

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL DESARROLLO DEL HIDRÓGENO VERDE EN LATINOAMÉRICA

Ernesto Coutsiers^{1,2}, Marcelo Gea³, Ramiro Rodríguez^{1,4}

¹ Calden Consultoría SRL

Av. Padre Mariani 478, Villa Allende (5105), Provincia de Córdoba

www.caldenconsultoria.com +54 351 7000717, ecoutsiers@caldenconsultoria.com

² Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta

Av. Bolivia 5150, Salta (4408), Provincia de Salta

www.exactas.unsa.edu.ar +54 387 4255408, ecoutsiers@exa.unsa.edu.ar

³ Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Universidad Nacional de Salta

Av. Bolivia 5150, Salta (4408), Provincia de Salta

www.inenco.unsa.edu.ar +54 387-4255424, geam@unsa.edu.ar

⁴ Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba,

Av. Vélez Sarsfield 299, Córdoba (5000), Córdoba

www.fcefyn.unc.edu.ar +54 351 5353800, ramiro.rodriguez@unc.edu.ar

RESUMEN: Este trabajo analiza el desarrollo de la economía del hidrógeno verde en seis países de Latinoamérica: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México y Perú. El objetivo es contrastar su progreso en marcos regulatorios, proyectos e incentivos, y evaluar la viabilidad económica de la cadena de valor del hidrógeno verde. La metodología se basa en el Índice H2LAC 2024, que evalúa cinco categorías clave: políticas y regulaciones, proyectos, economía local, aplicaciones y acuerdos internacionales. La puntuación final refleja el progreso promedio de estas áreas hacia una economía de hidrógeno ideal de 100 puntos. Los resultados muestran una gran heterogeneidad. Chile (73,25%), Brasil (72,75%) y Colombia (72,5%) lideran el desarrollo, mientras que Argentina (51%), Perú (44%) y México (35,5%) se encuentran rezagados. Argentina, a pesar de su potencial, enfrenta costos elevados en las etapas intensivas en capital. Se concluye que, si bien los recursos renovables son una ventaja natural, las políticas de incentivo y un marco regulatorio estable son cruciales para atraer inversiones y catalizar el despliegue del hidrógeno verde a gran escala en la región.

Palabras clave: Hidrógeno verde, Latinoamérica, costo nivelado, riesgo país, transición energética.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del hidrógeno verde (H2V) está experimentando en la actualidad un impulso global de importancia. Esto es consecuencia de dos causas: la primera, los objetivos gubernamentales de descarbonización (que pueden ser efecto de compromisos políticos internacionales o Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional - NDC) y la posibilidad de aprovechar la amplia disponibilidad de recursos para generación de energía renovable a bajo costo que ostentan diferentes regiones para convertirse en proveedoras globales (Cheekatamarla, 2024).

Los informes de la Agencia Internacional de Energía indican que la demanda mundial de hidrógeno alcanzó 97 Mt en 2023, principalmente para refinación y química, y que ésta se cubrió con hidrógeno producido a partir de combustibles fósiles (IEA, 2024). El hidrógeno de bajas emisiones fue marginal, pero se espera un crecimiento significativo. La producción global de hidrógeno podría alcanzar 49 Mt para 2030, gracias a proyectos de electrólisis y tecnologías con Captura, Uso y Almacenamiento de



Carbono (CCUS por sus siglas en inglés). A pesar de que la producción de proyectos con decisión de inversión final se ha duplicado (3,4 Mt/año), alcanzar la meta de 2030 requerirá un crecimiento anual superior al histórico de la energía solar. La materialización de estos proyectos enfrenta importantes obstáculos como la falta de claridad en la demanda, dificultades financieras, demoras en los incentivos y desafíos regulatorios y de permisos, lo que ha provocado retrasos y cancelaciones (Sakib et al., 2024).

El desarrollo del H2V en América Latina y el Caribe enfrenta desafíos debido a que su cadena de valor es intensiva en capital y requiere inversiones a muy largo plazo. Por lo tanto, las políticas y planes en la región se centran en la reducción de riesgos para atraer y asegurar la inversión.

De esta manera, a partir de normas, planes e incentivos, los estados de la región intentan reducir el riesgo país, proveer infraestructura soporte y garantizar los marcos normativos y regulatorios del sector (O'Rourke et al, 2023). En consecuencia, se desarrolla en cada estado una “ruta de hidrógeno” o “estrategias de desarrollo” que involucran la expectativa de creación de una ley de hidrógeno¹ con incentivos administrativos y fiscales, se desarrollan alianzas con países con tecnología más desarrollada en el área y que (particularmente) resultan ser *off takers*² y planes de desarrollo para la infraestructura requerida: sistemas de transmisión eléctrica, puertos, carreteras y vías ferroviarias, entre otros. Así, los diferentes países compiten para ofrecer las mejores condiciones que pueden verse reflejadas en menores costos nivelados y, por lo tanto, mejores condiciones de competitividad (Hydrogen Council, 2022).

Este trabajo ofrece un análisis comparativo del desarrollo del H2V en seis países de Latinoamérica: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México y Perú, seleccionados por la relevancia de su economía en la región que los coloca como referencias. El objetivo es analizar los contrastes de desarrollo entre estos países, los desafíos que enfrentan y sus estrategias. La comparación se realiza tomando como base el Índice 2024 H2LAC, que analiza la evolución de la economía del hidrógeno en la región y, adicionalmente, se presenta una evaluación de la viabilidad económica de la cadena de valor del H2V mediante la cuantificación de sus costos nivelados.

METODOLOGÍA

Índice de hidrógeno

El Índice 2024 H2LAC analiza la evolución de la economía del hidrógeno renovable y de bajas emisiones en América Latina y el Caribe (2021-2024), examinando cinco categorías clave: *políticas y regulaciones, proyectos, economía local del hidrógeno, aplicaciones y planificación/acuerdos internacionales* (H2LAC, n.d.). La metodología consistió en encuestar a más de 60 representantes gubernamentales, expertos en hidrógeno (públicos y privados) y de organizaciones internacionales. La información colectada se procesó, analizó y se validaron sus respuestas contrastándolas con datos adicionales de cada país (Hinicio-Newenergy, 2024). La Tabla 1 describe las dimensiones de las 5 áreas clave que componen el índice H2LAC.

La calificación final refleja el progreso promedio ponderado de las cinco áreas clave hacia una economía de hidrógeno ideal (100 puntos). De este modo, un gran número de proyectos no asegura una buena puntuación si la regulación y el ecosistema no están suficientemente desarrollados. Un puntaje perfecto indica una economía de hidrógeno madura con regulación sólida, objetivos definidos, un ecosistema dinámico, múltiples proyectos en diversos sectores y acuerdos comerciales internacionales fuertes.

¹ En Latam hasta el presente sólo hay una la Ley de Hidrógeno Bajo en Carbono (Ley 14948/2024), aprobada en Brasil.

² *Off takers*: entidad compradora del hidrógeno o su derivado.

Tabla 1: Dimensiones de las 5 áreas clave que componen el índice H2LAC

Área Clave	Descripción de la dimensión
A Políticas públicas, incentivos y regulaciones a nivel nacional respecto al H ₂	Cubre el desarrollo del marco regulatorio, beneficios fiscales e integración del H ₂ dentro de los planes nacionales de desarrollo. También abarca la presencia de hojas de ruta del hidrógeno, así como el establecimiento de esquemas de certificación y/o directrices en torno a la certificación en el país.
B Nivel de desarrollo del ecosistema H ₂ a nivel nacional	Evalúa varios factores, incluyendo la variedad de métodos de producción de H ₂ considerados, la existencia de estudios o proyecciones que determinen el potencial de generación y consumo de H ₂ , la disponibilidad de financiamiento para I+D, la existencia de asociaciones relevantes y eventos especializados en torno al hidrógeno.
C Número de proyectos de hidrógeno renovable en operación o en desarrollo	Se centra en mapear la cantidad de proyectos de H ₂ renovable en operación y en desarrollo dentro del país.
D Áreas de aplicación y penetración actual del H ₂ renovable a nivel nacional	Evalúa la demanda nacional actual de H ₂ renovable/bajo en carbono dentro del país para aplicaciones en transporte y movilidad, energía y almacenamiento, uso industrial y generación para exportación.
E Nivel de cooperación internacional y planificación de exportación de H ₂	Evalúa el nivel de compromiso del país con otras naciones en torno al comercio de hidrógeno a través de los acuerdos firmados y de la aspiración de posicionarse como un hub energético de H ₂ en la región LAC y/o para mercados de exportación extranjeros.

RESULTADOS

Análisis comparativo del desarrollo del H2V en América Latina y El Caribe.

El hallazgo principal del análisis comparativo, respaldado por el Índice H2LAC 2024, es la marcada heterogeneidad en el avance entre los países. Chile (73,25%), Brasil (72,75%) y Colombia (72,5%) lideran el desarrollo, mientras que Argentina, Perú y México se encuentran por detrás con puntuaciones de 51%, 44% y 35,5% respectivamente. Esta brecha no solo se manifiesta en el número de proyectos, sino, crucialmente, en la madurez de sus marcos regulatorios, políticas de incentivos, desarrollo de ecosistemas locales y planificación para la exportación. La interrelación entre estos hallazgos es fundamental: los países con marcos regulatorios y de incentivos más avanzados (Área A del índice) son consistentemente los que exhiben un mayor número de proyectos (Área C) y una planificación más sólida para la exportación (Área E). Esto subraya que la sola existencia de abundantes recursos renovables, una ventaja natural de la región no es suficiente para impulsar el desarrollo del H2V, sino que se requiere de un entorno propicio creado activamente por el gobierno.

Descripción por país de los seis países referenciales de Latinoamérica

Argentina. La investigación sobre el uso de hidrógeno como vector energético en Argentina se remonta a finales de los años 90 donde en algunos centros de investigación ya se estudiaban la producción, las aplicaciones y el almacenamiento del gas. En particular se destacan las actividades del laboratorio de hidrógeno del Centro Atómico Bariloche (Zorrero, 2021).

Por iniciativa del Dr. José Podestá de la Universidad Nacional de la Plata y durante el Seminario de hidrógeno llevado a cabo en la ciudad de Buenos Aires, el 7 de junio de 1996 se fundó la Asociación Argentina del Hidrógeno AAH. Desde aquel entonces su presidente es el Dr. Juan Carlos Bolcich. Desde mayo de 1998 la AAH edita, bajo la dirección del ingeniero José Luis Aprea la revista Hidrógeno, que constituye la primera publicación del mundo dedicada al vector energético y sus tecnologías en idioma español, que puede descargarse del sitio web www.aah2.org (*Revista Hidrógeno*, n.d.).

En el año 2002 como resultado de un acuerdo firmado entre la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la Secretaría de Energía del país, se crea el Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable (IEDS) de Argentina, con el propósito de promover la investigación y el desarrollo en el área de energía y sustentabilidad, enfocándose en fuentes limpias y renovables. En el año 2005 el IEDS crea HYFUSEN (Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía), un congreso bianual, con el objetivo de promover el desarrollo nacional y la integración regional de sistemas energéticos basados en energías renovables y

el hidrógeno, impulsado por el Dr. Daniel M. Pasquevich, director del IEDS y presidente de la Organización (DGCyE, 2024).

La primera Ley de Promoción del Hidrógeno fue sancionada en 2006 (Ley N° 26.123) y, si bien caducó a fines de 2021 por falta de reglamentación, alentó numerosos estudios sobre la factibilidad técnica y económica de producir y aplicar estas tecnologías en el país.

En el año 2014, Sigal et al. realizaron un análisis detallado del potencial de producción de hidrógeno a partir de tres fuentes renovables principales (energía eólica, solar y biomasa) en Argentina. La investigación destaca que cada provincia del país cuenta con al menos un departamento donde el potencial de producción de hidrógeno renovable supera en diez veces sus necesidades de consumo de combustible. Finalmente, Argentina podría producir casi mil millones de toneladas métricas anuales de hidrógeno a partir de las fuentes renovables mencionadas. Este es el mismo potencial estimado para Estados Unidos, un país con una superficie 3,5 veces mayor que la de Argentina (Sigal et al., 2014).

En septiembre de 2023, Argentina presentó la "Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno" (ENH) con metas hasta 2050. Resultado de la Mesa Intersectorial del Hidrógeno y precedida por el documento "Hacia una estrategia nacional de Hidrógeno 2030", la ENH establece directrices para el desarrollo del hidrógeno de bajas emisiones como vector energético e insumo industrial. Busca promover la sostenibilidad ambiental y el desarrollo económico mediante infraestructura, producción y puertos, posicionando al país como proveedor internacional. Sus tres ejes son desarrollo tecnológico y productivo, uso de diversas tecnologías de producción y despliegue de la demanda interna y exportación, con una meta de al menos 5 millones de toneladas anuales de producción doméstica para 2050 (Gobierno de Argentina, 2023).

Argentina cuenta con la Planta Experimental Pico Truncado en Santa Cruz, dedicada a capacitación y pruebas tecnológicas, y la Planta Piloto Hychico en Chubut, operativa desde 2008, que produce hidrógeno verde de alta pureza con electrolizadores, almacenamiento y pruebas de mezcla con gas natural. Las capacidades nucleares, como el proyecto CAREM, permiten la producción de hidrógeno "rosa". Actualmente, Hychico es la única planta operativa, con 120 Nm³/h de hidrógeno y 60 Nm³/h de oxígeno. Se exploran colaboraciones con Chile para transporte, pero la limitada cantidad de plantas destaca la necesidad de escalar proyectos y atraer inversión.

En 2025, el gobierno nacional impulsa cuatro leyes energéticas para dar continuidad a sectores beneficiados por incentivos previos (biocombustibles y renovables). El paquete incluye un Régimen de Incentivo a las Grandes Inversiones (RIGI) específico para el desarrollo del hidrógeno y una ley para certificar emisiones de carbono, buscando adaptar al país a las normativas ambientales internacionales para potenciar la exportación de petróleo, gas licuado, cobre y litio.

La Figura 1 muestra esquemáticamente la evolución de la economía del hidrógeno en Argentina. La Estrategia Nacional resalta que el país cuenta con ventajas naturales y desarrolladas que lo posicionan como un productor competitivo de hidrógeno de bajas emisiones (verde, azul y rosa) para los mercados interno e internacional, favoreciendo un despliegue territorial sólido y arraigado.

Para 2050 se proyecta una producción mundial de 500 Mt de hidrógeno de bajas emisiones, de las cuales 415 Mt serán para consumo local y 85 Mt para comercio a larga distancia. Argentina apunta a aportar 4 Mt anuales, cubriendo el 5 % del mercado internacional de largo plazo, aprovechando sus recursos naturales, capacidades industriales y científicas para desarrollar su mercado interno y las cadenas de valor asociadas.

Brasil. Hasta 2022, la demanda de hidrógeno en Brasil (87 %) provenía principalmente de las industrias petroquímica y de fertilizantes, usando reformado de gas natural sin captura de carbono. Con el Programa Nacional del Hidrógeno (PNH₂) y el plan del CNPE 2023-2025, el país inició una transición hacia hidrógeno bajo en carbono, impulsando la descarbonización, el abastecimiento de sectores difíciles de descarbonizar (acero, aviación, transporte de carga) y la exportación de energía renovable.

La EPE, junto al programa británico BEP, publicó estudios sobre hidrógeno gris, turquesa y azul, sentando las bases para la legislación del sector (Calixto E. y Salgado V., 2024).

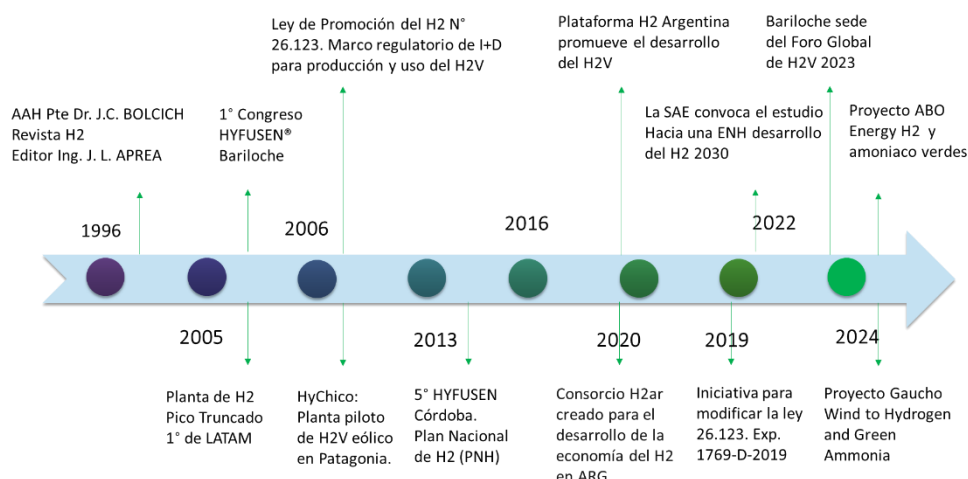


Figura 1: Línea de tiempo del desarrollo del hidrógeno en Argentina (elaboración propia).

En 2023, la cartera de proyectos de hidrógeno bajo en carbono en Brasil se estimó en 30.000 MM USD, muchos desarrollándose como centros de hidrógeno integrados a la infraestructura portuaria en zonas francas industriales (Mega Trends & Analysis, 2023). La región Nordeste concentra más del 58% del potencial de producción, gracias a sus vastos recursos renovables. Petrobras lidera la producción de hidrógeno azul con al menos dos proyectos de captura, utilización y almacenamiento de carbono en refinerías. Además, en el último año se anunciaron proyectos de hidrógeno bajo en carbono integrados en diversas industrias como cementeras, vidrieras y siderúrgicas.

En agosto de 2024 se promulgó la Ley 14948, que crea un marco legal para producir, procesar, almacenar, transportar, comercializar y exportar hidrógeno de bajas emisiones de carbono, bajo supervisión de la ANP, que emitirá regulaciones complementarias (ANP, 2024). La norma promueve proyectos con incentivos fiscales desde enero de 2025 e incorpora un sistema de certificación. En septiembre de 2024 se presentó además el Programa para el Desarrollo del Hidrógeno de Bajas Emisiones de Carbono (Ley 14990).

El proyecto H2Brasil apoya la expansión del mercado de hidrógeno verde en Brasil como elemento clave para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuir a la descarbonización de la economía brasileña. El primer proyecto piloto en Brasil para la producción de combustible de aviación sostenible (SAF) se encuentra en Rio Grande do Norte, resultado de una asociación entre Brasil y Alemania. Petrobras construye su primera planta piloto en Brasil para la producción de hidrógeno renovable en Rio Grande do Norte, utilizando energía solar que deberá estar operativa en 2026. El proyecto de vehículo de hidrógeno verde de Neoenergía desarrolla, desde 2022, la primera estación de servicio de hidrógeno verde en Brasil, utilizando una planta fotovoltaica dedicada y la Universidad de São Paulo (USP) puso en marcha la primera estación experimental del mundo dedicada a la producción de hidrógeno renovable a partir de etanol (Ministério de Minas e Energia, 2023). La Figura 2 representa una línea de tiempo que muestra esquemáticamente para la evolución de la economía en Brasil.

Chile. Es líder en el mercado de H2V en Latinoamérica y cuenta con una planificación energética de largo plazo 2023-2027 (H2news, 2022), abierta a la planificación ciudadana, y con una Estrategia Nacional de H2V, que en su sección 5 “Plan de Acción”, en lo referente a normativa, seguridad y pilotaje se compromete a:

- Desarrollar la regulación y normativa del H2V para resguardar aspectos de seguridad y dar certeza a los inversionistas.
- Establecer un equipo operativo para acompañar la tramitación de permisos y el desarrollo de pilotajes de H2V y sus derivados.

- Revisar la regulación y la infraestructura del gas natural para promover la introducción de cuotas de H2V.

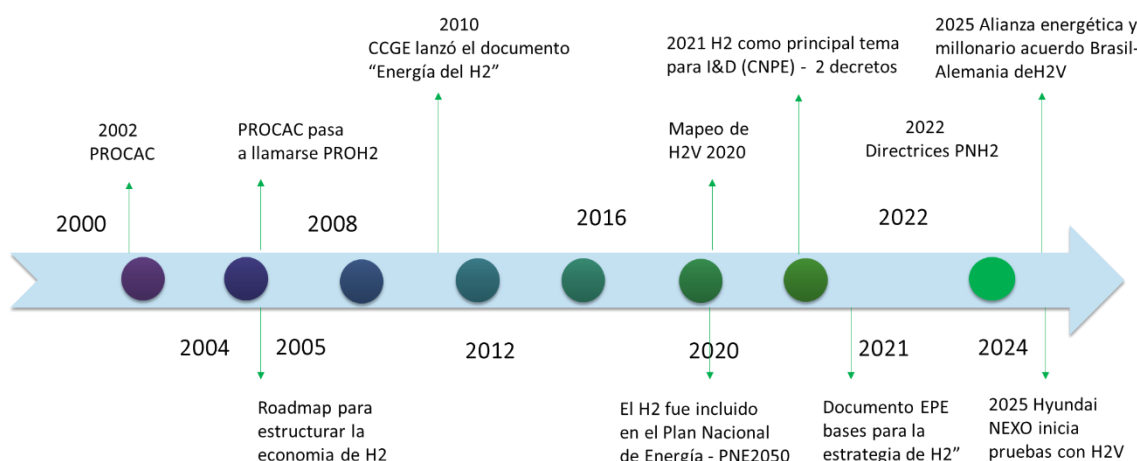


Figura 2: Línea de tiempo del desarrollo del hidrógeno en Brasil (elaboración propia).

El Plan de Acción 2023-2030 de H2V, tendiente a definir la hoja de ruta, tuvo consulta pública, que finalizó en febrero de 2024. Los detalles y resultados de esta consulta fueron:

- El proceso de consulta pública comenzó el 22/12/2023 y finalizó el 13/02/2024.
- La consulta contó con la participación de la ciudadanía, organizaciones de la sociedad civil y representantes del sector privado. Se recibieron cerca de 1900 sugerencias y observaciones.
- El Ministerio de Energía revisó, evaluó y ponderó las observaciones recibidas.
- Las observaciones que se acogieron se integraron a la versión final del Plan de Acción.

Este Plan de Acción de H2V busca contribuir con la descarbonización energética nacional para alcanzar la meta legal de un país carbono neutral y resiliente antes del 2050. Junto a ello, y aprovechando la extensa cadena de valor del hidrógeno, se busca industrializar la economía nacional mediante una reconversión productiva y laboral en los distintos territorios del país, en el contexto de una transición energética acelerada y justa, acompañando el recambio de industrias contaminantes hacia industrias sostenibles (Gob. de Chile, 2023).

El Servicio de Evaluación Ambiental de Chile (SEA, 2025) informa que, hasta agosto de 2025, se han ingresado 18 proyectos relacionados con la cadena de valor del hidrógeno verde. De ellos, 6 están aprobados en Antofagasta, Magallanes y Antártica Chilena y Valparaíso, con una inversión de 954 MM USD; 7 están en calificación por 41.253 MM USD; 4 fueron desistidos y 1 no admitido.

El proyecto Haru Oni en Magallanes, desarrollado por HIF Global junto a Porsche, Siemens Energy y Enel, es la primera planta de e-combustibles operativa del mundo. Utiliza energía eólica y electrólisis para generar hidrógeno verde, captura CO₂ biogénico y lo combina con hidrógeno para producir e-combustibles como e-Gasolina y e-LG, permitiendo una infraestructura de combustibles baja en carbono mediante el reciclaje continuo de CO₂ (HIF, 2022).

En la Minera San Pedro, en la Región Metropolitana, se lleva a cabo el proyecto piloto de hidrógeno verde (H2V) que tiene como objetivo proporcionar energía limpia al campamento minero y servirá de plataforma para probar y validar nuevas tecnologías en operaciones mineras. La planta cubre toda la cadena de valor del hidrógeno y servirá como un centro de formación para técnicos y profesionales en nuevas tecnologías de hidrógeno (gob.cl, 2024).

La Universidad Católica de la Santísima Concepción (UCSC) en la región del Biobío presentó la infraestructura de la primera planta de hidrógeno verde en una universidad chilena. La planta cuenta con cuatro electrolizaciones tipo AEM que permiten aumentar la potencia en caso de ser requerido y generar

hidrógeno a 35 bar, con energía renovable proveniente de la MicroRed UCSC, compuesta por paneles fotovoltaicos, para luego ser almacenado. La Figura 3 representa una línea de tiempo que muestra esquemáticamente para la evolución de la economía en Chile.

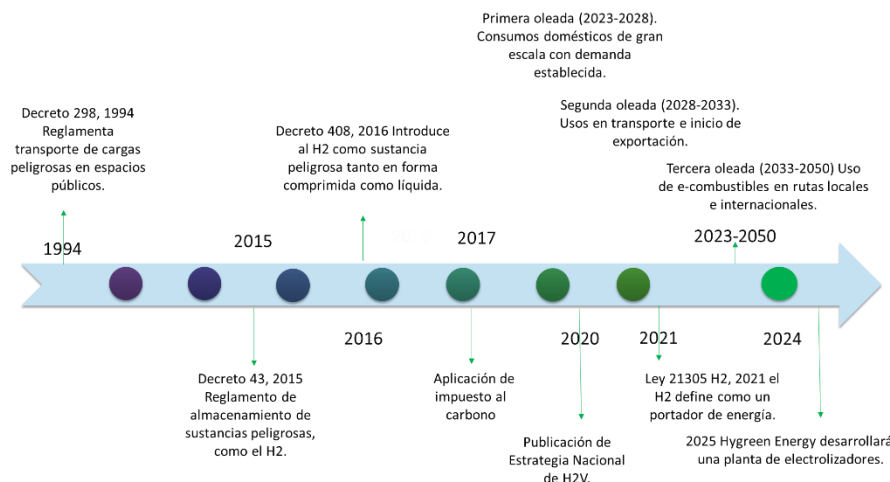


Figura 3: Línea de tiempo del desarrollo del hidrógeno en Chile. Fuente: Elaboración propia.

Colombia. Cuenta con una Hoja de Ruta del Hidrógeno, realizada con apoyo del BID en el año 2021, en la cual busca desarrollar e implementar hidrógeno de bajas emisiones para cumplir los compromisos del Acuerdo de París. Se basa en análisis de producción, demanda, reducción de emisiones, potencial exportador y regulación. El hidrógeno es clave para la transición energética por su versatilidad y nulas emisiones directas, siendo la producción baja en emisiones crucial para la descarbonización (gov.co, 2021).

El Ministerio de Minas y Energía de Colombia presentó un proyecto de resolución para definir los lineamientos de evaluación, exploración y posible explotación de hidrógeno geológico. El documento está en consulta pública hasta el 17 de abril de 2025, abierto a aportes de sector privado, academia y sociedad civil. Esta iniciativa fortalece el marco regulatorio para posicionar al país en el mercado de hidrógeno bajo en carbono.

Se espera que el desarrollo del hidrógeno en Colombia impulse la integración de energías renovables mediante almacenamiento, transporte y uso de infraestructura existente de gas y carbón con captura de carbono. Con planes de inversión, incentivos, regulaciones, políticas de I+D y acuerdos de cooperación, la Hoja de Ruta y la Ley 2099 de 2021 crean un marco para su adopción. Entre 2020 y 2050 se proyecta una transición: hasta 2030 predominará el hidrógeno azul; entre 2030 y 2040 coexistirán azul y verde; desde 2035 el azul podría superar al gris por el costo del CO₂; y a partir de 2040 el hidrógeno verde sería la opción más competitiva en todo el país. La Figura 4 resume estas fases y costos por región (Minenergía, 2021).

En relación con los proyectos destacados, en marzo de 2022, Ecopetrol y Promigas inauguraron los dos primeros proyectos piloto de hidrógeno de bajas emisiones en Cartagena. Ecopetrol lleva a cabo un proyecto piloto de producción de hidrógeno verde en la Refinería de Cartagena, utilizando un electrolizador PEM de 50 kW alimentado por paneles solares. Por su parte Promigas, arrancó con un piloto exploratorio de producción de hidrógeno verde y blending (mezcla) con gas natural en redes de transporte y distribución, ubicado en la Estación Heroica, en la zona industrial de Mamonal.

El Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (Fenoge) anunció en julio de 2024 a los ganadores de la convocatoria +H₂ Colombia, que se llevó a cabo para financiar los estudios de inversión de 10 proyectos para la producción y usos del hidrógeno verde y azul. El programa se enfocará en que los usos del hidrógeno sean para el transporte de carga pesada, transporte urbano, la operación de una planta siderúrgica y la comercialización de oxígeno, creando de esta manera el primer Hub de H₂V en el país (Fenoge, 2023).



Figura 4: Horizonte del Hidrógeno en Colombia. Fuente: (Mesa Puyo D., 2021).

México. La Asociación Mexicana de Hidrógeno (AMH2) presentó el 25 de mayo de 2022 el estudio “Hidrógeno verde: El vector energético para descarbonizar la economía de México” y una Hoja de Ruta para el impulso a esta industria, la que podría generar 3,2 millones de empleos y tener un impacto de 46 MM USD en el Producto Interno Bruto (PIB) entre 2025 y 2050 (AMH2, 2022). El estudio se enfocó en las 7 industrias con mayores emisiones de GEI en México mediante:

- i. Sustitución directa; en la industria Petroquímica reemplazando H2G por H2V para el proceso de refinación de petróleo
- ii. Mezcla de H₂ con gas natural; en la generación de electricidad en los Ciclos Combinados, en las industrias de hierro, acero, vidrio, química y cemento en las aplicaciones térmicas de cada una de las industrias para la elaboración de sus productos finales
- iii. Cambio de tecnología; en la sustitución vehículos de diésel y gasolina por tecnología de H₂ en autos, autobuses y camiones de carga privados

Se prevé que la demanda de H2V comience en 2025, alcance unos 230 kt en 2030 y llegue a 2.700 kt en 2050. Los costos se estiman en 5,3 USD/kg para 2030 y 2,4 USD/kg para 2050. Para cubrir esa demanda se requerirán 79 GW de capacidad renovable y 51 GW de electrólisis, lo que permitiría reducir 53 Mt de CO₂ en 2050, un 14 % menos que en 2019.

Se establecieron cinco líneas de acción para la Hoja de Ruta de H2V: estratégicas, regulatorias o jurídicas, económicas o de mercado, tecnológicas y de infraestructura, y ambientales y sociales. Los hitos correspondientes, organizados en tres escenarios temporales, se presentan en la Figura 5.

México impulsa la transición energética con 24 proyectos de hidrógeno verde por 21.000 MMUSD en 13 estados, destacando Sonora, Yucatán, Nuevo León y Baja California. Según la AMH2, podrían producir 196,7 t de H2V, 970.000 t de amoníaco verde y 2,1 millones de toneladas de metanol verde y azul, mediante 4.104 MW de nueva capacidad solar y eólica que reforzará la infraestructura renovable.

En el marco de esta transformación energética, Pemex anunció su intención de sustituir el H2G que actualmente utiliza en sus refinerías por H2V y planea comercializar este recurso en un mercado que, según estimaciones, alcanzará un valor de 4000 MMUSD en la próxima década.

Por su parte, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) también está explorando el uso del H2V en sus operaciones. La estrategia incluye su integración en las Centrales de Ciclo Combinado mediante una mezcla con gas natural, así como la adquisición de nuevas turbinas diseñadas para este propósito. Estas acciones buscan reducir las emisiones de carbono y diversificar las fuentes de energía utilizadas en el país. En la actualidad, con el financiamiento de BID el país está realizando una ruta del hidrógeno de bajas emisiones.

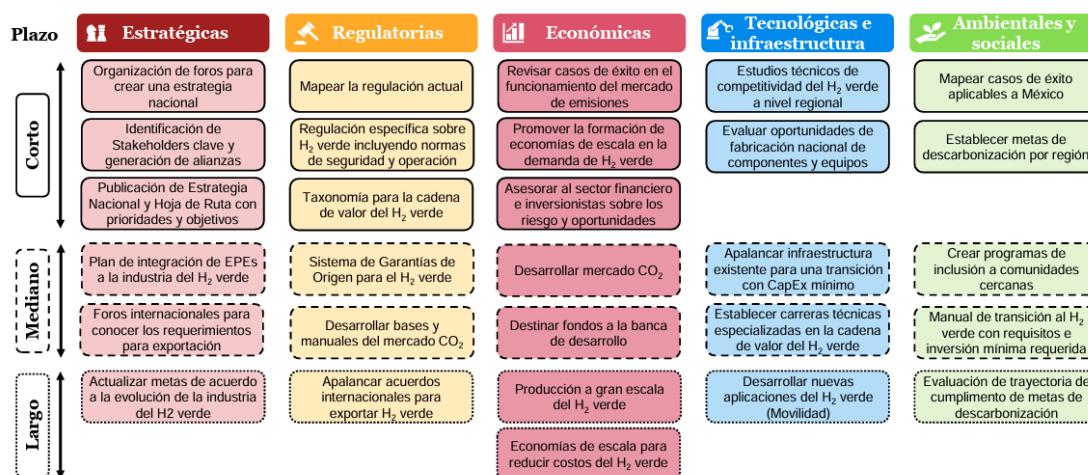


Figura 5: Principales hitos en la hoja de ruta para la implementación del H₂V en México.

Perú. Se destaca por poseer el primer electrolizador de potencia en el mundo conectado al sistema eléctrico. Este electrolizador alcalino de 25 MW para la producción de NH₄NO₃ data del año 1963 y es el más grande operativo en la región. Este electrolizador se encuentra en la actualidad produciendo H₂V desde el año 2022 a través de la compra de IRECs³ para compensar su producción (Engie, 2022).

El Perú aún carece de un marco legal para el H₂V. En 2022, H₂Perú presentó al poder político una propuesta de ley y una hoja de ruta para su promoción. Aunque el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) quiso elaborar su propia ruta, en 2023 el BID financió un estudio para el ministerio que fue concluido, pero no difundido ni adoptado. Ese mismo año, el Congreso dio un dictamen favorable a la ley, mostrando cierto avance. La Figura 6 resume los hitos principales del estudio.

Durante la elaboración de esta ruta, se tuvo participación de los stakeholders del sector de la energía, gobierno, la cámara H₂ Perú, entre otros participantes. De esta manera, la ley de promoción del hidrógeno propuesta por la cámara tuvo su instancia de revisión previa por el equipo de consultores que trabajó durante la elaboración de la ruta como por el propio ministerio.

Por otro lado, lo cual puede verse también como un avance regulatorio, el hidrógeno proveniente de fuentes renovables se introdujo en el decreto de emergencia climática en 2022, destacando acciones como la elaboración de programas de promoción para el desarrollo tecnológico, uso y producción de H₂V. A su vez, este decreto también promovía la entrada de vehículos energizados a partir de H₂V.

Los usos finales del hidrógeno en Perú son principalmente: Refino de Petróleo, Químicos (Principalmente NH₃), Cemento. La elaboración de amoniaco es para su uso en fertilizantes (nitrato de amonio) y explosivos para la industria minera. La demanda total en 2019 de hidrógeno, en su gran mayoría gris, fue de 42 kt.

Tanto el norte como el sur del Perú poseen recursos eólicos que pueden ofrecer bajos costos nivelados. El sur, además, posee uno de los principales yacimientos en el mundo de energía solar. Perú tiene un potencial de 100 GW de fuentes hidroeléctricas, solares y eólicas. La potencia total de los recursos renovables podría llegar a ser entre 15,8 y 21,3 GW en el año 2050, lo que podría implicar 9 GW de potencia de electrolizadores para ese año.

Este país también tiene un amplio desarrollo del sector de gas natural que permitiría introducir en el futuro el blending en el sistema de distribución, blending en gas natural vehicular HGNV, con una

³ Los IRECs (International Renewable Energy Certificates) son certificados internacionales que garantizan que la energía se generó a partir de fuentes renovables. Son un tipo de Certificado de Atributo Energético (EAC) o Certificado de Energía Renovable (CER).

plataforma establecida. De hecho, el distribuidor de gas natural de la zona de Lima y Callao (Cálidda) se encuentra actualmente analizando blending en los calentadores del uno de sus Citygates.

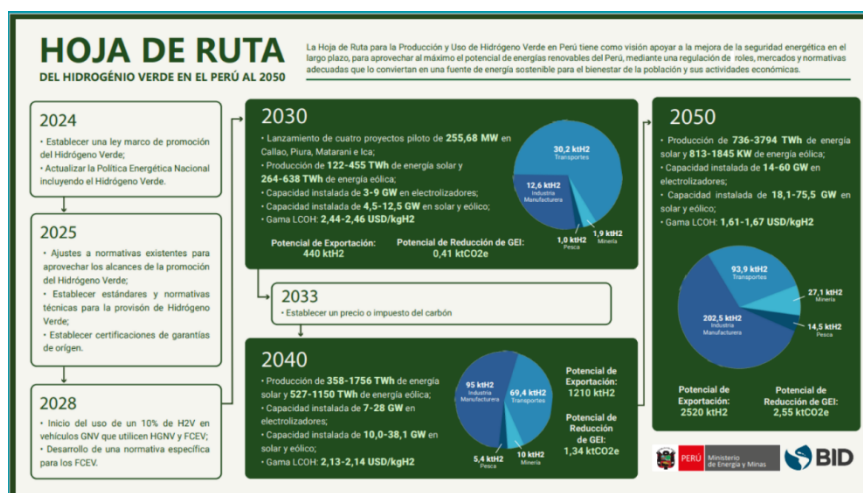


Figura 6: Hoja de ruta del hidrógeno verde en el Perú hacia 2050. Fuente: (EDP New, 2023).

La normativa de energías renovables en Perú se basa en el Decreto Legislativo 1002, que promueve la inversión en generación eléctrica con fuentes renovables, y en el Decreto Supremo 012-2011-EM, su reglamento. Actualmente, la generación renovable compite en el mismo mercado que las fuentes convencionales al considerarse que ya existe competitividad suficiente.

CONCLUSIONES

En este estudio se llevó adelante un análisis del desarrollo regulatorio, de incentivos y proyectos de H₂V para seis países referenciales en Latinoamérica: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México y Perú. Si bien cada uno de los países analizados presenta características sumamente destacadas en cuanto los recursos naturales requeridos para el desarrollo de esta tecnología, presentan distintos grados de avance en la evolución de la economía del hidrógeno renovable y de bajas emisiones.

Para considerar y contrastar los distintos aspectos de este progreso, se tomó el Índice 2024 H₂LAC que examina cinco categorías clave: políticas y regulaciones, proyectos, economía local del hidrógeno, aplicaciones y planificación/acuerdos internacionales. La Figura 7 muestra la calificación final que refleja el progreso promedio ponderado de las cinco áreas clave definidas en la Tabla 1 hacia una economía de hidrógeno ideal (100 puntos), donde se ubicaron de izquierda a derecha los países de acuerdo con el puntaje obtenido.

Se puede concluir que, hasta el presente, el desarrollo de Chile, Brasil y Colombia es parejo y está por encima del 70% de la puntuación ideal (73,25%, 72,75%, 72,5%), mientras que Argentina con 51%, Perú con 44% y México con 35,5% vienen por detrás. En términos generales se puede destacar lo siguiente:

- Actualmente, existen proyectos piloto y algunas iniciativas concretas en varios de los países analizados, pero aún falta una infraestructura robusta y marcos regulatorios claros para impulsar su crecimiento a gran escala.
- Las oportunidades son significativas, incluyendo la descarbonización de sectores clave (industria, transporte, energía), la creación de nuevos empleos, la atracción de inversión extranjera y la posibilidad de convertirse en un exportador importante de H₂V a nivel global.
- LAC tiene la oportunidad de jugar un papel crucial en la economía global del H₂V, pero requiere un esfuerzo coordinado público – privado.

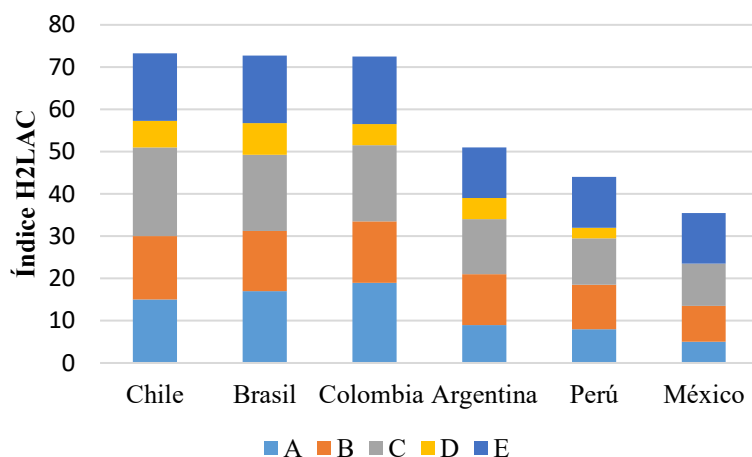


Figura 7: Índice H2LAC comparado para los países referentes de LAC. A, B, C, D, E remiten a las 5 áreas clave de la Tabla 1. Elaboración propia en base a (Inicio-Newenergy, 2024).

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Los autores agradecen a la SECyT_UNC por el financiamiento del proyecto 33620230100934CB.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Calden Consultoría SRL por el aporte de datos y las discusiones ofrecidas.

REFERENCIAS

- AMH2. (2022). *Hidrógeno Verde: El vector energético para descarbonizar la economía de México*.
- Calixto E. y Salgado V. (2024). *Hydrogen law and regulation in Brazil* | CMS Expert Guides. <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-hydrogen/brazil>
- Cheekatamarla, P. (2024). Hydrogen and the global energy transition—Path to sustainability and adoption across all economic sectors. *Energies*, 17(4), 807.
- DGCyE. (2024). HYFUSEN 2024. Recuperado de <https://hyfusen2024.unlp.edu.ar/> el 10 de febrero de 2024.
- Engie. (2022). *Reporte-Integrado-EEP-2022*. <https://engie-energia.pe/wp-content/uploads/2023/05/Reporte-Integrado-EEP-2022-D-ENGIE-A-4.pdf>
- Gobierno de Argentina. (2023). Estrategia nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2023/07/estrategia_nacional_de_hidrogeno_-_sae.pdf
- Gob. de Chile. (2023). *Plan de Acción de Hidrógeno Verde*. <https://www.planhidrogenoverde.cl/>
- gov.cl. (2024). *Inauguramos plan piloto de hidrógeno verde para la minería - Gob.cl*. <https://www.gob.cl/noticias/proyecto-piloto-hidrogeno-verde-mineria-plan-accion-h2v/>
- gov.co. (2021). *Ruta de hidrógeno de Colombia* | MINCIT - Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. <https://www.mincit.gov.co/minindustria/reindustrializacion-basada-en-energias-renovables/ruta-de-hidrogeno-de-colombia>
- H2LAC. (n.d.). Índice H2LAC 2024. Recuperado de H2LAC (h2lac.org) el 10 de febrero de 2024.
- H2news. (2022). *PELP 2023 - 2027 INFORME PRELIMINAR*. <https://h2news.cl/2022/01/28/pelp-2023-2027-informe-preliminar/>
- H2 Perú. (2022). *H2 Perú propondrá una normativa del hidrógeno durante el primer trimestre del año*. <https://h2.pe/noticias/h2-peru-propondra-una-normativa-del-hidrogeno-durante-el-primer-trimestre-del-ano/>
- HIF. (2022). *Haru Oni*. <https://hifglobal.com/haru-oni>
- Inicio-Newenergy. (2024). H2LAC Index 2024 Report. <https://inicio.com/h2lacindex/>
- Hydrogen Council, 2022. *Global Hydrogen Flows: Hydrogen trade as a key enabler for efficient decarbonization*. <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2022/10/Global-Hydrogen-Flows.pdf>

- IEA (2024), Global Hydrogen Review 2024, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024>, Licence: CC BY 4.0
- Mega Trends & Analysis. (2023). *Brazil Expands Network: EPE recommends huge outlay for regional interconnections - REGlobal*. <https://reglobal.org/brazil-expands-network-epe-recommends-huge-outlay-for-regional-interconnections/>
- Minenergía. (2021). *Colombia's Hydrogen Roadmap*. https://www.minenergia.gov.co/documents/5862/Colombias_Hydrogen_Roadmap_2810.pdf
- Ministério de Minas e Energia. (2023). *Programa Nacional de Hidrogênio - PNH2*. <https://www.gov.br/mme/pt-br/programa-nacional-do-hidrogenio-1>
- O'Rourke, P., Mignone, B. K., Kyle, P., Chapman, B. R., Fuhrman, J., Wolfram, P., & McJeon, H. (2023). Supply and demand drivers of global hydrogen deployment in the transition toward a decarbonized energy system. *Environmental Science & Technology*, 57(48), 19508-19518.
- Revista Hidrógeno. (n.d.). *Revista Hidrógeno*. Recuperado de <https://www.aah2.org/> el 10 de febrero de 2025.
- SEA, 2025. Servicio de Evaluación Ambiental. <https://www.sea.gob.cl/>
- Sakib, A. N., Mehjabin, F., Schmidt, J. B., Haque, M., Saha, K., & Bhuiyan, M. M. H. (2024). Harnessing hydrogen: A comprehensive literature review on strategic launching initiatives in the global energy market. *International Journal of Energy Research*, 2024(1), 3265065.
- Sigal, L., et al. (2014). Analysis of the potential for hydrogen production from three renewable sources: wind, solar and biomass in Argentina. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39, 1459-1471.
- Zorrero, S. (2021). *Desafíos del hidrógeno verde*. Recuperado de <https://www.cnea.gov.ar/es/noticias/desafios-del-hidrogeno-verde/> el 10 de febrero de 2024.

COMPARATIVE EVALUATION OF THE DEVELOPMENT AND VIABILITY OF THE H2V VALUE CHAIN IN LATIN AMERICA

ABSTRACT. This work analyzes the development of the green hydrogen (H2V) economy in six Latin American countries: Argentina, Brazil, Chile, Colombia, Mexico, and Peru. The objective is to contrast their progress in regulatory frameworks, projects, and incentives, and to evaluate the economic viability of the H2V value chain. The methodology is based on the H2LAC 2024 Index, which evaluates five key categories: public policies and regulations, projects, the local hydrogen economy, applications, and international planning and agreements. The final score represents the weighted average progress of these five key areas toward achieving an ideal hydrogen economy, with a maximum score of 100 points. The results show significant heterogeneity. Chile (73.25%), Brazil (72.75%), and Colombia (72.5%) lead the development, while Argentina (51%), Peru (44%), and Mexico (35.5%) are lagging. Despite its potential, Argentina faces high costs in capital-intensive stages. The conclusion is that, while renewable resources are a natural advantage, incentive policies and a stable regulatory framework are crucial to attract investment and catalyze large-scale H2V deployment in the region.

Keywords: Green hydrogen, Latin America, levelized cost, country risk, energy transition.