



HIDRÓGENO EN EL HORIZONTE: ¿PREPARADOS, LISTOS, YA?

ESTRATEGIAS NACIONALES

ACERCA DEL

CONSEJO MUNDIAL DE LA ENERGÍA

El Consejo Mundial de la Energía ha estado en el centro de los debates energéticos mundiales, regionales y nacionales durante casi un siglo, desarrollando nuevas ideas e impulsando acciones eficaces en todo el mundo para lograr los beneficios de la energía sostenible para todos.

Compuesto por más de 3.000 organizaciones de casi 90 países, procedentes de gobiernos, empresas privadas y estatales, del mundo académico y de los nuevos y más diversos actores del sistema, el Consejo es la primera y única red energética verdaderamente global basada en miembros. El Consejo trabaja de forma dinámica en todo el sector energético como una plataforma global de transiciones energéticas, y asume un liderazgo inteligente para dirigir el diálogo mundial sobre política energética, crear impacto e impulsar acciones prácticas.

El Consejo Mundial de la Energía no aboga por ningún país, empresa, tecnología o fuente de energía concretos, sino que se compromete a ser imparcial y tener impacto a la vez.

Para saber más, visite www.worldenergy.org

Publicado por el Consejo Mundial de la Energía en septiembre de 2021

Copyright © 2021 Consejo Mundial de la Energía. Todos los derechos reservados. La reproducción parcial o total de esta publicación debe incluir la siguiente indicación: "Utilizado con la autorización del Consejo Mundial de la Energía".

Consejo Mundial de la Energía
Registrado en Inglaterra y Wales No. 4184478 VAT Reg. No. GB 123 3802 48

Oficina registrada
62-64 Cornhill London EC3V 3NH United Kingdom

DOCUMENTO DE TRABAJO

Este documento de trabajo sobre el hidrógeno forma parte de una serie de publicaciones del Consejo Mundial de la Energía alrededor de la innovación. Se ha elaborado en colaboración con el Electric Power Research Institute (EPRI) y con PwC.

EPRI y el Gas Technology Institute (GTI) han creado la [Low-Carbon Resources Initiative \(LCRI\)](#) para abordar los retos asociados con la consecución de las profundas reducciones en emisiones de carbono en toda la economía energética. La LCRI comprende la cadena de valor de los vectores energéticos alternativos y combustibles bajos en carbono -como el hidrógeno, el amoníaco, los biocombustibles (incluido el gas natural renovable) y los combustibles sintéticos-; así como en la investigación, desarrollo y demostración para permitir su producción, almacenamiento, suministro y uso en toda la economía energética. Estos vectores energéticos/ combustibles son necesarios para facilitar la descarbonización de la economía a mediados de siglo. Esta iniciativa de cinco años de duración identificará y acelerará el desarrollo fundamental de tecnologías prometedoras; demostrará y evaluará el rendimiento de tecnologías y procesos clave, identificando vías para posibles mejoras; e informará a las partes interesadas clave y al público sobre las opciones tecnológicas y las posibles vías hacia un futuro bajo en carbono.

PwC es una red de empresas con presencia en 155 países y más de 284.000 profesionales comprometidos con la prestación de servicios de asesoría y fiscalización de calidad, incluidos más de 20.000 profesionales dedicados a los sectores de energía, recursos naturales y servicios públicos. Con su estrategia global, "The New Equation", PwC responde a los retos que conforman el mundo actual, centrándose en la generación de confianza y la obtención de resultados sostenibles que creen valor para las organizaciones, sus grupos de interés y la sociedad en general. El cambio climático es uno de los problemas más preocupantes del mundo, y PwC se ha comprometido a alcanzar la neutralidad en sus emisiones de gases de efecto invernadero para 2030, y está colaborando con las organizaciones mundiales para acelerar su transformación climática. PwC y el Consejo Mundial de la Energía tienen el objetivo común de promover la transición energética y la sostenibilidad mediante el compromiso con los responsables políticos y los principales actores de la industria. Nuestro punto de vista compartido es que la transición energética y la sostenibilidad se logren mediante la interacción de marcos políticos sólidos y una industria energética fuerte y competitiva. [Más información sobre PwC.](#)

En una era de cambios rápidos y disruptivos, este documento de trabajo tiene como objetivo facilitar el intercambio estratégico de conocimientos entre los miembros del Consejo, grupos de interés del sector energético, y reguladores, para contribuir a un diálogo mundial sobre el papel del hidrógeno en la transición energética.

Este documento se basa en un trabajo previo del Consejo, y ha exigido una amplia investigación sobre los desarrollos de las estrategias nacionales, así como entrevistas con 38 expertos de 23 países, que representan el 61 % de la energía primaria (datos de 2018, OCDE) y el 70 % del PIB mundial (datos de 2019, BM).

INTRODUCCIÓN

El Consejo Mundial de la Energía, en colaboración con el EPRI y PwC, tiene como objetivo proporcionar a la comunidad energética una mejor comprensión sobre el desarrollo del hidrógeno en todo el mundo, aprovechando los conocimientos y la experiencia de su red mundial. En este contexto, en julio de 2021 publicamos un nuevo informe sobre el hidrógeno, con el que pretendíamos iniciar un diálogo abierto, a diferentes niveles y entre múltiples agentes interesados sobre el papel del hidrógeno en la transición energética:

Nuestro trabajo ha identificado los siguientes 4 temas principales en los que profundizar:

- 1 Están surgiendo divergencias significativas entre países y regiones**, ya que las estrategias nacionales sobre el hidrógeno revelan visiones diferentes en relación con su papel en las transiciones energéticas. Esto indica la necesidad de aceptar la diversidad -eliminando la mentalidad única para todos- y de permitir que se exploren diferentes tecnologías y casos de uso.
- 2 La confusión sobre los "colores" del hidrógeno está ahogando la innovación**, con la simplificación excesiva y los prejuicios cromáticos arriesgando la exclusión prematura de algunas rutas tecnológicas que podrían ser más rentables y eficaces para la mitigación de emisiones de carbono. Es necesario un diálogo más profundo que vaya más allá del color para explorar también el impacto en reducciones de emisiones de carbono.
- 3 Las estrategias del hidrógeno centradas en la demanda son necesarias para avanzar en la agenda de Humanización de la Energía.** El debate actual sobre el hidrógeno se centra en gran medida en la oferta, ignorando el papel de los usuarios y consumidores de hidrógeno. Los debates deben explorar lo que se necesita para desencadenar y fomentar la demanda, con un enfoque específico en el desarrollo de la infraestructura y la cadena de suministro global de hidrógeno.
- 4 La economía del hidrógeno podría estimular la creación de empleo y el crecimiento económico**, contribuyendo potencialmente a cumplir los objetivos de recuperación económica después del COVID-19. Varias estrategias nacionales sobre el hidrógeno destacan que el empleo es un motor importante del desarrollo del hidrógeno, con oportunidades para volver a capacitar tanto a la mano de obra existente como a la nueva.

Para contribuir al debate sobre estos cuatro temas, estamos publicando una serie de 3 documentos de trabajo, que proporcionan información adicional sobre:

- Estrategias nacionales del hidrógeno
- Reflexiones de líderes en el sector energético
- Dinámicas de demanda y costes del hidrógeno

Este primer documento de trabajo se centra en el análisis de las estrategias nacionales de hidrógeno que se publican cada vez más seguido en todo el mundo para apoyar su desarrollo. Se basa en el informe realizado por el Comité Alemán del Consejo Mundial de la Energía, publicado en septiembre 2020, que evaluaba las estrategias nacionales de hidrógeno y la evolución de esta energía en los distintos países y las regiones.

1. SITUACIÓN GLOBAL DE LAS ESTRATEGIAS NACIONALES SOBRE EL HIDRÓGENO

El desarrollo de una "economía del hidrógeno" se encuentra todavía dando sus primeros pasos. Si bien sólo unos pocos países han publicado ya su estrategia nacional, el interés y el apoyo mundial es cada vez mayor. Hasta la Tabla 1, 12 países y la Unión Europea (UE) han publicado sus estrategias nacionales sobre el hidrógeno, 9 de ellos en el último año. Otros 19 países están redactándolas, y muchos de ellos tienen previsto publicarlas en 2021, lo que demuestra una clara aceleración del interés de los gobiernos, respaldada por la posibilidad de que la COP26 actúe como catalizador.

Algunos países han sido especialmente influyentes con sus estrategias sobre el hidrógeno. El compromiso temprano de Japón aceleró el interés en la región de Asia-Pacífico, con Corea del Sur y Australia publicando sus propias estrategias poco después. Alemania fue uno de los primeros países en Europa y ayudó a impulsar la estrategia de hidrógeno de la UE durante su presidencia. En América Latina, Chile ha actuado con rapidez y muchos países vecinos también están desarrollando sus estrategias.

Tabla 1. Resumen de las actividades de los países para desarrollar una estrategia de hidrógeno²

	Debates políticos, declaraciones oficiales, proyectos de demostración iniciales			Estrategia en preparación	Estrategias disponibles
Africa	Cabo Verde Burkina Faso	Mali Nigeria	Sudáfrica Túnez	Egipto Marruecos	
Asia	Bangladesh	Hong Kong, China	India	China Nueva Zelanda* Singapur Uzbekistán	Australia (2019) Japón (2017) Corea del Sur (2019)
Europa	Bulgaria Croacia República Checa Dinamarca Estonia Finlandia* Georgia	Grecia Islandia Latvia Letonia Luxemburgo Malta	Romania Serbia Eslovenia Suiza Turquía Ucrania	Austria Bélgica Italia Polonia Federación Rusa* Suecia Eslovaquia Reino Unido	Unión Europea (2020) Francia (2020) Alemania (2020) Holanda (2020) Noruega (2020) Portugal (2020) España (2020) Hungria (2021)
América Latina & Caribe	Argentina Bolivia Costa Rica	Panamá Paraguay	Perú Trinidad y Tobago	Brasil Colombia Uruguay	Chile (2020)
Oriente Medio - Países del Golfo	Israel	Emiratos Árabes Unidos		Omán Arabia Saudita	
América del Norte	México	Estados Unidos			Canadá (2020)

* - Hoja de ruta disponible

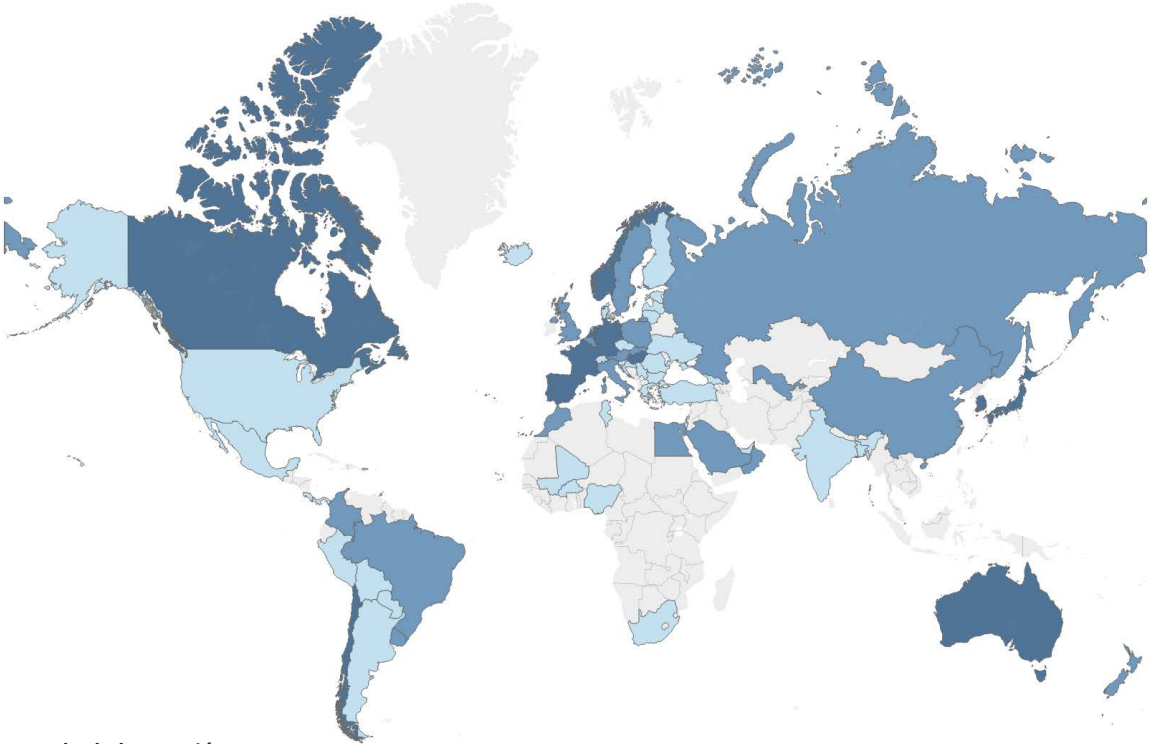
Fuente: Consejo Mundial de la Energía

El contexto de cada país es fundamental para determinar cómo podrán utilizar el hidrógeno en su transición energética, con un desarrollo potencial del hidrógeno que sigue una pluralidad de caminos y prioridades sectoriales diferentes (véase la sección 3), aprovechando diferentes fuentes de suministro y utilizando diversas herramientas de política energética para fomentar la adopción (véase la sección 4).

¹ Estrategias nacionales de hidrógeno publicadas hasta el 7/6/2021.

² Metodología: Este informe considera una estrategia nacional de hidrógeno un documento oficial dedicado al desarrollo del hidrógeno en el país, con respaldo del Estado. La publicación de libros blancos u hojas de ruta no se consideran una estrategia nacional si ésta se encuentra en fase de preparación

Figura 1. Mapa general de las actividades de los países para desarrollar una estrategia de hidrógeno



Estado de la cuestión

- Estrategia nacional publicada
- Estrategia nacional en preparación
- Debates políticos/proyectos de demostración iniciales

Fuente: Consejo Mundial de la Energía

2. RESUMEN DE LAS ESTRATEGIAS NACIONALES SOBRE EL HIDRÓGENO³

La **tabla 2** resume los diferentes objetivos y prioridades sectoriales de las estrategias nacionales de hidrógeno publicadas.

CATEGORÍA	Asia			EUROPA								LAC	NORTE AMERICA
	Australia	Japón	Corea del Sur	EU	Francia	Alemania	Hungría	Holanda	Noruega	Portugal	España	Chile	Canadá
Estrategia que estipula una hoja de ruta con objetivos de introducción de hidrógeno	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●
Estrategia con objetivos de costes de hidrógeno	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●
Estrategia que incluye medidas específicas de impulso para el desarrollo del hidrógeno													
Inversiones directas	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●
Otros mecanismos económicos y financieros	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Propuestas regulatorias y legislativas	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Estrategia y prioridades de estandarización	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Iniciativas de Investigación & Desarrollo	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Estrategia internacional	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Estrategia que aborda el impacto en aspectos sociales derivado del desarrollo del hidrógeno	●	●	●	○	●	●	○	●	●	●	●	●	●
Estrategia que incluye horizonte de revisión y actualización	●	○	○	○	○	●	○	○	●	●	●	●	○
Estrategia con objetivo relativo al origen de hidrógeno en 2030	Limpio	Fósil con captura CO2	Gas natural	Bajo en carbono	Bajo en carbono	Libre de carbono	Bajo en carbono	Azul & Verde	Limpio	Verde	Renovable	Verde	Bajo en carbono y
Estrategia con objetivo relativo al origen de hidrógeno en 2050	Limpio	Libre de CO2	Libre de CO2	Limpio / Renovable	Bajo en carbono	Renovable	Bajo en carbono & libre de carbono	Verde	Limpio	Verde	Renovable	Verde	Bajo en carbono
Importador / Autoprodutor / Exportador	Exportador; autoprodutor	Importador	Importador; exportador (Tecnología)	Según cada Estado miembro	Exportador	Importador; exportador (Tecnología)	Autoprodutor	De importador a exportador como Hub europeo	Autoprodutor	Self-reliance; Export	Autoprodutor; exportador	Autoprodutor; exportador	Autoprodutor; exportador
OBJETIVOS PRINCIPALES													
Descarbonización	Menor	Inmediato	Menor	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato
Diversificación energética	Menor	Inmediato	Largo Plazo	Menor	Menor	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Menor	Inmediato	Inmediato	Menor	Inmediato
Impulso del crecimiento económico	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Menor	Inmediato	Inmediato	Menor	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato
Integración de las energías renovables	Menor	Menor	Largo Plazo	Inmediato	Menor	Inmediato	Menor	Inmediato	Menor	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato
PRIORIDADES SECTORIALES													
Calor	Inmediato	Inmediato	Menor	Menor	Menor	Menor	Inmediato	Inmediato	Menor	Inmediato	Menor	Inmediato	Inmediato
Industria													
Acero y metales	Largo Plazo	Menor	Menor	Largo Plazo	Inmediato	Inmediato	Largo Plazo	Inmediato	Menor	Inmediato	Menor	No visto	Inmediato
Materia prima para química	Inmediato	Menor	No visto	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato
Refinería	No visto	Menor	No visto	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Menor	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato
Otros (cemento, etc.)	No visto	No visto	No visto	No visto	Inmediato	Menor	Largo Plazo	Menor	No visto	Inmediato	Menor	No visto	Inmediato
Electricidad													
Generación eléctrica	Menor	Inmediato	Inmediato	Menor	No visto	No visto	Menor	Menor	No visto	Menor	Menor	No visto	Menor
Almacenamiento	Menor	Menor	Menor	Menor	No visto	No visto	Largo Plazo	Menor	No visto	Menor	Menor	No visto	Menor
Transporte													
Vehículos ligeros de pasajeros	Menor	Inmediato	Inmediato	Menor	Menor	Menor	Largo Plazo	Inmediato	Menor	Menor	Menor	Largo Plazo	Inmediato
Transporte de mercancías (medio y pesado)	Inmediato	Largo Plazo	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Menor	Inmediato	Menor	Inmediato	Inmediato
Autobuses	Inmediato	Largo Plazo	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Menor	Inmediato	Menor	Inmediato	Inmediato
Trenes	Menor	Menor	Menor	Inmediato	Inmediato	Inmediato	Menor	Inmediato	No visto	Inmediato	Menor	No visto	Largo Plazo
Marítimo	Largo Plazo	Menor	Menor	Largo Plazo	Menor	Largo Plazo	Menor	Menor	Inmediato	Largo Plazo	Menor	Largo Plazo	Largo Plazo
Aviación	Menor	Menor	No visto	Largo Plazo	Inmediato	Largo Plazo	No visto	Menor	Menor	Largo Plazo	Menor	Largo Plazo	Largo Plazo

Fuente: Consejo Mundial de la Energía

Detalle del contenido de la estrategia:

● Detallado ● Mencionado ○ No visto

Sector identificado como prioritario:

Inmediato Prioridad Largo Plazo Prioridad Menor Prioridad No visto

³ Metodología: estrategias nacionales publicadas hasta el 30/5/21.

3. SECTORES PRIORITARIOS

El contexto de país hace que las prioridades sectoriales para el impulso del hidrógeno varíen significativamente de unos a otros, sin que surja todavía un sector prioritario a nivel global. Además de los diferentes contextos nacionales, muchas de las tecnologías de producción y de las aplicaciones propuestas para el hidrógeno aún no han sido probadas comercialmente, si bien existe un mayor consenso en algunas áreas con respecto a otras.

A nivel mundial, los objetivos de descarbonización son el principal motor del creciente interés por el hidrógeno. Los sectores en los que es difícil reducir las emisiones son los principales para la adopción del hidrógeno, y muchos países están estudiando cómo puede contribuir el hidrógeno a la descarbonización de estos sectores; como, por ejemplo, las aplicaciones de transporte pesado y de larga distancia (autobuses, camiones, etc.) hasta los sectores industriales intensivos en carbono que ya requieren y consumen hidrógeno derivado de combustibles fósiles (refinerías, fertilizantes, acero). Otras aplicaciones también están ganando terreno, a pesar de que requieren más innovación y medidas de apoyo para fomentar su adopción. Por ejemplo, algunos países están estudiando el uso del hidrógeno para calefacción, con investigaciones para reutilizar la infraestructura existente (por ejemplo, utilizar las redes de gas natural para canalizar el hidrógeno, reutilización de calderas, etc.). También están emergiendo oportunidades en el sector de la aviación, si bien con un ritmo de adopción más lento debido a las complejas interacciones con los sistemas de las aeronaves y a las implicaciones en materia de seguridad. El Consejo del Hidrógeno (Hydrogen Council) prevé que el hidrógeno con bajas emisiones de carbono pueda ser competitivo en costes en 22 aplicaciones finales para 2030⁴. Se espera que en los próximos años surja una mayor innovación en las tecnologías relacionadas con el hidrógeno, así como en sus alternativas, lo que puede repercutir en la competitividad del hidrógeno en numerosas aplicaciones. Al mismo tiempo, la infraestructura para la producción, el transporte y el almacenamiento de hidrógeno plantea importantes retos para su adopción en los sectores finales. El coste de la infraestructura, que depende de la ubicación de la oferta y la demanda, de las tecnologías utilizadas y del apoyo público y privado en su fase inicial, puede ser un riesgo para la adopción del hidrógeno. Además, los riesgos relacionados con el desarrollo de proyectos de energía renovable a gran escala, desde la disponibilidad de terrenos hasta la aceptación pública, se suman a los retos asociados a una mayor adopción del hidrógeno.

A corto plazo, los países hacen hincapié en diferentes ambiciones para con el uso del hidrógeno.

“No existe una burbuja en torno al hidrógeno en la actualidad, pero la expectativa de mucha gente va varios pasos por delante de la realidad. La adopción será probablemente más lenta que la que estipulan los más entusiastas.” PHILIPP HASLER, EMERALD VENTURES, SUIZA

JAPÓN Y COREA DEL SUR: ECONOMÍAS DE HIDRÓGENO EN DESARROLLO

Japón y Corea del Sur son economías avanzadas con recursos energéticos naturales limitados, por lo que históricamente han sido grandes importadores de energía. En lo que se refiere al hidrógeno, comparten varias prioridades sectoriales, como por ejemplo el sector eléctrico, donde Japón ya tiene objetivos de producción de electricidad a partir del hidrógeno. Los desarrollos hasta la fecha se centran en la generación descentralizada a pequeña escala mediante pilas de combustible para uso doméstico ("Ene-farm") que se están desplegando en Japón para generar energía eléctrica y calentar agua. En Corea del Sur, el gobierno está estudiando la combinación de generación eléctrica centralizada junto con el uso de pilas de combustible para usos descentralizados en hogares y edificios, habiéndose fijado unos objetivos ambiciosos. Ambos países también están estudiando oportunidades en el sector del transporte, con especial atención a los vehículos de pila de combustible (FCVs), con objetivos de penetración para el vehículo ligero en el mercado nacional. Corea del Sur, en particular, aspira a convertirse en líder mundial de los vehículos impulsados por hidrógeno y se centra como uno de los posibles mercados de exportación.

AUSTRALIA: ENFOQUE EN LA EXPORTACIÓN

Por el contrario, Australia es en la actualidad un gran exportador de energía, y su estrategia de hidrógeno se centra más en la producción para exportación, considerando a su vez el uso en el transporte (centrándose en el transporte pesado y de larga distancia), así como en la producción a gran escala de amoníaco limpio.

EUROPA: DECARBONIZACIÓN DE LOS SECTORES INDUSTRIAL Y TRANSPORTE

Europa es un gran consumidor de energía que aspira a través de la mayoría de sus países miembros a incrementar la penetración de energías renovables en su mix, si bien su capacidad renovable es limitada. El objetivo principal de utilización de hidrógeno limpio en Europa es descarbonizar la industria, además del transporte. En Alemania, se hace hincapié en las industrias química, petroquímica y siderúrgica, así como en los vehículos pesados, como los de fuerzas armadas, transporte, autobuses y movilidad. Francia se centra en la sustitución del hidrógeno basado en carbono en los sectores industriales existentes (por ejemplo, el refino, la química o la agroindustria), al tiempo que busca proyectos piloto en los sectores marítimo y de la aviación, y pretende ser un productor clave de electrolizadores.

⁴ (Hydrogen Council, 2021).

En los Países Bajos, el gobierno está estudiando el desarrollo de una infraestructura dedicada de hidrógeno para conectar a los diferentes consumidores. Noruega se muestra cautelosa respecto a unos volúmenes de producción significativos de hidrógeno limpio debido a los notables costes de la infraestructura, pero está explorando posibles soluciones, como producir hidrógeno cerca de los polos de consumo y transportar el CO₂ de vuelta a Noruega para su almacenamiento. Por otro lado, España y Portugal se centran en la producción y el consumo interno de hidrógeno renovable, con objetivos de exportación a más largo plazo. Aunque se está estudiando la producción local de hidrógeno limpio, se esperan importantes importaciones de países en los que el hidrógeno limpio puede producirse a gran escala de forma más económica, sobre todo en Oriente Medio, el norte de África y América Latina.

CHILE Y CANADÁ: PRODUCCIÓN, CONSUMO Y EXPORTACIÓN DE HIDRÓGENO LIMPIO

En América, tanto Chile como Canadá pretenden desarrollar la oferta y la demanda locales, antes de considerar la exportación a medio plazo. Chile cuenta con excelentes condiciones de energía renovable, por lo que su objetivo inmediato es sustituir el amoníaco importado por amoníaco verde producido localmente, y el hidrógeno gris por hidrógeno verde en las refinerías de petróleo, al tiempo que espera que el hidrógeno verde resulte atractivo para el transporte pesado y de larga distancia. Por otro lado, Canadá, uno de los principales exportadores de hidrocarburos, ve oportunidades a corto plazo en el transporte, donde ya existen aplicaciones de uso final maduras y la preparación tecnológica es alta, con la previsión de que las pilas de combustible se implanten en el transporte por carretera, el ferrocarril y la navegación. Canadá también prevé descarbonizar la calefacción mediante la mezcla de gas natural con hidrógeno.

4. HERRAMIENTAS DE POLÍTICA ENERGÉTICA

Con el rol del hidrógeno en el sector energético aún por definir, los gobiernos se centran actualmente en comprender en dónde este vector puede ser útil en la transición energética. Esto significa explorar todas las oportunidades en la cadena de valor, reconociendo al mismo tiempo la necesidad de abordar el problema del "huevo y la gallina" que requiere tanto la oferta como la demanda dentro del sistema energético. Para hacer posible el uso del hidrógeno en sus sistemas energéticos, los países están considerando una amplia variedad de instrumentos y herramientas de política energética, con algunas medidas especialmente innovadoras. El éxito relativo de los diferentes enfoques ayudará a identificar las mejores prácticas en materia de política y regulación para permitir el uso del hidrógeno en el sistema energético en diferentes contextos.

N.B.: Esta comparación de los instrumentos políticos sólo incluye a los países con estrategias nacionales de hidrógeno publicadas hasta mayo de 2021 (véase la sección 1), pero otros países ya están explorando políticas similares mientras desarrollan sus estrategias formales y es probable que se hagan eco de las ideas presentadas a continuación.

4.1 ESTABLECIMIENTO DE UNA VISIÓN

La publicación de una estrategia nacional u hoja de ruta puede ser un paso importante para establecer una visión para los agentes de interés. Aunque las estrategias actuales sobre el hidrógeno difieren enormemente en cuanto a su contenido y formato, todas ellas ofrecen una visión del hidrógeno en todos los sectores, normalmente con un calendario para el desarrollo del mercado, e identificando prioridades con objetivos específicos. De este modo, las estrategias proporcionan visibilidad a los agentes del mercado sobre las políticas, las normativas y los incentivos para alcanzar el objetivo marcado. A continuación, se destacan los principales instrumentos de política energética.

Algunas estrategias también incluyen información sobre el proceso de revisión periódica, reconociendo así la evaluación en curso y el potencial de adaptación. Por ejemplo, Australia llevará a cabo una evaluación de las infraestructuras de hidrógeno antes de 2022 y, posteriormente, la repetirá al menos cada 5 años para impulsar la acción pública.

4.2 FACILITAR LA CONVERSIÓN A HIDRÓGENO

4.2.1 APOYO FINANCIERO DIRECTO

Las tecnologías de hidrógeno se encuentran en las primeras fases de comercialización, y muchas estrategias apuntan a inversiones públicas y privadas directas para apoyar proyectos piloto que permitan alcanzar economías de escala. La inversión necesaria es relevante, Goldman Sachs (banco de inversión) calcula que el mercado del hidrógeno podría tener un valor de 11,7 billones de dólares en 2050, repartidos entre Asia, Estados Unidos y Europa⁵. Según el Hydrogen Council (Consejo del Hidrógeno), es necesario cubrir una brecha de 50.000 millones de dólares y 65 GW de capacidad de electrolizadores antes de 2030 para alcanzar el punto de equilibrio entre el hidrógeno gris y el renovable. La estrategia de la UE estima que las inversiones acumuladas en hidrógeno renovable en Europa podrían ser de entre 180.000 y 470.000 millones de euros para 2050, y de entre 3.000 y 18.000 millones de euros para el hidrógeno fósil de baja emisión de carbono.

⁵ (Goldstein, 2020).

Varios gobiernos han prometido financiación pública directa hasta 2030 para desarrollar sus industrias o economías nacionales del hidrógeno. Japón se ha comprometido a destinar unos 1.500 millones de dólares para apoyar la producción de hidrógeno sin emisiones a nivel local en el extranjero y también para desarrollar la infraestructura de distribución. Francia tiene previsto invertir 7.000 millones de euros de aquí a 2030 para la descarbonización de la industria, el transporte pesado e impulsar la I+D, mientras que Alemania ha adoptado un "paquete para el futuro" con 7.000 millones de euros para acelerar el despliegue del mercado de las tecnologías del hidrógeno a nivel nacional, complementado con 2.000 millones de euros para fomentar los acuerdos transfronterizos. Los fondos también proceden de los presupuestos existentes para apoyar la transición energética o la innovación. Por ejemplo, la UE utiliza su mecanismo de apoyo a los Proyectos Importantes de Interés Común Europeo (IPCEI) para proyectos de I+D en los que participa más de un Estado miembro. Algunas estrategias nacionales también incluyen el hidrógeno en sus planes de recuperación tras la crisis económica para conseguir fondos adicionales.

La movilización del financiamiento privado también es fundamental y puede combinarse con los fondos públicos. Por ejemplo, el Gobierno holandés pretende invertir hasta 338 millones de euros en proyectos de hidrógeno verde, además de las inversiones previstas de 9.000 millones de euros (la mayoría de origen privado) en el norte de los Países Bajos para desarrollar un ecosistema de hidrógeno integrado. La UE ha creado la Alianza Europea para el Hidrógeno Limpio con el fin de contribuir a la creación de una cartera clara y sólida de proyectos de inversión viables, cuyo objetivo es coordinar las inversiones y las políticas a lo largo de la cadena de valor del hidrógeno y promover la cooperación entre las partes interesadas privadas y públicas. Sin embargo, la mayoría de las estrategias nacionales no son claras en cuanto a la movilización de las inversiones privadas.

4.2.2 INCENTIVOS FINANCIEROS

El coste es un obstáculo clave para la adopción del hidrógeno en el sistema energético, especialmente en los países que sólo consideran el hidrógeno a partir de fuentes de energía renovables. Al tratarse de un vector energético incipiente, el desarrollo de un mercado del hidrógeno requiere importantes incentivos financieros para salvar la diferencia económica con las alternativas existentes. Las medidas financieras, como la política fiscal y las subvenciones, pueden ser herramientas clave para que los gobiernos contribuyan a permitir el desarrollo de las cadenas de valor del hidrógeno.

La política fiscal es un instrumento eficaz para incentivar el cambio de los combustibles fósiles a los nuevos vectores energéticos. En los casos en los que existen regímenes de comercio de derechos de emisión, un mayor precio del carbono podría ser un incentivo especialmente eficaz para permitir el uso del hidrógeno.

Por ejemplo, Noruega tiene previsto un impuesto sobre el CO₂ que se incrementará en un 5% anual hasta 2025. Otras opciones contemplan la reducción de los impuestos sobre los combustibles de hidrógeno mediante la reducción de los peajes en las carreteras, las tarifas de los ferries, tasas de aparcamiento para los vehículos o embarcaciones propulsadas con hidrógeno, o la exención a los productores de hidrógeno verde de los impuestos directos sobre la electricidad para fomentar su adopción. La estrategia de la UE sugiere el desarrollo de un programa de Contratos por Diferencia para Carbono (CCfD) para apoyar la producción de acero circular y productos químicos básicos con bajas emisiones de carbono, en el que los contratos a largo plazo con una contraparte pública remunerarían a los inversores mediante el pago de la diferencia entre el precio de ejercicio del CO₂ y el precio real del CO₂ en el Sistema de Comercio de Emisiones (EU-ETS) para salvar la diferencia de costes en comparación con la producción convencional de hidrógeno.

“La aplicación de aranceles al carbono en frontera motivaría a los productores extranjeros y a los importadores de la UE a reducir sus emisiones de carbono, al tiempo que garantizaría la igualdad de condiciones alineada con las reglas de la Organización Mundial de Comercio.” ROBIN MILLS, QAMAR ENERGY, UAE

Las subvenciones también pueden ayudar a fomentar la demanda de hidrógeno si se dirigen a los sectores prioritarios identificados, por ejemplo, mediante subvenciones a los vehículos propulsados con hidrógeno, o reembolsos a los empleados que se desplacen en vehículos impulsados por hidrógeno. En Portugal, la producción de hidrógeno asociada a las plantas fotovoltaicas y eólicas existentes se promueve mediante un mecanismo de suministro de energía verde por el que las primas a las renovables se sustituyen por incentivos para la producción de hidrógeno.

Lecciones aprendidas: la burbuja solar en España

España ha sido uno de los líderes en el desarrollo de la industria renovable en Europa, pero ha sido un camino lleno de baches. En 2007, el Gobierno español anunció una nueva política de primas/tarifas reguladas para apoyar la energía solar permitiendo a los productores el desarrollo de sistemas - tanto fotovoltaicos como termosolares - y la venta de electricidad a la red a precios superiores a los del mercado. Rápidamente se vio que las primas/tarifas reguladas eran demasiado generosas, y el aumento de la capacidad solar pronto superó varias veces los objetivos marcados por el Gobierno. El Gobierno respondió ajustando retrospectivamente las tarifas a la baja, convirtiendo el boom solar en una quiebra y generando inestabilidad regulatoria. La experiencia de España y de otros países pioneros que sufrieron retos similares en materia de política para el desarrollo de renovables ha ayudado a los responsables políticos a desarrollar mecanismos más sensibles al mercado que pueden apuntalar un mercado más estable para los inversores en renovables.

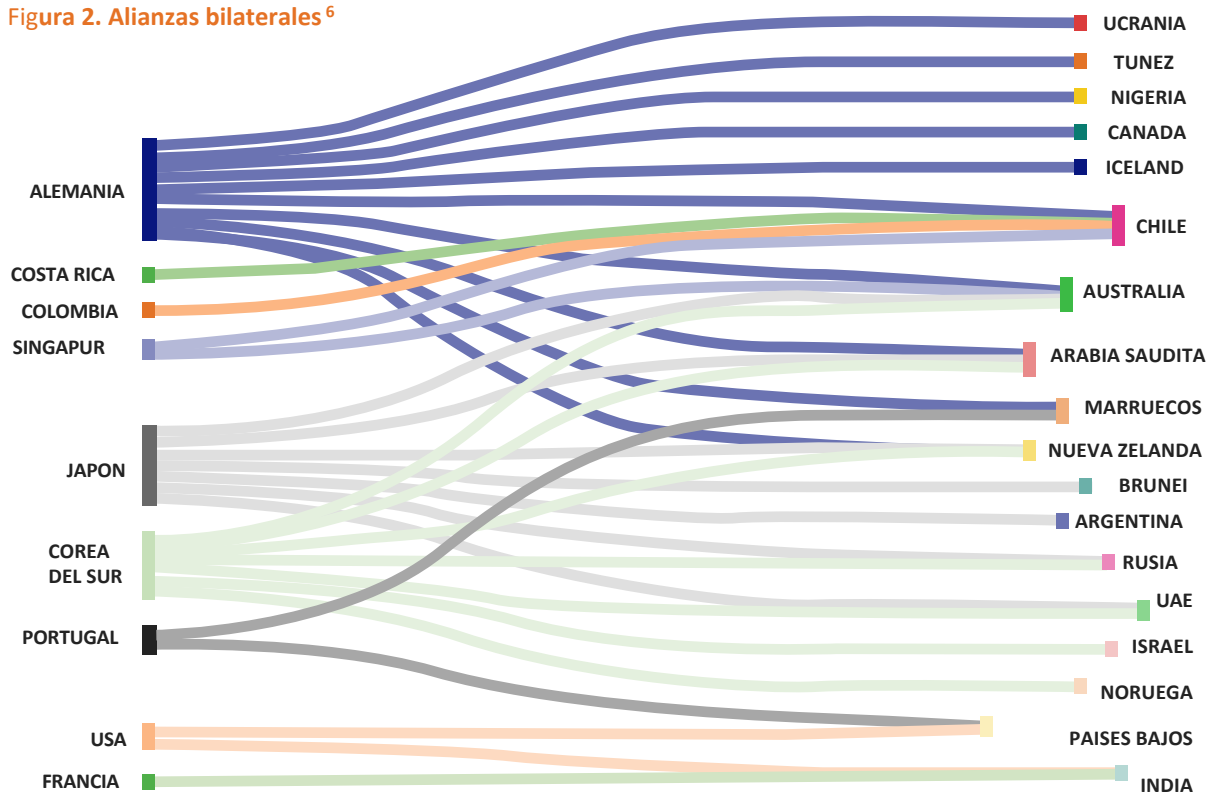
4.3 FACILITAR LOS MERCADOS INTERNACIONALES DE HIDRÓGENO

El desarrollo del hidrógeno como vector energético exigirá también la creación de un mercado internacional del hidrógeno que permita su producción y comercialización a coste competitivo. Para ayudar a conseguirlo, varios países están desarrollando acuerdos bilaterales para coordinar los programas de I+D, explorar la armonización de las normas (véase la sección 4.4.2) y fomentar el emergente comercio mundial del hidrógeno. La Reunión Ministerial de Energía del Hidrógeno de Japón es un ejemplo clave y ha dado lugar a la Declaración de Tokio de octubre de 2018, en la que participan 21 naciones, regiones multinacionales y organizaciones internacionales que detallan diversas iniciativas para promover la popularización y la expansión de la energía del hidrógeno con una evaluación anual de los avances.

Actualmente, la mayor parte de la cooperación y las asociaciones internacionales, regionales y bilaterales se centran en proyectos comunes para desarrollar cadenas de valor e iniciativas conjuntas de I+D. Por ejemplo, la iniciativa Mission Innovation, en la que participan 24 países y la Comisión Europea, tiene como objetivo aumentar la inversión gubernamental en I+D sobre energías limpias, implicando al sector privado y fomentando la colaboración internacional para las innovaciones en materia de hidrógeno. Japón, Estados Unidos y la UE cuentan con la Asociación Internacional para una Economía del Hidrógeno (IPHE) como programa de investigación coordinado para la cadena de valor del hidrógeno. La Iniciativa África-Europa para la Energía Verde tiene como objetivo dar a conocer las oportunidades del hidrógeno y promover el desarrollo de proyectos de innovación conjuntos (incluyendo el financiamiento de la UE a través de la Plataforma de Inversión de Vecindad).

En esta fase, la mayoría de las alianzas son bilaterales (véase la Figura 2) con Memorandos de Entendimiento (MoU), que desarrollan la colaboración en la gestión, el desarrollo tecnológico, el financiamiento de proyectos de investigación y el potencial de las cadenas de valor de importación y exportación (por ejemplo, Portugal y los Países Bajos, Alemania y Arabia Saudí, Chile y Singapur). Se espera que Japón y Alemania sean importantes países importadores netos de hidrógeno y se han mostrado especialmente activos a la hora de desarrollar acuerdos bilaterales para asegurar un suministro suficiente. Alemania, por ejemplo, está creando una compilación de atlas para la potencial generación de hidrógeno verde y sus productos derivados, con el objetivo de identificar países de destino y oportunidades para las instalaciones de exportación futuras.

Figura 2. Alianzas bilaterales⁶



Fuente: Consejo Mundial de la Energía, modificado a partir del mapa del Comité Alemán miembro, 2021⁷

⁶ Metodología: Los acuerdos bilaterales son exclusivamente los que se producen entre gobiernos para facilitar relaciones comerciales alrededor del hidrógeno (importación y exportación de hidrógeno o de tecnologías relacionadas), proyectos de demostración y memorandos de entendimiento. Basado en la información disponible a fecha 27 de mayo de 2021.

⁷ Global Overview on Activities Towards H2 Strategies - H2 partnerships globally.

Lecciones aprendidas: la industria de la energía solar

El boom de la energía solar no se desarrolló en un solo país, sino que fue el resultado de la competencia entre varios países que desarrollaron sus propias industrias. Aunque la tecnología se inició en 1954 en Estados Unidos con un enfoque en la industria espacial, los desarrollos tecnológicos condujeron a una importante caída de los precios y fueron impulsados por una ley alemana en 2000 que fomentaba las energías renovables e incentivaba la producción de paneles solares. El Paquete de Energía y Clima de la UE de 2007 introdujo una legislación vinculante con objetivos para 2020 y propició un auge de la industria de paneles solares en el mercado comunitario.

La producción masiva de células solares en China redujo los precios y llevó a este país a dominar el mercado de los paneles solares. De este modo, pasó de ser un actor inexistente en el mercado a acaparar en 20 años casi el 70% de la producción mundial actual. Mientras que la competencia mundial ha llevado a una reducción de los precios, las relaciones comerciales se han tensado con varias disputas comerciales con China. Algunos expertos ya prevén una situación similar con la producción china de electrolizadores.

4.4 CREANDO LAS CONDICIONES PARA EL DESARROLLO DE MERCADO

4.4.1 ¿CUÁL ES EL PAPEL DE LA LEGISLACIÓN Y LA REGULACIÓN EN LA ACTUALIDAD?

Las medidas legislativas y regulatorias aún no se han desarrollado por completo y, por el contrario, hasta ahora se han centrado en habilitar rápidamente los proyectos de hidrógeno mediante la simplificación de los marcos existentes y la reducción de posibles obstáculos y cargas administrativas. Por ejemplo, Portugal está promoviendo la simplificación de los procedimientos de concesión de licencias -ambientales, industriales y municipales- para algunos proyectos de producción de hidrógeno. En Francia, los contratos y compromisos sectoriales estratégicos⁸ entre el Gobierno y las empresas tienen como objetivo ayudar a desarrollar asociaciones público-privadas (véase el recuadro Facilitar la adopción del hidrógeno: asociaciones público-privadas), reducir la carga administrativa de los proyectos de hidrógeno y facilitar la puesta en marcha de iniciativas. Chile revisará la normativa sobre el uso del suelo y los procesos de autorización asociados para identificar y reducir los posibles obstáculos para el hidrógeno, lo que incluye el análisis, la tenencia y el arrendamiento de terrenos públicos que presenten condiciones adecuadas para el desarrollo competitivo del hidrógeno verde y sus derivados. Chile también tiene previsto revisar y actualizar la regulación del mercado eléctrico para permitir efectivamente la participación de las tecnologías del hidrógeno en el suministro de diversos servicios (energía, capacidad, servicios auxiliares).

“Para que el cambio al hidrógeno sea un éxito, se necesita apoyo político, casos empresariales y medidas regulatorias, especialmente en sectores difíciles de descarbonizar (por ejemplo, la siderurgia)”.

FRANK WOUTERS, EU-GCC CLEAN ENERGY NETWORK, UAE

“Se necesitan políticas que se basen en el coste-beneficio de las tecnologías; políticas que impulsen la descarbonización, pero que sean agnósticas en cuanto a la tecnología, y que no excluyan tecnologías como el hidrógeno”. SABINA RUSSELL, ZEN CLEAN ENERGY SOLUTIONS, CANADA

Algunos países están desarrollando un marco legislativo específico para el hidrógeno. Corea del Sur ha aprobado una Ley del Hidrógeno que sienta las bases legales para apoyar este vector energético con medidas para desarrollar programas de educación, preparar estadísticas relacionadas con el hidrógeno, establecer normas de seguridad y legislar sobre los sistemas de abastecimiento de combustible y su instalación. En Corea del Sur, el Proyecto de Zona Especial para la Movilidad Verde por Hidrógeno pretende poner en valor las tecnologías de movilidad basadas en el hidrógeno. La UE tiene previsto establecer una norma común de bajas emisiones de carbono para las instalaciones de producción de hidrógeno, basada en las emisiones de gases de efecto invernadero durante todo su ciclo de vida, que podría ser relativa al punto de referencia existente en el régimen de comercio de derechos de emisión para la producción de hidrógeno.

Dado que muchas aplicaciones del hidrógeno se encuentran en su fase inicial de desarrollo, el actual marco legislativo y regulatorio sigue un enfoque gradual, navegando entre la necesidad de ofrecer suficiente seguridad a los inversores y promotores de proyectos, y la necesidad de proporcionar flexibilidad para las diferentes etapas de desarrollo⁹.

⁸ “Engagements pour la croissance verte” (ECVs) – Commitments for Verde Growth, and “Contrats Stratégiques de Filière” (CSFs) – Strategic Sector Contracts.

⁹ (Zinglensen, 2021).



“Para desarrollar proyectos de hidrógeno, necesitamos estructurar proyectos financiables, con un diseño técnico sólido, costes competitivos, y clientes solventes que puedan comprometerse a largo plazo, como los gobiernos.” CRISTINA MARTIN, HDF ENERGY, MÉXICO

Lecciones aprendidas: los contratos de GNL de los años 1960s

A principios de la década de 1960, la contaminación en Japón contribuyó a fomentar el uso de GNL importado para la generación de electricidad, como combustible más limpio y ecológico en comparación con el carbón o el petróleo. Sin embargo, las compañías eléctricas japonesas sólo estaban dispuestas a cambiar al GNL con la ayuda financiera del Gobierno para cubrir los altos costes de capital.

Los contratos a largo plazo, con una duración de entre 15 y 30 años, entre los exportadores y las compañías eléctricas importadoras constituyeron la base para el establecimiento del sector. Los contratos debían ser lo suficientemente largos para que las inversiones se recuperaran en los países exportadores e importadores, y para proporcionar un flujo de caja garantizado que ayudara a financiar las inversiones. Las enseñanzas extraídas de la creación del mercado del GNL también podrían ayudar al desarrollo del hidrógeno.

“Hay que evitar compromisos que acaben limitando el crecimiento del sector cuando en algún momento se quiera avanzar hacia un modelo más líquido y flexible”.

ROBIN MILLS, QAMAR ENERGY, EAU

Además de las medidas legislativas y regulatorias, muchas herramientas más moderadas y flexibles están ayudando a los participantes en el mercado a desarrollar sus proyectos de hidrógeno. Por ejemplo, Chile creará un grupo de trabajo para acompañar a los promotores en los procesos de autorización y pilotaje de proyectos de hidrógeno verde y coordinará los servicios públicos en sectores clave para reducir la incertidumbre de las iniciativas privadas, generar aprendizaje, resolver los fallos de coordinación del mercado y permitir la introducción segura de nuevos combustibles y procesos. Canadá pretende promover el acceso abierto a la información para establecer requisitos escalonados y basados en el tiempo para el contenido de hidrógeno renovable en los proyectos apoyados por el Gobierno, además el país busca desarrollar un conjunto de herramientas y recursos, alojados a través de un sitio web central gestionado por el propio Gobierno, para ayudar a los usuarios finales a evaluar cuantitativamente el hidrógeno como una opción para sus operaciones.

Facilitar la adopción del hidrógeno: los “hubs” de hidrógeno

Los “hubs” de hidrógeno, son áreas locales en las que se reúnen varios usuarios de diferentes sectores que actualmente o potencialmente pueden consumir hidrógeno. La cercanía dentro de los “hubs” puede hacer que el desarrollo de infraestructuras (como pipelines, almacenamiento y estaciones de servicio) sea más rentable, ya que fomenta las economías de escala y las sinergias para la integración de sectores, ayudando a desarrollar la cadena de valor.

Las estrategias nacionales contemplan diferentes enfoques para identificar, localizar y financiar posibles clusters. Las cuestiones clave que afectan a la elección de un posible “hub” son: el acceso a la demanda; la disponibilidad de terrenos; el potencial de importación o producción a través de infraestructuras portuarias, de carreteras y ferroviarias; el acceso a la red de transporte de gas existente; los factores económicos, sociales y medioambientales locales favorables (como una mano de obra cualificada adecuada). En varios países, la industria está liderando los esfuerzos para formar grupos de colaboración intersectorial, con el objetivo de desarrollar la cadena de valor y permitir el escalado. Más allá de la industria, los institutos académicos y de investigación también están tratando de colaborar en posibles “hubs”.

“Los esfuerzos que se están realizando sobre los “hubs” o clusters de hidrógeno cambiará la dinámica actual. Una vez construidos, mostrarán la cadena de valor del hidrógeno colaborando de forma integral y holística. Se producirá una adopción importante cuando se produzca una introducción en los principales sectores, y cuando la integración sectorial se haga visibles.”

DARYL WILSON, HYDROGEN ASSOCIATION, CANADÁ

Facilitar la adopción del hidrógeno: asociaciones público-privadas

Las asociaciones público-privadas (APP) pueden ser una importante palanca para el desarrollo del hidrógeno al coordinar los esfuerzos de los sectores público y privado. Es más probable que el impulso del hidrógeno se produzca a través del compromiso del sector privado con el apoyo del gobierno a través de un entorno propicio (por ejemplo, la fijación de los precios del carbono, un clima de inversión favorable).

En 2008, la UE creó la Iniciativa Conjunta Pilas de Combustible e Hidrógeno (Iniciativa Conjunta FCH JU) como una asociación público-privada para apoyar la investigación, el desarrollo tecnológico y las actividades de demostración de las tecnologías de las pilas de combustible y el hidrógeno en Europa. En 2021, la UE ha creado la Asociación para el Hidrógeno Limpio, que se basará en el trabajo de la FCH JU para acelerar el desarrollo y el despliegue de una cadena de valor europea para las tecnologías de hidrógeno limpio, centrándose en la producción, distribución y almacenamiento, y en el suministro a los sectores difíciles de descarbonizar. Otro ejemplo es la Sociedad de Propósito Especial (SPC) impulsada por los gobiernos y que se está poniendo en marcha en varios países con apoyo al financiamiento y la fiscalidad para desarrollar aplicaciones alimentadas por hidrógeno.

4.4.2 LA NORMALIZACIÓN ES NECESARIA, PERO QUIZÁ TODAVIA NO

Las normas y los mecanismos de certificación pueden ayudar a armonizar procesos importantes para el desarrollo del hidrógeno. El desarrollo de un lenguaje común para el hidrógeno y de algunas normas compartidas a nivel internacional podrían establecer una igualdad de condiciones al permitir un comercio transfronterizo eficaz y ofrecer más seguridad a los inversores. Sin embargo, en esta fase, las prioridades de normalización difieren mucho entre países, lo que dificulta la colaboración y retrasa el desarrollo de la demanda y la inversión en hidrógeno.

La seguridad del hidrógeno se menciona con frecuencia como un campo prioritario para la normalización con normas para los sectores de la industria y el transporte. Aunque el establecimiento de normas internacionales podría llevar varios años, ya se han puesto en marcha iniciativas. El Instituto Americano de Ingenieros Químicos (AIChE) cuenta con un grupo de seguridad del hidrógeno que estudia los estándares. Al margen de la seguridad, Francia está trabajando con instituciones financieras en modelos de cofinanciación de proyectos para el despliegue de ecosistemas que pongan en común diferentes usos (movilidad, industria, etc.) a nivel local. A nivel internacional, el desarrollo de un esquema acordado de Garantía de Origen debería ser una prioridad para establecer la fuente de producción de hidrógeno con una iniciativa de CertifHy¹⁰. Éste último es un proyecto de múltiples partes interesadas cuyo objetivo, entre 2014 y 2016, era desarrollar una definición común a nivel europeo de hidrógeno verde y desarrollar un esquema de Garantía de Origen de hidrógeno desplegable en toda Europa, apoyado por una hoja de ruta para su implementación.

“Las normas van por delante de la comercialización de los equipos de pilas de combustible. Ya existen normas para los generadores de pilas de combustible para vehículos y los electrolizadores, etc. Sin embargo, el desarrollo de códigos relacionados con la instalación y el funcionamiento de los equipos va con retraso. Existe un buen planteamiento de normalización internacional armonizada con la ISO y la CEI. En cuanto a los códigos, cada país/jurisdicción está desarrollando los suyos propios a medida que se despliegan los equipos”

JEFF GRANT, ZEN LIMPIO ENERGY SOLUTIONS, CANADÁ

En la actualidad, apenas se estudia la forma de elaborar normas y mecanismos de certificación, que suelen proceder de iniciativas privadas y plantean problemas de armonización. Japón ha sido una notable excepción, al sugerir que se elaboren normas internacionales para el transporte marítimo de hidrógeno licuado a través de la Organización Marítima Internacional (OMI). Dentro de su propio sistema federal, Canadá tiene previsto crear un grupo de trabajo sobre códigos y normas con autoridades interprovinciales para compartir las lecciones aprendidas e identificar las lagunas en los códigos y normas.

4.4.3 EL DEBATE SOBRE EL COLOR DEL HIDRÓGENO ES UN OBSTÁCULO PARA SU ADOPCIÓN

Las estrategias existentes citan formas divergentes de hidrógeno basadas en el color o la intensidad de carbono en su producción a 2030 y 2050 (véase el cuadro 3). La elección de los métodos de producción de hidrógeno depende en gran medida de los recursos disponibles y de los sistemas energéticos existentes en cada país, así como de los objetivos políticos que se persiguen (es decir, descarbonización, fomento del crecimiento económico, etc.). También recurren a diversas terminologías con diferentes supuestos y actitudes hacia determinadas tecnologías. En particular, el hidrógeno producido a partir de la energía nuclear se clasifica en diferentes colores.

¹⁰ <https://www.certifhy.eu/project-description/project-description.html>



Tabla 3. Resumen de colores / Intensidad de carbono del hidrógeno por país ¹¹

País	En 2030	En 2050	Definición
Australia	Limpio	Limpio	Limpio: SMR con CCS (90% Tasa de Captura) o electrolisis usando electricidad renovable
Canadá	Intensidad baja en carbono	Intensidad baja en carbono	Se refiere a las definiciones de Hidrogeno bajo en carbono de CertifHy: CertifHy Hidrógeno verde (a partir de biomasa o electrolisis con eólica, solar, o hidráulica) y CertifHy Bajo en Carbono (SMR con combustibles fósiles+ 90% CCUS, pirólisis, nuclear)
Chile	Verde	Verde	generación eléctrica renovable
EU	Bajo en Carbono	Limpio / Renovable	SMR + CCS* o empleando generación eléctrica renovable de acuerdo a la taxonomía UE con benchmark de 3tCO2e/tH2
Francia	Basado en bajo en Carbono y fósiles	Bajo en Carbono	Bajo en Carbono: producción de H2 con electrolisis mediante electricidad renovable y nuclear
Alemania	Libre en carbono	Renovable	Libre en carbono: SMR con CCS*, pirólisis de metano, etc. Renovable: empleando generación eléctrica renovable
Hungría	Basado en Bajo en Carbono y fósiles	Basado en Bajo en Carbono y fósiles	Libre en carbono: Verde/Renovable producido por decomposición de agua mediante generación eléctrica renovable. Electricidad renovable a partir de Solar FV o electricidad competitiva (excedentes renovables, nuclear, importación de electricidad libre de CO2) obtenida de la red nacional. Bajo en Carbono: Hidrógeno azul o turquesa.
Japón	Basado en Fósiles con CCS	Basado en Fósiles con CCS	Libre de CO2: basado en Combustible fósil + CCS (60% tasa de captura hoy, virtualmente 100% en el future), complementado con renovables competitivas
Holanda	Azul & Verde	Verde	Verde: eminentemente electrolisis usando electricidad renovable, así como cultivos biogénicos producidos sosteniblemente. Azul: a partir de Gas natural con CCS*
Noruega	Limpio	Limpio	Limpio: Reformado de gas natural u otros combustibles fósiles + CCS (90-95% Tasa de Captura)
Portugal	Verde	Verde	Producción eléctrica renovable
Corea del Sur	Basado en Gas Natural	Amigable con Medio Ambiente Libre de CO2	Subproducto del gas natural, complementado con hidrógeno proveniente de proyectos de Power-to-Gas empleando tanto excedentes como generación eléctrica renovable dedicada
España	Renovable	Renovable	Electrólisis de agua empleando electricidad renovable, así como reformado de biogas o conversión de biomasa, siempre y cuando los requisitos de sostenibilidad se cumplan

* La tasa de la captura de carbono no está definida en esta estrategia nacional

Fuente: Consejo Mundial de la Energía

Recientemente, han empezado a surgir intentos de resolver el "debate de los colores" con el objetivo de establecer definiciones claras del contenido de carbono, la tecnología y la fuente de electricidad que hay detrás (por ejemplo, la Figura 3 y la Figura 4).

¹¹ Como se define en sus estrategias nacionales.

Figure 3. Un arco iris de colores de hidrógeno ilustrativo



Fuente: Consejo Mundial de la Energía, diagrama ilustrativo basado en la contribución de un miembro del Comité de Estudios, 2021

Figura 4. Ilustración del espectro de colores del hidrógeno

	Terminología	Tecnología	Materia prima / Fuente eléctrica	Huella de carbono*
PRODUCCIÓN VIA ELECTRICIDAD	Hidrógeno Verde	Electrólisis	Eólico, Solar, Hidráulica, Geotérmica, Mareomotriz	Mínimo
	Hidrógeno Rosa		Nuclear	
	Hidrógeno Amarillo		Varios orígenes, red	Medio
PRODUCCIÓN V A COMBUSTIBLES FOSILES	Hidrógeno Azul	Reformado de gas natural + CCUS Gasificación + CCUS	Gas natural, carbón	Bajo
	Hidrógeno Turquesa	Pirólisis	Carbón marrón (lignito)	Carbón sólido (subproducto)
	Hidrógeno Gris	Reformado de gas natural		Medio
	Hidrógeno Marrón	Gasificación	Carbón marrón (lignito)	Alto
	Hidrógeno Negro		Carbón negro	

*La huella de carbono se da como una guía general, pero se acepta que cada categoría puede ser más alta en algunos casos.

Fuente: Global Energy Infrastructure (GEI), 2021 cases

La proliferación de diferentes matices de hidrógeno complica cada vez más el debate. Al mismo tiempo, cada vez se presta más atención a la intensidad de carbono o a la equivalencia de carbono, además del color. La intensidad de carbono -expresada en toneladas de CO₂ eq. por tonelada de hidrógeno producido- es un criterio tecnológicamente neutro para evaluar la huella de emisiones del hidrógeno. Abre el debate sobre la competencia entre las distintas rutas de producción de hidrógeno que cumplen con la intensidad de carbono requerida al menor costo. Esto variará según el contexto, de modo que en un caso el hidrógeno producido con electricidad renovable podría ser el más adecuado, mientras que en otro contexto el hidrógeno producido con captura de carbono podría ser más adecuado y económico. En la Unión Europea ya se está adoptando un enfoque basado en la intensidad del carbono, ya que la Taxonomía de la UE -un sistema de clasificación que establece las actividades económicas ambientalmente sostenibles- establece que es necesario un valor de referencia de la intensidad del carbono de 3 tCO₂eq/tH₂ para que la producción de hidrógeno se clasifique como una actividad económica ambientalmente sostenible.

DE LA COMPLEJIDAD
(diagrama de colores del hidrógeno)



A UN INDICADOR CLARO BASADO EN LA INTENSIDAD DEL CARBONO
(Por ejemplo, tCO₂eq, kWhs, TWh... /tH₂)

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, A., 2018. Opportunities for Australia from Hydrogen Exporters, Sydney: ARENA.
- CertifHy, n.d. Designing the first EU-wide Verde Hydrogen Guarantee of Origin for a new hydrogen market. [Online] Available at: <https://www.certifhy.eu/project-description/project-description.html>
- Council of Australian Governments Energy Council, 2019. Australia's National Hydrogen Strategy, s.l.: Commonwealth of Australia 2019.
- European Commission, 2020. A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, Brussels: s.n.
- Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, Alemania, 2020. The National Hydrogen Strategy, s.l.: s.n.
- FMenor, A. & Liao, J., 2012. The Pricing of Internationally Traded Gas, Oxford: Oxford Institute for Energy Studies. GEI (Global Energy Infrastructure), 2021. Hydrogen – data telling a story. [Online] Available at: <https://globalenergyinfrastructure.com/articles/2021/03-march/hydrogen-data-telling-a-story/> [Accessed 11 May 2021].
- Goldstein, S., 2020. 'Verde Hydrogen' Could Become a \$12 Trillion Market. Here's How to Play It.. [Online] Available at: <https://www.barrons.com/articles/goldman-sachs-says-so-called-Verde-hydrogen-will-become-a-12-trillion-market-heres-how-to-play-it-51600860476>
- Government of Canada, 2020. The Hydrogen Strategy for Canada, s.l.: s.n.
- Government of Francia, 2020. Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en Francia, s.l.: s.n.
- Government of Netherlands, 2020. Government Strategy on Hydrogen, s.l.: s.n.
- Hydrogen Council, 2020. Projected global demand for hydrogen in a +2 degree Celsius global warming scenario from 2015 to 2050. [Online] Available at: <https://www.statista.com/statistics/435467/hydrogen-demand-worldwide/>
- Hydrogen Council, 2021. Hydrogen Insights, A perspective on hydrogen investment, market development and cost competitiveness, s.l.: Hydrogen Council.
- Ministry of Ecological Transition & Solidarity, Government of Francia, 2018. Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique., s.l.: s.n.
- Ministry of Ecological Transition and Demographic Challenge, Government of Spain, 2020. Hoja de Ruta del Hidrógeno: Una apuesta por el hidrógeno renovable, s.l.: s.n.
- Ministry of Ecological Transition and Demographic Challenge, Government of Spain, 2020. Hydrogen Roadmap: a commitment to Renewable hydrogen - Executive Summary, s.l.: s.n.
- Ministry of Economy, Trade and Industry, Government of Japon, 2019. The Strategic Road Map for Hydrogen and Fuel Cells, s.l.: s.n.
- Ministry of Energy, Government of Chile, 2020. National Verde Hydrogen Strategy, s.l.: s.n.
- Ministry of State for Energy and Climate Policy, 2021. Hungary's National Hydrogen Strategy, s.l.: s.n.
- Ministry of Trade, Industry and Energy, Government of Corea del Sur, 2019. Hydrogen Economic Roadmap of Korea, s.l.: s.n.

Norwegian Ministry of Petroleum and Energy, Norwegian Ministry of Climate and Environment, 2020. The Norwegian Government's hydrogen strategy, s.l.: s.n

Plumer, B., 2010. Lessons From Spain's Solar Bubble, s.l.: The New Republic.

Republic of Portugal, 2020. Estratégia Nacional Para O Hidrogénio, s.l.: s.n. s.n.

World Energy Council - Alemania/ Weltenergieat - Deutschland, 2020. International Hydrogen Strategies: A study commissioned by and in cooperation with the World Energy Council Alemania, Berlin: World Energy Council - Alemania.

Zinglensen, C., 2021. The role of regulation in 'unlocking' the hydrogen economy, Lisbon: European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators.

AGRADECIMIENTOS

GESTIÓN DE PROYECTOS

Dra. Angela Wilkinson (Secretary General & CEO), Neil Hughes (International Executive Director, EPRI), Jeroen van Hoof (Global Power & Utilities Leader, Partner, PwC Netherlands), Martin Young (Senior Director, Insights), Clíodhna O'Flaherty-Mouscadet (Senior Manager, Partners), Gina Domanig (Innovation Executive Co-chair), Richard Lancaster (Innovation Executive Co-chair), Sam Muraki (Vice Chair of Asia Pacific and South Asia), Jeffery Preece (Senior Program Manager, EPRI), Adj. Prof. Dr. Juergen Peterseim (Global H2 industry lead, PwC), Dra. Olesya Hatop (Global Clients & Markets Industry Executive, PwC)

EQUIPO DE PROYECTO

Lucie Togni, Rami Fakhoury, Aaliya Deen, Joseph Stekli, Florian Schäfer, Nils Babenhausenerheide, Moritz Zahn, Carlo Steinbach.

COMITÉ DE ESTUDIOS DEL CONSEJO MUNDIAL DE LA ENERGÍA

Leonhard Birnbaum (Chair, Alemania), Martin Young (Secretary, Consejo Mundial de la Energía), Alejandro Perroni (Uruguay), Andrea Heins (Argentina), Andrea Maria Quaggia (Italia), Andrey Logatkin (Federación Rusa), Atul Sobti (India), Barış Sanlı (Turquía), Berardo Guzzi (Italia), Burkhard Von Kienitz (Alemania), Claudio Huepe Minoletti (Chile), Edouard Sauvage (Francia), François Dassa (Francia), Hans-Wilhelm Schiffer (Alemania), Herwig Klima (Austria), Jean-Baptiste Galland (Francia), Jeanne Chi Yun Ng (Hong Kong), Joseph Al Assad (Líbano), Juan Benavides (Colombia), Kambiz Rezapour (República Islámica de Irán), Katerin Osorio Vera (Colombia), Klaus Hammes (Suecia), Lawrence Ezemonye (Nigeria), Mamadou Diarra (Niger), Mehdi Sadeghi (República Islámica de Irán), Miguel Pérez de Arce (Chile), Muna Ahmad Almooodi (Emiratos Árabes Unidos), Nalin Shinghal (India), Rebecca Yuen (Hong Kong), Stefan Gheorghe (Rumanía), Tina Schirr (Nueva Zelanda), Tom Kober (Suiza), William D'haeseleer (Bélgica), Yanbing Kang (China), Yongping Zhai (China), Yuji Matsuo (Japón).

MIEMBROS DEL GRUPO DE TRABAJO DEL CONSEJO MUNDIAL DE LA ENERGÍA

Abdulkareem Almutairi (Arabia Saudí), Alan Sakar (México), Aman Verma (Canadá), Ana Ángel (Colombia), Ana Sousa (Portugal), Andrew Clennett (Nueva Zelanda), Andrey Logatkin (Federación Rusa), Ángel Landa Ugarte (España), Angela Ogier (Nueva Zelanda), Ardit Cami (Bélgica), Ashutosh Shastri (Reino Unido), Baldur Pétursson (Islandia), Bartłomiej Kolodziejczyk (Australia), Bassem Mneymne (Qatar), Brock King (Canadá), Burkhard Von Kienitz (Alemania), Carlos Navas Pérez (España), Charles Chibambo (Malawi), Christian Diendorfer (Austria), Christoph Schäfers (Alemania), DaðaÞorstein Sveinbjörnsson (Islandia), Daniel Gnoth (Nueva Zelanda), Daniel Kroos (Austria), David Eduardo Peña (Colombia), Diego Oroño (Uruguay), DMR Panda (India), Egor Kvyatkovsky (Federación Rusa), Elena Pashina (Federación Rusa), Esam Al Murawwi (Emiratos Árabes Unidos), Francisco Imperatore (Argentina), Gabriel Guggisberg (Chile), Gassem Fallatah (Arabia Saudí), Gintaras Adzgauskas (Lituania), Hans-Wilhelm Schiffer (Alemania), Hiroyuki Takeuchi (Japón), James Tyrrell (Australia), Jean-Eudes Moncomble (Francia), Jón B. Skúlason (Islandia), Jose Caceres Blundi (Suiza), Juan Celis (Colombia), Ken Gafner (Sudáfrica), Leo Jansons (Letonia), Lucia Fuselli (Luxemburgo), Luis-Martín Krämer (Alemania), María José González (Uruguay), Mariya Trifonova (Bulgaria), Martín Scarone (Uruguay), Massimiliano Cervo (Argentina), Mohamed El Gohary (Egipto), Nabil Bouraoui (Túnez), Nabil Jedaira (Marruecos), Nii Ahele Nunoo (Estados Unidos), Nikola Tomasovic (Serbia), Nishant Kumar Sharma (India), Nujoood Almulla (Arabia Saudí), Ola Abdelmotaleb (Egipto), Olawale Adenuga (Nigeria), Olga Frolova (Federación Rusa), Oskar Sigvaldason (Canadá), Pedro Ernesto Ferreira (Portugal), Rainer Block (Alemania), Rajneesh Agarwal (India), Renata Viggiano (Italia), Roberto Bencini (Italia), Russell Pendlebury (Australia), Sebastian Veit (Alemania), Shane Gowan (Nueva Zelanda), Takahiro Nagata (Japón), Theodor Zillner (Austria), Tina Schirr (Nueva Zelanda), Tom Meares (Australia), Víctor Andrés Martínez (Panamá), Victorio Oxilia (Paraguay), Vikas Meena (India), Vytautas Keršiusis (Lituania), William D'haeseleer (Bélgica), Wilson Sierra (Uruguay), Yena Chae (República de Corea), Zlata Sergeeva (Federación Rusa).

También queremos agradecer a Didier Holleaux su participación en este trabajo con su representación del arco iris de colores del hidrógeno en la Figura 3.

E igualmente, nuestro agradecimiento a Pam Hurley, Ana Angel, Takahiro Nagata, Maira Kusch y Nicole Kaim por su valiosa ayuda.

TRUSTEES

JEAN-MARIE DAUGER

Chair

KLAUS-DIETER BARBKNECHT

Vice-Chair – Finance

MIKE HOWARD

Vice Chair – Innovation

LEONHARD BIRNBAUM

Chair
– Studies Committee

ELHAM MAHMOUD IBRAHIM

Vice Chair – Africa

OLEG BUDARGIN

Vice Chair – Congress, 2022

SHIGERU MURAKI

Vice Chair – Asia Pacific/South Asia

CLAUDIA CRONENBOLD

Vice Chair – Latin America/Caribbean

IBRAHIM AL-MUHANNA

Vice Chair – Gulf States/Middle East

ALEXANDRE PERRA

Vice Chair – Europe

JOSÉ ANTONIO VARGAS LLERAS

Chair – Programme Committee

OMAR ZAAFRANI

Chair – Communications & Strategy Committee

ANGELA WILKINSON

Secretary General & CEO

PATRONOS DEL CONSEJO MUNDIAL DE LA ENERGÍA

California ISO

EDF

ENGIE

Gazprom

Oliver Wyman

PwC

Rosseti

Rosatom

Tokyo Electric Power Co

COMITÉS MIEMBROS DEL CONSEJO MUNDIAL DE LA ENERGÍA

<u>Argelia</u>	<u>Hungría</u>	<u>Panamá</u>
<u>Argentina</u>	<u>Islandia</u>	<u>Paraguay</u>
<u>Armenia</u>	<u>India</u>	<u>Polonia</u>
<u>Austria</u>	<u>Indonesia</u>	<u>Portugal</u>
<u>Bahrain</u>	<u>Irán (Rep. Islámica)</u>	<u>Rumanía</u>
<u>Bélgica</u>	<u>Irlanda</u>	<u>Federación Rusa</u>
<u>Bolivia</u>	<u>Italia</u>	<u>Arabia Saudita</u>
<u>Bosnia & Herzegovina</u>	<u>Japón</u>	<u>Senegal</u>
<u>Botswana</u>	<u>Jordania</u>	<u>Serbia</u>
<u>Bulgaria</u>	<u>Kazakistán</u>	<u>Singapur</u>
<u>Camerún</u>	<u>Kenia</u>	<u>Eslovenia</u>
<u>Chile</u>	<u>Corea (Rep.)</u>	<u>España</u>
<u>China</u>	<u>Kuwait*</u>	<u>Sri Lanka</u>
<u>Colombia</u>	<u>Letonia</u>	<u>Suecia</u>
<u>Congo (Dem.Rep.)</u>	<u>Líbano</u>	<u>Switzerland Siria</u>
<u>Costa de Marfil</u>	<u>Lituania</u>	<u>(Rep. Arab.)</u>
<u>Chipre</u>	<u>Malta</u>	<u>Tailandia</u>
<u>Croacia</u>	<u>México</u>	<u>Trinidad & Tobago</u>
<u>República Dominicana</u>	<u>Mónaco</u>	<u>Túnez</u>
<u>Ecuador</u>	<u>Mongolia</u>	<u>Turquía</u>
<u>Egipto</u>	<u>Marruecos</u>	<u>Emiratos Árabes</u>
<u>Estonia</u>	<u>Namibia</u>	<u>Unidos Estados Unidos</u>
<u>eSwatini (Swazilandia)</u>	<u>Nepal</u>	<u>Uruguay</u>
<u>Ethiopia</u>	<u>Holanda</u>	<u>Vietnam*</u>
<u>Finlandia</u>	<u>Nueva Zelanda</u>	
<u>Francia</u>	<u>Niger</u>	
<u>Alemania</u>	<u>Nigeria</u>	
<u>Grecia</u>	<u>Noruega</u>	
<u>Hong Kong, China SAR</u>	<u>Pakistan</u>	

* A la espera de la aprobación de los miembros

62–64 Cornhill
London EC3V 3NH
United Kingdom
T (+44) 20 7734 5996
F (+44) 20 7734 5926
E info@worldenergy.org

www.worldenergy.org | [@WECouncil](https://twitter.com/WECouncil)