



Mesa de Sustentabilidad y Certificación

Recomendaciones sugeridas para los mecanismos de certificación y sustentabilidad en el despliegue del hidrógeno verde y derivados en América Latina y el Caribe





Copyright: Gettyimages, Libre de derechos

Mesa de Sustentabilidad y Certificación

Recomendaciones sugeridas para los mecanismos de certificación y sustentabilidad en el despliegue del hidrógeno verde y derivados en América Latina y el Caribe

En el marco de los objetivos de articulación de la plataforma H2LAC para el desarrollo del hidrógeno verde y derivados en América Latina y el Caribe, en enero de 2023 se conformaron distintos grupos de trabajo que convocaron a los socios de la plataforma, provenientes de asociaciones privadas, del sector público y de instituciones de conocimiento en la región. En estas instancias se abordaron los principales desafíos en el despliegue de la industria del H2V. Así, la Mesa de Sustentabilidad y Certificación fue la encargada de abordar los retos que presentan los procesos de certificación en el despliegue de la nueva industria.

En esta instancia, se propuso caracterizar el panorama de cada país y las acciones desarrolladas en cada uno, para relevar temas comunes y destacar diferencias en materia de desarrollo en la producción de hidrógeno verde, identificar posibles sinergias entre los países de la región, la discusión sobre temas comunes y la elucidación de las posibilidades de cooperación regional y de trabajo conjunto considerando visiones similares que mejoren las condiciones competitivas de los países de la región en los mercados internacionales de hidrógeno verde y de trabajo conjunto.

Así, representantes de asociaciones, instituciones públicas, privadas y académicas elaboraron desde sus países respectivos diagnósticos y recomendaciones para construir mecanismos capaces de certificar la sustentabilidad en iniciativas de hidrógeno verde y sus derivados.

i. Introducción

Es necesario tener en cuenta que, para el desarrollo de un futuro mercado competitivo en la región, los distintos países de América Latina y el Caribe deben prestar especial atención a aquellos aspectos que *a priori* podrían exhibir mayor vulnerabilidad. Entre ellos se presenta como uno de los más importantes el aspecto ambiental. Esto, por la necesidad de ser conscientes de la escasez del recurso hídrico en zonas con potencial para producir hidrógeno verde, de la ubicación de la producción en zonas de interés por su diversidad ecosistémica, entre otros. En esta línea, el aspecto social surge también como uno de los más relevantes, al ser imperativo considerar la participación de las comunidades locales e indígenas en las áreas de potencial desarrollo y propender a que los beneficios resultantes de esta nueva industria sean capaces de llegar a ellas. Finalmente, los aspectos técnicos para generar un sistema de certificación eficiente son fundamentales para lograr identificar una trazabilidad verdadera.

Desde la visión de instituciones internacionales, como la Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL), en este contexto se plantea el deber del Estado como ente encargado de generar las condiciones necesarias para acceder a la información requerida sobre la generación de energía involucrada en la producción de hidrógeno de origen renovable.

Abordar estos aspectos es fundamental para referirse a una producción verdaderamente sostenible del hidrógeno, en el marco de una transición energética justa en América Latina y el Caribe.

ii. Recomendaciones para un modelo de certificación en la industria del hidrógeno verde y derivados

A continuación, se enuncian las principales recomendaciones elaboradas durante 2023 en el ámbito de la mesa de trabajo en materia de una certificación sustentable y sostenible. Estas se dividen en: aspectos técnicos; aspectos sociales; y aspectos ambientales.

I. Recomendaciones sobre aspectos técnicos:

Se entiende la definición de aspectos técnicos para un mecanismo de certificación como aquellas capacidades industriales y tecnológicas en proveedores y servicios a fortalecer y/o generar para hacer posible el desarrollo del hidrógeno verde y de sus derivados.

1. El suministro eléctrico de PtX siempre debe ser renovable y adicional.
2. Se debe revisar el papel de la energía hidroeléctrica viendo posibilidades de uso de infraestructura existente con nuevas figuras que generen adicionalidad (repotenciaciones, almacenamientos excedentes, optimización).
3. Dada las complejidades sociales en América Latina y el Caribe, es conveniente revisar si son factibles las correlaciones, ya que es preferible el transporte de electrones renovables para comunidades locales por los impactos directos e indirectos del PtX.
4. Es necesario priorizar fuentes de carbono que garanticen un ciclo cerrado de CO₂, fomentando el uso de fuentes biogénicas.
5. Se recomienda desincentivar, limitar y eliminar en forma progresiva el uso de fuentes puntuales industriales de CO₂.
6. La certificación de garantía de origen debe contribuir a que los incentivos estatales se ajusten a criterios de sostenibilidad.
7. La certificación de garantía de origen con enfoque socioambiental y con los más altos estándares internacionales puede contribuir a que ALC como bloque desarrolle un mercado regional armonizado.
8. Se considera pertinente realizar una unificación frente a la metodología de cálculo de GEI, con el fin de hacer comparables los resultados obtenidos en todos los países que se acojan a la certificación regional. Para ello, es recomendable tener en cuenta algunas normas aplicables para estos fines, como son la ISO14067, ISO14044 y protocolo GHG o PAS 2050, entre otras, que pueden ser tenidas en cuenta para efectos de definir una metodología de GEI.
9. Se debe analizar la aplicabilidad de los criterios de adicionalidad, correlación temporal o geográfica, de acuerdo con las particularidades de los países.

10. Desarrollar una robusta inteligencia de mercado para identificar las demandas de los mercados de destino y la naturaleza de los requerimientos que en ellos se formulen, en particular en lo que concierne a los esquemas de certificación y a los criterios para evaluar la sostenibilidad de la cadena de valor.

II. Recomendaciones sobre aspectos sociales:

1. Fomentar la participación de partes interesadas en consultas abiertas relacionadas a los lineamientos para el avance del hidrógeno. El desarrollo planeado de esta industria implica involucrar a los actores y sectores de la economía nacional, entre ellos: el Estado, los actores productivos privados, la banca comercial, la banca de desarrollo, el sistema científico-tecnológico, las minorías y comunidades indígenas, entre otros.
2. Generar y fomentar la participación de las comunidades en los proyectos desde el principio.
3. Establecer mecanismos de compensación en forma de beneficios para las comunidades involucradas.
4. En el caso de comunidades indígenas, hacer especial énfasis en el punto anterior.
5. Crear y promover el acceso a toda la información relevante (vínculo específico con las disposiciones del Acuerdo de Escazú).
6. Impulsar y fomentar el desarrollo estratégico de comunidades energéticas, las cuales son asociaciones que generan, comercializan y/o usan eficientemente la energía a través del uso de energías renovables y contribuyen al desarrollo de la generación distribuida, a reducir la dependencia energética y cumplir los objetivos energéticos y ambientales fijados para reducir el impacto ambiental (Ministerio de Minas y Energía de Colombia 2023).
7. Se debe buscar garantizar la simetría en la información, en especial con comunidades especialmente protegidas.
8. Definir y establecer lineamientos de seguridad para los trabajadores en el sector del hidrógeno verde. Desarrollar planes y normas en vigor de procedimientos probados para el control y la minimización de los riesgos inherentes al conjunto de las actividades productivas y logísticas a llevar a cabo. Un ejemplo de norma es la NFPA 2.
9. Se recomienda fomentar el desarrollo de cadenas de valor de proveedores de bienes y servicios locales/provinciales, pudiendo impulsar el efecto económico multiplicador del desarrollo del hidrógeno verde y de sus derivados en comunidades locales y, en el ámbito subregional.
10. Desarrollar capacidades científicas y técnicas nacionales y locales, para promover becas para formar nuevos profesionales en carreras técnicas, tecnológicas, universitarias y terciarias afines al sector del H₂V. Desde los beneficios en pro de un desarrollo económico local, es importante el poder integrar la producción a las redes locales, aprovechando su potencial (International Power-to-X Hub Colombia 2023). Asimismo, se propone

establecer un 'Plan de Manejo Comunitario', tomando en consideración los modelos de *hubs* de Estados Unidos para proyectos de escala industrial. En línea con una transición energética justa se plantea:

- i. Generar complejidad económica (valor) al producto PtX para impulsar desarrollo económico local.
- ii. Priorizar la producción de fertilizantes verdes en la descarbonización del sector agrícola a nivel regional, en línea con los objetivos de soberanía alimentaria, reindustrialización verde y transición justa.

III. Recomendaciones sobre aspectos ambientales:

Por aspectos ambientales se entiende todo aquello vinculado a los ecosistemas, la naturaleza y los recursos naturales. En relación con los procesos de certificación de iniciativas sobre hidrógeno verde y sus derivados, el recurso hídrico se considera con especial énfasis dentro de las recomendaciones y en el marco del despliegue de esta nueva industria. Así, se propone:

1. Planificar y gestionar la demanda de agua como insumo para los grandes proyectos de H2V y el tratamiento de sus efluentes.
2. El uso de recursos no debe agravar el riesgo hídrico regional ni el estrés hídrico. Sobre el uso de agua desalinizada, se deben establecer estándares estrictos sobre la gestión de la salmuera y el suministro de electricidad para las plantas desaladoras. Donde hay comunidades carentes de agua, el Estado debe tener un rol más activo en la prestación del servicio público de provisión de la infraestructura de acueductos y alcantarillado con principios de economía circular, en donde se puedan buscar las alianzas pública-privadas para la desalinización cuando se requiera (International Power-to-X Hub Colombia 2023).
3. La implementación de impuesto al carbono federal/regional/municipal, así como el desarrollo del sistema de comercio de emisiones, ya que lograría que los hidrocarburos fueran más costosos y el desarrollo del hidrógeno verde sea más viable (en paralelo a la regulación y los incentivos fiscales).
4. Es prudente también realizar una revisión sobre la sostenibilidad en la producción de hidrógeno verde, desde el desarrollo y hasta el decomisionamiento de las centrales eléctricas y de los *hubs* de hidrógeno verde. De la misma forma, promover el análisis de la desalinización y uso eficiente del agua.

Para la instalación de proyectos, involucrando el impacto sobre el suelo y un correcto uso de la infraestructura que resguarde al personal y al medio donde se inserta, se establecen las siguientes recomendaciones:

- i. Promover el desarrollo de estándares de calidad de materiales de contenedores/ recipientes y tuberías de alta presión de H2V.

- ii. Por ello, la producción, el transporte y el almacenamiento de PtX deben respetar estrictos estándares de seguridad y anticontaminación basados en la evaluación de impacto ambiental. En la misma línea, las emisiones vinculadas al transporte y el almacenamiento deben incluirse de forma progresiva al evaluar la huella de carbono de PtX. (International Power-to-X Hub Colombia 2023).
- iii. En cuanto a la instalación del proyecto, en una primera instancia se debe evaluar y mitigar el impacto en cambio en el uso y la cobertura del suelo por proyectos de energía renovable para producción de H2V de grandes extensiones de superficie.
- iv. Es necesario que el despliegue evite áreas con altas reservas de carbono o potencial de biodiversidad. Excepto, cuando sean soluciones a pequeña escala para comunidades locales que lo requieran. Se debe reducir la demanda de materias primas escasas a través de estrategias de prevención, remanufactura, extensión de la vida útil y reciclaje. Dentro de todo el proceso de instalación y producción se deben fomentar políticas estrictas para la gestión de los residuos y plantear políticas para que se generen industrias locales de economía circular con los más altos estándares. (International Power-to-X Hub Colombia 2023).

iii. Anexo

Panorama general sobre el desarrollo del hidrógeno en los países que participaron en la mesa de Sustentabilidad y Certificación en 2023

Tabla 1. Panorama general del avance del hidrógeno verde en los países que participaron de la mesa de Sustentabilidad y Certificación.

Contexto país	Argentina	Bolivia	Chile	Colombia
Hoja de Ruta/ Estrategia de Hidrógeno	Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno en Argentina, 2023	En desarrollo	Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde de Chile, 2020	Hoja de Ruta para el Hidrógeno en Colombia, 2021
Objetivos principales del documento	<p>Establece dos pilares para el despliegue de la economía del hidrógeno:</p> <ul style="list-style-type: none"> El mercado interno, fundamental para generar condiciones iniciales, evaluar prototipos y desarrollar tecnología nacional. Mercados de exportación, orientados a la producción en gran escala altamente competitiva, sacando de ventaja de la calidad de los recursos naturales y las capacidades construidas. <p>La Estrategia proyecta al 2050:</p> <ul style="list-style-type: none"> Producción de 5 millones de hidrógeno de bajas emisiones al año (20% para el mercado interno/80% para exportación). 30 GW de electrólisis y 55 GW de energías renovables. 5 hubs de producción. 2 a 5 puertos de exportación. Desarrollo de proveedores locales y del complejo científico tecnológico. 		<ul style="list-style-type: none"> Producir el hidrógeno verde con menor costo a nivel internacional para 2030. Estar dentro de los 3 países exportadores para 2040. Contar con 5 GW de capacidad de electrólisis en desarrollo de aquí a 2025. 	<p>Establece 4 ejes de actuación para desarrollar el mercado de hidrógeno de bajas emisiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> Habilitadores jurídicos y regulatorios. Instrumentos de desarrollo de mercado Apoyo a la infraestructura Impulso al desarrollo tecnológico e industrial <p>La hoja de ruta propone unas metas para 2030 que se resumen en:</p> <ul style="list-style-type: none"> Producción: se espera a 2030 desarrollar entre 1 y 3 GW de electrólisis y alcanzar un hidrógeno verde competitivo, logrando costos de 1,7 USD/kg cuando se produzca en las zonas de recurso renovable óptimo. Demanda: transporte e industria. Transversales: inversión, creación de empleos y disminución de emisiones.

Matriz eléctrica	<p>26,44% renovables 66,1% térmica no renovable 7,46% nuclear</p> <p>Ref. OLADE. Panorama Energético de América Latina y El Caribe, 2021. Noviembre 2022.</p>	<p>38,3% renovables 61,7% térmica no renovable</p> <p>Ref. OLADE. Panorama Energético de América Latina y El Caribe, 2021. Noviembre 2022.</p>	<p>45,99% renovables 54,01% térmica no renovable</p> <p>Ref. OLADE. Panorama Energético de América Latina y El Caribe, 2021. Noviembre 2022.</p>	<p>83,42% renovables 16,58% térmica no renovable</p> <p>Ref. OLADE. Panorama Energético de América Latina y El Caribe, 2021. Noviembre 2022.</p>
-------------------------	---	--	--	--

Contexto país	Costa Rica	Honduras	México
Hoja de Ruta/ Estrategia de Hidrógeno	<p>Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde de Costa Rica, 2022-2023.</p>	<p>Honduras ha iniciado la construcción de Hoja de Ruta para el Hidrógeno considerando el apoyo de la Universidad Politécnica de Ingeniería, UPI y la Asociación Hondureña de Hidrógeno, AH2.</p>	<p>Se tiene una Hoja de Ruta privada realizada por la Asociación Mexicana de Hidrógeno Verde, no obstante, no es vinculante ya que no ha sido emitida por el Gobierno mexicano.</p>
Objetivos principales del documento	<p>Eje 1: Descarbonización del sector del transporte y la industria.</p> <p>Eje 2: Desarrollo de un hub tecnológico y de innovación en hidrógeno verde.</p> <p>Eje 3: Exportación de hidrógeno verde.</p> <p>Transversal: Condiciones habilitantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Normativa y Reglamentación • Incentivos • Tramitología <p>Nota: regulación y procedimientos a través del Comité Técnico de Hidrógeno.</p>	<p>Facilitar la introducción de usos de hidrógeno verde de manera técnica, económica y socialmente sostenible.</p> <p>Aproximarse al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.</p> <p>Convertir una matriz energética nacional de carácter renovable.</p> <p>Establecer estándares y normas técnicas para la producción y comercialización del hidrógeno en los diferentes sectores productivos y su exportación.</p> <p>Favorecer la investigación científica en el hidrógeno y energía nuevas</p>	<p>Toda vez la actual Hoja de Ruta no ha sido validada por la autoridad gubernamental, la AMH2 concluyó que los principales objetivos son:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Crear una estrategia Nacional. 2. Emitir regulación específica y modificar la existente para la entrada de Hidrógeno verde. 3. Asesorar al sector financiero sobre riesgos y oportunidades. 4. Estudios técnicos de competitividad de H2 Verde a nivel regional. Lo anterior con la finalidad de lograr la producción y generación de hidrógeno verde en México.

Matriz eléctrica	98,72% renovables 1,28% térmica no renovable <i>Datos obtenidos del informe anual 2022 - DOCSE / ICE.</i>	64,2 % Renovables 35,8% Combustibles fósiles (no renovable) <i>Ref. OLADE. Panorama Energético de América Latina y El Caribe, 2021. Noviembre 2022.</i>	25,94% renovables 70,53% no renovables 3,53% nuclear <i>Ref. OLADE. Panorama Energético de América Latina y El Caribe, 2021. Noviembre 2022.</i>
-------------------------	---	---	---

Fuentes: OLADE. Panorama Energético de América Latina y El Caribe, 202. Noviembre 2022 y Generación y demanda. Informe anual, Instituto Costarricense de Electricidad, 2022.

Panorama particular sobre el desarrollo del hidrógeno en Argentina, Colombia y México (Fundación Torcuato Di Tella, Asociación Hidrógeno Colombia y Asociación Mexicana de Hidrógeno)

I. Argentina

Argentina ha sido un país pionero en la región en materia de desarrollo temprano del hidrógeno con la promulgación de su Ley Nacional de Hidrógeno (Ley N° 26.123) en el año 2006, la cual declara de interés nacional el desarrollo de la tecnología, la producción, el uso y aplicaciones del hidrógeno como combustible y vector de energía. Adicionalmente, la Ley crea el Fondo Nacional de Fomento del Hidrógeno (FONHIDRO) y un Régimen Fiscal Promocional. No obstante, dicha Ley no establece un trato diferencial para el hidrógeno renovable, respecto de, por ejemplo, el hidrógeno gris. En otras iniciativas puede mencionarse, además, las siguientes:

- **Proyecto de Ley de H2V:** asimismo, en mayo de 2023, la Secretaría de Energía de la Argentina confirmó que se encuentra en debate un proyecto que contempla el desarrollo del hidrógeno verde, al rosa y al azul, que incluye estabilidad fiscal por 30 años, beneficios fiscales, regula la certificación de origen, y considera la integración y el desarrollo de las cadenas locales de valor.
- **Plan Estratégico de H2V de la Provincia de Rio Negro** publicado en 2022.
- La **Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno**, publicada hacia fines de 2023, se propone alcanzar una capacidad de producción de hidrógeno de bajas emisiones de 5.000 kton/año al 2050 (20% mercado doméstico, 80% exportación). Para ello, será necesario instalar al menos 30 GW de capacidad de electrólisis y 55 GW de generación eléctrica renovable al 2050. El monto esperado de inversiones compatible con la producción esperada se ubica en torno a los 90.000 MUSD al 2050.
- **Argentina participa como miembro plenario del Comité Técnico ISO TC 197 sobre Tecnologías de Hidrógeno junto a otros 24 países**, con el propósito de armonizar los métodos de ensayo y los criterios de calidad

que se requieren para el uso del hidrógeno en todas sus formas, así como también asegurar la protección del medio ambiente de los potenciales daños inaceptables vinculados a producir y usar el hidrógeno. La norma IRAM ISO 14687 refiere a las especificaciones del hidrógeno y su calidad como tal. La norma IRAM ISO 15916 menciona las consideraciones básicas de seguridad del hidrógeno.

- **La Secretaría de Asuntos Estratégicos lidera el proceso de Evaluación Ambiental Estratégica (EAE)**, una herramienta clave para brindar un marco de sostenibilidad al despliegue territorial de la economía del hidrógeno (Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno de Argentina 2023). Su implementación implica realizar un ejercicio de planificación participativa y federal, que contempla los siguientes aspectos:
 - La recopilación y sistematización de información relativa a las variables socioambientales potencialmente afectadas por la producción de hidrógeno de bajas emisiones.
 - La implementación de una metodología de comunicación y consulta con actores del territorio.
 - La evaluación de los resultados obtenidos en un análisis multicriterio que pondera las oportunidades y los riesgos del despliegue territorial de la actividad.
 - La elaboración de un plan de seguimiento para futuras iteraciones de la EAE, que contemple la mejora de la información disponible y de cuenta del avance de proyectos y/o políticas implementadas en relación con la economía del hidrógeno.

Brechas en el desarrollo de la industria del hidrógeno verde:

En un análisis inicial respecto de los posibles cuellos de botella en el desarrollo acelerado de la cadena de valor del hidrógeno verde pueden mencionarse, entre otros, los siguientes:

- Inmadurez de las tecnologías de electrólisis.
- Altos costos de inversión de desarrollo y escasez relativa de financiamiento.
- Altos costos de acceso al capital (WACC) en Argentina.
- Brecha de costos de producción versus hidrógeno gris/fósiles.
- Riesgos de liquidez de proyectos.
- Alta dependencia de insumos y servicios importados.
- Altos costos de transporte de H₂V (las principales regiones de demanda potencial de hidrógeno al 2030 y 2050 se encuentran a distancias superiores a 10.000 kilómetros de Argentina, como por ejemplo Europa y Estados Unidos (12 a 15 mil km), India (16 mil km), Japón, Corea y China (cerca de 20 mil km).
- Infraestructura portuaria apta para la exportación de H₂V y derivados en gran escala.
- Demanda de H₂V no intensamente desarrollada en el sector de la industria y residencial.

- Demanda de H2V no desarrollada en el sector transporte aéreo y marítimo.
- Escasez de personal operativo especializado / calificado y expertos en el sector H2V.

Avances en el desarrollo de la industria del hidrógeno verde:

- El primer proyecto de hidrógeno 100% renovable de la región de América Latina fue la planta piloto de Hychico en Argentina, inaugurada en 2008, con una capacidad de cerca de 10 MW de electrólisis basada en energía eólica.
- La firma minera australiana Fortescue, ha anunciado proyectos de producción de hidrógeno verde en Argentina y en Brasil en los últimos años. A fines de 2021, realizó el anuncio de una inversión de US\$ 8,4 mil millones en un proyecto para desarrollar hidrógeno verde en la provincia de Rio Negro, Argentina, que podría generar unos 15 mil puestos de trabajo. El proyecto ha avanzado con el estudio de impacto socioambiental, mientras aguarda por una nueva regulación local.
- En 2020 YPF Tecnología S.A (Y-TEC) lanzó el Consorcio para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno (H2ar), como un espacio de trabajo colaborativo entre empresas que permite innovar y promover el desarrollo de la economía del hidrógeno en el país. Cuenta con más de 30 compañías miembro, y se trabaja en 8 células de trabajo transversales a la cadena de valor del hidrógeno, desde la producción hasta la aplicación.
- El Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) tiene un programa de trabajo para la elaboración de una hoja de ruta para la certificación de origen del hidrógeno verde y de bajas emisiones.
- Y-TEC y CONICET se encuentran colaborando desde inicios de 2023 en un Proyecto Estratégico para la Transición Energética, titulado “Desarrollo nacional de un electrolizador de alta potencia para la producción de hidrógeno verde. Un aporte a la descarbonización de la industria siderúrgica” con financiamiento de FONARSEC - Agencia de I+D+i.
- En septiembre de 2023, las empresas YPF e YPF Luz firmaron un acuerdo de entendimiento (MoU) con la compañía coreana productora de acero Posco, con la intención de explorar el desarrollo de energías renovables e inversiones en el país que incluirían una planta de producción de hidrógeno verde con potencial de exportación.

Ejes prioritarios

En base al caso expuesto en Argentina, se logran identificar 6 ejes prioritarios técnicos (Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno de Argentina 2023):

1. Generar facilidades en torno a los polos de producción.
2. Adecuar corredores para la conexión entre lugares de producción y adoptantes.
3. Acondicionar infraestructura portuaria para la exportación.
4. Construir sitios apropiados para el almacenamiento y el despacho de hidrógeno y de sus derivados.

5. Definir espacios de almacenamiento geológico y construir infraestructura para el transporte de CO2.
6. Planificar redes de transporte para la energía considerando la nueva dimensión incorporado con el desarrollo del hidrogeno. En particular en materia de infraestructura portuaria. El documento de referencia destaca que existen necesidades estratégicas para renovar y mejorar al menos 9 puertos en 5 provincias del país, incluyendo el despliegue de nuevas capacidades, eventualmente dragados y ampliaciones, entre otras obras a considerar.

De acuerdo con la Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno en Argentina (2023), en el país se identifican las capacidades existentes y por desarrollar en los diferentes aspectos de la cadena de valor, correspondiente al vector energético que estamos analizando como se puede apreciar en la tabla 1:

Tabla 2. Resumen de las capacidades técnicas existentes y por desarrollar en Argentina.

Capacidades	Equipamiento para energías renovables	Electrolizadores	Recipientes y compresores	Servicios tecnológicos
Existentes	<ul style="list-style-type: none"> • Fundición y mecanizado de piezas • Transformadores y componentes • Sistemas de almacenaje, construcción de torres 	<ul style="list-style-type: none"> • Proyectos para el desarrollo de prototipos de electrolizadores alcalinos • Empresas con cercanía tecnológica con la fabricación de electrolizadores 	<ul style="list-style-type: none"> • Proveedores de gas comprimido • Proveedores para hidrógeno de alta presión 	Servicios tecnológicos a la industria de oil & gas, petroquímica y otras
Fortalecer y/o Generar	<ul style="list-style-type: none"> • Góndolas y paneles • Construcción de torres y palas • Equipos para conversión, transformación y control de energía 	<ul style="list-style-type: none"> • Partes y piezas de electrolizadores y para procesos complementarios en plantas de electrólisis • Equipos para electrónica de potencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptación de equipos actuales para almacenamiento y transporte de H2 	<ul style="list-style-type: none"> • Operación de planta • Mantenimiento predictivo y preventivo • Logística • Trazabilidad
Etapas de CdV relacionadas	<ul style="list-style-type: none"> • Energía renovable 	<ul style="list-style-type: none"> • Producción H2 	<ul style="list-style-type: none"> • Conversión • Transporte y Reconversión • Usos finales 	<ul style="list-style-type: none"> • Producción H2 • Conversión y reconversión • Usos finales

Fuente: Adaptado de la Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno de Argentina 2023.

II. Colombia

Estado del ecosistema del hidrógeno en Colombia

La Hoja de Ruta del Hidrógeno de Colombia se dio a conocer en septiembre de 2021 y está estructurada en 4 grandes bloques de análisis.

1. **Producción:** Se ha determinado el costo del hidrógeno y sus derivados en todo el país, evaluando el potencial de los recursos renovables, así como las reservas y los costos prospectivos del gas natural y el carbón. Los análisis consideraron los incentivos tributarios de la Ley 2099 y consideraron factores de capacidad media y máxima, dividiendo al país en 8 regiones.
2. **Demanda, emisiones y exportaciones:** Se evaluaron los usos potenciales en los distintos sectores, su impacto en la matriz energética, y la reducción de emisiones asociadas en 3 escenarios: Plan Energético Nacional (PEN), AIE y escenario según los resultados de producción entregables. Luego de analizar la demanda interna, se determinó el potencial exportador identificando los principales mercados importadores y comparando los costos del hidrógeno verde de La Guajira frente al de otros países.
3. **Regulación y lagunas:** Se analizó la legislación vigente (ley de transición energética, resolución de combustibles cero y bajas emisiones, entre otros), un benchmark regulatorio internacional, y se realizó un análisis de brechas con relevancia para el hidrógeno, así como una Hoja de Ruta Legal identificando las responsabilidades de las diferentes entidades públicas del país.
4. **Plan de socialización:** La Hoja de Ruta es el resultado de un trabajo colaborativo entre múltiples actores públicos y privados. Al inicio del análisis, se lanzó una consulta preliminar en la que participaron 46 entidades nacionales e internacionales que aportaron su visión sobre las oportunidades de hidrógeno en el país. Durante el análisis, se realizaron 26 entrevistas a entidades que ya habían mostrado interés en el desarrollo de proyectos e iniciativas de hidrógeno. Además, se realizaron 9 talleres virtuales en los que se compartieron los resultados de la Hoja de Ruta.
5. **Hidrógeno verde:** En cuanto al hidrógeno verde, Colombia tiene un alto potencial de renovables. Los mejores factores de capacidad se encuentran en la región de la Guajira, con un factor solar medio y máximo del 19% y el 21%, respectivamente. En cuanto a la energía eólica, existe un factor medio y máximo del 46% y 63%, respectivamente. Estos factores permiten obtener:
 - Coste actual del hidrógeno verde entre 2,1 y 2,8 USD/kg.
 - Para 2030, los costes se reducirán entre 1,7 y 2,2 USD/kg.
 - Para 2050 alcanzarán valores de entre 1,1 y 1,5 USD/kg.
 - El límite inferior corresponde a las zonas con valores mínimos y el superior a los valores medios con energía eólica.

Además del elevado recurso, la Guajira tiene un alto potencial renovable de al menos 25 GW de eólica terrestre y 45 GW de solar, reuniendo así los elementos necesarios para convertirse en un polo mundial de producción de hidrógeno verde.

1. País orientado a la exportación

El alto potencial renovable de Colombia y su acceso a las rutas comerciales marítimas debido a su posición con acceso a 2 océanos, lo convierten en un país con vocación exportadora. El hidrógeno verde producido en La Guajira puede destinarse a la exportación a:

- Asia (Japón, Corea y China).
- Europa, sean tenido avances con Alemania y los Países Bajos.

- Canal de Panamá, dado el peso previsto del amoníaco en el sector del transporte marítimo y la futura demanda de hidrógeno para el repostaje de buques.

2. Objetivos, medidas y ambición nacional

Se han fijado objetivos nacionales ambiciosos para 2030, cuya consecución permitirá desarrollar las capacidades técnicas e industriales necesarias para aprovechar todo el potencial futuro del hidrógeno. Para garantizar la consecución de los objetivos y el correcto desarrollo del hidrógeno, se ha elaborado un plan de acción dividido en 4 ejes:

- **Facilitadores legales y regulatorios;** algunas de las principales acciones a llevar a cabo son: continuar con la regulación del mercado del hidrógeno y definición de los roles de las entidades, desarrollar el sistema de certificación de emisiones de hidrógeno, revisar y actualizar la normativa técnica de producción, almacenamiento y uso de este combustible.
- **Instrumentos de desarrollo del mercado,** algunas de las principales acciones a realizar son: análisis de nuevos incentivos para el hidrógeno, estructuración de mecanismos de financiación para proyectos de hidrógeno, desarrollo de programas de promoción de la demanda de este combustible limpio.
- **Apoyo al despliegue de infraestructuras,** algunas de las principales acciones a realizar son: estudiar la disponibilidad de otros recursos naturales para la producción de hidrógeno (ej. Biomasa), evaluar el potencial de CCUS en el país, análisis de mezclas de gas natural con hidrógeno y evaluación de las necesidades de infraestructuras de transporte.
- **Promoción del desarrollo tecnológico e industrial,** algunas de las principales acciones a realizar son: Regulación e implementación de Sandbox para el sector energético para promover el desarrollo de proyectos piloto, estructuración de programas de I+D+i en tecnologías H2 para la industria y la academia.

El plan incluye 28 líneas de trabajo y 57 medidas concretas como la simplificación de trámites administrativos o el desarrollo de un sistema de garantía de origen.

3. Normativa desplegada

Ley 1715 - 2014. Energías Renovables No Convencionales (FNCR): la Ley 1715 integra las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. Establece beneficios tributarios e incentivos a la inversión para proyectos de fuentes no convencionales de energía:

- a) Deducción de renta, en un plazo máximo de 15 años, sobre el 50% de la inversión total realizada.
- b) Exención del IVA en la adquisición de equipos, elementos, maquinaria o servicios para la generación de energías renovables no convencionales y la gestión eficiente de la energía.

- c) Depreciación acelerada para maquinaria, equipo y obra civil necesarios para la reinversión, inversión y operación de proyectos de generación de energías no convencionales. La tasa de depreciación global anual no puede superar el umbral del 33,33%.
- d) Extensión de derechos arancelarios a la importación de maquinarias, equipos, materiales e insumos destinados a actividades de inversión o reinversión en proyectos con fuentes no convencionales de energía.

Decreto 1476 – 2022: Decreto para la Adopción de Medidas Destinadas a Promover la Innovación, Investigación, Producción, Almacenamiento, Distribución y Uso del Hidrógeno:

- Define el hidrógeno de bajas emisiones y la certificación de origen y almacenamiento.
- Solicita al Ministerio de Minas y Energía el diseño de un sandbox regulatorio del sector energético para promover desarrollos piloto de combustibles limpios.
- Faculta al Ministerio de Minas y Energía para implementar un Sistema de Información que involucre a los agentes del hidrógeno y la cadena de valor.
- Establece un esfuerzo de responsabilidad compartida para consolidar el mercado del hidrógeno:
 - El Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) debe definir el umbral máximo de emisiones para considerar el hidrógeno como un combustible de bajo consumo.
 - El Ministerio de Minas debe adoptar un mecanismo público para certificar el origen del hidrógeno producido en el país, garantizando la unicidad y trazabilidad de los insumos utilizados para la producción y su intensidad de emisión asociada.
 - El Ministerio de Transporte reglamentará las condiciones técnicas u operativas para la prestación del servicio y expedirá los requisitos, procedimientos, condiciones e incentivos para el uso del hidrógeno en el sector.
 - El Ministerio de Ciencia establecerá programas de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) para promover el desarrollo de capacidades científicas, técnicas y tecnológicas para la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación relacionadas con las tecnologías de la cadena de valor de la industria del hidrógeno.

Proyecto de ley 275 de 2024- Economía del hidrógeno: A través de este proyecto de ley se busca ampliar el rango de beneficios tributarios para promover el desarrollo y uso de los derivados del hidrógeno y los combustibles sintéticos. Se dan mandatos para el uso del hidrógeno en movilidad, producción de fertilizantes y se crea una estructura de

seguimiento para el desarrollo del mercado del hidrógeno en el país. Este proyecto de ley complementa la normatividad existente en el país y continúa motivando una inversión en tecnologías limpias que traiga al país reindustrialización, empleo y desarrollo sostenible. Además, este proyecto:

- Establece principios para desarrollar el ecosistema del hidrógeno y sus derivados que complementan los establecidos en la hoja de ruta.
- Promueve los derivados del hidrógeno y los e-fuels, homologando los beneficios tributarios a estos productos para promover su producción en el país.
- Crea una mesa de trabajo entre varios ministerios, agencias y entidades internacionales para desarrollar el ecosistema de manera coordinada.
- Se propone establecer un sandbox regulatorio para los proyectos de hidrógeno.

Desarrollo de proyectos

Colombia en este momento cuenta con 8 proyectos piloto desarrollados en distintas zonas del país, estos proyectos en su mayoría se enfocan en producir y usar hidrógeno para movilidad sostenible. Sin embargo, el país también cuenta con proyectos piloto de producción de hidrógeno verde para refinerías, producción de gas natural sintético, producción de hidrógeno a través de aguas residuales y desarrollo de tecnología para uso del hidrógeno en el sector residencial.

En términos de proyectos a gran escala, se ha tenido un buen avance. El país cuenta con 28 proyectos en desarrollo para distintos usos de este vector energético y en distintas zonas del país, no obstante, la mayoría de estos se encuentran ubicados en la región caribe, por ser la región que cuenta con mayores recursos de generación de energía renovable.

Ecosistema empresarial

En el país se ha desarrollado un vibrante ecosistema de empresas que están trabajando juntas para desarrollar el hidrógeno bajo en emisiones y sus derivados en el país. La Asociación de Hidrógeno de Colombia cuenta con casi 60 empresas, nacionales e internacionales, de toda la cadena de valor del hidrógeno que están desarrollando proyectos y trayendo su experiencia para desarrollar una normatividad y regulación que permita el desarrollo eficiente de este nuevo mercado. Así mismo, las cámaras de comercio, Asociaciones industriales del país, y la academia han creado grupos de trabajo para desarrollar iniciativas que promuevan la materialización de esta gran oportunidad para el país.

El ecosistema empresarial está contribuyendo ampliamente a complementar el marco regulatorio y normativo existente. En este momento, desde la Asociación de hidrógeno de Colombia se están desarrollando estrategias para este fin:

- Desarrollo del facility de financiamiento para promover el cierre financiero de los proyectos de producción y demanda de hidrógeno a gran escala.
- Estudio para identificar la demanda nacional de hidrógeno y sus derivados bajos en emisiones.
- Estudios sobre redes de transmisión de energía para instalación de electrolizadores en zonas industriales del país.
- Estudio sobre certificaciones de origen para el hidrógeno en Colombia.
- Estrategias de conocimiento y construcción regional para promover el desarrollo del ecosistema en el país.

III. México

México es un país con un gran potencial para el desarrollo de hidrógeno verde y sus derivados. Aunque no exista una Estrategia Nacional, México ha avanzado con pasos pequeños en diferentes proyectos piloto (o a pequeña escala) que se encuentran en desarrollo. Asimismo, junto a los socios comerciales del norte del país, se ha avanzado en el análisis de la factibilidad de diferentes proyectos. Esto toman en consideración sus avances y ventajas, por ejemplo, dichos países si cuentan con estrategias nacionales, y en el caso particular de Estados Unidos, existe la Ley de Reducción de la Inflación, que contiene estímulos fiscales para el hidrógeno verde que se pueden replicar en México. De igual manera, PEMEX y CFE (empresas productivas del Estado) ya tienen proyectos de hidrógeno verde, lo que aporta bastante para otros proyectos de índole privada en el país.

México cuenta con una Hoja de Ruta privada realizada por la Asociación Mexicana de Hidrógeno Verde (AMH2), no obstante, no es vinculante ya que no ha sido emitida por el Gobierno mexicano.

Dentro del documento, la AMH2 estableció como uno de los principales objetivos para el desarrollo del hidrógeno verde y sus derivados en México, el poder crear un documento estratégico para su despliegue. Asimismo, se debe constituir una regulación específica para el despliegue de esta industria y modificar la existente para la entrada del vector energético.

De forma paralela, propone la realización de estudios técnicos de competitividad de hidrógeno verde a nivel regional y asesorar al sector financiero sobre los riesgos y oportunidades con el fin de lograr una óptima producción y generación de hidrógeno producido a partir de fuentes renovables en México.

Brechas en el desarrollo de la industria del hidrógeno verde:

- Falta de regulación sobre hidrógeno.
- Altos costos de electrolizadores.
- Falta de estudios técnicos.
- Falta de regulación del agua (ej. desalinización).

IV. Costa Rica

En Costa Rica se ha creado la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA). Ésta es el órgano de desconcentración máxima del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), cuyo propósito fundamental es armonizar el impacto ambiental con los procesos productivos, así como el de analizar las evaluaciones de impacto ambiental y resolverlas dentro de los plazos previstos por la Ley General de la Administración Pública.

Análisis para el trade del hidrógeno verde y derivados

Desde la perspectiva del sector de exportación, se planteó como necesario poder asegurar el cumplimiento de los criterios establecidos en los países importadores. En línea con este fin se deberá:

- Comprender los requerimientos del mercado de exportación objetivo.
- Seleccionar el esquema de certificación apropiado (reconocido oficialmente por el país importador).
- Establecer acuerdos bilaterales con el país importador.
- Asignar responsabilidades a actores públicos y privados localmente.
- Respecto a la regulación europea, la definición de “bidding zone” debe ser adaptada para el contexto local.

Referencias

Asociación Hidrógeno Colombia, H2LAC, 2023.

Cámara de Industria y Comercio Colombo-Alemana, AHK Colombia, H2LAC, 2023.

Castillo, T.; García, F.; Mosquera, L.; Rivadeneira, T.; Segura, K.; Yujato, M. Panorama Energético de América Latina y El Caribe 2021, OLADE, 2022.

Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde de Chile, 2020.

Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde de Costa Rica, 2022-2023.

Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno en Argentina, 2023.

Fundación Torcuato Di Tella, H2LAC, 2023.

Hoja de Ruta para el Hidrógeno en Colombia, 2021.

Instituto Costarricense de Electricidad. Generación y demanda. Informe anual, 2022.

International Power-to-X Hub Colombia, GIZ. H2LAC, 2023.

Ministerio de Minas y Energía de Colombia, H2LAC, 2023.

Mneimneh, F.; Ghazzawi, H.; Abu Hejjeh, M.; Manganelli, M.; Ramakrishna, S. Roadmap to Achieving Sustainable Development via Green Hydrogen. *Energies* 2023, 16, 1368. <https://doi.org/10.3390/en16031368>

OLADE. Panorama Energético de América Latina y El Caribe, 2021. Noviembre 2022.

Signoria, C.; Barlettani, M. Environmental, Health, Safety, and Social Management of Green Hydrogen in Latin America and the Caribbean, Inter-American Development Bank 2023.



Mesa de Sustentabilidad y Certificación

Recomendaciones sugeridas para los
mecanismos de certificación y
sustentabilidad en el despliegue del
hidrógeno verde y derivados en América
Latina y el Caribe

