

---

# Potencial del Hidrógeno Verde como un Producto de Comercio Internacional

## Potential of Green Hydrogen as an International Trade Commodity

*Hugo Fonseca-Argüello\**

*Roy Mora-Vega\*\**

*Elián Delgado-Zúñiga\*\*\**

---

---

### Resumen:

Esta investigación tiene como objetivo analizar si el hidrógeno verde puede ser un futuro producto para el comercio y los negocios internacionales como vector energético, potenciando así el desarrollo económico de los países, y buscando ser un bien amigable con el ambiente. La metodología empleada ha sido la de realizar una investigación bibliográfica-documental con un enfoque cualitativo exploratorio, así como el empleo de fuentes

\* Master en Administración de Negocios. Universidad Nacional. Facultad de Ciencias Sociales. Escuela de Relaciones Internacionales. Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: hugo.fonseca.arguello@una.ac.cr.

\*\* Master en Gerencia del Comercio Internacional. Universidad Nacional. Facultad de Ciencias Sociales. Escuela de Relaciones Internacionales. Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: roy.mora.vega@una.ac.cr

\*\*\* Bachiller en Relaciones Internacionales. Universidad Nacional. Facultad de Ciencias Sociales. Escuela de Relaciones Internacionales. Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: elian.delgado.zuniga@est.una.ac.cr

primarias. Sus principales resultados indican que el hidrógeno verde puede ser una fuente de producción limpia que desde ya está propiciando un punto de inflexión en la geoeconomía y los métodos de producir energía en las siguientes décadas.

**Palabras clave:** HIDRÓGENO VERDE - COMERCIO INTERNACIONAL - NEGOCIOS INTERNACIONALES - DESARROLLO SOSTENIBLE - TRANSICIÓN ENERGÉTICA.

**Abstract:**

This research aims to analyze whether green hydrogen can be a future product for international trade and business of green hydrogen as an energy carrier, thus boosting the economic development of countries, and seeking to be an environmentally friendly good. The methodology used has been to carry out bibliographic-documentary research with an exploratory qualitative approach as well as the use of primary sources. Its main results indicate that green hydrogen can be a source of clean production that is already promoting a turning point in geoeconomics and the methods of producing energy in the following decades.

**Keywords:** GREEN HYDROGEN - INTERNATIONAL COMMERCE - INTERNATIONAL BUSINESS - SUSTAINABLE DEVELOPMENT - ENERGY TRANSITION

Recibido: 7 de febrero de 2025

Aceptado: 8 de octubre de 2025

## Introducción

Durante los últimos años se han distinguido avances en el desarrollo de las tecnologías para la producción del hidrógeno verde. Aunado a esto, se tiene en la palestra de las economías del mundo el cómo seguir produciendo con métodos más amigables al ambiente. Hoy en día ya muchos países del mundo han incluido dentro de sus agendas, planes o estrategias estos ejes de desarrollo, por lo que algunas compañías y países han implementado o impulsado plantas piloto de generación y dispensado de hidrógeno verde, así como también el desarrollo de infraestructura para que este producto sea parte de un mercado internacional con sello verde.

En los casos estudiados en esta investigación, se muestra su viabilidad técnica de producción, la cual se lleva a cabo por medio de la electrólisis del agua, haciendo uso de diversas energías renovables. Se reconoce su empleo en varios sectores productivos, su comercio internacional, pero aún falta más por investigar y conocer. Por otro lado, los mercados internacionales sí denotan un estímulo a este tipo de productos principalmente por su disposición a ser un producto proambiental, sosteniendo un desarrollo económico.

De esta manera, el hidrógeno verde, para el comercio y los negocios internacionales, permite potenciar un crecimiento continuo y, de llegar a convertirse en una de las principales industrias a nivel mundial, podría permitir consolidar y acrecentar algunos valores agregados de su proceso productivo y de comercialización como la sostenibilidad, su almacenaje, versatilidad y su disposición como recurso, al ser el hidrógeno un elemento muy común en nuestro hábitat.

Además, factores importantes detectados en este trabajo es que el hidrógeno ha venido creciendo en el comercio y los negocios internacionales, pero dada su producción (que puede ser de varias fuentes) y su estructura hoy establecida, no necesariamente son propicias para el ambiente y su trazabilidad en los negocios. Pero si este es producido a partir de energías renovables y su sostenibilidad es corroborada, a nivel comercial, puede provocar un salto hacia las metas de descarbonización en las próximas décadas.

Para la elaboración de este estudio se realizaron revisiones de fuentes secundarias de documentos oficiales, artículos científicos y bases de datos especializadas de organismos nacionales e internacionales, así como de fuentes confiables y también el uso de fuentes primarias como entrevistas a personas expertas. Este abordaje se seleccionó en reconocimiento de que el tema estudiado es bastante reciente y de rápida evolución en los mercados, por lo que existe una limitante en sus fuentes, trazabilidad y datos.

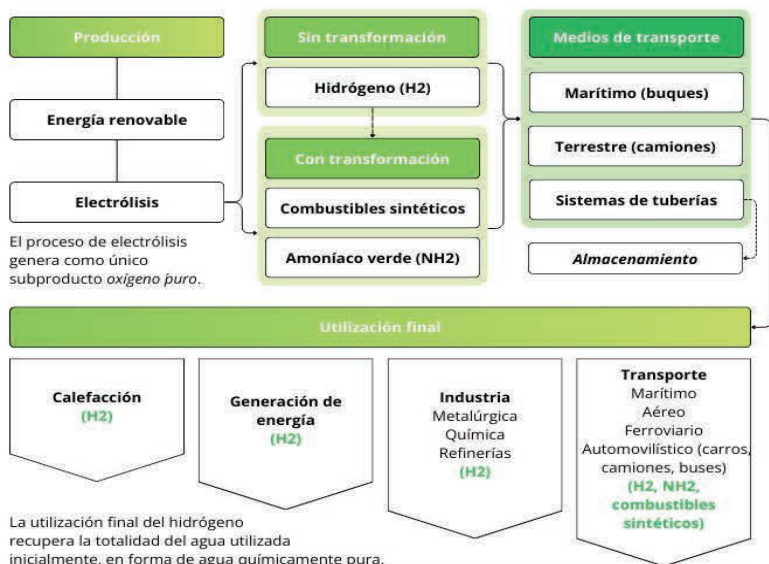
Asimismo, se basa en un enfoque de tipo descriptivo y exploratorio. Descriptivo, al describir y analizar la situación actual del estado del arte del hidrógeno verde en lo referente a su producción y vinculación al comercio y los negocios internacionales, mediante el estudio de los casos más relevantes. Y exploratorio, debido a que, como resultado de la descripción/análisis de su estado de desarrollo y evolución, se diagnostican sus retos y conclusiones para el comercio y los negocios internacionales. Por lo tanto, el presente artículo comienza con una breve conceptualización del hidrógeno, elabora un análisis actual en los mercados internacionales, los acuerdos a hoy entre países, sus usos y vínculos al comercio y los negocios internacionales, para finalmente valorar sus retos y conclusiones.

### **El hidrógeno como vector energético**

El hidrógeno es un elemento químico; un gas incoloro, inodoro e insípido en condiciones normales. Se trata del gas más ligero y abundante del universo, y como vector energético es una opción atractiva para la transición energética, dado que puede producirse a partir de fuentes renovables y su uso final como combustible no genera emisiones de carbono (Bhuiyan y Siddique, 2025, p. 1026). La tecnología del hidrógeno verde está basada en la generación del gas, a través de un proceso químico llamado electrólisis, el cual consiste en la aplicación de energía eléctrica suficiente para separar el agua en partículas de hidrógeno ( $H_2$ ) y oxígeno ( $O_2$ ) (Eduok et al, 2022, p. 13778). El calificativo «verde» se refiere precisamente al uso de fuentes renovables como energía eólica o solar para alimentar dicho proceso. De esta manera, la producción de hidrógeno verde no representa emisiones de carbono a la atmósfera, generando alternativas viables para los planes de descarbonización de los gobiernos cuyo objetivo es disminuir la dependencia de hidrocarburos.

**Figura 1.**

*Proceso de transformación del hidrógeno en distintos sectores como vector energético y materia prima*



*Nota.* Elaboración propia, con base en IRENA (2020).

Como se observa en la figura 1, la energía proveniente de energías renovables alimenta la electrólisis para generar tres principales productos: el gas de hidrógeno, combustibles sintéticos y amoníaco verde, además de un subproducto de oxígeno puro, cuyo potencial coadyuvante al desarrollo de la economía del hidrógeno verde se analizará posteriormente. Cabe mencionar que, el gas de hidrógeno particularmente tiene un gran potencial desde el punto del comercio y los negocios internacionales, al ser no solo una fuente de poder para el transporte terrestre, marítimo y aéreo, sino también un componente del amoníaco, materia prima para la elaboración de fertilizantes, y de otros combustibles sintéticos basados en hidrógeno como el metanol. Si bien estos combustibles producen emisiones de carbono en su combustión, las emisiones ahorradas al producir el hidrógeno que los componen de manera verde compensan en menor o mayor medida la contaminación causada (IRENA, 2020). Por ende, el hidrógeno verde tiene un perfil muy versátil como producto para distintos sectores económicos.

## El comercio de hidrógeno en el mundo

El hidrógeno verde tiene un gran potencial para liderar la carrera por la transición energética global. Según el Hydrogen Council (2022), el hidrógeno puede proveer 80 gigatoneladas de abatimiento acumulado de CO<sub>2</sub> para el 2050, lo que representa un 20 % de la reducción de emisiones anuales para alcanzar cero emisiones netas al mismo año. Pero, además, el comercio internacional de hidrógeno tiene el potencial para reducir por 6 billones de dólares el costo de la transición energética para el 2050. Y se proyecta que la demanda de hidrógeno en el mundo aumentará de 90 millones de toneladas en 2020 a 660 millones de toneladas en 2050, lo cual representa un crecimiento de la demanda del 750 %.

Ahora bien, es necesario que el hidrógeno mantenga su nexo con las energías renovables para que su comercio internacional tenga un impacto positivo en la transición energética. Según Bhuiyan y Siddique (2025), aproximadamente el 96 % de la producción mundial actual de hidrógeno depende de combustibles fósiles, siendo el hidrógeno gris (etiqueta de color que denota producción con base en reformado de vapor de metano) el más prominente dentro de este porcentaje por su precio competitivo de 0,67 a 1,31 dólares, pero generando 8,5 kg de CO<sub>2</sub> por cada kg de hidrógeno producido. Esta es una deficiencia importante del sistema que debe superarse para que el comercio del hidrógeno aporte sustantivamente al desarrollo sostenible.

A pesar de su insipiencia, el hidrógeno verde se perfila como una de las alternativas energéticas más prometedoras en el marco de la transición hacia economías bajas en carbono, pues combina beneficios ambientales significativos con una notable versatilidad en sus posibles aplicaciones. Sin embargo, se enfrenta a desafíos estructurales como la necesidad de inversiones de capital sustanciales, la dependencia de innovación tecnológica en los distintos eslabones de su cadena de valor y los costos todavía elevados en comparación con los combustibles fósiles. Por ello, actualmente la producción global de hidrógeno se encuentra en su mayoría concentrada en la investigación aplicada y pilotajes, con un comercio todavía emergente y abocado a nichos específicos. Así que el hidrógeno verde debe entenderse como una apuesta estratégica de largo plazo, cuyo despliegue depende de la inversión, el apoyo político y la consolidación del mercado.

**Tabla 1**

*Principales países exportadores e importadores de hidrógeno, según porcentaje de exportación e importación global, 2023*

Principales exportadores	Principales Importadores
Estados Unidos (15,8%)	China (15,4%)
Alemania (14,3%)	Japón (10,6%)
China (14,1%)	Alemania (9,35%)
Malasia (5,49%)	Vietnam (8,28%)
Noruega (5,17%)	Estados Unidos (6,08%)

*Nota.* Elaboración propia con datos del Observatorio de Complejidad Económica (OEC) (2025).

La tabla 1 muestra a los países con mayor participación a nivel global del comercio de hidrógeno. Estados Unidos, China y Alemania figuran tanto como principales importadores como exportadores. Según el OEC (2025), Estados Unidos exportó 2.150 millones de dólares e importó 828 millones de dólares en hidrógeno; China exportó 1.930 millones de dólares e importó 2.100 millones de dólares y Alemania exportó 1.950 millones de dólares e importó 1.270 millones de dólares. El volumen total en dólares de importaciones y exportaciones de China fue mayor que el de Alemania y Estados Unidos, asumiendo estos un papel predominantemente exportador, mientras China fue principalmente importador. El OEC (2025) da a conocer que, en los últimos cinco años, el comercio en la categoría de hidrógeno ha crecido a una tasa anualizada del 1,84 %.

### **Productos y servicios conexos a la producción de hidrógeno**

El hidrógeno también tiene productos y servicios conexos a su producción. Áreas como la consultoría en el diseño, implementación y otros servicios, la producción de válvulas y tuberías son espacios en donde pequeñas y medianas empresas pueden incursionar como proveedoras en la cadena de valor, para la producción del hidrógeno verde. De este punto se desprende que, para la industria metalmeccánica, empresas de diseño de sistemas e implementación de producción de hidrógeno pueden tener opciones en el comercio internacional que les permitiría

desarrollar líneas de comercialización. Muchas de ellas podrían hasta crear economías de escala por la experticia desarrollada en sus productos para otros sistemas, como es el caso de la producción de válvulas y tuberías que actualmente se emplean para otros usos económicos.

Además, antes se mencionó el potencial del agua químicamente pura y el oxígeno como subproductos del hidrógeno verde. La electrólisis genera oxígeno puro en proporciones estequiométricas, el cuál es demandado en distintos contextos industriales como la metalurgia, el sector salud, el tratamiento de aguas y la acuicultura (Gustavsson et al, 2024). La electrólisis, por su parte, necesita agua de alta pureza (de 9 a ~15 L/kg H<sub>2</sub>, según pérdidas reales) y la mayor parte del agua utilizada puede recuperarse en forma de agua destilada/pura tras el proceso y enfriamiento, pero la viabilidad depende de la gestión del circuito y de si se integra desalación u otros tratamientos (Amarim et al, 2021).

### Lo que un país requiere para ser exportador de hidrógeno

Además, como parte del análisis realizado al comercio y los negocios internacionales del hidrógeno, se han encontrado algunos elementos que un país que esté incursionando o vaya a propiciar la producción de este bien deba o pueda tener.

#### Figura 2

*Atributos de un país exportador de Hidrógeno*



*Nota.* Elaboración Propia, con base en datos del Ministerio de Industria, Energía y Minería de Uruguay (2021).



El potencial generador es la capacidad técnica y física del país para producir la electricidad necesaria para electrolizadores a escala exportable. Este atributo es importante porque determina el volumen máximo de hidrógeno que puede generarse regularmente y de forma competitiva, en especial porque el coste por kilogramos depende mucho del factor de capacidad (porcentaje de tiempo al año que los electrolizadores están en funcionamiento). El potencial generador se mide a través de TWh/año de recursos renovables técnicamente aprovechables, la capacidad instalable (MW) por tipo (solar, eólica, hidro, geotérmica), el factor de capacidad promedio esperado de las fuentes, así como la disponibilidad de agua y capacidad de conexión a red/transmisión.

Por otro lado, la logística representa las capacidades para transformar, transportar y exportar hidrógeno (o sus portadores:  $\text{NH}_3$ ,  $\text{LH}_2$ , LOHC, metanol, etc.) hasta los mercados finales: instalaciones portuarias, terminales, flota de transporte, oleoductos o conductos y cadenas de suministro. Este atributo es importante porque el *carrier* y la logística pueden representar una gran fracción del coste final y definir qué mercados son viables. Es imperativo mencionar que, el acceso a puertos transoceánicos es esencial. De este modo, la logística se mide a través de la distancia y tiempo a mercados objetivo, disponibilidad y capacidad de puertos y muelles, infraestructura presente, y los costes logísticos estimados por tonelada-km y pérdidas energéticas en conversión y transporte.

Por su parte, la complementariedad hace referencia a las sinergias entre la producción de hidrógeno verde y otras actividades y sectores económicos. La complementariedad reduce costes al abrir oportunidades para compartir infraestructura, abrir mercados domésticos y aumentar beneficios socioeconómicos locales. Algunos indicadores de complementariedad son la proximidad a potenciales *offtakers* (como industria, puertos, y plantas químicas), la existencia de *clusters* energéticos o industriales que puedan absorber hidrógeno o derivados, el porcentaje de generación renovable que puede ser almacenada estacionalmente, y las posibilidades de reutilizar infraestructura gasística o de red.

Asimismo, la disponibilidad de energías renovables es otro atributo esencial y que está asociado a un concepto que vale la pena analizar y es la adicionalidad. Para producir hidrógeno verde

es necesaria la presencia real y accesible de fuentes renovables (y no sólo potencial teórico) que puedan alimentar electrolizadores de forma fiable y a bajo costo. Pero, además, la electricidad consumida para producir hidrógeno verde debe corresponder a nueva generación renovable que no hubiera existido de otra forma, de manera que es adicional a la que necesita el país para descarbonizar su matriz eléctrica. De modo que es necesario para un país que desee consolidarse como exportador de hidrógeno verde el abordaje de las necesidades de almacenamiento, el perfil de operación de los electrolizadores y la estabilidad de costes a razón de las energías renovables disponibles.

## **Aspectos técnicos del comercio internacional del hidrógeno verde**

### **Clasificación al comercio del hidrógeno**

A nivel internacional, durante el intercambio comercial se considera al hidrógeno verde como un producto sustituto a los combustibles fósiles, el cual para transportarlo debe ser comprimido, licuado o bien ser transportado mediante líquidos orgánicos portadores de hidrógeno (LOHC) y amoníaco. Sobre esto, la Organización Internacional de Estandarización (ISO) creó el Comité Técnico ISO/TC 197, con el fin de desarrollar y aplicar las normas en el campo de los sistemas, dispositivos de producción, almacenaje y transporte del hidrógeno. Respecto a su clasificación para el comercio internacional, según el Sistema Armonizado, se identifica con el código 28041000, el cual corresponde a la subpartida con descripción “Hidrógeno”, sin poder diferenciar transacciones comerciales mundiales de los diferentes procesos productivos.

### **Barreras al comercio del hidrógeno verde**

Las barreras al comercio del hidrógeno verde son diversas y se manifiestan en múltiples sectores. Entre ellas destacan la falta de tecnología madura y escalable, la limitada cantidad de proveedores de equipos clave como electrolizadores, además de los largos tiempos de entrega en la cadena de suministros. Estos factores encarecen los proyectos y retrasan su desarrollo.

Anteriormente se habló acerca de los productos y servicios conexos al hidrógeno verde y sobre cómo los usos de los subproductos de oxígeno y el agua coadyuvan a la economía del hidrógeno verde, pero acá también hay barreras prácticas y de mercado que se deben solventar. En este ejemplo en particular, la valorización de oxígeno puro y del agua recuperada no es automática, sino que requiere mercados locales cercanos, inversiones en tecnologías compresión, licuefacción, criogénicas, así como sistemas de envasado, logística, certificaciones de calidad y marcos regulatorios robustos.

Por su parte, la cuestión de las regulaciones y marcos de cooperación internacionales todavía no están plenamente desarrollados, pero son necesarios para resolver brechas en la cadena de valor del hidrógeno como, por ejemplo, la falta de mediciones exactas y estandarizadas de fugas de hidrógeno, con lo que el reporte de estas incurre en imprecisiones significativas (Fulton y Restrepo, 2025).

Esto es una consideración técnica muy importante, porque la ausencia de normas globalmente consistentes en cuanto a cuestiones de seguridad complica la adopción generalizada de tecnologías de hidrógeno, creando ineficiencias en el diseño, la implementación y el cumplimiento de normas de seguridad, con lo que se propicia un clima de desconfianza adverso para el hidrógeno verde como una solución energética viable (Bhuiyan y Siddique, 2025).

En el ámbito arancelario, en 2018 el arancel promedio aplicado a productos energéticos relacionados con el hidrógeno se situaba en 6,64 %, lo cual refleja que incluso con subsidios significativos o con precios de hidrógeno a muy bajo costo, persisten obstáculos relevantes para materializar su inserción en el comercio internacional (Cátedra Hidrógeno, 2023). Además, dada la naturaleza del hidrógeno como producto, generar un código arancelario diferenciado que pueda estimular su oferta y demanda de la etiqueta verde sobre otros colores resulta desafiante, porque la molécula del hidrógeno es siempre la misma sin importar si fue producida de manera sustentable o no.

Por este motivo, la trazabilidad es indispensable para el comercio del hidrógeno verde, pues contempla los mecanismos con los que se verifica el historial del producto y, en particular, las

fuentes de energía empleadas en su producción. La consolidación del comercio internacional de hidrógeno verde debe contemplar la exploración de sistemas de certificación internacional que aseguren que el hidrógeno fue generado por un proceso 100 % renovable. Algunos ejemplos de avances en estos esfuerzos son:

- CertifHy (Europa): Es el primer sistema de garantías de origen para hidrógeno renovable y bajo en carbono en la Unión Europea. Ha definido criterios técnicos para certificar la intensidad de carbono del hidrógeno y permite a consumidores e industrias conocer con certeza el origen de la energía empleada en su producción, facilitando el comercio transfronterizo bajo estándares homogéneos (CertifHy, s. f.)
- CertHiLAC: Inspirado en la experiencia europea, este proyecto regional busca diseñar un sistema de certificación adaptado a las particularidades de los países latinoamericanos y caribeños. Su objetivo es asegurar la trazabilidad y verificación de la huella de carbono a través del establecimiento de criterios comunes de sostenibilidad, la creación de infraestructura institucional y normativa para la verificación, y la integración de los productores de la región en los mercados internacionales, mediante un lenguaje estandarizado que les permita competir en igualdad de condiciones (Hartmann et al, 2023, p. 7).

En consecuencia, la novedad de este vector energético en el comercio mundial hace que persistan numerosas incertidumbres respecto a su producción, transporte y comercialización. A medida que la demanda aumente, será necesario no solo establecer una cadena de valor geográficamente integrada a nivel nacional y global, sino también que organismos internacionales de referencia (como la Agencia Internacional de Energía o la Organización Mundial del Comercio) definan parámetros comunes de clasificación y certificación que brinden una mayor seguridad a la inversión y a los exportadores e importadores.

### **Subsidios a la producción de hidrógeno verde**

Otro elemento por tomar en cuenta para este mercado internacional del hidrógeno verde es que muchos de los países ya tienen su estrategia nacional y a su vez una serie de apoyos económicos y no económicos para estimular su producción. Uno de ellos, y quizás el más relevante, es el de subsidios.

**Tabla 2**

*Ejemplos de subsidios de exportadores e importadores de hidrógeno en el mundo*

País	Subsidio	Descripción	Fecha
Unión Europea	€992 millones.	Financiamiento de “15 proyectos de producción de hidrógeno renovable ubicados en cinco países del Espacio Económico Europeo (EEE)” (H2News, 2025, pp. 1). Con este subsidio, se proyecta la generación de 2,2 millones de toneladas de hidrógeno y la reducción de 15 millones de toneladas de emisiones de CO <sub>2</sub> en los próximos diez años.	23 de mayo, 2025
Estados Unidos	Hasta \$3 de crédito fiscal por kg de H <sub>2</sub> producido.	El Clean Hydrogen Production Tax Credit, establecido por la Ley de Reducción de la Inflación (Inflation Reduction Act) de 2022, busca financiar la producción de hidrógeno limpio con créditos de hasta \$3 por kg, dependiendo de la intensidad de emisiones del ciclo de vida del hidrógeno producido (Departamento de Energía de los Estados Unidos, s. f.).	3 de enero, 2025
China	\$41.000 millones.	Estimulación de la producción y utilización de vehículos de hidrógeno, con subsidios de hasta \$2.750 por vehículo (Martin, 2023).	29 de julio, 2024
Chile	\$2.800 millones.	Se busca fortalecer la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde lanzada en noviembre de 2020, brindando el subsidio indicado más la	19 de agosto, 2025
		creación de un marco tributario especial para productores en la Región de Magallanes y la Antártica Chilena (Ministerio de Energía de Chile, 2025).	

En el cuadro anterior, se puede observar la implementación de los subsidios para alcanzar objetivos asociados a la descarbonización de sus economías. El financiamiento otorgado puede tener un horizonte temporal de largo plazo para la consolidación de la economía del hidrógeno verde, así como efectos más inmediatos para estimular su producción y uso final. Los subsidios impulsan proyectos industriales con foco en

trazabilidad y reducción de CO<sub>2</sub>, criterios de cero emisiones netas en la cadena de movilidad o también medidas fiscales territoriales, las cuales están orientadas a crear polos exportadores como en el caso de Chile.

## Estrategias nacionales

Es importante no solo destacar sus usos a nivel económico, sino también su valor multidimensional como algunos países han planteado en sus estrategias. Se presentan 11 casos a nivel mundial con sus diversas perspectivas.

**Tabla 3**

### *Estrategias nacionales de hidrógeno de 11 países*

<b>País</b>	<b>Estrategia de desarrollo del Hidrógeno Verde</b>	<b>Principal objetivo</b>
Alemania	Estrategia Nacional de Hidrógeno (Nationale Wasserstoffstrategi).	Crea un marco de actuación coherente para la futura producción, transporte y utilización de hidrógeno, impulsando con ello las respectivas innovaciones e inversiones (Federal Ministry for Economy Affairs and Energy, 2020).
Japón	Estrategia del Hidrógeno y la Pila de Combustible (The Hydrogen and Fuel Cell Strategy).	Reducir las emisiones de CO <sub>2</sub> en un 46 % para 2030 y lograr la neutralidad en carbono para 2050 (EuroNews, 2021).
Francia	Estrategia Nacional de Hidrógeno (Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné).	Cubrir tanto el desarrollo de una oferta industrial francesa como el desarrollo de los mercados más prometedores para la demanda de hidrógeno libre de carbono, por medio del apoyo estatal (Ministerio de Economía, Finanzas, Soberanía Industrial y Digital, 2022).
Canadá	Estrategia de Hidrógeno de Canadá (Canada's Hydrogen Strategy).	Cumplir con los objetivos de cambio climático de convertir a Canadá en cero emisiones netas para 2050. Posicionar a Canadá como un productor, usuario y exportador líder mundial de hidrógeno limpio y tecnologías asociadas (Gobierno de Canadá, s.f.).
Reino Unido	Estrategia de Hidrógeno del Reino Unido (UK Hydrogen Strategy).	Establecer el enfoque para desarrollar un próspero sector de hidrógeno bajo en carbono en el Reino Unido para cumplir con nuestra mayor ambición de 10GW de capacidad de producción de hidrógeno bajo en carbono para 2030 (Department for Energy Security and Net Zero, 2022).
Estados Unidos	Plan de Desarrollo del Hidrógeno (Hydrogen Shot).	Accelerar los avances para tener soluciones de energía limpia más abundantes, asequibles y confiables dentro de la década (U.S Department of Energy, s.f.).
España	Hoja de ruta del hidrógeno renovable (Roadmap del Hidrógeno Renewable).	Impulsar el despliegue de este vector energético sostenible, que será clave para que España alcance la neutralidad climática, con un sistema eléctrico 100 % renovable, no más allá de 2050 (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s.f.).

De acuerdo con la Figura 8, los países buscan estimular el desarrollo de tecnologías asociadas a la producción de hidrógeno verde, orientando sus esfuerzos a insertarse en nichos de mercado específico, como en el caso de Panamá y Costa Rica, donde sus capacidades pueden potenciarse a partir de ventajas competitivas como la posición geográfica, la existencia de negocios conexos dentro de la cadena de valor o el desarrollo de servicios y tecnologías especializadas. En contraste, Estados Unidos, debido a su alta dependencia energética y a la presión derivada de los compromisos internacionales, centra su estrategia en incrementar la producción a gran escala, con el propósito de que el hidrógeno se convierta en un motor de sustitución del modelo energético vigente.

Por su parte, Chile apuesta por alcanzar altos volúmenes de producción de hidrógeno verde, aprovechando su localización geográfica privilegiada que le permite generar energía renovable a bajo costo y, por ende, producir hidrógeno de forma competitiva en los mercados internacionales. En el caso de Colombia, la estrategia está concentrada en estimular la producción con un enfoque interno, cuyo objetivo principal es avanzar en la descarbonización de la economía nacional más que posicionarse como un exportador. Pero Panamá, con una estrategia más consolidada, aprobó en 2020 la Agenda de Transición Energética para establecer como meta la transformación del país en un centro regional de comercialización y almacenamiento de hidrógeno verde producido en América Latina.

Finalmente, Costa Rica, como país vecino de Panamá y con abundantes recursos naturales, podría beneficiarse del aumento en la demanda y del dinamismo comercial del hidrógeno a nivel internacional. Podrían contemplarse oportunidades tanto para la exportación de hidrógeno hacia Panamá, como para la oferta de servicios especializados, tecnologías de producción y atracción de inversión extranjera directa. En suma, persiguiendo el fortalecimiento de su posición como líder regional en la transición hacia una economía baja en carbono.

## Conclusiones del estudio

### Desde la producción y el comercio internacional

- Existe una baja escala de producción de equipos necesarios para la producción de hidrógeno verde, cuyo elevado precio incide todavía de manera desfavorable en su competitividad. Es necesario incentivar la producción masiva de electrolizadores y mejorar la escalabilidad de las tecnologías en los distintos eslabones de la cadena de valor.
- La incertidumbre de la demanda, a pesar de que ya 30 países han elaborado sus estrategias, es una de las razones por las cuales el mercado del hidrógeno no ha proliferado. Entre estas razones está la carencia de regulaciones e infraestructura.
- Los costes deben disminuir para aumentar la producción de hidrógeno y las economías deben implementar la industrialización de sus usos, con el fin de propiciar el aumento de la demanda.
- A diferencia de la producción de petróleo y gas, en donde debe haber yacimientos, el hidrógeno verde puede producirse en cualquier lugar en donde haya un abastecimiento favorable de electricidad proveniente de energías renovables y agua. En este sentido, regiones como América Latina tienen potencial para avanzar en sus economías de hidrógeno. Países con alta incidencia solar y viento tienen ventajas competitivas de producción.
- El hidrógeno verde podría transformar la geoeconomía y el comercio internacional, siendo China a hoy el productor más grande del hidrógeno verde
- Su clasificación arancelaria no permite diferenciar la partida, por lo que las autoridades competentes deben buscar una diferenciación en la nomenclatura de uso mundial para referencia al hidrógeno verde, así se podría dar mayor trazabilidad y facilitación al comercio del producto. Los sistemas de certificación son una avenida con potencial.

### Desde lo político y los marcos regulatorios

- Falta una amplia creación de normas, certificaciones y política comercial definida por parte de instituciones mundiales que rigen el comercio internacional, este es el caso del Organismo Mundial del Comercio.



- Se requiere una mayor asistencia financiera y tecnológica, principalmente en países en vías de desarrollo, así como acceso a fondos para la mitigación climática, donde estos podrían estar dentro de la cadena de valor del hidrógeno verde
- Un reto importante y pendiente es el de alinear las partes a nivel interno y externo de los países, así como su marco regulatorio, reto atinente a organismos internacionales como la OMC, puesto que el mercado a hoy presenta alta distorsión a sus mercados, principalmente por los subsidios creados.
- La creación de alianzas estratégicas por parte de los gobiernos, en conjunto con la empresa privada y la academia han de ser relevantes para el fomento a la producción y el comercio del hidrógeno verde. Ya se denotan algunas de ellas en los países.

### Desde la perspectiva de las empresas

- Para pequeñas y medianas empresas a nivel mundial es una oportunidad, principalmente las del sector de maquinado de alta precisión, en servicios de ingeniería, finanzas, o diseños. En lo que respecta al almacenamiento, muchas de ellas nuevas o las ya consolidadas en el mercado de la metalmecánica pueden incursionar en este nicho.
- La integración de equipos para la producción de hidrógeno verde es relevante, dado que la innovación, la capacidad de integrarse a *clusters* energéticos o industriales y el aprovechamiento de subproductos como oxígeno y agua pura se perfilan como ventajas competitivas para quienes logren posicionarse temprano en la cadena de valor.

### Desde la partida arancelaria

- El tratamiento arancelario del hidrógeno verde se constituye como uno de los puntos más críticos de su inserción comercial. Dada la naturaleza del producto, no existe una diferenciación formal que incentive la oferta y la demanda del producto de origen renovable.
- Avanzar hacia un sistema de certificación internacional reconocido y estandarizaciones adicionales, así como explorar posibles ajustes en la nomenclatura arancelaria, serán líneas estratégicas indispensables para mejorar la competitividad del hidrógeno verde frente a sus sustitutos fósiles y altos en emisiones de carbono.

## Referencias

- Banco Interamericano de Desarrollo. (s. f.). *Hoja de Ruta del Hidrógeno*. Colombia. <https://dokumen.tips/documents/hoja-de-ruta-del-hidrogeno-colombia.html?page=1>
- Bhuiyan, M y Siddique, Z. (2025). Hydrogen as an alternative fuel: A comprehensive review of challenges and opportunities in production, storage, and transportation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 102, 1026-1044. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.01.033>
- Cátedra Hidrógeno. (2023) *Barreras técnico-económicas para utilizar hidrógeno*. Universidad Pontificia. <https://www.comillas.edu/noticias-catedra-hidrogeno/4829-barreras-tecnico-economicas-para-utilizar-hidrogeno>
- CertifHy. (s. f). *Our Mission and Vision*. <https://www.certifhy.eu/our-mission-and-vision/>
- Departamento de Energía de los Estados Unidos. (s. f.). *Financial Incentives for Hydrogen and Fuel Cell Projects*. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/financial-incentives-hydrogen-and-fuel-cell-projects>
- Departamento de Energía de los Estados Unidos. (s. f.). *Hydrogen Shot: An Introduction*. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/articles/hydrogen-shot-introduction>
- Department for Energy Security and Net Zero. (2022). *UK hydrogen strategy*. <https://www.gov.uk/government/publications/uk-hydrogen-strategy>
- Eduok, U., Faye, O. y Szpunar, J. (2022). A critical review on the current technologies for the generation, storage, and transportation of hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47, 13771-13802. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.02.112>
- Euronews. (2021). *Japón es un país pionero en la producción de 'hidrógeno verde'*. <https://es.euronews.com/2021/10/25/japon-o-un-pais-pionero-en-la-produccion-de-hidrogeno-verde>

- Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. (2020). *The National Hydrogen Strategy*. <https://www.giz.de/en/downloads/giz2020-en-national-hydrogen-strategy.pdf>
- Fulton, L. y Restrepo, L. (2025). Assessing hydrogen supply chains: An integrated review of leakage and energy efficiency studies. *International Journal of Hydrogen Energy*, 156, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.150265>
- Gustavsson, M., Särnbratt, M., Nyberg, T., Leal, M., Lysenko, O., Karlsson, L., Önnby, L., Östling, E., Lindbald, E., Elevant, M. & Lundkvist, K. (2024). *Potential use and market of Oxygen as a by-product from hydrogen production*. Energiforsk. <https://energiforsk.se/media/32358/potential-use-and-market-of-oxygen-as-a-by-product-from-hydrogen-production-energiforskrappport-2023-937.pdf>
- Hartmann, N., Pradelli, V., Márquez, J., Gischler, C., Boeck, E. & Galeano, P. (2023). *Guide for the Implementation of a Hydrogen Certification System in Latin America and the Caribbean*. <https://doi.org/10.18235/0005315>
- Gobierno de Canadá. (s. f.). *The Hydrogen Strategy*. <https://natural-resources.canada.ca/energy-sources/clean-fuels/hydrogen-strategy>
- H2News. (2025). *La Comisión Europea adjudica 992 millones de euros a 15 proyectos de hidrógeno renovable en Europa*. <https://h2news.cl/2025/05/23/la-comision-europea-adjudica-992-millones-de-euros-a-15-proyectos-de-hidrogeno-renovable-en-europay-abre-camino-para-nuevas-inversiones-nacionales-y-comunitarias/>
- Hydrogen Council. (2022). *Global Hydrogen Flows*. <https://hydrogencouncil.com/en/global-hydrogen-flows/>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). *Green hydrogen: A guide to policy making*. <https://www.irena.org/publications/2020/Nov/Green-hydrogen>
- Martin, P. (2024). *Hydrogen vehicles in China to get subsidy boost as part of new \$41bn incentive scheme*. Hydrogen Insight. <https://www.hydrogeninsight.com/transport/hydrogen-vehicles-in-china-to-get-subsidy-boost-as-part-of-new-41bn-incentive-scheme/2-1-1684234>

Ministerio de Ambiente y Energía. (2022). *Estrategia Nacional De Hidrógeno Verde De Costa Rica*. <https://minae.go.cr/energia/Estrategia-Nacional-de-H2-Verde-Costa-Rica.pdf>

Ministerio de Economía, Finanzas, Soberanía Industrial y Digital (2022). *Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France*. <https://www.economie.gouv.fr/plan-de-relance/mesures/strategie-nationale-developpement-hydrogene-decarbone>

Ministerio de Energía de Chile. (2025). *Gobierno ingresa proyecto que incorpora incentivos tributarios para impulsar el Hidrógeno Verde*. <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/gobierno-ingresa-proyecto-que-incorpora-incentivos-tributarios-para-impulsar-el-hidrogeno-verde>

Ministerio de Energía. (2020). *Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, Chile. Gobierno de Chile*. [https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia\\_nacional\\_de\\_hidrogeno\\_verde\\_-\\_chile.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf)

Ministerio de Industria, Energía y Minería de Uruguay. (2021). *¿Qué es el hidrógeno verde y por qué Uruguay?* <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/politicas-y-gestion/es-hidrogeno-verde-uruguay>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s. f.). *Hoja de Ruta del Hidrógeno. España*. Vicepresidencia Tercera del Gobierno. <https://www.miteco.gob.es/en/ministerio/planes-estrategias/hidrogeno/default.aspx>

Observatory of Economic Complexity (OEC). (2025). *Hydrogen (HS: 2804) Product Trade, Exporters and Importers | The Observatory of Economic Complexity*. <https://oec.world/en/profile/hs/hydrogen>

Sánchez, P. (2023). *A consulta pública la Estrategia nacional de hidrógeno verde de Panamá*. PV Magazine. <https://www.pv-magazine-latam.com/2023/05/02/a-consulta-publica-la-estrategia-nacional-de-hidrogeno-verde-de-panama/>

Simoes, S., Catarina, J., Picado, A., Lopes, T., Di Bernardino, S., Amorin, F., Gírio, F., Rangel, C. & Ponce, T. (2021). Water availability and water usage solutions for electrolysis in hydrogen production. *Journal of Cleaner Production*, 315(5). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128124>