidad de actualizar y revisar las estrategias de forma puntual o periódica. La modificación de las trayectorias del sector energético hacia la neutralidad climática o los desarrollos del propio sector del hidrógeno, que avanza a un ritmo más rápido del esperado hace apenas dos años, implicarán actualizar numerosos aspectos de las estrategias, muy especialmente las medidas de política energética y regulación.

En todo caso, no queda duda de que el hidrógeno se ha asentado de forma definitiva en los planes de

largo plazo de los gobiernos nacionales. El diseño de las políticas estratégicas en materia de hidrógeno se enfrenta a desafíos sin precedentes: la incertidumbre sobre su papel futuro y la evolución de los costes de la tecnología, el gran esfuerzo inversor requerido o la complejidad derivada de su impacto sobre los sectores energéticos tradicionales: electricidad, gas natural, combustibles líquidos. A la luz de lo anterior, resulta imprescindible desarrollar visiones nacionales estables e intersectoriales que definan con claridad qué lugar quiere ocupar cada país en un mapa aún por trazar.

REFERENCIAS ↓

[1] Fuente: 'Geopolitics of the Energy Transformation. The Hydrogen Factor', IRENA (2022). <https://www.irena.org/publications/2022/Jan/Geopolitics-of-the-Energy-Transformation-Hydrogen>

[2] 'Hydrogen on the Horizon: National Hydrogen Strategies'. World Energy Council (2021): https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Working_Paper_-_National_Hydrogen_Strategies_-_September_2021.pdf

[3] 'Basic Hydrogen Strategy'. Ministry of Economy, Trade and Industry. Government of Japan (2017): https://www.meti.go.jp/english/press/2017/pdf/1226_003a.pdf

[4] 'The Strategic Road Map for Hydrogen and Fuel Cells'. Hydrogen and Fuel Cell Strategy Council. Ministry of Economy, Trade and Industry. Government of Japan (2019): https://www.meti.go.jp/english/press/2019/pdf/0312_002b.pdf

[5] 'The future of hydrogen'. IEA (2019): <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

[6] 'Hydrogen Economy. Roadmap of Korea'. Ministry of Trade, Energy and Industry (2019): https://docs.wixstatic.com/ug-d/45185a_fc2f37727595437590891a3c7ca0d025.pdf

[7] 'Australia's Hydrogen Strategy'. COAG Energy Council. Government of Australia (2019): <https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2019-11/australias-national-hydrogen-strategy.pdf>

[8] 'Hydrogen Strategy for Canada'. Ministry of Natural Resources (2020): https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/environment/hydrogen/NRCan_Hydrogen-Strategy-Canada-na-en-v3.pdf

[9] 'Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde'. Ministerio de Energía, Gobierno de Chile (2020): https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf

[10] 'Norwegian Government's hydrogen strategy'. Gobierno de Noruega (2020): <https://www.regjeringen.no/contentassets/8ffd54808d7e42e8bce81340b13b6b7d/hydrogenstrategien-engelsk.pdf>

[11] 'Saudi Arabia's Hydrogen Industrial Strategy'. Center for Strategic & International Studies (2022): <https://www.csis.org/analysis/saudi-arabias-hydrogen-industrial-strategy>

[12] Web de SP Global-Platts: 'Saudi Arabia's Neom plans first tenders for renewables power grid this year' (22 de enero de 2022): <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/electric-power/013022-saudi-arabias-neom-plans-first-tenders-for-renewables-power-grid-this-year>

[13] Web de la Abu Dhabi National Oil Company (ADNOC): <https://www.adnoc.ae/en/our-business/hydrogen>

[14] Web de Mubadala Investment Company: <https://www.mubadala.com/en/news/mubadala-adnoc-and-adq-form-alliance-accelerate-abu-dhabi-hydrogen-leadership>

[15] Web de Dewa: <https://www.dewa.gov.ae/en/about-us/media-publications/latest-news/2021/10/dewa-invites-reputed-consulting#:~:text=The%20production%20of%20green%20hydrogen%20is%20part%20of%20DEWA's%20efforts,clean%20energy%20sources%20by%202050>

[16] 'Hydrogen Strategy. Enabling a low-carbon economy'. US Department of Energy (2020): https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/07/f76/USDOE_FE_Hydrogen_Strategy_July2020.pdf

[17] Web del US Department of Energy. Nota de prensa sobre iniciativas de 9.500 M€ en hidrógeno limpio (15 de febrero de 2022)

<https://www.energy.gov/articles/doe-establishes-bipartisan-infrastructure-laws-95-billion-clean-hydrogen-initiatives>

[18] Web de la California Energy Commission. Programas sobre hidrógeno en movilidad (2021): <https://www.energy.ca.gov/programs-and-topics/programs/clean-transportation-program/clean-transportation-funding-areas-1>

[19] Web del US Department of Energy. Inversiones en hidrógeno limpio en Wyoming (2021): <https://netl.doe.gov/node/11440>

[20] Web de la Comisión Nacional de Desarrollo y Reformas de China (NDRC). Nota de prensa de la presentación del 'Plan on the development of hydrogen energy for the 2021-2035 period' (2022):

https://en.ndrc.gov.cn/news/pressreleases/202203/t20220329_1321487.html

[21] 'Roadmap for Hydrogen Development until 2024'. Gobierno de la Federación de Rusia (2020): <http://static.government.ru/media/files/7b9bstNfV640nCkAzCRJ9N8k7uhW8mY.pdf>

[22] 'Concept for the Development of Hydrogen Energy in Russia'. Gobierno de la Federación de Rusia (2021): <http://static.government.ru/media/files/5JFns1CDAKqYkzZ0mnRADAw2NqC-Vsexl.pdf>

[23] 'Russia's Hydrogen Industrial Strategy'. Center for Strategic & International Studies (2021): <https://www.csis.org/analysis/russias-hydrogen-energy-strategy>

[24] Web de IRENA: 'India signals intention to broaden renewable technology base including to green hydrogen' (2022): <https://www.irena.org/newsroom/pressreleases/2022/Jan/India-and-IRENA-Strengthen-Ties-as-Country-Plans-Major-Renewables-and-Hydrogen-Push>

[25] Web del Ministerio de Electricidad de India. Nota de prensa sobre la notificación de la 'Green Hydrogen/ Green Ammonia Policy': <https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1799067>

[26] 'Hydrogen in Latin America'. IEA (2021): <https://www.iea.org/reports/hydrogen-in-latin-america>

[27] 'Hoja de Ruta del Hidrógeno'. Gobierno de Colombia (2021): https://www.minenergia.gov.co/documentos/10192/24309272/Hoja+Ruta+Hidrogeno+Colombia_2810.pdf

[28] 'Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde'. Gobierno de Panamá (2022): <https://www.energia.gob.pa/mdocs-posts/lanzamiento-de-la-hoja-de-ruta-de-hidrogeno-verde/>

[29] 'Hacia una Estrategia Nacional Hidrógeno 2030.' Consejo Económico y Social de la República de Argentina (2021): https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/segundo_documento_ces_hidrogeno.pdf

[30] 'Baseline to support the Brazilian Hydrogen Strategy'. Gobierno de Brasil, Ministerio de Minas y Energía (2021): <https://>

www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/NT_Hidrogeno%CC%82nio_EN_revMAE%20(1).pdf

[31] Web del Gobierno de Marruecos: 'Morocco, Germany Sign Green Hydrogen Cooperation Agreement' (10 de junio de 2020): <https://www.maroc.ma/en/news/morocco-germany-sign-green-hydrogen-cooperation-agreement>

[32] Web del Gobierno de Marruecos: 'Morocco, Portugal Strengthen Cooperation on Green Hydrogen' (2 de febrero de 2021): <https://www.maroc.ma/en/news/morocco-portugal-strengthen-cooperation-green-hydrogen>

[33] 'Feuille de route de hydrogène vert'. Reino de Marruecos (2021): https://www.mem.gov.ma/Lists/Lst_rapports/Attachments/36/Feuille%20de%20route%20de%20hydrog%C3%A8ne%20vert.pdf

[34] Web de Eni: 'Eni and SONATRACH sign a series of agreements in the upstream, research and development and decarbonisation sectors' (25 de marzo de 2021): <https://www.eni.com/en-IT/media/press-release/2021/03/claudio-descalzi-meets-pdg-sonatrach-hakkar.html>

[35] Web de Ahram Online: 'Egypt's president urges establishing integrated strategy for producing green hydrogen' (10 de julio de 2021): <https://english.ahram.org.eg/NewsContent/3/12/416914/Business/Economy/Egypt%E2%80%99s-president-urges-establishing-integrated-st.aspx>

[36] 'Egypt's Low Carbon Hydrogen Development Prospects'. The Oxford Institute of Energy Studies (2021): <https://a9w7k6q9.stackpathcdn.com/wpcms/wp-content/uploads/2021/11/Egypt's-Low-Carbon-Hydrogen-Development-Prospects-ET04.pdf>

[37] Web del Gobierno de la República de Sudáfrica: 'Cabinet approves extension of Hydrogen Society Roadmap' (21 de septiembre de 2021): <https://www.sanews.gov.za/south-africa/cabinet-approves-extension-hydrogen-society-roadmap>

[38] 'South Africa Hydrogen Valley'. Gobierno de la República de Sudáfrica (2021): https://www.dst.gov.za/images/2021/Hydrogen_Valley_Feasibility_Study_Report_Final_Version.pdf

[39] 'A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe'. European Commission (2020): https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf

[40] Web de la Clean Hydrogen Alliance: <https://www.ech2a.eu/>

[41] 'REPowerEU Plan'. European Commission (2022): https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en

[42] 'Government Strategy on Hydrogen'. Ministry of Economic Affairs and Climate Policy, Government of the Netherlands (2020): <https://www.government.nl/ministries/ministry-of-economic-affairs-and-climate-policy/documents/publications/2020/04/06/government-strategy-on-hydrogen>

[43] 'The National Hydrogen Strategy'. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, Federal Government of Germany (2020): <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogen-strategy.html>

[44] 'Estratégia Nacional para o Hidrogénio'. Gobierno de Portugal (2020): <https://dre.pt/home/-/dre/140346286/details/maximized>

[45] Web del Gobierno de Países Bajos: 'Portugal and the Netherlands strengthen bilateral cooperation on green hydrogen' (23 de septiembre de 2020): <https://www.government.nl/latest/news/2020/09/23/portugal-and-the-netherlands-strengthen-bilateral-cooperation-on-green-hydrogen>

[46] 'Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France'. Gobierno de Francia (2020): <https://www.economie.gouv.fr/presentation-strategie-nationale-developpement-hydrogene-decarbone-france>

[47] 'Strategia Nazionale Idrogeno'. Gobierno de Italia (2020): https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/Strategia_Nazionale_Idrogeno_Linee_guida_preliminari_nov20.pdf

[48] 'Hungary's National Hydrogen Strategy'. Gobierno de Hungría (2021): <https://cdn.kormany.hu/uploads/document/a/a2/a2b/a2b2b7ed5179b17694659b8f050ba9648e75a0bf.pdf>

[49] 'The Czech Republic's Hydrogen Strategy'. Ministry of Industry and Trade, Government of Czech Republic (2021): https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/strategicke-projekty/2021/9/Hydrogen-Strategy_CZ_2021-09-09.pdf

[50] 'Polish Hydrogen Strategy until 2030 with an outlook until 2040'. Ministry of Climate and Environment of Poland (2021): <https://www.gov.pl/attachment/06213bb3-64d3-4ca8-afbe-2e50dadfa2dc#:~:text=INTRODUCTION-,Polish%20Hydrogen%20Strategy%20until%202030%20with%20an%20outlook%20until%202040,actions%20needed%20to%20achieve%20them>

[51] Web de la Oficina del Primer Ministro de Reino Unido: 'Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution' (18 de noviembre de 2020): https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/strategicke-projekty/2021/9/Hydrogen-Strategy_CZ_2021-09-09.pdf

[52] 'UK Hydrogen Strategy'. Gobierno de Reino Unido (2021): https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1011283/UK-Hydrogen-Strategy_web.pdf

[53] 'Global Hydrogen Review'. IEA (2021): <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>

[54] 'Green hydrogen: A guide to policy making'. IRENA (2020): <https://www.irena.org/publications/2020/Nov/Green-hydrogen>

[55] 'Green hydrogen cost reduction'. IRENA (2020): <https://www.irena.org/publications/2020/Dec/Green-hydrogen-cost-reduction>

[56] 'Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal'. IRENA (2022):

<https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Global-Hydrogen-Trade-Outlook>

[57] 'Hydrogen on the Horizon: Hydrogen Demand and Cost Dynamics'. World Energy Council (2021): <https://www.worldenergy.org/publications/entry/working-paper-hydrogen-demand-and-cost-dynamics>

[58] 'Hydrogen on the Horizon: Inputs from Senior Leaders on Hydrogen Developments'. World Energy Council (2021): <https://www.worldenergy.org/publications/entry/working-paper-inputs-from-senior-leaders-on-hydrogen-developments>