

DOCUMENTOS DE **PROYECTOS**

Condiciones estructurales para las políticas de transformación productiva en la industria del hidrógeno de bajas emisiones en América Latina y el Caribe

Verónica Robert
Ignacio Cretini
Paula Prados



NACIONES UNIDAS

CEPAL



Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



NACIONES UNIDAS



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.

[Deseo registrarme](#)

Conozca nuestras redes sociales y otras fuentes de difusión en el siguiente link:



<https://bit.ly/m/CEPAL>



Condiciones estructurales para las políticas de transformación productiva en la industria del hidrógeno de bajas emisiones en América Latina y el Caribe

Verónica Robert
Ignacio Cretini
Paula Prados



Este documento fue elaborado por Verónica Robert, Consultora de la Unidad de Energía de la División de Recursos Naturales de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Ignacio Cretini, Investigador de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB) de la Argentina, y Paula Prados, Investigadora de la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM) de la Argentina, en el marco de las actividades del componente "Acelerando la transición energética en América Latina y el Caribe" del acuerdo de cooperación entre la CEPAL y la República de Corea. Martín Abeles, Director de la División de Recursos Naturales de la CEPAL, estuvo a cargo de la supervisión general del documento.

En su elaboración participaron Marina Gil, Asistente Superior de Asuntos Económicos, y Rafael Poveda, Consultor, ambos de la Unidad de Energía de la División de Recursos Naturales de la CEPAL. Se agradecen los comentarios y aportes de Tatiana Pizzi e Ignacio Nancupil, Consultores de la misma Unidad.

Las Naciones Unidas y los países que representan no son responsables por el contenido de vínculos a sitios web externos incluidos en esta publicación.

No deberá entenderse que existe adhesión de las Naciones Unidas o los países que representan a empresas, productos o servicios comerciales mencionados en esta publicación.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización o las de los países que representa.

Publicación de las Naciones Unidas
LC/TS.2025/108
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2025
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.2500549[S]

Esta publicación debe citarse como: Robert, V., Cretini, I. y Prados, P. (2025). Condiciones estructurales para las políticas de transformación productiva en la industria del hidrógeno de bajas emisiones en América Latina y el Caribe. *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2025/108). Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Documentos y Publicaciones, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Resumen	7
Introducción	9
I. Definiciones y marco conceptual	13
A. De las cadenas de valor a los sistemas tecnológicos.....	15
B. Gran Impulso para la sostenibilidad	17
C. <i>Clusters, hubs</i> y polos de desarrollo.....	18
D. Esquema de análisis	19
II. Estrategias y políticas de promoción del hidrógeno de bajas emisiones en América Latina y el Caribe	21
A. Leyes y normas.....	30
III. Hacia una clasificación de países en función de las ventajas estructurales y sus estrategias de política de hidrógeno	33
A. Dimensiones de análisis.....	34
B. Grupos de países	38
IV. Políticas de desarrollo productivo e hidrógeno: experiencias fuera de la región.....	43
V. Discusión de resultados y aprendizajes	47
Bibliografía	51
Anexo A1.....	55
 Cuadros	
Cuadro 1	Estrategias de hidrógeno por país y año del primer anuncio..... 21
Cuadro 2	Dimensiones claves de estrategias nacionales de hidrógeno y hojas de ruta de países de América Latina y el Caribe..... 23

Cuadro 3	Leyes y normas sobre el hidrógeno de bajas emisiones.....	31
Cuadro 4	Distribución de países por agrupamiento	39
Cuadro 5	Condiciones estructurales, estrategia y políticas de Indonesia	44
Cuadro 6	Condiciones estructurales, estrategia y políticas de Sudáfrica.....	45
Cuadro 7	Condiciones estructurales, estrategia y políticas de Corea del Sur.....	46

Gráficos

Gráfico 1	Rango del costo nivelado del hidrógeno proyectado a 2050, por país, en sus documentos oficiales	28
Gráfico 2	Balance entre mercado interno y exportación proyectados en las estrategias nacionales.....	28
Gráfico 3	Proyectos de hidrógeno de bajas emisiones en desarrollo y en ejecución en países de América Latina y el Caribe.....	30

Diagramas

Diagrama 1	Principales fuentes, métodos y colores de hidrógeno.....	13
Diagrama 2	Esquema simplificado de la cadena de valor del hidrógeno de bajas emisiones.....	14
Diagrama 3	Vinculaciones entre cadenas en la era de la descarbonización.....	16
Diagrama 4	<i>Power shoring</i> , relocalización de nuevas industrias por costos bajos de las energías renovables	17
Diagrama 5	Esquema conceptual de los determinantes estructurales de la producción de hidrógeno verde y azul.....	19

Acrónimos y Abreviaciones

ALC:	América Latina y el Caribe
ANCAP:	Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland (Uruguay)
CCS:	Captura y Almacenamiento de Carbono
CfD:	Contratos por Diferencia
CO₂:	Dióxido de carbono
CTI:	Ciencia, Tecnología e Innovación
CyT:	Ciencia y Tecnología
DRI:	Reducción Directa de Hierro
FC:	Factor de Capacidad
FNCE:	Fuente No Convencional de Energía
FNCER:	Fuente No Convencional de Energía Renovable
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
H₂:	Hidrógeno
H₂A:	Hidrógeno Azul
H₂V:	Hidrógeno Verde
HVC:	Químicos de Alto Valor
IEA:	Agencia Internacional de Energía
IRENA:	Agencia Internacional de Energías Renovables
LCOE:	Costo Nivelado de la Energía
LCOH:	Costo Nivelado del Hidrógeno
PPF:	Potencial Fotovoltaico Práctico
SMR:	Reformado de Metano con Vapor
TOPP:	Capacidades Técnicas, Operativas, Políticas y Prospectivas
UTE:	Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (Uruguay)

Resumen

Este estudio analiza las condiciones estructurales que habilitan el desarrollo de una industria del hidrógeno de bajas emisiones en América Latina y el Caribe (ALC), y examina su coherencia con las estrategias nacionales y las políticas implementadas recientemente. En un contexto de creciente urgencia por descarbonizar sectores industriales intensivos en emisiones, como la siderurgia y el transporte pesado, el hidrógeno de bajas emisiones emerge como un vector clave de la transición energética. Sin embargo, su producción a gran escala sigue siendo costosa y depende críticamente de la disponibilidad de recursos renovables, infraestructura industrial, capacidades estatales y de gobernanza, así como de mercados internos y externos que justifiquen las inversiones.

La región cuenta con ventajas comparativas por la alta participación de energías renovables en su matriz eléctrica, abundantes recursos solares, eólicos e hidrocarburíferos, industrias consolidadas de petróleo, gas y minería, y presencia de empresas públicas que pueden funcionar como pivotes en la transición. A partir de estas ventajas, muchos países han elaborado estrategias nacionales de hidrógeno, la mayoría entre 2020 y 2025, con fuerte orientación exportadora y centradas en el hidrógeno verde. No obstante, el optimismo inicial ha cedido frente a la incertidumbre sobre los subsidios y regulaciones internacionales, los altos costos relativos y las dificultades logísticas, lo que abre una oportunidad para repensar el desarrollo del sector en ALC articulada al tejido productivo existente y orientada también a la demanda interna.

Este documento propone un marco conceptual que combina enfoques de cadenas de valor, sistemas tecnológicos, polos de desarrollo y el concepto de Gran Impulso para la Sostenibilidad de la CEPAL. Mediante el análisis de las condiciones estructurales referidas a recursos naturales, infraestructura, capacidades estatales y oportunidades para la integración productiva, se clasificaron 23 países en cuatro grupos, con perfiles similares. Luego se examina la alineación entre ventajas, estrategias y políticas en cada grupo. Se concluye que no existe un único modelo de desarrollo para la economía del hidrógeno de bajas emisiones: los países de ALC pueden seguir trayectorias diversas y complementarias, lo que exige diseñar políticas a medida, fortalecer capacidades estatales y fomentar la cooperación regional para construir una industria del hidrógeno sostenible e inclusiva.

Introducción

En los últimos cinco años, el hidrógeno¹ se ha consolidado como un vector clave para la mitigación del cambio climático. Su uso como insumo en la industria y en sectores de difícil descarbonización —como el transporte pesado o la aviación—, abre la posibilidad de reducir significativamente las emisiones. No obstante, para que cumpla este rol, es indispensable que su producción sea limpia o de bajas emisiones, en contraste con la modalidad que predomina hasta ahora, basada en fuentes fósiles sin implementar procesos o técnicas de captura de las emisiones (hidrógeno gris). Se considera hidrógeno de bajas emisiones aquel que es obtenido a través de cualquier ruta tecnológica siempre que ésta evite liberar a la atmósfera emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Algunas de las rutas más conocidas son la electrólisis de agua a partir de fuentes renovables (hidrógeno verde) o el reformado de biometano o de gas natural combinado con tecnologías de secuestro y almacenamiento de CO₂² (CCS, por sus siglas en inglés) (hidrógeno azul).

América Latina y el Caribe (ALC) tiene potencial para desarrollar distintas rutas de obtención de hidrógeno de bajas emisiones ya que cuenta con importantes y diversos recursos naturales, que complementa con capacidades industriales y tecnológicas, infraestructuras y formas de gobernanza, todos activos críticos para el despliegue de esta industria. Estas condiciones estructurales le permiten posicionarse como una región privilegiada a nivel mundial.

En primer lugar, ALC es la región con la mayor participación de energías renovables en su matriz eléctrica. Con 63,4% (OLADE, 2025), más que duplica el promedio mundial de 29,5% (IRENA, 2024). De esa proporción, cerca de 60% proviene de la hidroelectricidad, mientras que el resto corresponde principalmente a fuentes solar y eólica (IEA, 2024; OLADE, 2025). En la última década, estas dos fuentes

¹ El hidrógeno es el gas más abundante en el universo y tiene el máximo contenido de energía por unidad de peso en comparación con cualquier otro combustible conocido (Abdin et al., 2020). A su vez, el hidrógeno es considerado un carrier (vector energético) sostenible, porque no emite directamente gases de efecto invernadero o contaminantes del aire (sólo genera calor y vapor de agua), y versátil porque se puede utilizar en una amplia gama de aplicaciones, desde el transporte hasta la industria, la energía y los sectores de la construcción (Scita, Raimondi y Noussan, 2020).

² En la siguiente sección se ofrece una definición con mayor detalle sobre los diferentes tipos de hidrógeno.

han sido las principales responsables del aumento de nueva capacidad eléctrica instalada en la región (OLADE, 2025). Todo indica que su expansión continuará, impulsada por la fuerte reducción de los costos de generación en los últimos 15 años³ y el potencial solar y eólico excepcional de ALC⁴.

En segundo lugar, la región cuenta con reservas de petróleo y gas natural, la mayoría concentradas en Venezuela, Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, México, Perú, Surinam y Trinidad y Tabago⁵, e industrias del petróleo y gas desarrolladas. También varios países cuentan con empresas públicas que participan en la extracción y procesamiento de hidrocarburos, factor que se ha constituido en un vector de industrialización, construcción de infraestructura y desarrollo territorial para muchos países de la región (Singh, 2024). La industria del gas y petróleo ha permitido el desarrollo de una amplia gama de sectores que van desde refinerías y producción de combustibles hasta los polos petroquímicos. Estos son responsables de la producción de cerca de 4 millones de toneladas de hidrógeno (gris) al año, lo que representa el 4% de la producción global. Esta producción se destina especialmente al refinado de combustibles, metanol, a la industria siderúrgica y a la producción de amoníaco para fertilizantes, que aunque significativa, es insuficiente para atender la demanda interna. La región produce alrededor del 3% de la urea mundial, pero consume en el orden del 17%.

En tercer lugar, ALC tiene numerosos sectores industriales que podrían utilizar hidrógeno en sus estrategias sectoriales de descarbonización. Entre ellos destaca la producción siderúrgica, con jugadores globales como Brasil, México, Perú y Argentina que en conjunto representan el 2% de la producción mundial; y la minería con Chile y Perú liderando la minería de cobre y litio; en el caso de Chile; Brasil con extracción de hierro y bauxita, y por último México que es el principal productor de plata.

Completan el panorama, la infraestructura portuaria, la presencia de *hubs* logísticos y pasos estratégicos como el canal de Panamá, y nuevos corredores bioceánicos en construcción que también podrían impulsar la demanda de hidrógeno para la producción de combustibles sintéticos.

Todas estas actividades podrían convertirse en focos de demanda de hidrógeno de bajas emisiones. Pero la región también podría ser exportadora neta de hidrógeno ya que sus recursos (eólico, solar e hidrocarburífero) le podrían permitir producir mucho más hidrógeno de bajas emisiones que el necesario para cubrir las demandas actuales y futuras⁶.

Según estimaciones de IRENA (2022), ALC podría, hacia 2050, contribuir con 12,3% de todo el hidrógeno necesario a nivel global tanto para descarbonizar sus usos actuales (insumo industrial en la producción de fertilizantes, insumos químicos, siderurgia, y refinación de combustibles) como para nuevos usos (transporte, calor industrial y generación eléctrica).

Diversos reportes de organismos internacionales e instituciones especializadas (IRENA, 2022 y 2024; IEA, 2020, Hydrogen Council, 2023) muestran que países industrializados como Alemania, Corea del Sur y Japón no podrán producir todo el hidrógeno de bajas emisiones necesario para descarbonizar su actividad industrial, dada su alta demanda, la baja disponibilidad de recursos naturales y su escasa extensión territorial. En contraposición, diversos países de ALC podrían volverse exportadores netos, porque el potencial de producción de hidrógeno de bajas emisiones supera varias veces a su demanda interna esperada.

³ IEA (2003) proyecta que la energía solar crecerá entre 2022 y 2050 un 277% (de 45 a 170 GW de potencia instalada), la energía eólica un 175% (de 40 a 110 GW), mientras que la hidroelectricidad, partiendo de niveles mucho mayores, mostrará un crecimiento mucho más modesto (200 a 220 GW) y la generación a gas un 9% (de 160 a 175 GW). Por último, la generación a base de biomasa continuará ocupando un rol menor en la generación eléctrica. La predominancia del crecimiento de solar y eólica sobre otras fuentes se justifica en las ganancias de eficiencia de los últimos años (según Lazard, 2025, el costo nivelado de la energía eléctrica renovable de origen solar se ha reducido en un 87% y la eólica en 55% en los EEUU desde 2009 a 2025), el potencial eólico y solar de la región y las políticas establecidas por los países (metas de reducción de emisiones y planes nacionales de transición energética).

⁴ Además, la hidroelectricidad presenta un mayor impacto socio ambiental porque su desarrollo suele implicar significativos cambios en el uso del suelo, con implicancias sobre comunidades locales y emisiones.

⁵ La región representa el 19% de las reservas mundiales de petróleo y el 4% de las de gas. La relación entre reservas y producción de 2021 indicaba que la región podría producir crudo durante 113 años y gas por 42,4 años (Cepal 2023).

⁶ En este informe nos centramos en la producción de hidrógeno renovable producido por electrólisis de agua a partir de energía solar y eólica e hidrógeno azul producido a partir de gas natural con captura y almacenamiento de carbono por ser las fuentes con mayor potencial de crecimiento. No obstante, la hidroelectricidad, la biomasa y la energía geotérmica son fuentes de gran potencial en ALC que también deberían explorarse a futuro.

Estas condiciones han alentado los pronósticos optimistas, que pueden leerse en las estrategias nacionales de hidrógeno de los países de la región. Por ejemplo, la estrategia de Chile, publicada en el 2020, plantea la visión de posicionarse como el país más competitivo a nivel global para la producción de hidrógeno verde a gran escala para exportación. La estrategia chilena propone metas tan ambiciosas como alcanzar costos de producción en torno al 1,1 USD/kg de hidrógeno (contra los valores actuales que van entre 4 y 8 USD/kg) y expandir la infraestructura de generación renovable en 300 GW de nueva potencia dedicada a la producción de hidrógeno verde⁷, unas 12 veces la potencia renovable chilena actual.

Escritas en un contexto de gran optimismo en torno a las posibilidades de rápido crecimiento de la demanda global de hidrógeno, la mayor parte de las estrategias de países de ALC se han orientado a la producción de hidrógeno verde para la exportación. Sin embargo, las condiciones han cambiado: actualmente el sector enfrenta una mayor incertidumbre por un freno en las regulaciones de países centrales en torno a la descarbonización, que ponen en duda metas y subsidios. En este contexto, analistas de mercado, académicos y hacedores de política muestran mayor cautela a la hora de evaluar las oportunidades potenciales del hidrógeno de bajas emisiones. Las dificultades para concretar compras de hidrógeno a largo plazo, los todavía elevados costos de producción (vis a vis las alternativas fósiles) y las incertidumbres tecnológicas en torno al transporte del hidrógeno están poniendo un freno sobre el optimismo antes sembrado.

Este cambio de perspectiva global no es necesariamente una mala noticia para ALC. Por un lado, el consenso sobre el rol del hidrógeno en la transición energética se sostiene, indicando que jugará un papel insustituible a la hora de abordar los sectores difíciles de descarbonizar. Por otro lado, esto permite que la región pueda empezar a observar un mayor pragmatismo en el desarrollo de esta nueva industria, considerando las escalas de los proyectos, los costos, el “readiness” tecnológico; y especialmente con una mirada hacia las necesidades internas de las economías nacionales y de la región.

Sin la urgencia por construir infraestructuras masivas orientadas a la exportación de hidrógeno verde, el nuevo contexto puede abrir espacios para pensar diferentes trayectorias posibles en torno al hidrógeno, con mayor apego por las condiciones estructurales prevaletentes, sus historias industriales y productivas, y con una planificación para la construcción de capacidades a futuro, sin que esto implique desatender las potenciales oportunidades para la exportación.

Como indica el último informe de IEA (2024) sobre hidrógeno, México y Colombia podrían aprovechar la gran demanda existente de hidrógeno de sus refinерías. La minería en Chile o Perú podría utilizar hidrógeno de bajas emisiones para descarbonizar operaciones, como en la producción de explosivos industriales o su uso en maquinarias y transporte pesado. Brasil y Argentina podrían buscar escalar la producción de fertilizantes con urea verde y Brasil podría apostar al acero verde con reducción directa en base a hidrógeno. Trinidad y Tabago podría invertir en las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono, como una forma de descarbonizar su industria petroquímica y producir hidrógeno azul y sus derivados para el mercado global. Diversos países podrían apostar a tener producción propia de combustibles limpios para uso en buques y para aviones aprovechando el CO₂ de origen biogénico⁸ con el que cuenta la región.

En la medida en que los proyectos de hidrógeno se alejan de enclaves exportadores y pasan a arraigarse al entramado productivo preexistente, la literatura clásica del desarrollo, así como algunos aportes actuales, vinculados a las políticas de desarrollo productivo verde para el cambio estructural (Altenburg y Rodrik, 2017) resultan esenciales para comprender las oportunidades que se abren y los instrumentos y modelos de políticas para hacerlas efectivas.

⁷ Esto implicaba más que multiplicar por 10 la potencia eléctrica de Chile de 2020 (26,3 GW) y multiplicar por 22 la potencia de generación renovable (13,4 GW) (Olade, 2025). Actualmente dicha potencia se ubica en torno a los 24 GW, marcando un crecimiento del 77%, aunque este incremento se ha dedicado al consumo eléctrico chileno y sólo marginalmente a la producción de hidrógeno verde.

⁸ El CO₂ biogénico proviene de fuentes orgánicas, liberado a partir de procesos como la descomposición de biomasa o la combustión de madera. Estas emisiones no suelen considerarse una contribución al cambio climático porque forma parte del ciclo natural del carbono (las plantas al crecer absorben CO₂ a través de la fotosíntesis). La captura de este CO₂ permite su reutilización, por ejemplo, en la carbonización de combustibles en base a hidrógeno. Al mismo tiempo la captura de CO₂ biogénico es un proceso menos oneroso que la captura directa del aire, por lo que suele ser considerado como una fuente preferencial en la producción de combustibles sintéticos.

Este estudio se basa en un marco conceptual anclado en la literatura de sistemas tecnológicos y en los trabajos recientes de la CEPAL (2024a, 2024b, 2020), con énfasis en el concepto de *Gran Impulso para la Sostenibilidad*, y de las políticas de desarrollo productivo “de nueva generación” propuestas por la CEPAL (2024a). Este enfoque integra múltiples objetivos que incluyen además del económico la lucha contra el cambio climático, la reducción de la desigualdad, y la resiliencia de las cadenas de valor, además del crecimiento de la productividad y la generación de empleo, con un reconocimiento de la relevancia de la colaboración multiactor, con el objetivo de mostrar la densa red de oportunidades productivas que se abren en torno a la industria del hidrógeno. Aunque aprovechar dichas oportunidades requiere políticas públicas que funcionen de forma sistémica, con un ejercicio de planificación territorial y que aborden de forma simultánea objetivos de sostenibilidad, productivos, de innovación, empleo y de construcción de capacidades.

En este documento se analizan: i) las condiciones estructurales que habilitan proyectos de hidrógeno y sobre las cuales los diferentes países de ALC podrían articular sus estrategias en el sector, ii) las estrategias efectivamente diseñadas y publicadas y iii) el grado de coherencia entre ellas y las políticas implementadas.

Las condiciones estructurales, habilitantes de proyecto de hidrógeno de bajas emisiones, se asocian a recursos naturales, infraestructuras, capacidades industriales y de gobernanza. Las estrategias son caracterizadas en términos de: la ruta del hidrógeno perseguida, el balance exportación-mercado interno, la planificación territorial y de despliegue de nuevas infraestructuras y la orientación a articular los nuevos proyectos de hidrógeno dentro de las estructuras industriales prevalecientes. Las políticas específicas hacia el sector se caracterizan según el tipo de instrumentos como regulaciones, subsidios directos, o exenciones impositivas para la promoción de inversiones. Sobre la base de diferentes combinaciones entre ventajas, estrategia y políticas se pueden configurar diferentes caminos para el desarrollo de una industria del hidrógeno en los países de ALC.

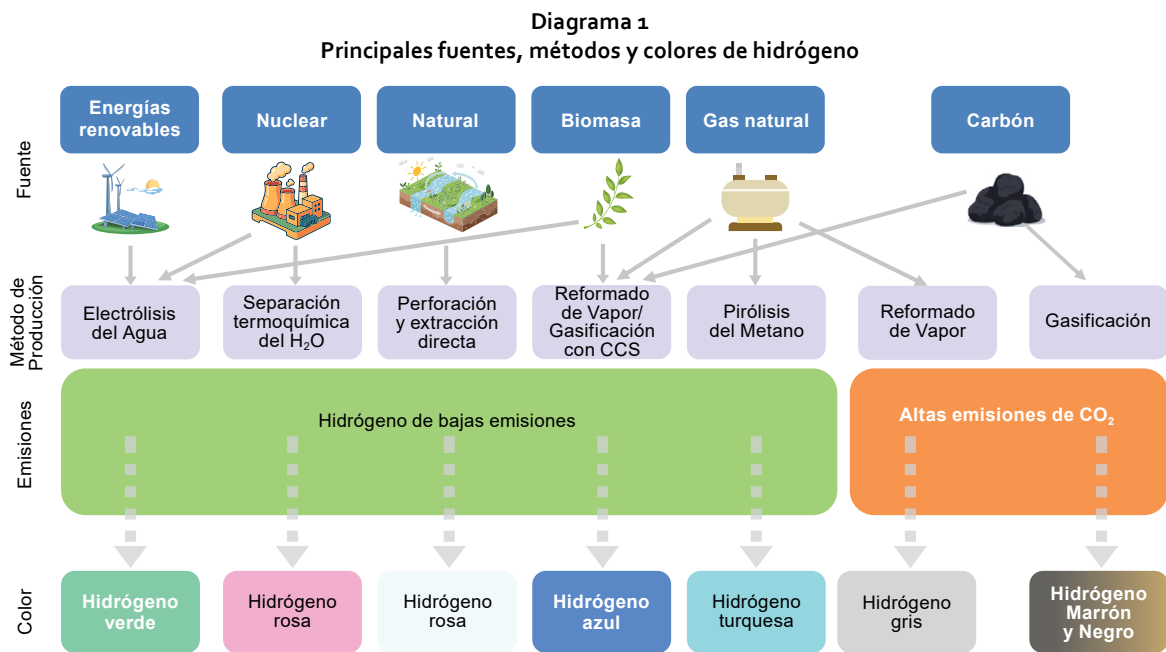
Este análisis permite mostrar que:

- Existen diferentes caminos posibles para potenciar el desarrollo de una nueva economía del hidrógeno en ALC, y que los diferentes países de la región pueden perseguir estrategias distintas e incluso complementarias, abriendo espacio para la cooperación y la integración energética y productiva.
- Las políticas necesarias para alcanzar estos objetivos deben estar hechas a medida, tomando en cuenta capacidades y condiciones estructurales de base y estrategias perseguidas, descartando la idea de “*talla única*” (*one size fits all*) en materia de políticas de desarrollo producido.
- Las experiencias internacionales pueden ser ilustradoras de los caminos a seguir, pero se requiere un análisis específico de las capacidades diferenciales de los países de la región para hacer recomendaciones de políticas en torno al desarrollo productivo en esta nueva industria.

El documento se organiza de la siguiente manera. A continuación, en la sección I, se desarrolla el marco conceptual. La sección II da cuenta del estado de las estrategias de hidrógeno de la región y de las políticas implementadas en algunos casos. La sección III está dedicada a la caracterización de las condiciones estructurales que hacen a las posibilidades del desarrollo del hidrógeno y a analizar el grado de convergencia entre éstas y sus estrategias. En la sección IV se analizan algunas estrategias fuera de la región y su grado de relación con las políticas de desarrollo productivo. Finalmente, en la sección V se presentan las principales conclusiones y espacios de mejora para las políticas públicas de la región.

I. Definiciones y marco conceptual

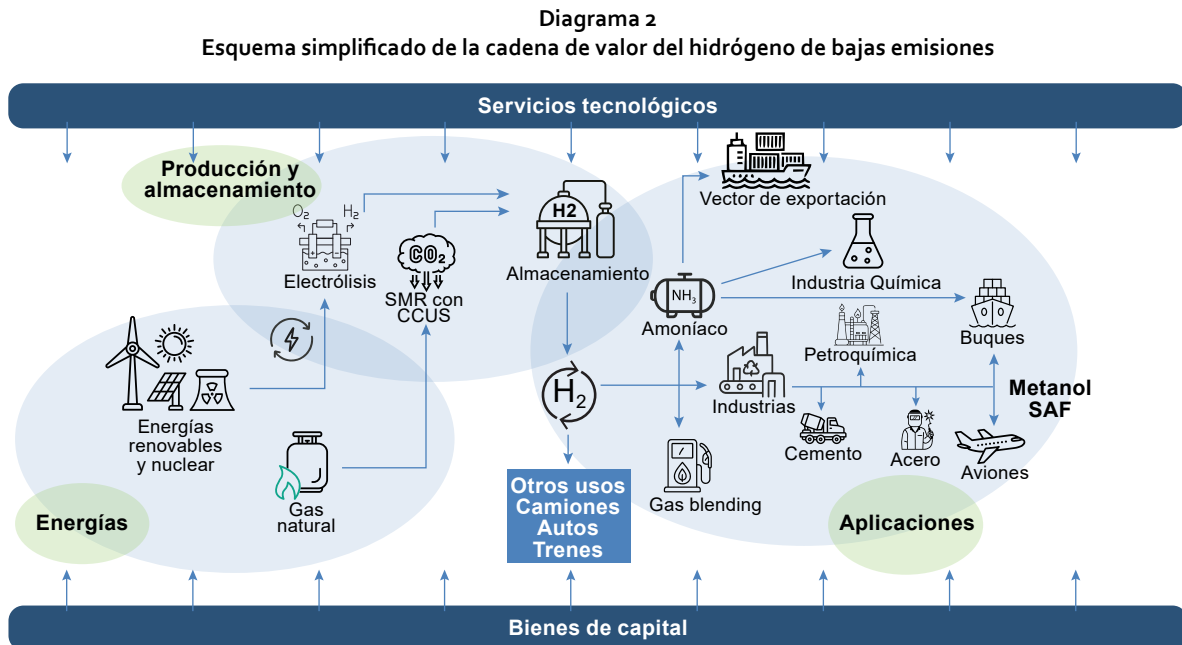
El hidrógeno es un gas industrial utilizado en muchas aplicaciones. En la actualidad, la producción de hidrógeno se realiza a través de procesos químicos que utilizan como insumo combustibles fósiles sin métodos para la mitigación de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). La producción de hidrógeno de bajas emisiones de carbono todavía se encuentra en una fase temprana de desarrollo. A nivel mundial menos de 1% se produce por métodos limpios (IEA, 2024; IRENA, 2022). Existen múltiples rutas para la obtención del hidrógeno, en función de la fuente de energía (eólica, solar, nuclear, etc.) y la tecnología, que en la literatura se han clasificado en colores en el diagrama 1.



Fuente: Elaboración propia.

Este estudio se centra en las tecnologías que se encuentran en un estadio de mayor madurez tecnológica y comercial de hidrógeno de bajas emisiones, correspondientes al hidrógeno verde y el hidrógeno azul⁹. Estas dos rutas se proyectan con mayor potencialidad hacia el 2030, dado el actual ritmo de expansión de las inversiones en proyectos a escala comercial (IEA, 2025; IRENA, 2022). Sin embargo, también nos referimos al resto de las rutas porque para muchos países pueden ser cruciales por sus recursos naturales, especialmente la biomasa.

La cadena de valor del hidrógeno de bajas emisiones es grande y compleja (véase el diagrama 2). Incluye diversos eslabones que van desde la generación eléctrica hasta la producción de productos derivados del hidrógeno, como amoníaco o metanol. Dentro de esta cadena, deben considerarse la manufactura de los bienes de capital, tanto para producción de hidrógeno (plantas de electrólisis y sus componentes y plantas desalinizadoras de agua) como para la generación de energías renovables (aerogeneradores, paneles solares, *trackers*, turbinas hidráulicas) y los servicios de ingeniería requeridos en el montaje de parques eólicos y solares y de nuevas plantas industriales para la transformación del hidrógeno. También es relevante el desarrollo de nueva infraestructura asociada al almacenamiento y transporte del hidrógeno, incluyendo ductos, plantas compresoras, recipientes de almacenamiento, adaptación de puertos e infraestructura existente, hasta la producción de diversos productos aguas abajo en la cadena, como combustibles sintéticos, fertilizantes o acero verde.



Fuente: Elaboración propia en base a SAE (2023).

En el caso del hidrógeno azul, las industrias proveedoras de gas y petróleo resultan críticas, no solo por la demanda de equipamiento e insumos en la fase de la extracción, sino también por la infraestructura necesaria para la gestión de CO₂, incluyendo su inyección en depósitos geológicos, almacenamiento y transporte. También son importantes las demandas de equipamiento de las industrias químicas para el reformado del gas natural y para la captura de CO₂. Las plantas de refinación de combustibles son usuarias de hidrógeno para la desulfuración y craqueo de fracciones más pesadas de petróleo en la elaboración de gasolinas más livianas, por lo que disponen de infraestructura para el almacenaje y la gestión de hidrógeno.

La infraestructura de gas también puede potenciar el desarrollo del hidrógeno verde, ya que podrían utilizarse como medio de transporte del hidrógeno en un *blend* de gases e incluso consumirse como tal, como parte de una estrategia para descarbonizar el consumo de gas natural.

⁹ Para ambos casos se hará referencia indistinta a hidrógeno de bajas emisiones.

La interrelación entre infraestructuras, inversiones complementarias, relación con recursos naturales críticos (solar, eólico, hidrocarburos, geológico para almacenamiento de CO₂, o biomasa) y con las fuentes de demanda (usos domésticos y exportación) conduce a que se proyecte que la producción de hidrógeno se dé en el contexto de *hubs*, valles, clusters o polos industriales, similares a los de la industria petroquímica. A estas interrelaciones deben agregarse dos potenciales subproductos de grandes plantas de hidrógeno, por un lado el calor residual¹⁰, que podría ser insumos de otras industrias co-localizadas y el excedente de agua proveniente de las plantas de desalinización. Toda esta compleja trama de relaciones interindustriales conlleva a la necesidad de pasar de un enfoque de cadenas a uno de sistema tecnológico que ponga en juego no solo relaciones verticales de aprovisionamiento sino también relaciones entre cadenas que se desarrollan conjuntamente porque los subproductos de una pueden constituir insumos de otra.

En este sentido, el despliegue de la industria del hidrógeno de bajas emisiones en la región permite vislumbrar grandes oportunidades para el desarrollo productivo y la diversificación económica.

Ahora bien, dada la heterogeneidad de los países de la región, el desarrollo productivo que pueda impulsarse variará en función de los distintos puntos de partida estructurales. Las diferencias en materia de recursos naturales disponibles, matrices energéticas, las rutas contempladas para la producción de hidrógeno, el perfil productivo, con especial interés en la existencia de potenciales industrias demandantes y potenciales proveedores, y las estrategias definidas por los diferentes países, que también están en función de las potenciales demandas internacionales, pueden dar lugar a trayectorias sectoriales diversas.

Siendo la heterogeneidad estructural un elemento central que caracteriza a las economías de ALC y a la región como un todo se recurre a una perspectiva estructuralista para dar cuenta de esas heterogeneidades y la forma en que pueden configurar diferentes caminos para la producción de hidrógeno. El marco conceptual conjuga cuatro enfoques: el de cadenas, el de sistemas tecnológicos, el Gran Impulso para la sostenibilidad y el de polos de desarrollo.

A. De las cadenas de valor a los sistemas tecnológicos

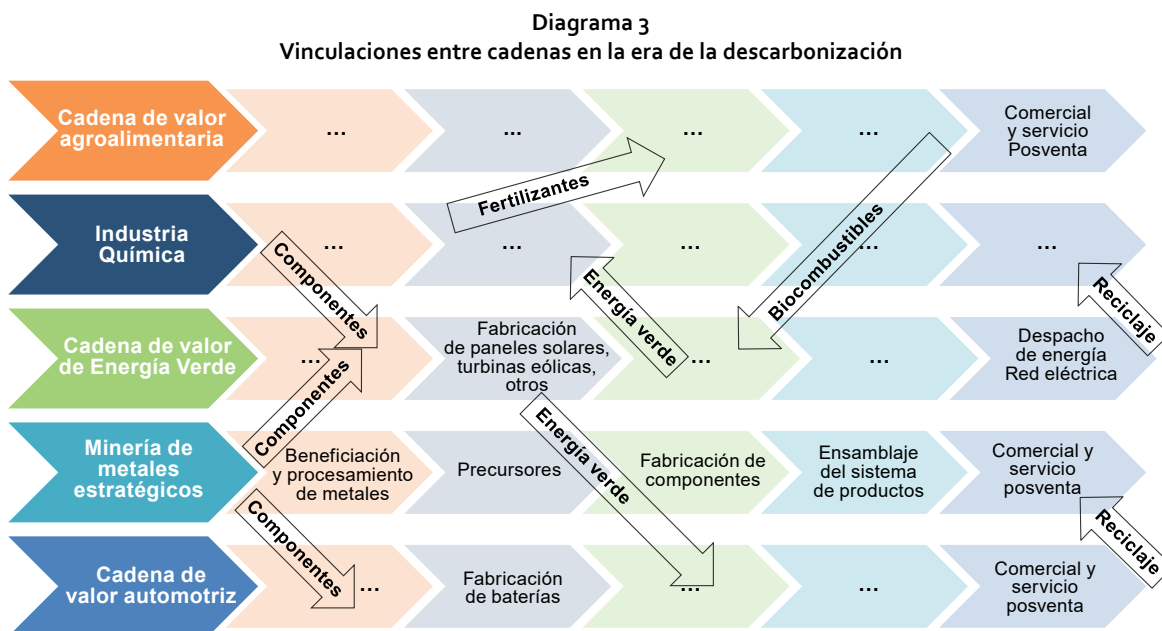
El enfoque de cadenas de valor ofrece algunas ventajas en su aplicación al caso de hidrógeno de bajas emisiones. Permite la identificación de diferentes eslabones como la energía renovable, la electrólisis, las etapas de transformación del hidrógeno y el equipamiento asociado. Además, el enfoque permite analizar cada eslabón desde la perspectiva de creación de valor, empleos y construcción de capacidades. Sin embargo, el enfoque se orienta al estudio de las interdependencias verticales entre los segmentos de la cadena y, particularmente, relaciones asimétricas de poder en los vínculos proveedor-cliente (Kaplinsky & Morris, 2000; Gerefi et al 2005).

Casos típicos que ha abordado la literatura son las cadenas de la energía eólica (Morris et al 2022, van der Loss et al., 2022), paneles solares o baterías eléctricas (Matthews, 2020; Sanchez-Lopez, 2023). La mayor parte de esta literatura se focaliza en el potencial de las cadenas para la creación de empleos verdes, así como de las competencias necesarias para el ingreso de países en desarrollo en los diferentes segmentos de las cadenas. Desde la perspectiva de políticas de desarrollo productivo verdes, los estudios se han focalizado en las estrategias de inserción basadas en encadenamientos aguas arriba, por ejemplo, en minería de litio (CEPAL, 2023); o en el desarrollo de proveedores para aerogeneradores y aguas abajo en la transformación de materiales, como la transformación de energías renovables en commodities verdes, como hidrógeno, amoníaco o acero (Matthews, 2022; Andreoni y Roberts, 2024, Verpoort, et al 2024).

Por su parte, el enfoque de sistemas tecnológicos (Hughes, 1987; Carlsson y Stankiewicz, 1991), paradigmas tecnoeconómicos (Perez, 2010) y sistemas socio-técnicos (Geels, 2005 y 2018) traen a la luz manifestaciones adicionales propias de la transición energética como los múltiples desarrollos complementarios, no solo a lo largo de una única cadena de valor sino entre cadenas interdependientes, tal como se describió en la primera sección de este apartado.

¹⁰ Especialmente con electrolizadores de óxido sólido que operan a temperaturas elevadas en un rango de 600 a 900 grados centígrados.

Un ejemplo lo ofrece el trabajo de Andreoni y Roberts (2024). Su artículo, orientado al análisis de la creación de empleos verdes en el contexto de la transición, pone de manifiesto la existencia de multiplicadores del empleo inter- e intrasectoriales, asociados a las demandas cruzadas que emergen en un contexto de promoción de inversiones hacia la descarbonización (véase el diagrama 3). Inspirados en este trabajo, planteamos la necesidad de ir desde un enfoque basado en cadenas hacia una perspectiva matricial, que pueda dar cuenta de la modificación simultánea de varias cadenas derivada de las interrelaciones sistémicas asociadas a la descarbonización.

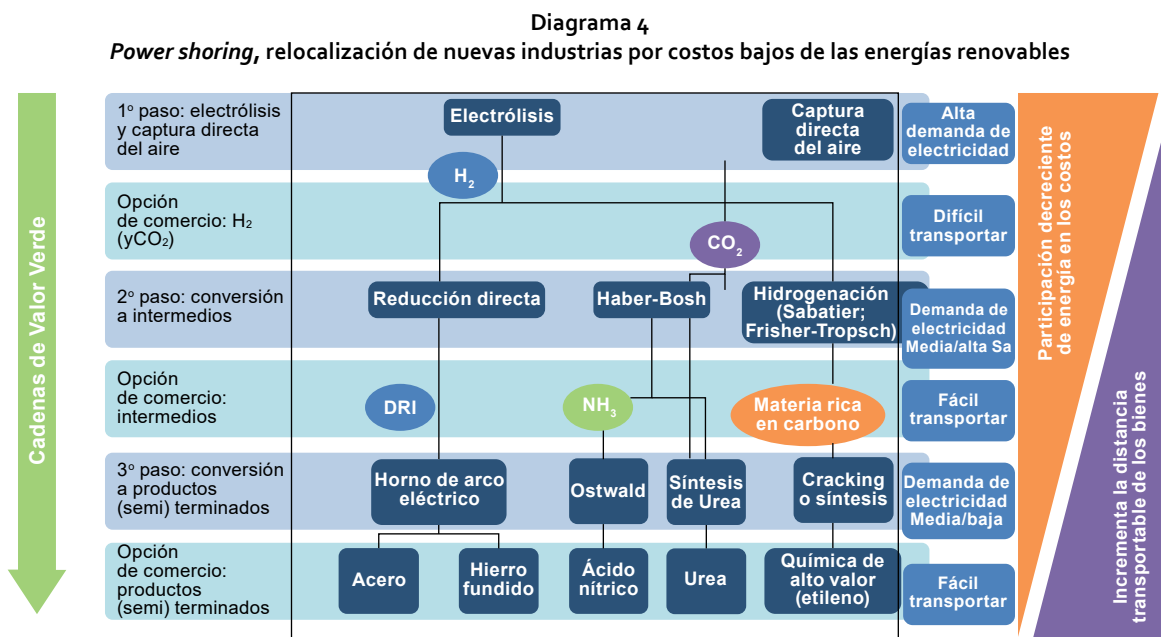


Fuente: Elaboración propia en base a Andreoni y Roberts (2025).

Una propuesta similar se encuentra en Matthews (2022), al analizar el despliegue de una revolución tecno-económica basada en las energías renovables (con foco en la energía solar) y la emergencia del sector del hidrógeno limpio. Para el autor el papel del aprendizaje productivo y los rendimientos crecientes en la expansión de nuevos mercados son elementos centrales en el desarrollo de esta nueva economía. Las oportunidades para el crecimiento económico que han sido impulsadas en un principio por las políticas de descarbonización, en la medida en que ganan competitividad se vuelven espacios genuinos de expansión productiva y creación de valor. Para Matthews, si la revolución tecnológica se asocia al surgimiento de las nuevas fuentes de energías renovables y las tecnologías de producción de hidrógeno limpio, sus implicancias ocurren con el despliegue del nuevo paradigma sobre todo el entramado productivo. Es decir, define al proceso de cambio a partir de innovaciones radicales e incrementales que afectan la competitividad de las cadenas de valor y comienza un proceso de reemplazo concatenado entre sectores y cadenas interrelacionadas.

La electrificación como proceso de fondo habilita al desarrollo de nuevas industrias, pero la base de competitividad de las mismas se ve modificada por los costos relativos de la generación de energía eléctrica de origen renovable, que a su vez es determinada por factores institucionales (políticas públicas, acceso al crédito y equipamiento, construcción de cadenas de suministro) y calidad de los recursos naturales para la generación renovable (solar y eólica). Por lo tanto, el despliegue de las nuevas cadenas también puede dar lugar a la relocalización de industrias, lo que a su vez podría traer implicancias sobre otras ramas industriales.

Verpoort, et al (2024) analizan la posibilidad de relocalización de actividades y las implicancias sobre las cadenas asociadas en función del costo de las energías renovables (véase el diagrama 4). Para estos autores, el desarrollo de hidrógeno y la captura de CO₂ de origen biogénico podría desplegar tres cadenas relacionadas como la siderurgia, los fertilizantes a base de amoníaco y los High Value Chemicals (HVC), como etileno y plásticos verdes.



Fuente: Elaboración propia en base a Verpoort, et al. (2024).

B. Gran Impulso para la sostenibilidad

Los aportes analizados guardan sintonía con los trabajos recientes de la CEPAL (2024a, 2024b, 2020), en torno al concepto de *Gran Impulso para la Sostenibilidad*. En este caso, recurriendo a un enfoque desarrollista, los estudios de la CEPAL muestran las interconexiones entre los nuevos sectores productivos asociados con la transición energética, y enfatizan la necesidad de inversiones complementarias para el despliegue de las nuevas cadenas (CEPAL, 2024b, CEPAL-FES, 2019). En particular, hacen énfasis en la articulación y amplia coordinación de políticas para movilizar inversiones, complementarias y en escala, que impulsen un círculo virtuoso de crecimiento económico que dé respuesta a los problemas estructurales del desarrollo, incluyendo el mantenimiento y regeneración de la base de recursos naturales de la que depende el desarrollo.

Entendemos que la posibilidad de implementar políticas orientadas a un proceso de transformación estructural (Schot y Steinmuller, 2018), implica una dinámica más compleja y orgánica en la que las economías no se lanzan directamente a un futuro verde; por el contrario, cada país explora diferentes vías potenciales para la diversificación y una profunda reestructuración industrial de la economía (Andreoni y Roberts, 2024)¹¹.

Este trabajo utiliza este enfoque para entender las interdependencias sistémicas que puede generar la economía del hidrógeno teniendo en cuenta las diferencias estructurales de los países.

¹¹ En este sentido, implica una mirada amplia sobre las estrategias y políticas para la transición hacia nuevos sectores limpios, entendiendo que el desarrollo productivo y la creación de nuevos empleos verdes surgen de un proceso dinámico de expansión del empleo y desarrollo de encadenamientos productivos locales que abarca diferentes sectores, cada uno con sus diferentes matices de "marrón" y "verde" (Andreoni y Roberts, 2024).

La CEPAL ha enmarcado la transición energética no solo como una necesidad ambiental, sino como una oportunidad estratégica para reestructurar el modelo de desarrollo de la región. En un contexto de bajo crecimiento, empleo de calidad insuficiente, demandas sociales acumuladas y degradación ambiental, la sostenibilidad emerge como eje de competitividad y de política productiva (CEPAL, 2024b). La agenda del Gran Impulso para la Sostenibilidad propone articular inversiones complementarias en sectores dinamizadores, como el hidrógeno de bajas emisiones, coordinadas a través de capacidades institucionales y mecanismos de gobernanza y diálogo social que aseguren transiciones justas, responsables y sostenibles.

El Gran Impulso en la economía del hidrógeno implica planificación de largo plazo, reducción de riesgos (regulación clara, instrumentos financieros y coordinación público-privada), y creación de demanda interna para alcanzar escala —por ejemplo, sustituyendo H₂ fósil en refinerías y fertilizantes, o habilitando usos en minería y transporte pesado— mientras se fortalecen proveedores locales y capital humano. Se trata de anclar el hidrógeno en estrategias de industrialización, generación de valor agregado y empleo de calidad, con trayectorias diferenciadas según las estructuras productivas de cada país. Así, el hidrógeno opera como palanca de transformación para la transición energética, contribuyendo a un círculo virtuoso entre institucionalidad, desempeño ambiental y cambio tecnológico.

En línea con las políticas de desarrollo productivo de nueva generación, la industria del hidrógeno de bajas emisiones se posiciona como un sector estratégico dentro del portafolio de sectores impulsores para la transformación productiva en ALC. Para desarrollar esta industria, es fundamental implementar políticas de desarrollo productivo que incluyan incentivos para la inversión en infraestructura específica. Además, se requiere una agenda normativa y regulatoria que garantice estándares de calidad y seguridad, así como esfuerzos en ciencia, tecnología e innovación para el aprendizaje en base a pilotos industriales, fomentar la formación técnica y mejorar la eficiencia de los procesos de producción. Por último, también se necesita una gobernanza ambiental y de gestión de recursos naturales apropiada, que acompañe un proceso de construcción de licencia social para la operación basada en la participación temprana y que incluya las voces de las comunidades locales. La colaboración entre los sectores público, privado, académico y la sociedad civil será clave para identificar y superar los cuellos de botella, mientras que la gobernanza multinivel puede facilitar la articulación de esfuerzos entre los gobiernos nacionales y subnacionales para maximizar el impacto de esta apuesta estratégica.

C. Clusters, hubs y polos de desarrollo

Como se menciona en la primera sección de este apartado, la dimensión territorial resulta clave, porque gran parte de las inversiones complementarias requieren minimización de costos de transporte. Tanto la energía como los insumos químicos gaseosos resultan caros de transportar, en la medida en que pueden requerir nuevas infraestructuras especialmente dedicadas (por ejemplo, H₂-ductos o CO₂-ductos). En este contexto resulta apropiado retomar la literatura de clusters y polos de desarrollo (Cook, 2012, Perroux, 1950, Salazar-Xirinachs, 2020) para dar cuenta de las implicancias territoriales del desarrollo de la economía del hidrógeno.

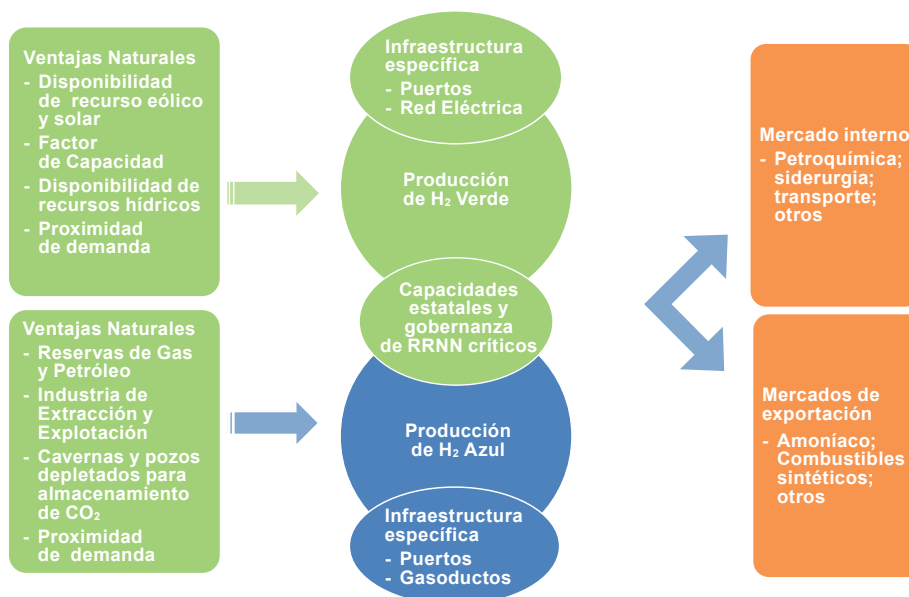
El concepto de *Hydrogen Valley's* (Valles de hidrógeno) en particular, refiere a un proyecto o conjunto de proyectos que introducen diversas tecnologías y rutas de producción, almacenamiento y utilización de hidrógeno dentro de una región geográfica definida (Bampaou y Panopoulos, 2025). Diversos trabajos académicos muestran que la actividad tenderá a desarrollarse en *Hubs*, polos o valles (Karplus, et al 2025). Las estrategias nacionales identifican *hubs* potenciales para la producción de hidrógeno, co-localizaciones más o menos precisas relacionadas con capacidades e infraestructuras preexistentes y los mercados de destino. Esto responde a las complementariedades en las inversiones y las necesidades de infraestructura común.

D. Esquema de análisis

En función de estos bloques teóricos se elaboró un esquema conceptual que permite una aproximación de las condiciones estructurales que favorecen el desarrollo de la economía del hidrógeno. En él se integran las ventajas naturales de los territorios, con aspectos estructurales (infraestructura, capacidades productivas y gobernanza) y su determinación sobre diferentes rutas para producir hidrógeno: verde o azul (véase el diagrama 5).

En la Sección IV, se propone operacionalizar este esquema a partir de la identificación y análisis de un conjunto de indicadores y variables empíricas para los casos del hidrógeno verde y azul¹².

Diagrama 5
Esquema conceptual de los determinantes estructurales de la producción de hidrógeno verde y azul



Fuente: Elaboración propia.

El marco metodológico combina el estudio de las condiciones estructurales que hacen a la viabilidad de los proyectos de hidrógeno así como de las estrategias y políticas implementadas. A través de una descripción cualitativa de rasgos estructurales, estrategias y políticas se explora el grado de coherencia entre ellas. Para la caracterización estructural se recurrió a un estudio previo que sintetiza información cuantitativa para una muestra de 23 países sobre 26 variables. La muestra de países incluye a los once países con estrategias u hojas de ruta oficiales, siete países con hojas de ruta o estrategias en elaboración o con documentos provistos por otros actores institucionales (cámaras empresarias) y un grupo de cinco países aún sin propuestas, pero que podrían ocupar un rol en el mapa de potenciales productores de hidrógeno de bajas emisiones por sus condiciones estructurales. Con esta información se construyen y caracterizan diferentes grupos de países con rasgos similares en sus condiciones estructurales y se analiza la correspondencia entre estas, las estrategias que persiguen y las políticas que aplican.

Posteriormente se analizan tres casos fuera de la región en los que se observa un fuerte impulso de desarrollo productivo en torno al despliegue de la economía del hidrógeno en sintonía con condiciones estructurales de base. Se considera que estos ejemplos resultan positivos para dar cuenta de la importancia de la alineación entre estructura, estrategia y políticas.

¹² Corresponde mencionar que existe una creciente variedad de procesos, fuentes de energía y tecnologías con un potencial significativo, como el aprovechamiento de la energía fotónica por medio de microalgas, cianobacterias y recuperación de desechos de biomasa, o incluso hidrógeno natural que han sido considerados en este estudio.

II. Estrategias y políticas de promoción del hidrógeno de bajas emisiones en América Latina y el Caribe

En los últimos seis años han proliferado las estrategias nacionales de hidrógeno de bajas emisiones en ALC, impulsadas por la expectativa de una demanda internacional creciente vinculada a la necesidad de descarbonizar actividades industriales (OLADE, 2025). En el año 2023, en particular, más de 23 países del mundo lanzaron sus hojas de ruta y/o estrategias de hidrógeno de bajas emisiones, consolidando la tendencia de los años previos.

Aunque hubo algunos avances pioneros¹³, todos los países de la región publicaron sus estrategias de hidrógeno entre 2020 y 2025. Esto puede considerarse un ingreso temprano, ya que antes de 2020 sólo existían 4 estrategias a nivel global y eran todas ellas de países desarrollados: Japón (2017), Francia (2018), Australia (2019) y Corea del Sur (2019).

Como puede observarse en el cuadro 1, en ALC hay 11 estrategias u hojas de ruta del hidrógeno publicadas oficialmente. A la fecha de elaboración del informe, además hay una estrategia que se encuentra en fase de elaboración (Guatemala) y en los casos de México, Perú, Guyana, El Salvador, Suriname y República Dominicana, si bien no existe un documento oficial, hay hojas de ruta o estrategias publicadas por el sector privado o existen estudios preparatorios elaborados por consultoras privadas a pedido de la industria o del sector público, que actúan como guía.

Cuadro 1
Estrategias de hidrógeno por país y año del primer anuncio

2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Japón	Francia	Australia	Canadá	Bélgica	Austria	Algeria	Islandia	Bolivia (Estado Plurinacional de)
		Corea del Sur	Chile	Colombia	Brasil	Argentina	Egipto	Paraguay
			Unión Europea	República Checa	China	Bhutan	Kazakhstan	

¹³ Brasil publicó una hoja de ruta del hidrógeno en 2005 y Argentina aprobó una ley de promoción de 2006, aunque nunca llegó a ser reglamentada.

2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
			Alemania	Dinamarca	Costa Rica		Lituania	
			Holanda	Hungría	Croacia	Bulgaria	Túnez	
			Noruega	Luxemburgo	Namibia		Viet Nam	
			España	Marruecos	Omán	ECOWAS	Panamá	
			Portugal	Polonia	Sudáfrica	Ecuador		
			Rusia	Eslovaquia	Trinidad y Tabago	Estonia		
				Reino Unido		India		
						Indonesia		
						Irlanda		
						Israel		
						Kenia		
						Malasia		
						Mauritania		
						Nueva Zelanda		
						Rumania		
						Singapur		
						Sri Lanka		
						Turquía		
						Emiratos Árabes Unidos		
						Estados Unidos		
						Uruguay		

Fuente: Elaboración propia en base a en base a IEA (2024), H2LAC y fuentes oficiales.

Para la elaboración de esta sección revisaron todos estos documentos relativos al planeamiento estratégico en torno al hidrógeno en la región. Se identificaron 18 que contaban con una estrategia, hoja de ruta, estudios o documentos elaborados por el sector privado que cumplen función similar a la estrategia. El cuadro 2 ofrece una síntesis de estos documentos.

El hecho de que todas las estrategias hayan emergido en una ventana de tiempo tan acotada obedece a diversas razones. En primer lugar, las estrategias cumplen un rol de promoción de inversiones. En el contexto de elevado optimismo con relación a proyectos de hidrógeno, los países de la región buscaron mostrar su potencial para la producción de hidrógeno competitivo con el objetivo de atraer la atención de potenciales inversores.

Cuadro 2
Dimensiones claves de estrategias nacionales de hidrógeno y hojas de ruta de países de América Latina y el Caribe

País	Definición	Planes, estrategias hojas de ruta	Participación de agencias	Rutas	Productos	Mercado interno/ exportación	LCOH (En USD/kg de H₂)	Proyección de producción/ Metas	Articulación con capacidades locales de ciencia y tecnología e industriales
Brasil	Hidrogênio de baixa emissão	Programa nacional de Hidrógeno 2022 Plan de trabajo (contiene estrategia) 2023-2025	No	Renovable, Azul, Biocombustibles, Rosa, Blanco, Residuos	Hidrógeno, Amoníaco, Fertilizantes, Refinería, Industria química, E-fuels, Acero verde (DRI, arco eléctrico)	Balance, foco en la escarbonización de industrias y transporte con importancia al transporte pesado	2030 (1,3-,5) 2040 (1,2-1,2)	Cualitativos	Manufactura de bienes de capital. Industria de refino de combustibles. Articulación con industria de Gas y Petróleo y la producción de biocombustibles. Proyectos vinculados a amoníaco. Búsqueda de potenciales usuarios, para usos actuales y nuevos (minería y siderurgia). Fortalecimiento de la ciencia y la tecnología.
Argentina	Hidrógeno de bajas emisiones de carbono y otros gases de efecto invernadero	Hoja de ruta 2022 Estrategia 2023 Plan de acción H ₂ 2023	No	Verde, Azul, Rosa	Hidrógeno, Amoníaco, Refinería, E-fuels, Acero verde	Foco en la exportación, pero con mercado interno 20% para sustituir en usos actuales y nuevos usos (combustibles sintéticos)	2030 (1,1-2,3) 2050 (1,1-1,7)	2030: 5 GW 2040: 25 GW 2050: 55 GW (de potencia renovable dedicada a H ₂) 5 millones de toneladas al año en 2050	Desarrollo de toda la cadena del hidrógeno, participación en los bienes de capital con proveedores y servicios tecnológicos. Apalancar con capacidades locales petróleo y gas, y en energía nuclear. Fortalecimiento de la ciencia y la tecnología y la formación profesional.
México	Hidrógeno Limpio	En elaboración. Estrategia del sector privado	H ₂ México, Embajada de Dinamarca y ERM		Producción de equipamiento y bienes de capital	Orientación al mercado interno. Fuentes de demanda en usos actuales	2030 (2,55-3,25) 2050 (1,22-1,5)	6 proyectos a 2030. 3,3 GW de renovable	Manufactura de bienes de capital incluyendo electrolizadores y pilas de combustibles. Vinculación con las empresas públicas de energía y petróleo y gas.
Perú	Estrategia de hidrógeno verde	Estrategia del sector privado	Asociación Peruana del Hidrógeno	Se focaliza en el verde (interés de los promotores del tema)	Refinerías, Fertilizantes, Transporte, Combustible/ transporte ferroviario, Conversión de montacargas, Combustibles sintéticos, Minería, Acero, Cemento, gas blending	40% mercado interno	2030 (2,6-2,6) 2050 (1-1,3)	En la hoja de ruta privada. 1GW a 2030, 12GW a 2050 (de electrólisis)	

País	Definición	Planes, estrategias hojas de ruta	Participación de agencias	Rutas	Productos	Mercado interno/ exportación	LCOH (En USD/kg de H₂)	Proyección de producción/ Metas	Articulación con capacidades locales de ciencia y tecnología e industriales
Colombia	Hidrógeno bajo en emisiones	Hoja de ruta 2021, actualización 2023-2024	BID UK Government	Azul (corto plazo y demanda interna) y verde (largo plazo)	Refinerías (a través de Ecopetrol) Transporte, Fertilizantes, SAF, marítimo, generación de energía	Mucha importancia al mercado interno	2030 (2,2-3,7) 2050 (1,5-2,4) (el costo del proyecto Coral es de 6 USD/kg)	2030: 1 a 3 GW de electrólisis. 50.000 tn de hidrógeno	A apalancamiento sobre las trayectoria previa en gas y petróleo, refinerías e infraestructura de Ecopetrol. Fomento a la ciencia y la tecnología.
Bolivia (Estado Plurinacional de)	Hidrógeno verde y de bajas emisiones	Estrategia 2025, Hoja de Ruta 2025	BID	Foco en hidrógeno verde	Hidrógeno (uso en transporte), Metanol, Generación eléctrica, Hidrógeno como sustituto de gas o gas blending, SAF, Fertilizantes	Un tercio mercado interno dos tercios exportación. Además de los destinos globales identifica como destinos Chile, Brasil, Colombia y México	2030 (2,0-2,0) 2050 (1,48-1,56)	2050 País líder en la exportación: 150.000 tpa de H ₂ V en 2030 1.350.000 tpa de H ₂ V en 2040 4.150.000 tpa de H ₂ V en 2050	Infraestructura existente para gas. Articulación con la estatal petrolera YPFB. Descarbonización de minería y el transporte.
Chile	Hidrógeno verde	Estrategia 2020 Plan de acción 2023-2030	No	Verde	Hidrógeno para descarbonizar la minería, uso en transporte, refino de combustibles. Transporte pesado, luego uso en camiones mineros. Gas blending	27% mercado interno y 63% exportación (Japón, EEUU y Corea)	2030 (1,5-1,1) 2050 (0,8-1,1)	40 GW de generación renovable en 2030 y 300 GW en 2050. (generación 2023 35 GW)	Descarbonizar actividad minera. Producción de amoníaco. Ingreso en industrias de bienes de capital. Inversiones en electrolizadores y aerogeneradores.
Paraguay	Hidrógeno verde	Hoja de ruta 2021	BID	Verde	Fertilizantes, escarbonización de la hidrovía (marítimo), transporte, almacenamiento de energía, barcazas, buses, generación eléctrica	Mercado interno. Autonomía estratégica. Exportación dificultada por la falta de acceso al mar	Actual 2,2 USD/kg 2050 (1,2-1,7)	1 GW de potencia de electrólisis 900 mil tpa de H ₂	Apalancamiento sobre la generación renovable e infraestructura eléctrica.

País	Definición	Planes, estrategias hojas de ruta	Participación de agencias	Rutas	Productos	Mercado interno/ exportación	LCOH (En USD/kg de H₂)	Proyección de producción/ Metas	Articulación con capacidades locales de ciencia y tecnología e industriales
Ecuador	Hidrógeno verde	Hoja de ruta 2023	BID	Verde	Hidrógeno, Amoníaco, Metanol. Combustibles sintéticos, Fertilizantes	Mercado interno 27% mercado interno y 63% exportación (en 2050) La demanda interna empieza siendo 10% de la producción total en 2030	2030 (2,3-3,2) 2050 (1,7-0,89)	1 GW en 2030 6.1 GW en 2050 (de potencia de electrólisis)	Apalancamiento sobre el potencial renovable, especialmente geotérmico.
Guyana		Estrategia de Desarrollo Bajo en Carbono	No	Verde y azul					
Uruguay	Hidrógeno verde	Hoja de ruta 2023	BID	Verde	Hidrógeno, Amoníaco, metano combustibles sintéticos, DRI, SAF	Fundamentalmente exportación, aunque se estima producción de hidrógeno para el mercado interno en baja escala orientado a su uso en el transporte	2030 (1,2-1,9) 2050 (1-1,4)	1 GW en 2030 9 GW en 2050 (de potencia de electrólisis)	Producción de biocombustibles a partir de CO ₂ biogénico. Articulación con industria forestal y pasteras.
Suriname		Estrategia de desarrollo energético	No	Verde	Marítimo				Infraestructura de puertos y comercio marítimo.
Guatemala	Hidrógeno verde	En elaboración Hoja de ruta nacional para el hidrógeno verde	GIZ y BM	Verde					
Panamá	Hidrógeno verde	Estrategia 2024	No	Verde	Transporte marítimo y aéreo (e-methanol, e-kerosene, SAF)	Busca transformarse en un hub de transformación de hidrógeno, contempla exportación e importación de hidrógeno. También considera como sectores de demanda local a sector minero	2030 4,6 2050 3,6	2030 0,5 millones de tpa, 2050 2 millones de tpa	Hub de comercialización y distribución. Bunkering de combustibles limpios. Producción de SAF. Incluye importación de H ₂ limpio o derivados. Oportunidad coordinación regional

País	Definición	Planes, estrategias hojas de ruta	Participación de agencias	Rutas	Productos	Mercado interno/ exportación	LCOH (En USD/kg de H₂)	Proyección de producción/ Metas	Articulación con capacidades locales de ciencia y tecnología e industriales
Costa Rica	Hidrógeno verde	Plan de acción interinstitucional para el hidrógeno 2018 Estrategia 2023	BID	Verde (solar, eólico y con excedentes del sistema eléctrico nacional)	Hidrógeno, Amoníaco, Metano, Transporte, Biocombustibles, Fertilizantes, Acero verde	Se orienta a descarbonizar el mercado interno, en especial a través del transporte y la política de Costa Rica en torno a la electromovilidad. También identifica como fuentes domésticas de demanda el bunkering para carga de combustibles de marítimos.	2030 (2,1-5,8) 2050 (1 ,2-1,9)	400 mil tpa. 500 mil tpa,	Apalancamiento sobre la matriz eléctrica (99% renovable) y marca país verde. Actividad portuaria, terminal de contenedores y logística marítima.
República Dominicana	Hidrógeno renovable	No, tiene un documento preparatorio: Hacia una Estrategia de Hidrógeno Renovable para la República Dominicana	GIZ, IKI, Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima de Alemania y Proyecto Transición Energética	Verde	Transporte, industria (cemento, fertilizantes) y generación energética	30% mercado interno y 70% exportación	2030 (6,32-8,42) 2050 (4.77-6.36)	300 mil toneladas de hidrógeno verde	
El Salvador		No tiene estrategia ni hoja de ruta, pero hay colaboraciones técnicas	No	Verde					
Trinidad y Tabago	Green Hydrogen	Hoja de ruta 2022	BID y National Energy Corporation of Trinidad and Tobago Limited	Verde, Azul como transición	Amoníaco, fertilizantes	Mercado interno 42% y exportación 58% (mercado interno descarbonización de la Prod. actual de H ₂ 1,7 millones de tpa	2030 (3,6 - 5,8) 2050 (2,7 - 3,6)	57 GW de eólica offshore para producir 4 millones de tpa de hidrógeno.	Aprovechar la infraestructura existente en petróleo y gas. Integrar el hidrógeno verde en el sector petroquímico. Producción de amoníaco verde. Producción de hidrógeno azul en la transición, pero horizonte de 100% verde en 2050.

Fuente: Elaboración propia en base a las estrategias oficiales, normativa e información complementaria. Nota: más detalle en el Anexo 1.

En segundo lugar, las estrategias responden a un crecimiento en los diálogos políticos bilaterales referidos a temas energéticos que aumentan sensiblemente en el contexto de la Guerra en Ucrania, precedido por la agenda verde y sostenible. El hidrógeno es un tema clave dentro de estos diálogos porque atiende de modo simultáneo los intereses de las políticas ambientales y climáticas, y permite establecer nuevas relaciones comerciales en materia energética sobre la base de recursos aún no desarrollados. Países como Alemania, Japón y Corea del Sur, entre otros, han buscado iniciar conversaciones sobre acuerdos de aprovisionamiento, potenciales inversiones, cooperación técnica, y promoción comercial de la industria de equipamientos y bienes de capital para la producción de hidrógeno.

La elección de las rutas del hidrógeno declaradas en las estrategias de ALC (verde, azul, etc) depende hasta cierto punto de estos diálogos. En la medida en que la UE haya sido una de las regiones más activas en este tipo de actividad, y que hasta 2024 indicaba que solo aceptaría compras de hidrógeno verde, pudo haber incidido en la forma en que los países denominaron a sus estrategias y en la elección de las rutas prioritarias del hidrógeno. De hecho, 8 de los 11 países de la región que tienen estrategias oficialmente aprobadas las denominan como "Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde" o "de Hidrógeno Renovable", incluyendo dentro de este grupo a países como Trinidad y Tabago, Bolivia, y Perú. En los dos últimos casos también se han impulsado iniciativas legislativas para promocionar la producción de Hidrógeno Verde.

En tercer lugar, se observa un rol muy activo de agencias internacionales en la asistencia técnica para la elaboración de las estrategias. En 7 de los 18 países analizados colaboró el BID, en dos la GIZ, en una el BM y en una la Embajada de Dinamarca en México, además de consultoras y organismos nacionales.

En cuarto lugar, las estrategias tienden a priorizar la localización de hubs, clústeres o valles del hidrógeno en zonas costeras y cercanas a potenciales puertos de exportación por sobre la localización en torno a polos industriales potencialmente demandantes de hidrógeno verde. Esto es consistente con el hecho de que la mayoría se orienta a la promoción de la producción de Hidrógeno Verde para su exportación o la exportación de derivados (Amoníaco, Metanol, combustibles sintéticos), con el objetivo de posicionarse como proveedores internacionales de los países industrializados que proyectan importar grandes cantidades hacia 2050 (IEA, 2024).

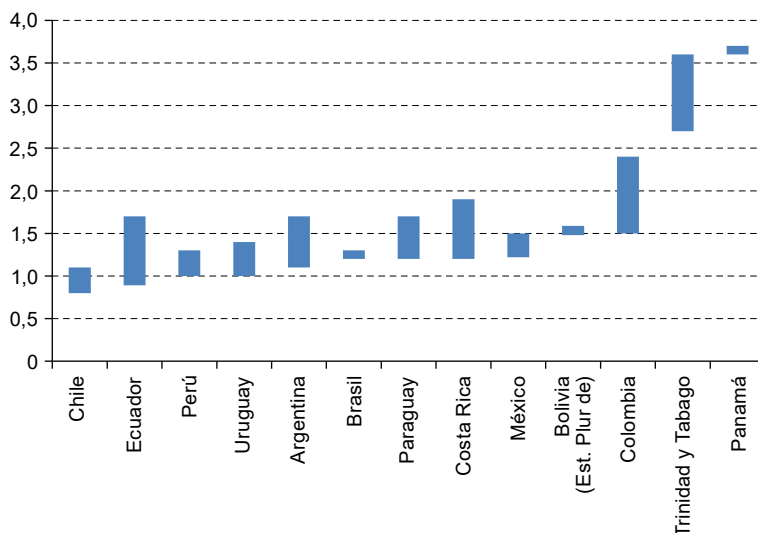
En quinto lugar, del análisis comparado surgen algunas regularidades en el tipo de información que presentan las estrategias (diferentes a las que presentan los casos de estudios seleccionados, así como otras estrategias de países desarrollados). Este análisis muestra que se prioriza la presentación de información referida a: el costo nivelado proyectado de producción de hidrógeno (a veces por diferentes vías y en diferentes localizaciones en función de la calidad del recurso renovable), el potencial teórico de producción y las metas de producción, así como los objetivos de exportación (incluyendo en algunos casos los derivados del hidrógeno para la exportación y los potenciales mercados de destino).

Por ejemplo, en el gráfico 1 se observa los rangos de costo nivelado de la producción de hidrógeno verde proyectado en estrategias para diferentes países. Puede verse que, salvo en dos casos, la expectativa es a que se alcancen bajos costos de producción, dentro de la "zona fósil", es decir, cuando referirse al rango de precios en el que el hidrógeno producido a partir de energías renovables (verde) se vuelve competitivo frente al hidrógeno generado a partir de combustibles fósiles (gris) que se ubica entre 1 y 2 dólares el kilo de hidrógeno.

En el gráfico 2, por su parte, se observa que la mayoría de los países expresa una fuerte vocación exportadora. A pesar de que no en todos los documentos hay referencias cuantitativas al monto esperado de exportación de hidrógeno de bajas emisiones, es posible reconstruir el balance entre mercado interno y exportaciones proyectado para 9 casos, de lo que resulta que cada país espera exportar entre un 80% y un 50% del hidrógeno producido (directamente o a través de sus derivados).

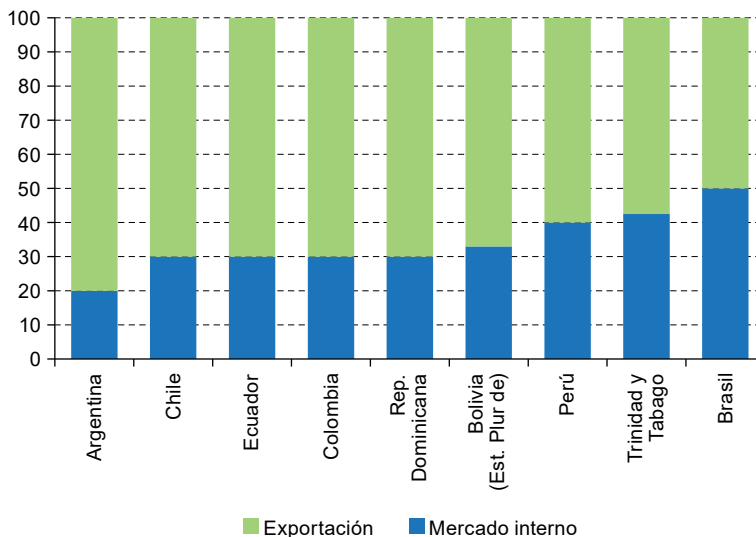
Todo esto muestra que las estrategias han jugado un papel clave como herramienta comunicacional en políticas de atracción de inversiones para la exportación. Sin embargo, esta tendencia ha coexistido con la inclusión en los documentos de otras cuestiones relacionadas con condiciones estructurales y la posibilidad de mejorar la inserción productiva interna de los proyectos.

Gráfico 1
Rango del costo nivelado del hidrógeno proyectado a 2050, por país, en sus documentos oficiales
(En dólares por kg de H₂)



Fuente: Elaboración propia sobre la base estrategias y hojas de ruta nacionales.

Gráfico 2
Balance entre mercado interno y exportación proyectados en las estrategias nacionales
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia en base a las estrategias y otros documentos nacionales. Nota, se incluyen los casos con información cuantitativa sobre exportaciones.

Por ejemplo, las estrategias juegan un rol crítico en la planificación territorial, estableciendo localizaciones dentro del país, con acceso a recursos y conexiones con las infraestructuras nuevas y preexistentes (puertos, ductos, refinerías, polos petroquímicos). También establecen caminos y formas de articulación con otros actores del sistema productivo y de ciencia y tecnología que pueden resultar críticos en la prestación de servicios, la formación profesional, y la gestión de recursos humanos. Un punto importante se refiere a la inclusión de planes de comunicación y participación de comunidades locales, que constituye la calidad de la gobernanza de los recursos naturales.

Las estrategias hacen referencia a la importancia de desarrollar el mercado interno para el hidrógeno de bajas emisiones, ya sea a partir de la sustitución de la demanda de hidrógeno gris en la producción de combustibles, petroquímica y/o siderurgia, y/o desarrollar nuevos usos en transporte, calefacción y almacenamiento. En estos casos se hacen referencia a industrias usuarias relevantes en las estructuras productivas preexistentes, como la minería, la petroquímica, la siderurgia, la logística marina, y la aviación comercial. Sin embargo, en estos casos se asume que la demanda interna se alcanzará típicamente en una segunda fase, una vez que el país haya logrado insertarse como exportador de hidrógeno.

Por último, en algunos casos, como Brasil, México y Argentina, las estrategias van más allá de generar las condiciones de inversión y producción de bajas emisiones, para intentar desarrollar otros segmentos de la cadena como servicios de ingeniería, bienes de capital, almacenamiento y transporte.

Las estrategias también hacen referencia a capacidades estatales para la definición de políticas, por ejemplo, detallan los modos de gobernanza socioambiental o hacen referencia a las instituciones públicas de ciencia tecnología e innovación. Un punto importante refiere a la relevancia otorgada a las empresas públicas de petróleo y gas y su participación en los procesos de elaboración de las estrategias de hidrógeno, en el desarrollo de proyectos piloto, como fuente de demanda o para reorientar infraestructura de refinación en las propias estrategias de transición de estas empresas. En países como Brasil, Colombia y México este factor pudo haber contribuido a adoptar una posición que evite circunscribir las rutas del hidrógeno al caso verde. En Colombia Ecopetrol ha asumido un rol clave en la transición energética colombiana, impulsando la movilidad a hidrógeno y el uso de hidrógeno de bajas emisiones en las refinerías de Cartagena (Ecopetrol, 2022; H2LAC, 2025). En México, las empresas estatales PEMEX y CFE han buscado construir afinidad entre las estrategias de planeación energética nacionales, tales como el Plan de Sostenibilidad y las estrategias corporativas. En el caso de PEMEX, ha fijado el ambicioso objetivo de sustituir el hidrógeno gris por hidrógeno verde, utilizado en sus procesos de refinación, además de explorar su comercialización como una solución clave para la descarbonización de la industria mexicana. Mientras que CFE busca incorporar hidrógeno verde en sus Centrales de Ciclo Combinado mediante blending de gas natural con hidrógeno. Por su parte, en Brasil Petrobras también ha impulsado la investigación y el potencial desarrollo de hidrógeno a partir de un proyecto piloto propio. Por último, en Argentina YPF también ha jugado un rol importante a través del desarrollo tecnológico de Y-TEC. En todos estos casos se observa una mayor apertura a la inclusión de diferentes rutas para la obtención de hidrógeno que reflejen las condiciones estructurales de los países. Las estrategias son de hidrógeno de bajas emisiones, e incluyen las tecnologías de CCS, la obtención de hidrógeno a través de la biomasa e incluso recientemente en su revisión, Colombia incluyó también al hidrógeno blanco anticipando posibles recursos en su territorio.

En otros países como Uruguay y Trinidad y Tabago, las empresas públicas han participado directamente en la elaboración de las estrategias (National Energy Corporation of Trinidad and Tobago, una subsidiaria de The National Gas Company y Ancap y UTE, en el caso uruguayo), aunque en estos casos prevaleció la orientación verde. En el caso de Uruguay centrado en un objetivo de seguridad energética, mientras que en Trinidad y Tabago en un objetivo de reorientación de las capacidades industriales hacia industrias limpias.

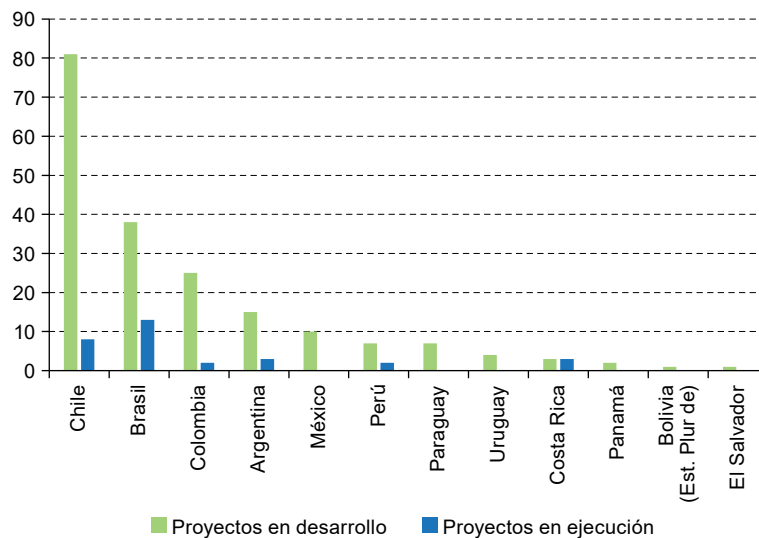
En síntesis, se observa que empresas públicas de petróleo y gas buscan constituirse en centros pivote para la transición energética en sus países de origen. En esta dirección se puede observar que disponer de empresas públicas en el sector energético constituye una capacidad estatal clave a través de la cual es posible articular políticas y proyectos.

Adicionalmente, por el tipo de información que debería contener, es deseable que las estrategias sean desarrolladas en el marco de procesos participativos, y que la tarea misma de elaboración de la estrategia ayude a consolidar un núcleo de actores interesados en el sector, ya sea que provengan de diferentes áreas del sector público, como del sector privado, y que este grupo se institucionalice en un órgano de seguimiento de la estrategia y promueva los pasos siguientes, como la redacción de planes de acción, la discusión de propuestas normativas, la discusión de aspectos técnicos, etc.

Cuando se busca que estas hojas de ruta sean un pilar más de un marco normativo complejo en el que se incluyan leyes de promoción, fomento a la innovación, regulaciones sobre acceso a recursos, infraestructura energética o su uso en transporte, y políticas de desarrollo productivo orientadas al desarrollo de toda la cadena de valor, es fundamental que el grado de alineación entre estrategia y condiciones estructurales sea el más elevado posible y que los responsables de las diferentes áreas de gobierno tengan un elevado nivel de involucramiento con la planificación.

Por último, resulta interesante comparar el avance en proyectos de hidrógeno (véase el gráfico 3) con el grado de institucionalización del sector a través de la estrategia o normativas relacionadas. Se observa que los países con mayor número de proyectos anunciados y con avances son Chile, Brasil y Colombia. Estos países destacan tanto por tener un desarrollo institucional fuerte en torno al hidrógeno, incluyendo estrategias y normativas que promueven proyectos, y por tener estrategias que incluyen apalancamiento sobre recursos naturales e infraestructuras industriales preexistentes.

Gráfico 3
Proyectos de hidrógeno de bajas emisiones en desarrollo y en ejecución en países de América Latina y el Caribe
(En cantidad de proyectos)



Fuente: Elaboración propia en base a IEA 2025.

A. Leyes y normas

La región de América Latina se encuentra en distintas etapas de desarrollo normativo para impulsar la producción y uso del hidrógeno de bajas emisiones. Se han identificado diez países de la región (véase el cuadro 3) con avances normativos en diferentes flancos. Algunos países han avanzado con marcos legales específicos, como Brasil, que sancionó recientemente la Ley 14.948/2024 (Rehidro) y la Ley 14.990/2024 (PHBC), estableciendo incentivos fiscales, subastas por contratos por diferencias (sujetos a requisitos de contenido local, I+D y desarrollo local) y un sistema nacional de certificación. Colombia también cuenta con un marco relativamente avanzado: mediante la Ley 2099 de 2021 y la Ley 2294 de 2023 incorporó distintas tipologías de hidrógeno como fuentes no convencionales de energía, otorgándoles beneficios tributarios y aduaneros; además, cuenta con proyectos en curso para establecer subastas de contratos por diferencias y promover la economía del hidrógeno. Chile discute una ley de hidrógeno verde acompañada de créditos tributarios al uso del hidrógeno, y mantiene una política de agregado de valor promovida desde Corfo. Perú, por su parte, aprobó la Ley N°31992, centrada en promover la investigación del hidrógeno verde.

Otros países se encuentran en fases más iniciales de elaboración de proyectos y debate parlamentario. Argentina, Bolivia y Costa Rica tienen proyectos de ley en debate, mientras que esta última cuenta además con diversas normas que, aunque no específicas, favorecen proyectos de hidrógeno mediante exenciones fiscales y regulatorias. Uruguay carece de legislación específica, pero impulsa el desarrollo del sector mediante el programa H₂U, enfocado en el análisis de la cadena de valor y la atracción de inversiones, que incluye la creación de un fondo sectorial. Guatemala reconoció al hidrógeno verde como recurso energético mediante el Acuerdo Gubernativo 180-2022, y República Dominicana lo incluyó dentro del alcance de su Ley de Incentivos a la Energía Renovable.

Cuadro 3
Leyes y normas sobre el hidrógeno de bajas emisiones

País	Leyes y normativas
Argentina	Diversos proyectos de ley. Promoción de proyectos de hidrógeno a través de incentivos fiscales, estabilidad fiscal, acceso al mercado de cambios. Debate sobre requisitos de contenido local o de investigación y desarrollo.
Bolivia (Estado Plurinacional de)	Proyecto de ley. Enfocado en beneficios a la producción y consumo
Brasil	Ley 14.948/2024 Régimen Especial de Incentivos para la Producción de Hidrógeno de Bajas Emisiones de Carbono (Rehidro), que prevé la suspensión de impuestos como el PIS, la COFINS, el PIS-Importación y la COFINS - Importación en la adquisición de bienes y servicios para proyectos de hidrógeno. Requisitos de contenido local e investigación y desarrollo. Duración 5 años. Establece definiciones y competencias, y un sistema nacional de certificación. Ley 14.990/24 Programa de Desarrollo de la Hidrogeno de la Baja Emisión de Carbono (PHBC): Crédito fiscal en comercialización de hidrógeno bajo en carbono y sus derivados producidos en el territorio nacional. Implementados a través de subastas por diferencias entre precio de H ₂ y alternativa fósil (hasta el 100% de la dif.) Otorgado al comprador. Requisitos de: desarrollo regional, mitigación al cambio climático, CyT, diversificación industrial.
Chile	Proyecto de ley de hidrógeno verde y créditos tributarios por USD 2.800 millones para impulsar la demanda. Normas variadas que alientan la producción y consumo de hidrógeno en Chile. Importante rol de Corfo en el fomento al desarrollo de la cadena de valor.
Colombia	El hidrógeno azul incluido como una FNCE (fuente no convencional de energía) y el verde como FNCER (fuente no convencional de energía renovable) a través de la Ley 2099 de 2021, y el blanco como FNCER a través de la Ley 2294 de 2023. Esto permite que sean alcanzados por beneficios como: reducción de impuesto a la Renta, exención de IVA a equipos de inversión, depreciación acelerada y arancel 0 a las importaciones de equipos no producidos en Colombia. A través de estas definiciones el hidrógeno recibe el mismo tratamiento que las FNCE y FNCER. Además, hay un proyecto de ley de Economía del Hidrógeno y un proyecto de Decreto para instrumentar compras a largo plazo por diferencias (Cfd) a través de subastas. Hay incentivos específicos para CCS y a través de instrumentos de CTI algunos proyectos han accedido a créditos fiscales. Proyecto de ley.
Costa Rica	No hay una ley de hidrógeno en Costa Rica, pero existen normativas asociadas con efectos sobre el sector, como la Ley de incentivos al transporte verde, que establece una exoneración gradual del impuesto a los vehículos cuando son eléctricos e incluye a los de hidrógeno. También la reforma de bienes exonerados y la Ley de regulación del uso racional de la energía, que también exonera de impuestos a los equipos para la producción de hidrógeno. Política para el aprovechamiento de los recursos excedentes en el Sistema Eléctrico Nacional, también favorece a proyectos de hidrógeno. Por último, existe un proyecto de Ley de incentivos a las inversiones de hidrógeno y regulación de la producción, pero no se ha aprobado.
Guatemala	Acuerdo Gubernativo 180-2022, que califica el hidrógeno verde como recurso energético. Se incluyó el hidrógeno verde dentro de las denominaciones del artículo 4 de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable.
Perú	Ley N°31992, marco normativo para fomentar la investigación del hidrógeno verde como combustible y vector energético en el país.
República Dominicana	Ley de Incentivos a la Energía Renovable con alcance sobre el hidrógeno verde.
Uruguay	No hay una ley del hidrógeno, pero existe el programa H ₂ U con el objetivo de promocionar la cadena del hidrógeno, orientado al análisis de la cadena de valor, regulaciones y estudios y atracción de inversiones. Creación de un fondo sectorial para la promoción de proyectos. La UTE, ANCAP y otros organismos de regulación de agua y energía y puertos también participan.

Fuente: Elaboración propia.

Resulta interesante señalar que los avances en materia de leyes y normas que regulan y fomentan la actividad se enfocan en distintos factores que en algunos casos muestran coherencia con las estrategias. Los casos de Brasil y Chile son las únicas experiencias que están orientando acciones para el uso de hidrógeno en las economías domésticas, a través de subsidios a la demanda. Costa Rica, República Dominicana, Guatemala, y Colombia toman como estrategia definir al hidrógeno como una fuente de energía renovable para que quede comprendido dentro de las normativas vigentes hacia esas fuentes de energía. En el caso de Colombia también existe un proyecto de ley que busca fomentar la producción y el consumo del hidrógeno, así como el desarrollo industrial a lo largo de la cadena de valor. Por su parte, Uruguay, sin proyecto de ley, crea un programa y un fondo para hacer estudios, definir regulaciones, coordinar la cooperación internacional, promocionar inversiones con intervención de agencias y empresas públicas con competencias en la materia, en el marco de una estrategia alineada con su política energética hacia las renovables.

III. Hacia una clasificación de países en función de las ventajas estructurales y sus estrategias de política de hidrógeno

En esta sección se propone una agrupación de los países de ALC en función a patrones comunes en sus condiciones estructurales habilitantes para proyectos de hidrógeno de bajas emisiones.

Algunos trabajos y observatorios sobre el sector en la región han elaborado índices agregados con el objetivo de establecer *rankings* de países que reflejen su situación respecto al hidrógeno²⁴. Teniendo en cuenta estos antecedentes, y reconociendo que los caminos para el desarrollo de esta industria pueden ser heterogéneos y funcionales a objetivos diversos, aquí no nos interesa elaborar *rankings* sino analizar cualitativamente las condiciones estructurales, con el objetivo de establecer diferentes patrones que puedan dar lugar a senderos diferentes y eventualmente complementarios para el desarrollo del sector.

Partimos del esquema conceptual presentado en la Sección I que identifica cuatro grandes dimensiones: i) Ventajas naturales, ii) Infraestructura, iii) Capacidades estatales (TOPP), y vi) Oportunidades de integración con estructuras industriales preexistentes (potenciales fuentes de demanda de hidrógeno).

Corresponde mencionar que el análisis caracteriza a estas cuatro dimensiones como condiciones estructurales “de partida” y que la disponibilidad de éstas no garantizan por sí mismas la concreción de proyectos. De hecho, los factores que conducen a decisiones finales de inversión pueden ser más amplios y complejos, incluyendo aspectos macrofinancieros, como el costo de capital y acceso a financiamiento, relaciones y acuerdos internacionales u objetivos estratégicos. Del mismo modo, la ausencia o un menor desempeño relativo en alguna de estas condiciones no implica que las oportunidades sean censuradas. En particular se considera que las condiciones naturales pueden mejorar la rentabilidad de los proyectos, pero otras dimensiones pueden contrarrestar dicha competitividad (por ejemplo, carencias en el tipo y calidad de las infraestructuras habilitantes), mientras que países con menores condiciones naturales pueden construir activos estratégicos (infraestructuras, marcos de gobernanza y capacidades industriales) que incluso más que compensen los activos naturales.

²⁴ Por ejemplo, INICIO junto a Newenergy elaboran el h2lacindex (<https://h2lacindex.com/es/#about>) o la plataforma H2lac fundada por Programa Euroclima de la Unión Europea, el Banco Mundial, la CEPAL y GIZ, que elaboran un Atlas de hidrógeno en la región.

A partir del marco teórico propuesto, en esta sección se exploran las sinergias intersectoriales que pueden surgir entre proyectos de hidrógeno, los contextos productivos de los diferentes países de la región y otras condiciones estructurales, como la infraestructura o los recursos naturales. De estas sinergias emergen “ventajas ocultas” que la simple disponibilidad de recursos no asegura. Por ejemplo, capacidades industriales en metalmecánica que pueden facilitar la prestación de servicios de mantenimiento de equipos; o, los servicios de ingeniería que pueden ser claves para el diseño y montaje industrial en la fase de construcción. Por otro lado, fuentes potenciales de demanda interna como refinerías, siderurgia o la producción de fertilizantes pueden facilitar el surgimiento de proyectos de menor escala antes del despliegue de proyectos de exportación, o la disponibilidad de CO₂ biogénico para la fabricación de combustibles sintéticos.

A continuación, se establecen los fundamentos detrás de cada una de las cuatro dimensiones seleccionadas y se identifica y describe un conjunto de variables que podrían determinarlas. En segundo lugar, se propone un agrupamiento de países en función de estas condiciones estructurales y se analizan sus estrategias, y el conjunto de instrumentos de desarrollo productivo que resultaría coherente con estrategias y estructuras.

A. Dimensiones de análisis

La primera dimensión de análisis busca capturar la **dotación y calidad de los recursos naturales (renovables y fósiles)** para la producción de hidrógeno de bajas emisiones.

Para la producción de **hidrógeno verde (H₂V)**, los factores más frecuentemente identificados en la literatura son la calidad de los recursos renovables, la extensión de tierras y la disponibilidad de agua (UNDP, 2025). Estos factores se justifican en que la calidad de los recursos renovables constituyen un determinante central del costo nivelado de la energía eléctrica renovable (LCOE, por sus siglas en inglés) y, consecuentemente, del costo nivelado del hidrógeno (LCOH, por sus siglas en inglés¹⁵). La extensión territorial se asocia al elevado uso del suelo que requieren las plantas de energías renovables, especialmente en proyectos de gran escala, y la disponibilidad de agua porque se trata del principal insumo para la producción de hidrógeno.

De acuerdo con Curcio (2025) el LCOE representa entre el 50% y el 70% del LCOH. Actualmente, los proyectos de H₂V más avanzados se alimentan con energía eléctrica generada a partir de energía eólica, solar y/o hidráulica, que se destacan por ser las más competitivas (IEA, 2024). Las fuentes solar y eólica son las que muestran mayor proyección de crecimiento¹⁶, mientras que, con una penetración superior al 50%¹⁷, la hidroelectricidad es la principal fuente renovable de la región.

Para medir la calidad del recurso solar se recurre al indicador de *Potencial Fotovoltaico Práctico* (PFP) que en el caso de ALC revela algunos aspectos importantes. Por un lado, todos los países tienen un potencial fotovoltaico de intermedio a alto: el PFP promedio para los 23 países analizados es de 4,4 kWh/kWp, muy por arriba de los niveles promedio de los principales centros de demanda, como Alemania (2,95 kWh/kWp) o Japón (3,45 kWh/kWp)¹⁸. Esto refleja la potencialidad de la región en términos agregados. Asimismo, ocho países de la muestra superan el umbral de 4,5 kWh/kWp, que los ubica entre

¹⁵ El Costo Nivelado de la Energía y del Hidrógeno (LCOE y LCOH) son métricas que permiten estimar el costo total de producir una unidad de energía o hidrógeno. Para ello en el numerador se consideran los costos totales incurridos a lo largo de la vida del proyecto y en el denominador la cantidad de energía o hidrógeno entregado en el mismo período. El costo nivelado es utilizado especialmente para comparar costos entre diferentes fuentes energéticas (solar, eólica, biomasa, etc.) o rutas del hidrógeno, o entre diferentes localizaciones.

¹⁶ Existen otras fuentes de generación de energía renovable, como la biomasa, que podrían contribuir al desarrollo del H₂V, pero por el momento están en una fase tecnológica incipiente y no serían competitivas frente a las fuentes anteriores. En cuanto a la hidroelectricidad, si bien es una fuente muy importante en la actualidad para la región, probablemente no acompañe el ritmo de crecimiento de la solar y eólica en el largo plazo, por potenciales restricciones económico-financieras y socio-ambientales.

¹⁷ Solo en Brasil hay 109.814 MW instalados, que representan el 61% de la CI total. Luego le siguen en importancia Venezuela (9,3%), Colombia (7%) y Argentina (6,3%), que tienen más de 10 mil MW de CI.

¹⁸ Siguiendo los parámetros fijados por estudios recientes del Banco Mundial, existen tres categorías de países: países con bajo potencial (<3 kWh/kWp), con potencial intermedio (3 a 4,5 kWh/kWp) y alto potencial (>4,5 kWh/kWp). Ver: <https://www.worldbank.org/en/topic/energy/publication/solar-photovoltaic-power-potential-by-country>.

los 80 países más competitivos del mundo, destacándose el caso de Chile (N° 2 en el ranking del BM) seguido por Perú, México y Bolivia. El indicador PFP también está estrechamente relacionado con el Factor de Capacidad (FC)¹⁹ de los paneles, medida de calidad de los recursos que impacta en la eficiencia o rendimiento de los aerogeneradores y paneles solares y, por ende, en el LCOE.

La potencialidad del recurso eólico, por su parte, suele aproximarse mediante indicadores como la *Velocidad del Viento Promedio* en el decil más ventoso del área evaluada. Este indicador está altamente correlacionado con la *Densidad Promedio de Energía Eólica*, que se mide en vatios por metro cuadrado. Hacia adentro de la región, Chile y Argentina destacan por el potencial eólico, aunque algunas áreas específicas de Brasil (Nordeste), de Colombia (la Guajira) y de México (Baja California) también se destacan por la alta calidad del recurso eólico lo que ha motivado una fuerte expansión de la capacidad eólica en dichas regiones en los últimos años. Por último, la coincidencia en una misma localización de buenos recursos eólico y solar puede resultar de una ventaja oculta, porque aun con menores niveles de radiación o de velocidad promedio del viento, la complementación entre ambas fuentes puede resultar en un mejor aprovechamiento de la capacidad de electrólisis, lo cual mejora el LCOH, como es el caso de Uruguay.

La extensión de superficie apta para proyectos es una dimensión relevante para proyectos de hidrógeno verde por las infraestructuras de generación renovable. En la medida en que los factores de capacidad son mayores, la huella de suelo de los proyectos se reduce; sin embargo, la tendencia hacia proyectos de mega escalas conduce a la utilización de amplias superficies. La competencia por el uso del suelo entre actividades económicas y las afectaciones ambientales de la construcción de mega infraestructuras puede dar lugar a conflictos socioambientales. En esta dirección, la extensión territorial, la normativa relativa al uso de tierras y planificación territorial, así como procesos de consulta y participación temprana puede ser determinantes para mitigar dichos conflictos.

Los **proyectos de hidrógeno azul (H₂A)** están directamente vinculados con las actividades de extracción y explotación de hidrocarburos y particularmente de gas natural²⁰. Las *Reservas de Gas* (stock) y *Producción de Gas* (flujo) son, por lo tanto, indicadores sobre la viabilidad de estos proyectos. El flujo indica la capacidad de producción actual, mientras que el stock habla de la capacidad futura. Otro factor importante, es la disponibilidad de cavernas subterráneas (especialmente cavernas salinas) y/o pozos depletados, que puedan ser utilizados como sitios de almacenamiento permanente del CO₂ proveniente del proceso de captura, pero esta información no está disponible de forma sistematizada o no es de acceso público. Medina Ketzer et al., (2014) indican que ALC posee un potencial significativo para el almacenamiento subterráneo de CO₂, dada la disponibilidad de distintas formaciones geológicas adecuadas incluyendo yacimientos de petróleo y gas agotados, acuíferos salinos profundos y cavernas de sal. Esto es particularmente relevante en Brasil, que cuenta con ubicaciones adecuadas tanto en tierra como en el lecho marino.

El recurso hídrico si bien es clave para la viabilidad de proyectos de H₂V, también es necesario para H₂A utilizado en los métodos de reformado de gas natural con vapor, la Gasificación o Pirólisis. Sin embargo, suele ser descuidado en la literatura especializada (Riera, Lima y Knio, 2023). El recurso hídrico puede provenir de agua dulce (ríos, acuíferos subterráneos) o de agua de mar desalinizada. Muchos proyectos de hidrógeno se inclinan por esta última alternativa, ya que el uso de agua dulce en la producción de hidrógeno puede conducir a conflictos socioambientales que impidan el desarrollo de los proyectos. En este contexto, la mayor parte de los proyectos de hidrógeno anunciados se localizan cerca de la costa marítima e incluyen plantas desalinizadoras, que representan un porcentaje menor (entre 2% y 3%) en el CAPEX del proyecto, también orientando la producción a una salida de exportación. En este contexto, algunas de las variables utilizadas por la literatura incluyen las aguas continentales, la longitud de costa marina y la inversa del índice de sequía o de estrés hídrico.

¹⁹ Técnicamente, es la relación entre la energía real generada por una planta durante un período de tiempo y la energía máxima que podría haber generado si operara a capacidad plena durante ese mismo período. Es un indicador que varía sensiblemente según el área geográfica y no se dispone de una sola medida por país.

²⁰ Solo se consideró el gas entre los recursos energéticos fósiles (como el carbón o petróleo), dado que el *Reformado de Metano a Vapor* (SMR, por sus siglas en inglés) es la tecnología con mayor potencialidad.

El CO₂ biogénico²¹ resulta un recurso nacional adicional que puede elevar la competitividad de los proyectos de hidrógeno orientados a la producción de combustibles sintéticos. Este gas en tanto proviene de un proceso biológico, se puede mezclar con el hidrógeno de bajas emisiones para producir combustibles sintéticos y generar emisiones neutras. En la región, Brasil supera ampliamente al resto de países, concentrando el 55% de las emisiones.

La **infraestructura** de almacenamiento y transporte del hidrógeno es otra dimensión crítica. Las redes de transporte son esenciales para transportar el hidrógeno desde las plantas de producción hasta los usuarios finales. El transporte puede realizarse mediante gasoductos, especialmente dedicados al transporte de hidrógeno, mediante infraestructura de gas natural adaptada, o través de blend de gases (mezcla de gas natural con hidrógeno). En consecuencia, la existencia de una infraestructura gasífera desarrollada favorece tanto a proyectos de hidrógeno azul como verde. El transporte del hidrógeno aun presenta dificultades técnicas porque licuarlo requiere llevarlo y mantenerlo a muy bajas temperaturas (-253 °C). Por este motivo, el hidrógeno es mayormente transformado en otros productos (como amoníaco, metanol o combustibles sintéticos) que pueden transportarse por tren, carretera, mediante camiones cisterna, y por mar en barcos .

En este contexto, las variables críticas referidas a la infraestructura, tanto para H₂V como H₂A son: disponibilidad de puertos habilitados para transportar productos químicos, especialmente puertos de aguas profundas, la disponibilidad de trenes de carga y la infraestructura de comunicación vial. Además de estas variables, para la ruta del H₂V resulta de suma importancia la extensión y densidad de la red de transmisión eléctrica (>100 kv) y la proporción de energía renovable en la capacidad eléctrica (hidroeléctrica, biomasa, eólica, solar y otros). Esta última es crítica porque puede reducir los costos de certificación del hidrógeno verde al no requerir contractualización de energía renovable en caso de proyectos conectados a la red. De igual modo, la disponibilidad de gasoductos e infraestructura de refinación de fertilizantes y otros químicos a base de hidrógeno resultan claves para el consumo interno de hidrógeno.

La tercera dimensión representa las **capacidades estatales y de gobernanza del recurso**. La capacidad del sector público para movilizar recursos y, en particular, implementar políticas de desarrollo productivo es central para acelerar el despliegue de nuevos vectores energéticos limpios y generar sistemas tecno-institucionales radicalmente nuevos que permitan descarbonizar la producción, para desacoplar el crecimiento económico de las presiones ambientales (Altenburg y Rodrik, 2017; Tagliapietra y Veugelers, 2020; UNEP, 2011). Para reflejar la capacidad de movilizar recursos y *know-how* en el área energética se elaboró un indicador de presencia de empresas estatales en el sector energético, en particular, en la industria de petróleo y gas. Este es un indicador categórico que crece con el grado de intervención en los distintos eslabones de la cadena de valor (*Upstream, Downstream y Midstream*).

El desarrollo de la economía del hidrógeno de bajas emisiones también plantea numerosos interrogantes sociales, políticos y ambientales complejos, además de problemas técnicos y económicos (Cremonese et al., 2023). Incluso, ya hay debates sobre cómo el comercio internacional de hidrógeno verde podría conducir al extractivismo verde y al neocolonialismo (Gabor y Sylla, 2023, Kalt et al., 2023), y también a conflictos por el uso de la tierra y la escasez de agua (Tunn et al., 2024). Para abordarlos, los gobiernos, las empresas y la sociedad civil están desarrollando (en algunos casos, mejorando) estándares, certificación y esquemas de etiquetado (SCL, por las siglas en inglés). Estas regulaciones son una parte de los sistemas de gobernanza. Otro costado se vincula con la coordinación de actores, intereses e instituciones para convertir las expectativas en senderos sostenibles efectivos (Gale et al., 2024). Este costado es particularmente relevante para que el desarrollo de proyectos no desate conflictos y problemáticas que históricamente marcaron a las industrias extractivas tradicionales en ALC.

²¹ Las emisiones biogénicas de CO₂ se vinculan con el ciclo natural del carbono, así como aquellas resultantes de la combustión, cosecha, digestión, fermentación, descomposición o procesamiento de materiales de base biológica. A diferencia de las emisiones de origen fósil (por quema de combustibles), su impacto es neutral en el medioambiente porque forman parte de un ciclo de carbono cerrado de corto plazo, en donde la cantidad de carbono emitida fue extraída previamente de la atmósfera o separada de una corriente del proceso y secuestrada y, por lo tanto, el balance de carbono es cero (Chorkulak et al., 2024).

Para abordar el desafío institucional de manera exhaustiva, la CEPAL ha conceptualizado un marco de cuatro dimensiones interrelacionadas: las capacidades Técnicas, Operativas, Políticas y Prospectivas, conocidas como capacidades TOPP. Este enfoque analítico se ha convertido en una lente clave para evaluar la habilidad de las instituciones para gestionar la complejidad y el cambio, así como para impulsar un nuevo sendero de desarrollo más inclusivo y sostenible. La emergencia de este marco refleja una visión holística que supera los enfoques tradicionales de gestión pública y se adentra en las dinámicas de poder, la visión estratégica y la gobernanza.

Desde la perspectiva de las capacidades TOPP desarrolladas por CEPAL, esto implica asegurar coherencia de políticas y coordinación interinstitucional (energía, industria, ambiente, hacienda, agua y ordenamiento territorial), contar con sistemas integrales de información que den trazabilidad a estándares y certificaciones, y fortalecer mecanismos de participación ciudadana y rendición de cuentas (CEPAL, 2024). Las capacidades TOPP permiten gestionar los trade-offs socioambientales y anticipar conflictos a partir de instrumentos prospectivos —evaluaciones estratégicas, alertas tempranas y pactos territoriales de transición— de modo que la expansión del hidrógeno no reproduzca patrones de “reprimarización verde”.

En términos productivos, las capacidades TOPP son la palanca para transformar recursos y demanda potencial en un “gran impulso” a la diversificación con mayor contenido tecnológico. Esto supone combinar políticas de desarrollo productivo, banca pública de desarrollo y financiamiento y empresas estatales como inversores que induzcan encadenamientos en equipos (electrolizadores, compresores, almacenamiento), servicios (ingeniería, O&M, certificación) y aplicaciones industriales (acero, fertilizantes, combustibles marítimos). La gobernanza presupuestaria y regulatoria —previsibilidad, evaluación de resultados, aprendizaje continuo— reduce riesgos, baja el costo de capital y habilita la inserción en cadenas regionales de valor evitando el enclave extractivo.

Finalmente, fortalecer las capacidades políticas y prospectivas es clave para una gobernanza multinivel, transparente, democrática y efectiva. A nivel nacional y subnacional, ello se traduce en marcos de beneficios y cargas justos (arreglos fiscales, regalías e inversión social), homogeneización de estándares, y procesos participativos que legitimen decisiones. A nivel regional, avanzar hacia bienes públicos —taxonomías comunes y reconocimiento mutuo de certificaciones, corredores logísticos y de agua/energía compartidos— reduce asimetrías y amplía mercados. Con estas capacidades TOPP, la región puede convertir el hidrógeno bajo en emisiones en un vector de transformación productiva, minimizando riesgos y maximizando aprendizaje y derrames tecnológicos.

En síntesis, la economía del hidrógeno bajo en emisiones demanda capacidades estatales que armonicen los objetivos de la transición energética con una transformación productiva regional que se traduzca a su vez en creación de valor agregado, empleo de calidad y transformación social inclusiva. El énfasis no es sólo “qué” hacer (hojas de ruta, marcos regulatorios, certificaciones), sino “cómo” hacerlo (Salazar-Xirinachs, 2024): coherencia intersectorial (energía, industria, ambiente, agua, transporte, hacienda), sistemas de información y medición confiables, y mecanismos de diálogo social que prevengan conflictos socioambientales y eviten la “reprimarización verde”. Estos elementos se incorporaron a partir de indicadores que reflejan el grado de desarrollo de las estrategias en torno al hidrógeno de bajas emisiones (hojas de ruta, legislación y proyectos piloto), la participación ciudadana y el compromiso con la protección del medioambiente a través de la adhesión a acuerdos internacionales.

Por último, la cuarta dimensión representa las **oportunidades productivas locales**. Aquí conviene discriminar entre usos actuales y nuevos usos del hidrógeno. Entre los primeros están la refinación de petróleo y las aplicaciones industriales (IEA, 2024). En las refinerías, la mayor parte del hidrógeno se produce internamente (solo el 20% es adquirido externamente) pero, en un contexto en el que la industria de gas y petróleo busque reducir sus emisiones, deberá incorporar crecientemente hidrógeno limpio. En el sector industrial, tiene tres aplicaciones principales: i) producción de amoníaco (60% del consumo total), un insumo esencial para la fabricación de fertilizantes, ii) producción de metanol (30%

del consumo total), para la fabricación de productos químicos (por ejemplo explosivos) y como base para combustibles alternativos, y iii) reducción directa de hierro (DRI) (10% del consumo total). Para capturar la demanda doméstica actual y potencial vinculación con el entramado productivo local de cada país, se pondera el volumen de producción de fertilizantes (a base de hidrógeno), la refinación de petróleo y gas y la producción de acero crudo.

En el futuro también se espera que los esfuerzos de descarbonización impulsen el uso de hidrógeno en nuevas aplicaciones, como transporte de larga distancia, producción de combustibles sintéticos (e-combustibles) para su uso en aviación (*Syntetic Aviation Fuels*) y marina (amoníaco y metanol), mejora de biocombustibles (por ejemplo, hidrogenación de grasas y aceites) (*Hydrogen Vegetable Oil*), calor industrial (en procesos industriales que requieren altas temperaturas) y almacenamiento y generación de electricidad (IEA, 2024).

Entre los nuevos usos, la producción de nuevos combustibles para transporte marítimo, aéreo y de maquinaria pesada destacan por estar en una etapa más avanzada. Los compromisos de CORSIA (Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional, por sus siglas en inglés) sistema para reducir las emisiones de CO₂ de la aviación internacional puesto en marcha en 2021, crea un nuevo mercado; mientras que los compromisos de la IMO (Organización Internacional Marítima, por sus siglas en inglés) hace lo propio en el sector de la marina comercial. Variables como transporte aéreo de pasajeros (nacionales e internacionales), el el transporte de carga y actividad portuaria son variables proxi de las potenciales fuente de demanda futura.

Entre los nuevos usos del hidrógeno también se destacan los llamados sectores difíciles de descarbonizar, para los cuales hasta el momento no se identifica otra alternativa viable. Por ejemplo, se prevé que la industria siderúrgica abandone la tecnología de producción de alto horno, donde la reducción del mineral de hierro es a base de carbón, por hornos de reducción directa que utilizarán un *mix* de gas natural e hidrógeno o directamente hidrógeno. La industria siderúrgica genera alrededor del 7% de las emisiones globales y, por otro lado, es una industria clave para la creación de nuevas infraestructuras descarbonizadas (por ejemplo, parques eólicos); por lo tanto, nuevas tecnologías de producción de acero en base a hidrógeno son críticas. Países con industrias siderúrgicas preexistentes y con recursos renovables y gasíferos de calidad podrán producir acero verde de forma competitiva. En segundo lugar, está la minería, un sector muy importante para algunos países de ALC y que está avanzando con firmeza en el uso de hidrógeno, en particular, a partir de la reconversión de los motores a combustión a hidrógeno para la maquinaria pesada (camiones, retroexcavadoras, etc.).

Por último, las posibilidades de integración con la industria doméstica no solo emergen de la presencia de sectores usuarios de hidrógeno (actuales y potenciales) sino también de la disponibilidad de las capacidades productivas e industriales, habilidades y capacidades en Ciencia y Tecnología (CyT) como proveedores de esta nueva industria. Variables como el peso de la manufactura en el empleo, la importancia de sectores intensivos en tecnología y el gasto en I+D, podrían dar cuenta del potencial de integración, evitando modelos de enclave desvinculados de las capacidades productivas domésticas.

B. Grupos de países

En esta sección proponemos un agrupamiento de países en función de la combinación entre las cuatro dimensiones de las condiciones estructurales²².

El grupo 1 está compuesto por Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México y Perú. Este grupo destaca por tener tanto ventajas para la producción de hidrógeno verde como para la producción de hidrógeno azul. Es decir, disponen de recursos naturales de alta calidad para la generación renovable y tienen (aunque

²² El agrupamiento surge de un trabajo preliminar de CEPAL en el que a través de un análisis de clúster para 26 variables que dan cuenta de las 4 dimensiones descriptas y 23 países, se identifican 4 tipos ideales de países.

con diferente nivel) producción de gas natural y reservas de hidrocarburos. Por otra parte, en todos estos países existen localmente industrias que podrían ser usuarias de hidrógeno, como la producción actual de amoníaco en Argentina y Brasil, o la minería en Chile, Perú, Brasil y México y la siderurgia en Brasil, México y la Argentina. Por otro lado, algunos países del grupo, como Brasil, México y Argentina sostienen niveles elevados de industrialización incluyendo actividades críticas como equipamientos y bienes de capital, que les permitirían desarrollar proveedores especializados para estas nuevas industrias a partir de una integración en la cadena, inicialmente, a través de la provisión de partes y piezas para equipamientos. En particular, las industrias de aerogeneradores radicadas en Brasil y México podrían aprovechar el crecimiento del hidrógeno en sus economías nacionales como a nivel de la región. El sector de producción de bienes de capital puede ser crítico para el crecimiento del empleo asociado a proyecto de hidrógeno (Robert, et al 2025).

Los países del grupo también muestran infraestructuras desarrolladas. Si bien los países del grupo no se caracterizan por tener una matriz eléctrica completamente descarbonizada, en todos los casos se verifica una presencia de energías renovables elevadas, con alta presencia de hidroelectricidad y una creciente utilización de energía solar y eólica. Además, cuentan con gasoductos y generación térmica que podrían refuncionalizarse para el transporte y uso de hidrógeno a través de un *blend* de gases²³.

Las ventajas de infraestructura e industrias domésticas podrían alentar oportunidades para la integración productiva, por la alta prevalencia de industrias que utilizan hidrógeno en sus procesos y por la relevancia de otras que lo podrían demandar en el futuro, y por las oportunidades para generar un grupo de empresas proveedoras de equipamientos y servicios industriales asociados al desarrollo de proyectos.

Por otra parte, todos los países cuentan con una serie de activos públicos estratégicos para el despliegue de esta nueva industria. La presencia de empresas públicas de petróleo y gas es uno de ellos, pero también empresas públicas mineras (como CODELCO en Chile) o eléctricas (UTE en Uruguay) y una banca de desarrollo (como el BNDES en Brasil) representan activos críticos para direccionar el proceso de aprendizaje tecnológico e innovación, gestionar las inversiones complementarias en infraestructura necesarias y fortalecer las vinculaciones con la industria doméstica.

Cuadro 4
Distribución de países por agrupamiento

Grupo 1: H₂ e integración productiva	Grupo 2: H₂V y capacidades y gobernanza	Grupo 3: H₂V y H₂A sobre infraestructura	Grupo 4
Argentina	Costa Rica	Bolivia (Estado Plurinacional de)	Belice
Brasil	Panamá	Cuba	El Salvador
Chile	Uruguay	Ecuador	Guyana
Colombia		Guatemala	Honduras
México		Trinidad y Tabago	Nicaragua
Perú		Venezuela (República Bolivariana de)	Paraguay
			República Dominicana
			Suriname

Fuente: Elaboración propia.

²³ No todos los gasoductos son aptos para el transporte de hidrógeno, porque a diferencia del metano, el hidrógeno puede afectar estructuralmente al hierro en un proceso que se denomina fragilización. Sin embargo, muchos países están evaluando utilizar *mix* o *blend* de gases tanto para el transporte como para el consumo (en turbinas de generación eléctrica o en la red de suministro). Los gasoductos pueden tolerar hasta cierta proporción de hidrógeno (entre 5% y 20%).

En este grupo se observa una consistencia entre estructura, estrategia y políticas. En el caso de Chile, pionero en las políticas sectoriales de hidrógeno y con el mayor potencial renovable, su orientación hacia el hidrógeno verde es apropiada, lo mismo que su búsqueda por avanzar en la descarbonización de industrias domésticas. La orientación hacia hidrógeno de bajas emisiones de Brasil, México, Colombia y Argentina es consistente con sus recursos naturales diversificados. Brasil ha mostrado también un esfuerzo en mantener la vinculación con las bioenergías y ha buscado establecer sinergias con su estructura industrial. México, aún sin estrategia oficial se ha posicionado bien dentro de los países con potencial, tanto por la demanda interna, como por sus capacidades para la producción de equipamiento y bienes de capital para la industria del hidrógeno (por ejemplo, ver IEA, 2024). Sin embargo, la extensión de su superficie le exigirá un esfuerzo de planificación territorial para definir la localización de los *hubs* de producción, en donde puedan coincidir las ventajas naturales, el acceso a agua y la fuente de demanda. Colombia también muestra consistencia, en la medida en que apuesta a hidrógeno verde y azul, y a las infraestructuras preexistentes en materia de extracción y refinado de combustibles como fuente de demanda y capacidad de gestión de una producción de hidrógeno de bajas emisiones. El posicionamiento de Ecopetrol ha contribuido a dar impulso al sector en Colombia, promoviendo proyectos pilotos y articulando con otros actores locales y otras políticas como la electrificación del transporte. En el caso de Perú los recursos naturales son la ventaja central; sin estrategia propia, la industria ha promovido al hidrógeno verde, y encuentran en la minería una potencial fuente de demanda. Hay consistencia en ese plano, pero también sería importante aprovechar las ventajas adicionales para la producción de hidrógeno azul.

El grupo 2, está compuesto por Uruguay, Panamá y Costa Rica. Estos países, aun con menor extensión territorial muestran un alto potencial para la producción de hidrógeno verde. Esto se debe a la disponibilidad de recursos renovables de alta calidad co-localizados (hidroelectricidad, eólico, solar y geotermia, en el caso de Costa Rica) lo que permitiría la instalación de proyectos mixtos. Y además, una fuente de ventaja que destaca es la calidad de la infraestructura para la producción de hidrógeno verde, apalancada especialmente en la muy elevada penetración de las fuentes renovables en las matrices eléctricas y la disponibilidad de infraestructuras logísticas y portuarias. La carencia de combustibles fósiles hace que los países de este grupo vean en el hidrógeno verde como un paso natural en su estrategia de descarbonización y de seguridad energética. Las redes eléctricas con alta participación de energías limpias pueden ser una palanca para la radicación de proyectos, porque significa un menor umbral de inversiones, especialmente para proyectos de menor tamaño orientados a nichos del mercado interno.

Otro rasgo característico del grupo son sus capacidades de gestión y gobernanza, con una política pública orientada firmemente hacia la descarbonización. Estos países han mostrado liderazgo en términos de desarrollo de Hojas de Ruta e institucionalidad en torno a la economía del hidrógeno de bajas emisiones. En particular, son países con importantes oportunidades de desarrollo productivo intermedias o de nicho, vinculadas especialmente con el mercado de combustibles sintéticos para transporte aéreo y marítimo. El posicionamiento de Panamá y de Costa Rica en las redes de logística marina y aeronáutica puede implicar una demanda interna para el despacho de combustibles y la comercialización y logística de productos descarbonizados. Por su parte, Uruguay ha buscado sacar provecho de la disponibilidad de CO₂ biogénico resultante de su industria de pulpa de papel para la producción de combustibles sintéticos.

Estos países muestran coherencia entre sus estrategias, estructuras y políticas. Reconociendo la ausencia de fuentes internas de demanda para los usos actuales, están apostando a la construcción de industrias de exportación y, en particular, de producción y suministro de combustibles para buques y aviación. Costa Rica y Panamá pueden jugar un rol clave al respecto por su posición estratégica en la marina y aeronáutica comercial.

El grupo 3 está compuesto por Bolivia, Cuba, Ecuador, Guatemala, Trinidad y Tabago y Venezuela. En este grupo están presentes tanto las ventajas naturales para la producción de hidrógeno verde como azul, aunque la mayoría de ellos aún no ha avanzado en la construcción de una institucionalidad del hidrógeno. La mayoría de estos países cuenta con tradición hidrocarbúrfica importante y, por lo tanto, disponen de

infraestructuras para el transporte de gases y capacidades industriales para la refinación de combustibles fósiles y producción petroquímica (especialmente Bolivia y Trinidad y Tabago, con capacidad para la producción de fertilizantes). Estas capacidades podrían apalancar proyectos de hidrógeno verde y azul.

En los casos de Trinidad y Tabago, Ecuador, Venezuela y Bolivia destacan las ventajas para la producción de hidrógeno azul. Trinidad y Tabago podría aprovechar la integración en cadenas de valor vinculadas a la producción de fertilizantes y otros productos petroquímicos, promoviendo soluciones descarbonizadas. Del mismo modo, su infraestructura para la comercialización marítima, para almacenamiento y despacho de combustible permiten pensar en un posible camino exportador de derivados del hidrógeno de bajas emisiones, apalancado sobre dicha infraestructura.

En los casos de Cuba y Guatemala muestran también buenos recursos para la producción de hidrógeno verde pero comparativamente a otros países sus infraestructuras son menos desarrolladas

Estos dos países no cuentan con estrategia de hidrógeno y sólo en el caso de Guatemala está en elaboración. En estos casos no es posible analizar la consistencia entre estrategia y recurso. En contraposición, Trinidad y Tabago, Ecuador y Bolivia sí tienen estrategias que gravitan fuertemente sobre el hidrógeno verde. Ecuador busca apalancar su estrategia en la alta presencia de energías renovables en su matriz eléctrica (mayoritariamente hidroeléctrica) y la baja penetración de otras fuentes. Mientras que en el caso de Bolivia contrasta por una matriz eléctrica basada en combustibles fósiles (gas natural) que hoy enfrenta el desafío de del declive en la producción de gas. En el caso de Trinidad y Tabago, la estrategia se orienta a reemplazar paulatinamente su rol exportador de combustibles fósiles y derivados por exportador de hidrógeno y sus derivados. Plantea un paso intermedio por el hidrógeno azul, pero la mayor parte del análisis de la estrategia, incluyendo metas, capacidad y análisis de costos del hidrógeno lo hace para la opción tecnológica verde. Algo similar ocurre en el caso de Bolivia, donde la estrategia es de hidrógeno verde y de bajas emisiones, pero en el documento oficial solo contiene estimaciones de hidrógeno verde. Bolivia, al ser país mediterráneo hace un mayor hincapié en la cooperación regional y en identificar mayores oportunidades en la demanda interna. También plantea la oportunidad de apalancar una industria limpia sobre la base de infraestructura para gas, por ejemplo, con una apuesta al gas *blending*.

Finalmente, el grupo 4 está compuesto por Belice, El Salvador, Guyana, Honduras, Nicaragua, Paraguay, Suriname y República Dominicana. Este grupo representa a un número mayoritario de países, muchos de ellos de Centroamérica y el Caribe que se caracterizan por ser países pequeños, en algunos casos insulares, con recursos naturales para el hidrógeno verde y azul en el caso de Guyana. Estos países aún no han promovido estrategias para el sector, aunque podrían contar con ventajas de localización para el suministro de combustibles limpios, como en los casos de Panamá y Costa Rica. Por otra parte, República Dominicana y Honduras se destacan por sus niveles de infraestructura acordes a la producción de hidrógeno verde y azul. Guyana, por su parte es un actor relevante en la producción petrolera de la región. En el caso de orientar esfuerzos al desarrollo de hidrógeno azul, podría aprovechar el desarrollo de nuevas infraestructuras para que estas sean compatibles con hidrógeno de cara a una transición futura. En el caso de Paraguay disponer del 100% de una matriz eléctrica renovable basado en hidroelectricidad, con proyección para continuar la expansión de la hidroelectricidad y ser exportador neto de energía lo ubica en una posición ventajosa para la instalación de proyectos, sin requerir las inversiones en generación eléctrica.

En síntesis, los resultados muestran que las condiciones de partida son muy disímiles y que no es posible concebir una única receta para todos los casos. De la comparación entre los resultados de la Sección II y III surgen algunas consideraciones de interés sobre las que volveremos en las conclusiones, entre las cuales se destaca que:

El grupo 1 está compuesto por países que publicaron tempranamente sus estrategias y que tienen la mayor cantidad de proyectos anunciados. Contiene a los países con estrategias con rutas diversificadas (Brasil, Colombia y Argentina) y a países pioneros como Chile. Han logrado desarrollar institucionalidades

fuertes en torno al hidrógeno que aportan a la calidad de su gobernanza. En el actual contexto de enfriamiento de las expectativas sobre el sector, para este grupo de países los desafíos radican en explorar fuentes de demanda internas y buscar ampliar sus capacidades locales. Son medidas que están siendo consideradas. El siguiente paso podría ser buscar articular políticas entre países para potenciar a la región como líder del hidrógeno global, sobre la base de sus recursos naturales y capacidades locales.

En el grupo 2 (así como en el caso de Paraguay) la orientación hacia la producción de combustibles sintéticos enfocada en la logística emerge como una estrategia dominante. Resulta importante, especialmente para los países de Centroamérica que muestran mayores costos relativos de la producción de hidrógeno, establecer acuerdos comerciales para evitar que las menores ventajas naturales afecten su potencial en los sectores de logística marina y de aviación comercial.

Para el grupo 3 (así como algunos del grupo 4) en el que predominan países con recursos naturales e infraestructura para almacenamiento y procesamiento de combustibles fósiles, los esfuerzos deberían dirigirse a apalancarse sobre estas infraestructuras especialmente estudiando su aplicación a productos derivados del hidrógeno. Todas las estrategias de estos países reconocen este potencial, pero sería oportuno mejorar también la perspectiva en torno a otras rutas del hidrógeno.

En el caso del grupo 4, a pesar de ser países de menor tamaño cuentan con recursos renovables y fósiles que pueden orientar hacia estrategias efectivas. En el caso de Paraguay podría apalancarse sobre su generación renovable excedente o, en el caso de Guyana, sobre su potencial hidrocarbúrico.

En la siguiente sección, se analizan las estrategias de tres países por fuera de la región. En las conclusiones se propone una perspectiva sintética entre condiciones estructurales, estrategias y políticas.

IV. Políticas de desarrollo productivo e hidrógeno: experiencias fuera de la región

Se identificaron tres casos de estudio, donde las estructuras productivas prevalecientes y las capacidades estatales han permitido diseñar estrategias y políticas de desarrollo productivo en torno al hidrógeno. Uno de estos casos aplica a un país desarrollado y por lo tanto el foco de la estrategia y la política está en desplazar la frontera tecnológica y desarrollar nuevos sectores y tecnologías para la producción y uso de hidrógeno (Corea del Sur). En los otros dos casos, si bien se identifican oportunidades de exportación, también se observa una preocupación por vincular esta ventana de oportunidad con un proceso de industrialización interno (Indonesia y Sudáfrica). A continuación, se analizan estos tres casos, seleccionados por tener estrategias con una clara alineación entre sus objetivos de descarbonización, de desarrollo de una economía del hidrógeno con fuerte inserción productiva en el mercado doméstico y objetivos de industrialización.

Las condiciones estructurales de partida de estos países son diversas en términos de dotación y calidad de recursos naturales, cantidad de población, mercado interno y geografía. Indonesia y Sudáfrica cuentan con ventajas naturales en fuentes de energía renovable y minerales críticos, mientras que Corea del Sur tiene una baja dotación de recursos naturales renovables (centrada en eólica *Offshore*) y una alta dependencia de la importación de recursos fósiles. La ubicación geográfica de Sudáfrica e Indonesia también representa una ventaja, por ubicarse sobre rutas comerciales marítimas interoceánicas en un caso y en cercanía de los centros de demanda, en el otro.

Sin embargo, los tres países comparten problemáticas relacionadas con el nivel de emisiones contaminantes y aspectos productivos, que confluyen en perspectivas similares respecto de la necesidad de avanzar en la producción y adopción del hidrógeno de bajas emisiones.

En primer término, son países altamente emisores de GEI²⁴ debido a sus matrices energéticas intensivas en carbón y otros fósiles y, en los casos de las economías emergentes (Indonesia y Sudáfrica), actividades extractivas y deforestación. Al mismo tiempo, todos son firmantes del Acuerdo de París y han fortalecido sus NDC para alcanzar el escenario de emisiones netas cero en 2050. Esto, por una parte, se debe a la real necesidad de combatir los impactos socio-ambientales del cambio climático como, por

²⁴ Indonesia es el sexto país del mundo con mayores emisiones de GEI y el octavo en emisiones de CO₂ de (JRC/IEA 2024). No se considera el cálculo de la Unión Europea de forma agregada, sino por país en forma individual. Si se toma el dato de la UE27 entonces Indonesia ocupa el séptimo lugar. No se incluyen las de LULUCF (Land Use, Land-Use Change, and Forestry). https://edgar.jrc.ec.europa.eu/port_2024?vis=co2tot#emissions_table.

ejemplo, el aumento de los niveles del mar que amenaza particularmente a Indonesia por su geografía (archipiélago). Pero, por otra parte, también se asocia a los riesgos económicos de no acelerar su transición energética y la descarbonización de sus principales industrias, vinculados con la descapitalización y obsolescencia de la infraestructura de ciertos sectores.

Esto se vincula con el segundo rasgo común: los tres países son importantes consumidores de hidrógeno gris. En Indonesia el consumo interno de hidrógeno gris fue de aproximadamente 1,75 millones de toneladas en 2021 (1,8% del total mundial) (Perman et al., 2025). Este consumo se asocia a sectores industriales, en los cuales los países tienen capacidades manufactureras y ventajas competitivas asociados al uso de hidrógeno o que requerirán transicionar al uso de hidrógeno de bajas emisiones y derivados, como los combustibles sintéticos. En el caso de Sudáfrica, está fuertemente especializada en minería del carbón y otros minerales (con dominancia en ciertas tierras raras), producción siderúrgica, petroquímica (urea, amoníaco), cemento, aluminio y refinación de petróleo. Indonesia es muy importante en fabricación de acero, petroquímica, cemento y aluminio. Corea es el caso de frontera, por ser la economía más industrializada y especializada en producción y exportación de tecnología avanzada. Además, ostenta el desarrollo de la tecnología del hidrógeno de bajas emisiones y su aplicación al sector automotriz.

Ante este panorama, en los tres casos han adoptado estrategias y políticas similares hacia las energías más limpias y marcos específicos para el hidrógeno de bajas emisiones.

Todos apuestan a diversas rutas tecnológicas y fuentes de obtención del hidrógeno (electrólisis, reformado de gas natural y CCS, energía nuclear, etc.). Asimismo, las estrategias y hojas de ruta están diseñadas en articulación con planes y estrategias sectoriales que apuntan a la diversificación productiva y la reducción de GEI, la planificación territorial en base a polos o hubs de hidrógeno, y el desarrollo científico-tecnológico para no profundizar dependencias tecnológicas.

Cuadro 5
Condiciones estructurales, estrategia y políticas de Indonesia

Condiciones de partida	Estrategias y Hojas de Ruta	Políticas y actores	Instrumentos
<ul style="list-style-type: none"> - Archipiélago densamente poblado. - Necesidad de descarbonizar sectores extractivos e industria. - Entre los principales consumidores de H₂ para usos industriales - Ventajas en EERR, infraestructura y localización. - Búsqueda de seguridad energética. 	<ul style="list-style-type: none"> - Plan Maestro de Desarrollo Industrial Nacional (RIPIN) 2015-2035. - Zonas industriales y zonas especiales económicas (SEZs); Ecoparques Ind. - Estrategia Nacional de Hidrógeno (2024) y Hoja de Ruta Nacional de Hidrógeno y Amoníaco (2025): reducir dependencia de los combustibles fósiles; desarrollar el mercado nacional y exportar hidrógeno y sus derivados. - Etapas concatenadas desde 2025-2060, (pilotos, exportación, desarrollo de tecnologías uso en el mercado interno). 	<ul style="list-style-type: none"> - Planes quinquenales; foco en mercado doméstico. - Énfasis en I+D, transferencia tecnológica y compartir conocimientos (proyectos piloto). - Centros de producción cerca de centros de consumo y a los puntos de salida vía los gasoductos. - Estrategia otorga rol clave a las empresas del estado. Pertamina, liderará las iniciativas de hidrógeno verde del país. - Centro mundial de amoníaco (actualmente produce 1,7 millones de toneladas de hidrógeno). 	<ul style="list-style-type: none"> - Instrumentos indirectos de política ambiental e industrial (Impuestos al carbono, exenciones fiscales, taxonomía verde). - Instrumentos directos, como subsidios a I+D, inversión en infraestructura, compras públicas y control del comercio internacional de bienes y minerales estratégicos. - Empresa pública de Oil & Gas, PT pupuk y ACWA power.

Fuente: Elaboración propia.

En Indonesia (cuadro 5), el Plan Maestro de Desarrollo Industrial Nacional (RIPIN) 2015-2035, establece 10 industrias prioritarias (incluida la industria de las plantas de energía y la industria química basada en petróleo, gas y carbón). Se ha planificado el desarrollo de zonas industriales y zonas especiales económicas (SEZs) como centros de crecimiento económico buscando el procesamiento downstream, y la radicación de nuevas industrias bajo un modelo de power shoring. Se considera la elaboración de insumos intermedios en base a recursos naturales y una estrategia de descarbonización centrada en los sectores más emisores (cemento, fertilizantes, metales, pulpa y papel, textiles, química, cerámicos y vidrio, otros) estableciendo regulaciones para el desarrollo de Eco Parques Industriales (IRENA, 2022).

En Sudáfrica, la Hoja de Ruta y el Master Plan de Energía Renovable de Sudáfrica (SAREM) lanzado en febrero de 2025 se articulan con un Programa Nacional Industrial (última revisión abarca 2024-2026) que, mediante regulaciones y políticas de contenido local mínimo, se orienta a desarrollar las condiciones industriales y económicas en diversos sectores estratégicos (acero, transporte, energías renovables, plásticos, muebles, textiles y partes y piezas relacionadas)²⁵. Corea del Sur, por su parte, estableció dos grandes planes estratégicos: por un lado, ser líder de la revolución digital 4.0 y, por otro, promover un Green Deal Plan de altas exigencias para cumplir con los compromisos de neutralidad carbono a 2050, sin perder su liderazgo mundial como innovador tecnológico (véase el cuadro 7).

Las estrategias y hojas de ruta de los países tienen diferentes temporalidades. Las de Indonesia son muy recientes (2024-2025). Sus tres pilares son reducir la dependencia de los combustibles fósiles para mejorar la seguridad energética, desarrollar el mercado nacional para apoyar a los sectores industriales y energéticos y exportar hidrógeno y sus derivados al mercado mundial, posicionando a Indonesia como líder en soluciones de energía verde.

En todos los países el mercado doméstico ocupa un lugar relevante en la estrategia, que será motorizado por la política de desarrollo productivo y sus trayectorias previas en la producción de sectores usuarios de hidrógeno. En el caso de Sudáfrica se orienta a reutilizar infraestructura fósil y a la descarbonización de actividades centrales dentro de la estructura productiva como siderurgia y minería (véase el cuadro 6).

Cuadro 6
Condiciones estructurales, estrategia y políticas de Sudáfrica

Condiciones de partida	Estrategias y hojas de ruta	Políticas y actores	Instrumentos
<ul style="list-style-type: none"> - Ventajas en torno a EERR, minerales críticos y amplia costa marítima. - Altas emisiones de CO₂, asociadas a la matriz energética (intensiva en carbón) y transporte. - Productora de H₂ e industrias usuarias. Ventajas en la producción de combustibles líquidos (Sasol). 	<ul style="list-style-type: none"> - Master Plan de Energía Renovable de Sudáfrica (SAREM) y Programa Nacional Industrial. - Estrategia y hoja de ruta de hidrógeno. Metas y objetivos. (2007 tiene iniciativas. 2022/23 lanza la estrategia). - Participación de actores privados involucrados y relevantes, y actores públicos pertenecientes a las esferas productivas (siderúrgica, trenes, petroquímica, suministro de energía). Banco africano de desarrollo y Corporación sudafricana de inversión y de desarrollo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hoja de Ruta gestionada desde el Departamento de Ciencia, Tecnología e Innovación. - Políticas orientadas al desarrollo diversificado entre la industria nacional, regional y global. - Política de apoyo a proyectos privados, reduciendo el riesgo de los mismos (derisking). - Costado territorial, basado en el desarrollo de Hubs o Valles de H₂ tratando de minimizar la distancia con los centros de demanda y la infraestructura disponible. - Empresa con participación pública, Sasol (producción de combustibles líquidos a partir de carbón. Productora (2,5 Mtpa) de H₂ para amoníaco. 	<ul style="list-style-type: none"> - Instrumentos indirectos de incentivo a la IED. - Armonización de certificaciones, normas para celdas de combustible. - Cooperación con organizaciones para formación de recursos humanos y proyectos de I+D+i para mejorar costos de las tecnologías. - Instrumentos directos de política de desarrollo productivo: Requerimientos de contenido local ajustables (100% para acero y relacionados); generación de empleo manufacturero para absorber pérdidas en otros sectores afectados por la transición (minería) y sustituir importaciones.

Fuente: Elaboración propia.

En todas las estrategias hay un fuerte énfasis en la promoción de la I+D en colaboración con organismos internacionales o empresas multinacionales que, en el caso de Corea, son mayoritariamente nacionales. Buscan promover la transferencia tecnológica y compartir conocimientos mediante la implementación de proyectos piloto relacionados con: suministros de energía a baja escala para asegurar energía en zonas remotas, infraestructura y estaciones de recarga en alianzas con empresas automotrices. En gran parte de los marcos regulatorios, se establecen metas de penetración del hidrógeno o algún derivado (amoníaco) para crear mercado e incentivar el uso de hidrógeno en los sectores industriales como acero, cemento, química, transporte, generación de energía y combustible para transporte marítimo (véase el cuadro 7).

²⁵ <https://www.thedtic.gov.za/sectors-and-services-2/industrial-development/industrial-procurement/>

En las estrategias las empresas del estado tienen un peso significativo, por diversos motivos. En Indonesia, la empresa de petróleo y gas nacional, Pertamina, lidera las iniciativas de hidrógeno verde en articulación con otras empresas estatales (de fertilizantes y servicios eléctricos), a partir de acuerdos con empresas privadas demandantes y acuerdos de compras de hidrógeno para garantizar la demanda de la producción.

Cuadro 7
Condiciones estructurales, estrategia y políticas de Corea del Sur

Condiciones de partida	Estrategias y hojas de ruta	Políticas y actores	Instrumentos
<ul style="list-style-type: none"> - Ventajas en torno a EERR, minerales críticos y amplia costa marítima. - Altas emisiones de CO₂, asociadas a la matriz energética (intensiva en carbón) y transporte. - Productora de H₂ e industrias usuarias. Ventajas en la producción de combustibles líquidos (Sasol). 	<ul style="list-style-type: none"> - Master Plan de Energía Renovable de Sudáfrica (SAREM) y Programa Nacional Industrial. - Estrategia y hoja de ruta de hidrógeno. Metas y objetivos. (2007 tiene iniciativas. 2022/23 lanza la estrategia). - Participación de actores privados involucrados y relevantes, y actores públicos pertenecientes a las esferas productivas (siderúrgica, trenes, petroquímica, suministro de energía). Banco africano de desarrollo y Corporación sudafricana de inversión y de desarrollo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hoja de Ruta gestionada desde el Departamento de Ciencia, Tecnología e Innovación. - Políticas orientadas al desarrollo diversificado entre la industria nacional, regional y global. - Política de apoyo a proyectos privados, reduciendo el riesgo de los mismos (derisking). - Costado territorial, basado en el desarrollo de Hubs o Valles de H₂ tratando de minimizar la distancia con los centros de demanda y la infraestructura disponible. - Empresa con participación pública, Sasol (producción de combustibles líquidos a partir de carbón. Productora (2,5 Mtpa) de H₂ para amoníaco. 	<ul style="list-style-type: none"> - Instrumentos indirectos de incentivo a la IED. - Armonización de certificaciones, normas para celdas de combustible. - Cooperación con organizaciones para formación de recursos humanos y proyectos de I+D+i para mejorar costos de las tecnologías. - Instrumentos directos de política de desarrollo productivo: Requerimientos de contenido local ajustables (100% para acero y relacionados); generación de empleo manufacturero para absorber pérdidas en otros sectores afectados por la transición (minería) y sustituir importaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Todos los países asignan un lugar importante a la planificación centralizada del desarrollo, en función de *Hubs* o valles de hidrógeno, ante la necesidad de reducir los costos de transporte hacia los centros de consumo, favorecer las economías de aglomeración y acelerar los procesos de aprendizaje y reducción de costos. En Indonesia, lo hace Pertamina, que evalúa sitios potenciales para el desarrollo de hidrógeno verde, teniendo en cuenta la disponibilidad de fuentes de energía renovables y las industrias adoptantes del hidrógeno, articulando con la planificación de zonas económicas e industriales del gobierno y los puntos de salida para la provisión de hidrógeno (IRENA, 2022)²⁶.

Un desafío muy específico es el desarrollo de la infraestructura para el almacenamiento y transporte del hidrógeno y sus derivados. En este aspecto crítico, todos los países coinciden en impulsar obras públicas estratégicas complementadas con acuerdos público-privado para el desarrollo de obras específicas. En Indonesia, por ejemplo, siguiendo en parte con su plan de zonas industriales y económicas, el gobierno proyecta establecer un conjunto de centros de producción cercanos a los centros de consumo y a los puntos de salida vía los gasoductos a interconectar internamente y con países vecinos.

Para promover y consolidar este nuevo mercado todos los países implementan instrumentos de política indirectos y directos. Los primeros, de uso más difundido, se basan en incentivos de precio para la adopción del hidrógeno de bajas emisiones como impuestos de carbono y exenciones de impuestos fiscales a proyectos de hidrógeno renovables e inversiones de infraestructura. Entre los directos se destaca el destino de subsidios a I+D y acuerdos de cooperación con otros países, inversión en infraestructura (estaciones de recarga de hidrógeno, tuberías e instalaciones de almacenamiento), desarrollo de proveedores del sector siderurgia y fabricación de bienes de capital.

²⁶ Existe una iniciativa de colaboración entre la empresa Sembcorp Industry (Singapur) y PT PLN para establecer un gasoducto bajo mar que conecte desde Sumantra a Singapur <https://www.offshore-energy.biz/sembcorp-and-pt-pln-move-forward-with-green-hydrogen-project-in-indonesia/>.

V. Discusión de resultados y aprendizajes

Esta investigación aporta evidencia empírica respecto de las diferencias estructurales entre los países de América Latina y el Caribe que pueden representar tanto limitaciones como oportunidades para vincular el despliegue de la economía del hidrógeno de bajas emisiones con objetivos de desarrollo productivo y arraigo territorial.

El contexto actual de menor exigencia para que la región se transforme rápidamente en un proveedor global de hidrógeno otorga una ventana de oportunidad más amplia y habilita a los países a buscar oportunidades en el mercado interno, tanto para descarbonizar actividades, como para ganar en resiliencia y seguridad energética, así como para fomentar oportunidades de desarrollo productivo.

El objetivo del trabajo ha sido la identificación de diferentes perfiles estructurales de países, que habilitan o restringen las posibilidades de desarrollo de una economía del hidrógeno. La metodología incluyó la identificación de 4 dimensiones sobre las condiciones estructurales: sobre recursos naturales, capacidades industriales, infraestructuras y capacidades estatales. Por otro lado, se analizaron las estrategias de los países de la región y ejemplos seleccionados de otras regiones del mundo. Se comprobó si los países aspiraban a diferentes combinaciones de estas capacidades para propiciar sus estrategias de hidrógeno.

En términos de los perfiles estructurales los rasgos más relevantes que se han podido identificar son los siguientes:

- **Alta heterogeneidad:** Las variables consideradas y analizadas en conjunto demuestran una alta heterogeneidad de situaciones. Si bien se han identificado cuatro grupos, se aprecia que en el interior de los mismos también existe heterogeneidad. Esta circunstancia habla de la posibilidad de diferentes trayectorias para las economías de América Latina y el Caribe en el desarrollo de este sector emergente.
- **Potencial de recursos naturales para generación renovable:** La calidad y abundancia de los recursos naturales que describen informes de organismos internacionales para dar cuenta del potencial de hidrógeno es cierta. Sin embargo, existe variabilidad en la calidad de estos recursos entre diferentes países de la región. El potencial hidrocarburífero está limitado a algunos países y el potencial renovable es particularmente elevado solo en algunas localizaciones. No obstante, se observa que la alta calidad de las fuentes solar y eólica combinada con la capacidad actual de generación hidróeléctrica, posicionan a toda la región con alto potencial.

Por otro lado, aunque también es variable de acuerdo al país se observa que la capacidad renovable se combina en algunos casos puntuales con acceso a agua y extensión territorial, tres factores críticos para el desarrollo de proyectos.

- Recursos no renovables: Hay un grupo reducido de países con potencial para integrar sus estrategias con los recursos fósiles, para mejorar su competitividad vis-a-vis con otras trayectorias globales, ampliar la extensión de vida de sus recursos fósiles a partir de la adopción y desarrollo de tecnologías críticas de la descarbonización como la captura y almacenamiento de CO₂. Esto es aprovechado en el caso de Colombia, Argentina y Brasil, pero menos visible es en los casos de Trinidad y Tabago, Ecuador o Bolivia, donde las estrategias gravitan sobre la tecnología verde.
- Importancia de la infraestructura: Se observa un grupo de países cuyo potencial se apalanca en una infraestructura eléctrica desplegada sobre la base de renovables. Este factor junto a la configuración de un sistema de gobernanza efectivo, representa una ventaja para posicionarse estratégicamente en un eventual mercado global. Estos son los casos de Uruguay y Costa Rica.
- Integración productiva: Entre los países más industrializados y/o con industrias extractivas existe gran potencial para el desarrollo en torno a industrias difíciles de descarbonizar. También hay oportunidades en nichos vinculados con nuevos usos, como el transporte de pasajeros y la producción de combustibles para carga aérea y marítima, especialmente en las economías más pequeñas que ya cumplen un rol importante en tanto *hubs* logísticos. Sin embargo, esta potencialidad está subvaluada en las estrategias que, en general, están sesgadas a la exportación de H₂V.

A partir de la clasificación de los países según su cercanía en términos de recursos naturales y otras condiciones estructurales relevantes y el análisis cualitativo de sus estrategias, se identifican aspectos más específicos sobre los alcances y debilidades de las trayectorias tecno productivas.

Los países del grupo 1, que se destacan por el potencial de recursos semejante y la disponibilidad de infraestructura adecuada, presentan diferencias significativas en el grado de avance de sus estrategias. Chile y Brasil son los más avanzados en sus estrategias, en la implementación de políticas y, en particular, de instrumentos de promoción del desarrollo productivo. Chile, a pesar de estar orientado hacia la exportación, busca desarrollar la tecnología y escalar la producción doméstica mediante la descarbonización de la minería. Brasil busca a través del desarrollo de proyectos propiciar la ciencia y la tecnología, y la producción de equipamiento. Argentina y Colombia dieron los primeros pasos normativos y cuentan con proyectos piloto, pero están más lejos en materia de políticas de desarrollo productivo. La política de Colombia está enfocada en la extensión de los beneficios de las energías renovables al hidrógeno, favoreciendo la importación de equipos y reduciendo cargas tributarias. Mientras que Argentina no cuenta con un marco normativo específico para el sector, existe una demanda de la industria y de los productores de bienes de capital que aspiran a participar de la cadena de valor. México y Perú están algo más rezagados, sin estrategia y/o Hoja de ruta definida, a pesar del creciente interés desde actores del sector privado por la calidad de sus recursos.

Los países del grupo 2 (Panamá, Uruguay y Costa Rica) tienen estrategias y marcos regulatorios avanzados, con una marcada orientación a la exportación de H₂V. Esto es consistente con sus perfiles productivos, por ser economías pequeñas pero con una alta participación de energías renovables en sus matrices energéticas. En particular, por ser centros logísticos y nodos estratégicos del comercio global de personas y cargas, son economías con oportunidades productivas de "nicho", vinculadas con la creación de clústeres o *hubs* de transporte, almacenamiento y distribución de combustibles sintéticos.

Los países del grupo 3 se caracterizan por disponer de ventajas en recursos naturales fósiles, infraestructura de transporte y una base industrial en torno a la cadena de valor del petróleo y gas. Sin embargo, todavía se encuentran en una etapa incipiente de desarrollo de capacidades estatales en torno

al hidrógeno y, en muchos casos, falta de estrategias o marcos normativos específicos. Los más avanzados en términos institucionales y de formulación de políticas circunscriben sus estrategias y/o Hojas de ruta al desarrollo del H₂V para la exportación. A pesar de contar con potencialidad para el desarrollo del H₂A y estrategias de mercado diversificadas, aún no se observan políticas específicas que alienten al reemplazo de combustibles fósiles por hidrógeno en estas industrias.

El último grupo representa a un conjunto amplio de países con menores potencialidades relativas, que en su mayoría no cuenta con estrategias y/o Hojas de Ruta, marcos regulatorios específicos y/o proyectos piloto en marcha. Paraguay y República Dominicana son los únicos que desarrollaron estrategias para aprovechar sus recursos energéticos renovables para la producción de H₂V orientadas hacia la exportación.

Dada esta caracterización de la región y, en función de las estrategias, políticas e instrumentos revisados en las experiencias de Indonesia, Sudáfrica y Corea del Sur, se identifican los siguientes espacios de mejora para las políticas públicas y el desarrollo productivo de cada país en torno a la economía del hidrógeno de bajas emisiones, dadas sus características estructurales.

- **Estrategias/Hoja de Ruta en base a metas y objetivos de empleo y productivos:** Los países que están comandando el impulso de la industria del hidrógeno de bajas emisiones, lo hacen desde una perspectiva integral entendiendo que la irrupción de este nuevo vector energético conlleva transformaciones estructurales profundas. Particularmente, para evitar fuertes desequilibrios en sectores energéticos que inevitablemente verán afectados sus niveles de empleo (carbón, petróleo y gas). Por otra parte, comprenden que la fase inicial de este ciclo tecnológico genera oportunidades altas de apropiación de rentas tecnológicas y agregación de valor local, que no están dispuestos a relegar.
- **Articulación intersectorial:** La vinculación de las industrias usuarias de H₂ y nuevos usos con la oferta de hidrógeno de bajas emisiones cumple la doble función de contribuir a la descarbonización de industrias altamente contaminantes y generar las condiciones para la transición de tecnologías de nicho a nuevos regímenes tecnológicos. Corea del Sur representa un caso de frontera en este sentido, que logró escalar la producción desde plantas piloto a grandes proyectos comerciales, y está avanzando en la adaptación de la infraestructura y posibles nuevos usos y productos derivados. En este sentido, la compra pública es uno de los instrumentos clave para promover esta articulación que, en mayor o menor medida, está siendo utilizada por las experiencias internacionales analizadas. En ALC lo está empezando a hacer Brasil, en el marco de su Nuevo Plan de Industrialización y, de forma más selectiva, Chile para la industria minera y de maquinaria pesada. El resto de los países del grupo 1 tienen las condiciones estructurales para acelerar la descarbonización de sus industrias y promover un ecosistema tecno-productivo en torno al hidrógeno, propiciando el surgimiento de grupos e implementando políticas específicas.
- **Planificación y organización territorial:** Los países más avanzados de ALC y de otras partes del mundo están conformando Hubs o Valles de Hidrógeno, claves para reducir costos de almacenamiento y transporte, y generar externalidades tecnológicas y no tecnológicas. La articulación entre países cercanos y la búsqueda de acuerdos regionales, puede ser una vía interesante para traccionar inversiones en países con menores ventajas estructurales y, al mismo tiempo, una forma de impulsar un mercado doméstico.
- **Participación de empresas públicas:** Además de la incertidumbre tecnológica y limitaciones productivas (escalamiento, creación de mercado, etc.), la difusión del hidrógeno de bajas emisiones implica la transformación de regímenes energéticos. Dentro de estos regímenes, en general, los actores incumbentes tienden a retrasar o obstaculizar los cambios que amenazan su normal desempeño. Por lo cual, la participación de empresas públicas, tanto en el sector energético como desde las industrias demandantes, se vuelve fundamental para la coordinación e impulso de la transición.

Bibliografía

- Altenburg, T. & Rodrik, D. (2017). Green industrial policy: Accelerating structural change towards wealthy green economies. In Altenburg, T. & Assmann, C. (eds.), *Green Industrial Policy. Concept, Policies, Country Experiences*, (1–21). Geneva, Bonn: UN Environment; German Development Institute/ Deutsches Institut für Entwicklungspolitik (DIE).
- Andreoni, A. (2019). A generalized linkage approach to local production systems development in the era of global value chains, with special reference to Africa. In Ravi Kanbur, Akbar Noman and Joseph E. Stiglitz (eds.), *The quality of growth in Africa* (pp. 264-294). New York: Columbia University Press.
- Andreoni, A. & Roberts, S. (2024). *Minerals, Energy-Intensive Industries and Development: Green Transition and Employment in Southern Africa*. Centre for Sustainable Structural Transformation, Working Paper Series. Published electronically by SOAS University of London.
- Andreoni, A., & Roberts, S. (2022). *Geopolitics of critical minerals in renewable energy supply chains: Assessing conditionalities on the use of technology, market capture and the implications for Africa*. African Climate Foundation.
- Bampaou, M., & Panopoulos, K. D. (2025). An overview of hydrogen valleys: Current status, challenges and their role in increased renewable energy penetration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 207, 114923.
- Barney, A., Polatidis, H., & Haralambopoulos, D. (2022). Decarbonisation of islands: A multi-criteria decision analysis platform and application. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102115.
- Boschma, Ron. "Relatedness as driver of regional diversification: A research agenda." *Regional Studies* 51.3 (2017): 351-364.
- Carlsson, B., & Stankiewicz, R. (1991). On the nature, function and composition of technological systems. *Journal of evolutionary economics*, 1, 93-118.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2024a), *Panorama de las Políticas de Desarrollo Productivo en América Latina y el Caribe, 2024* (LC/PUB.2024/15-P/Rev.1), Santiago.
- CEPAL (2024b), *América Latina y el Caribe ante las trampas del desarrollo: transformaciones indispensables y cómo gestionarlas* (LC/SES.40/3-P/-*), Santiago.
- CEPAL (2023). *Lithium extraction and industrialization: opportunities and challenges for Latin America and the Caribbean*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Disponible en: <https://www.cepal.org/en/publications/48965-lithium-extraction-and-industrialization-opportunities-and-challenges-latin>
- CEPAL (2020). *A big push for sustainability in Brazil's energy sector Input and evidence for policy coordination*.

- CEPAL/FES (2019). Big push ambiental: investimentos coordenados para um estilo de desenvolvimento sustentável: LC/BRS/TS.2019/1 e LC/TS.2019/14. Santiago; São Paulo: Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe/Fundação Friedrich Ebert Stiftung.
- Chorkulak, V., Murua, S., Lambertini, G., Villar, P., Bertero, R., Carlino, M., Caratori, L., Rabinovich, G. y López, L. (2024). Fuentes de CO₂ para la producción de PTX en Argentina. Bonn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Cremonese, L., Mbungu, G. K., & Quitzow, R. (2023). The sustainability of green hydrogen: An uncertain proposition. *International journal of hydrogen energy*, 48(51), 19422-19436.
- Curcio, E. (2025). Hydrogen Production Costs: Analyzing LCOH, LCOE, and Market Implications. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5121769>
- Dahmén, E. (1988). 'Development blocks' in industrial economics. *Scandinavian Economic History Review*, 36(1), 3-14.
- de Astarloa, B. D., Mulder, N., Santamaria, S. C., Weck, W., Barreiros, L., Huerta, R. C., Patiño, A., & Gómez, M. (2021). Post Pandemic Covid-19 Economic Recovery.
- de Oliveira, A. S. (s. f.). Ministério de Minas e Energia—MME.
- Engelen, P. J., Kool, C., & Li, Y. (2016). A barrier options approach to modeling project failure: The case of hydrogen fuel infrastructure. *Resource and Energy Economics*, 43, 33-56.
- Gabor, D., & Sylla, N. S. (2023). Derisking developmentalism: a tale of green hydrogen. *Development and change*, 54(5), 1169-1196.
- Gale, F., Goodwin, D., Lovell, H., Murphy-Gregory, H., Beasy, K. y Schoen, M. (2024). Renewable hydrogen standards, certifications, and labels: A state-of-the-art review from a sustainability systems governance perspective. *International Journal of Hydrogen Energy*, 59, 654-667.
- Geels, F. W. (2005). Technological transitions and system innovations: a co-evolutionary and socio-technical analysis. Reino Unido: Edward Elgar Publishing.
- Geels, F. W., & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. *Research policy*, 36(3), 399-417.
- Gereffi, G., Humphrey, J., & Sturgeon, T. (2005). The governance of global value chains. *Review of international political economy*, 12(1), 78-104
- Hansen, P., & Devlin, N. (2019, April 26). Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) in Healthcare Decision-Making. *Oxford Research Encyclopedia of Economics and Finance*.
- Hinojosa, J. L., Villamizar, S., Gama, N., Jackson, G., Williams, J., Castellanos, G., Aiello, R. G., Gischler, C., & Bonzi Teixeira, A. (2022). Green Hydrogen Opportunities for the Caribbean. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0004621>
- Hughes, T. P. (1987). The evolution of large technological systems. The social construction of technological systems: New directions in the sociology and history of technology, 82, 51-82.
- IEA (2022). Global Hydrogen Review 2022. Paris: International Energy Agency (IEA).
- IEA (2024). Global Hydrogen Review 2024. <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024/executive-summary>
- IRENA (2022), Indonesia energy transition outlook. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA (2023a), Socio-economic footprint of the energy transition: Indonesia. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA. (2020). Green hydrogen: A guide to policy making. International Renewable Energy Agency.
- IRENA. (2022). Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor. International Renewable Energy Agency.
- IRENA. (2024). Green hydrogen auctions: A guide to design. International Renewable Energy Agency.
- Joint Research Centre. (2008). Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide. OECD publishing.
- Jugessur, S., Low, Q. X., Gischler, C., Teixeira, A. B., Thomas, C., Lessey-Kelly, T., Ramgattie, A., & Maynard, M. (2022). The roadmap for a green hydrogen economy in Trinidad and Tobago. IDB Publications. <https://doi.org/10.18235/0004555>
- Kalt, T., Simon, J., Tunn, J., & Hennig, J. (2023). Between green extractivism and energy justice: competing strategies in South Africa's hydrogen transition in the context of climate crisis. *Review of African Political Economy*, 50(177-178), 302-321

- Karahan, M., Çetintaş, F., Karahan, M.S. (2021). Turkey and Some EU Countries' Economic Performance Analysis with Multi-criteria Decision Making Methods: Promethee GAIA Application. En Durakbasa, N.M., Gençyılmaz, M.G. (eds) *Digital Conversion on the Way to Industry 4.0*. ISPR 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62784-3_50
- Majka, A., Klimczyk, M., Kucharski, K., & Muszyńska-Pałys, J. (2023). Hydrogen valley as a hub for technological cooperation between science, business, local government and NGOs. An overview of approaches in Europe. *Torun International Studies*, 1(17), 5-15.
- Marković, M., Stanković, J. J., Digkoglou, P., & Marjanović, I. (2022). Evaluation of Social Protection Performance in EU Countries: Multiple-criteria Decision Analysis (MCDA). *Problemy Ekorożwoju*, 17(2), 124-132.
- Mathews, J. (2022). *A Solar-hydrogen Economy: Driving the Green Hydrogen Industrial Revolution*. Anthem Press.
- Matthews, D. (2020). Global value chains: cobalt in lithium-ion batteries for electric vehicles. Office of Industries, US International Trade Commission. Disponible en: https://www.usitc.gov/publications/332/global_value_chains_cobalt_lithium_ion_batteries.htm
- Medina Ketzer, J. M., Machado, C. X., Camboim Rockett, G. y Iglesias, R. S. (2014). Brazilian atlas of CO₂ capture and geological storage. Porto Alegre : EDIPUCRS, 66 p.
- Möhle, E., & Aneise, A. J. (2024). Una ley para el hidrógeno. FUNDAR.
- Morris, M., Robbins, G., Hansen, U., & Nygard, I. (2022). The wind energy global value chain localisation and industrial policy failure in South Africa. *Journal of International Business Policy*, 5(4), 490-511.
- Nem Singh, J. T. (2014). Towards Post-neoliberal Resource Politics? The International Political Economy (IPE) of Oil and Copper in Brazil and Chile. *New Political Economy*, 19(3), 329-358. <https://doi.org/10.1080/13563467.2013.779649>
- Ogrodnik, K. (2023). Application of MCDM/MCDA methods in city rankings-review and comparative analysis. *Economics and Environment*, 86(3), 132-151.
- Olajide, H. E., Oluwafunmise, F., & Ogungbeje, O. (2023). Creating Equitable Workforce Development Models for Clean Hydrogen Transition: Insights from Industrial Management. *Journal of Multidisciplinary Research*, 9(01).
- Ozkaya, G., Timor, M., & Erdin, C. (2021). Science, Technology and Innovation Policy Indicators and Comparisons of Countries through a Hybrid Model of Data Mining and MCDM Methods. *Sustainability*, 13(2), 694. <https://doi.org/10.3390/su13020694>
- Panorama de los recursos naturales en América Latina y el Caribe 2023. Resumen ejecutivo | Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (s. f.).
- Papapostolou, A., Karakosta, C., Kourti, K.-A., Doukas, H., & Psarras, J. (2019). Supporting Europe's Energy Policy Towards a Decarbonised Energy System: A Comparative Assessment. *Sustainability*, 11(15), 4010. <https://doi.org/10.3390/su11154010>
- Perez, C. (2010). Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge journal of economics*, 34(1), 185-202.
- Permana et al. (2025). Hydrogen's potential and policy pathways for Indonesia's energy transition: The actor-network analysis. *Unconventional Resources* www.keaipublishing.com/en/journals/unconventional-resources/
- Perroux, F. (1950). Economic space: theory and applications. *The quarterly journal of economics*, 64(1), 89-104.
- Poledníková, E., & Kashi, K. (2014, November). Using MCDM methods: evaluation of regional innovation performance in the Czech Republic. In *European Conference on management, leadership & Governance* (p. 487). Academic Conferences International Limited.
- Rallet, A., & Torre, A. (2017). Geography of innovation, proximity and beyond. In *The Elgar companion to innovation and knowledge creation* (pp. 421-439). Edward Elgar Publishing.
- Riera, J. A., Lima, R. M. y Knio, O. M. (2023). A review of hydrogen production and supply chain modeling and optimization. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48 (37), 13731-13755.
- Robert, V., Cretini, N., Montiel, G, y Vázquez, D.R. (2025). Transición energética II en la provincia de Buenos Aires Prospectiva, empleo y política industrial para un desarrollo soberano en las cadenas de eólica, biogás e hidrógeno verde. *Orbita PBA*. N28. <https://nube.mcti.gba.gov.ar/index.php/s/1svRdUzjiu5vN8h>
- Salazar-Xirinachs, J. M. (2024). Repensar, reimaginar, transformar: los "qué" y los "cómo" para avanzar hacia un modelo de desarrollo más productivo, inclusivo y sostenible. *Revista CEPAL*, (141).

- Sanchez-Lopez, M. D. (2023). Geopolitics of the Li-ion battery value chain and the Lithium Triangle in South America. *Latin American Policy*, 14(1), 22-45.
- Schot, J., & W. Steinmueller E. (2018) "Tres marcos de política de innovación: I+ D, sistemas de innovación y cambio transformativo." *Research Policy* 47, 1554-15567.
- Scita, R., Raimondi, P. y Noussan, M. (2020). Green Hydrogen: the Holy Grail of Decarbonisation? An Analysis of the Technical and Geopolitical Implications of the Future Hydrogen Economy. Working Paper 013.2020. Fondazione Eni Enrico Mattei.
- Secretaría de Asuntos Estratégicos de la Presidencia de la Nación (SAE) (2023). Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2023/07/estrategia_nacional_de_hidrogeno_-_sae.pdf. Consultado en diciembre de 2024
- Szirmai, A. (2012). Industrialisation as an engine of growth in developing countries, 1950–2005. *Structural change and economic dynamics*, 23(4), 406-420.
- Tagliapietra, S. y Veugelers, R. (2020). A green industrial policy for Europe. Bruselas, Bélgica: BRUEGEL BLUEPRINT SERIES.
- Tunn, J., Kalt, T., Müller, F., Simon, J., Hennig, J., Ituen, I., & Glatzer, N. (2024). Green hydrogen transitions deepen socioecological risks and extractivist patterns: Evidence from 28 prospective exporting countries in the Global South. *Energy Research & Social Science*, 117, 103731.
- UNDP (2025). Navigating the Currents of Green hydrogen. Towards a human development-centred framework. United Nations Development Programme, Report. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2025-09/undp-navigating-the-currents-of-green-hydrogen.pdf>
- UNIDO (2009). Industrial Development Report 2009. Vienna: United Nations Industrial Development Organization, pp. 117-121.
- van der Loos, A., Langeveld, R., Hekkert, M., Negro, S., & Truffer, B. (2022). Developing local industries and global value chains: The case of offshore wind. *Technological forecasting and social change*, 174, 121248.
- Verpoort, P. C., Gast, L., Hofmann, A., & Ueckerdt, F. (2024). Impact of global heterogeneity of renewable energy supply on heavy industrial production and green value chains. *Nature Energy*, 9(4), 491-503.

Anexo A1

Revisión de las Estrategias nacionales de Hidrógeno ALC

Argentina

- Visión: desarrollar toda la cadena de valor del hidrógeno, desde proveedores para bienes de capital hasta derivados del hidrógeno.
- Ventajas competitivas: balance entre ventajas naturales y capacidades industriales y tecnológicas: "La riqueza y la variedad de los recursos naturales de Argentina, junto con sus capacidades industriales y tecnológicas".
- Tener producción doméstica de hidrógeno (0,4 millones de tpa, 9% del total de AL). Infraestructura hidrocarburífera para la producción de hidrógeno azul.
- Metas a 2050: 55 GW de capacidad renovable, para operar 30GW de capacidad de electrólisis para producir 5 millones de tpa de hidrógeno verde al año.
- Particularidades: oportunidad para la reindustrialización. Fortalecer el entramado productivo doméstico. Participación de YTEC (empresa de tecnología de YPF). Vaca Muerta segunda reserva mundial de gas no convencional como punto de partida para la inclusión del hidrógeno azul y el desarrollo doméstico en SMR para producción de hidrógeno rosa.

Bolivia (Estado Plurinacional de)

- Visión: desarrollar una industria doméstica del hidrógeno, para consumo interno. Sustituir importaciones de gasolinas y combustibles líquidos. Reducir la dependencia nacional de energías y aumentar las exportaciones. Potencial de exportación y de desarrollo del mercado interno.
- Ventajas competitivas: potencial de renovables, eólico y solar. Indica que cuenta con potencial hídrico para la producción de hidrógeno, aunque no en todas las áreas. Cuenta con extensión territorial para un despliegue mayor de renovables. Tiene una localización estratégica para el comercio con países vecinos. Aprovechar la demanda interna potencial que emerge de la descarbonización de la industria basadas en fósiles.
- Metas a 2050: producción de 4.15 millones de tpa de hidrógeno verde (2.6 millones para exportación). Construcción de nuevas infraestructuras para el desarrollo del sector.
- Particularidades: YPFB juega un rol clave en el impulso a proyectos piloto. También dispone de aguas que se forma en pozos depletados de petróleo que puede utilizar para la producción de hidrógeno. Por su localización mediterránea apunta a sus vinculaciones comerciales energéticas con países vecinos, dando más importancia a la coordinación regional.

Brasil

- Visión: desarrollar la economía del hidrógeno de bajas emisiones de carbono en el país y aprovechar las oportunidades del mercado global de productos de bajas emisiones de carbono y las cadenas de suministro de la transición energética. Además, Brasil busca que el hidrógeno bajo en carbono sea competitivo en el país y ofrezca una alternativa para sectores con dificultades para reducir las emisiones, tanto en Brasil como en el mercado global.
- Ventajas competitivas: diversidad de recursos energéticos que permiten explorar diferentes rutas tecnológicas para producir hidrógeno.
- Meta: producir 1.8 millones tpa de hidrógeno de bajas emisiones.
- Particularidades: impulsar diálogos de alto nivel en temas energéticos y climáticos. Fortalecer bases científico-tecnológicas, capacitaciones a RRHH, planeamiento energético (con estimación de demanda doméstica de H₂), generar marco regulatorio, impulsar una neoindustrialización en base al mapeo de las cadenas de valor y la identificación de oportunidades para desarrollo industrial.

Chile

- Visión: ser el país con el hidrógeno verde más competitivo del planeta. Tener producción de hidrógeno competitiva en gran escala: una industria limpia de gran escala que provoque un giro en la transición desde industrias extractivas hacia industrias verdes en Chile.
- Ventajas competitivas: apalancarse sobre sus recursos naturales y su estrategia verde.
- Metas a 2050: uso en refinerías, producción de amoníaco, transporte y maquinaria pesada (uso en el sector minero), de gas blending.
- Particularidades: aprovechar las empresas del estado (ENAP y CODELCO) como potenciales usuarios de H₂.

Colombia

- Visión: Colombia dispone de las condiciones para aprovechar la oportunidad del hidrógeno y convertirse en líder regional de la transición energética.
- Ventajas competitivas: recursos naturales para múltiples rutas del hidrógeno, infraestructuras, posición estratégica (posición bioceánica, nexo entre América Central y América del Sur estando unido mediante redes de transporte, distribución y comercio con diversos países), marco regulatorio y político estable.
- Particularidades: hidrógeno a través de múltiples rutas. Se incluye el hidrógeno blanco.

Costa Rica

- Visión: convertirse en un productor de hidrógeno verde de manera competitiva aprovechando su matriz eléctrica renovable, contribuyendo a la descarbonización de los sectores transporte e industria, la independencia energética, y al crecimiento económico, y se posiciona como un *hub* regional de conocimiento y tecnología”.
- Ventajas: matriz eléctrica (99% renovable) y marca país verde. Actividad portuaria, terminal de contenedores y logística marítima.
- Particularidades: se orienta a descarbonizar el mercado interno, en especial a través del transporte y la política de Costa Rica en torno a la electromovilidad. También identifica como fuentes domésticas de demanda el bunkering para carga de combustibles de marítimos.

Ecuador

- Visión: que el hidrógeno sea un motor de industrialización, volverse un *hub* exportador de hidrógeno, aprovechando la demanda global creciente y posteriormente su uso interno para descarbonizar procesos industriales domésticos y expandir su uso en otras industrias, en particular, el transporte.
- Ventajas competitivas: múltiples recursos renovables, solar, eólico, hidráulico, geotérmico, biomasa. Disponibilidad de tierras y acceso a agua por zona costera convergente con infraestructura portuaria. CO₂ biogénico para la producción de combustibles sintéticos. Formaciones geológicas para almacenamiento de H₂. Infraestructura eléctrica, portuaria y gasífera para transporte y almacenamiento de hidrógeno verde.
- Particularidades: identifica al H₂ verde como una oportunidad para la industrialización y el desarrollo tecnológico del país. Explorar las fuentes renovables no convencionales especialmente la geotérmica, que destaca por tener capacidad de generación constante (a diferencia de la eólica y la solar).

Panamá

- Visión: posicionar a Panamá en la Ruta Global de H₂V y sus derivados, potenciando su ubicación geográfica e infraestructura para abastecer con energéticos renovables al sector logístico doméstico (transporte terrestre), marítimo y aéreo.
- Ventajas competitivas: posición geográfica e infraestructura logística (marítima y aérea) además se posiciona como *hub* financiero.
- Metas a 2050: 2 millones de tpa. H₂ para exportación, bunkering para buques, oferta de energéticos para aviación, uso en transporte de carga y maquinaria pesada.
- Particularidades: busca el desarrollo de un mercado regional de H₂V y derivados, se considera la importación de H₂ y su uso en la minería.

Paraguay

- Visión: uso del hidrógeno en el transporte terrestre y fluvial. Busca convertirse en un *hub* logístico a hidrógeno verde. La localización mediterránea otorga al transporte un lugar clave en la economía paraguaya que podría ser una fuente importante de demanda de hidrógeno verde.
- Ventajas competitivas: grandes excedentes de hidroelectricidad. Actualmente exportador neto de electricidad. Tiene potencial eólico y solar y tiene planificación de dos nuevas obras hidroeléctricas (por 2.3 GW). Complementariedad con la capacidad de producción de biocombustibles (biodiesel y etanol) a partir de la hidrogenación de aceites vegetales.
- Metas a 2050: 90 mil tpa anuales. 1 GW de electrólisis para cubrir la demanda interna.
- Particularidades: rol de Petropar en el despliegue del sector a partir de la instalación de pilotos. Reorientar exportación de electricidad a producción doméstica de H₂ y combustibles sintéticos. Por la dificultad para la exportación se orienta a la descarbonización del transporte doméstico (especialmente flota fluvial), pero puede jugar un rol clave en la seguridad energética y la descarbonización de combustibles para el transporte.

Trinidad y Tabago

- Visión: busca apalancarse en su infraestructura de hidrocarburos y combustibles fósiles y en su know-how para construir capacidades y diversificar producción y exportaciones en productos sostenibles. El país ya tiene una demanda cautiva de 1,5 millones de tpa de hidrógeno gris consumido por su industria petroquímica que podría ser verde.
- Ventajas competitivas: posición geográfica, infraestructura para combustibles fósiles e industria petroquímica. Infraestructura de puertos y relaciones comerciales en torno al sector energético. Ejemplo comparativo: volverse la Singapur de América Central: sin recursos fósiles es un *hub* logístico de combustibles. Espera alcanzar producción de hidrógeno verde a partir de energía eólica offshore.
- Metas a 2050: 57 GW de capacidad eólica offshore, para operar 25GW de capacidad de electrólisis para producir 4 millones de tpa de hidrógeno verde al año.
- Particularidades: propone explorar recursos renovables no convencionales como geotérmica, mareomotriz y biomasa para la producción de H₂. Espera dejar de utilizar hidrógeno gris para el 2050, reemplazado por el verde. El hidrógeno azul ocuparía un papel durante la transición, pero eventualmente el H₂ azul sería reemplazado por el verde.

Uruguay

- Visión: el desarrollo de la economía del hidrógeno para Uruguay representa un paso más en su estrategia de descarbonización. El país puede utilizar sus ventajas basadas en una matriz eléctrica ya descarbonizada, potencial eólico y solar y abundancia de CO₂ biogénico para convertirse en un *hub* de producción de hidrógeno verde tanto para la exportación como para nuevas industrias usuarias en el mercado doméstico (transporte, fertilizantes, efuels, DRI).
- Ventajas competitivas: tener una matriz eléctrica descarbonizada. Combinación de recursos eólico y solar para complementariedad en la generación diaria y estacional. Potencial de crecimiento con eólica *offshore*. Abundancia de agua (por costa marina y por tres ríos: Río de La Plata, Uruguay y Río Negro). CO₂ biogénico para la producción de combustibles sintéticos.
- Metas a 2050: 20GW de renovables, 10GW de electrólisis (1,8 millones de tpa, estimación propia)
- Particularidades: articulación con instituciones de CyT locales (LATU ANII) y el rol estratégico de UTE y ANCAP en la planificación de la infraestructura energética y en la construcción de pilotos.

En este documento se examinan distintas condiciones estructurales de los países de América Latina y el Caribe para el desarrollo de una industria del hidrógeno de bajas emisiones. El hidrógeno es un vector clave para la descarbonización de sectores industriales y de transporte, pero su producción a gran escala enfrenta desafíos como los altos costos y la dependencia de recursos renovables, infraestructura, capacidades estatales y mercados internos y externos. La región posee ventajas comparativas significativas, como una alta participación de energías renovables, abundantes recursos solares y eólicos e hidrocarburos, e industrias consolidadas como las del petróleo, el gas y la minería. Varios países (principalmente entre 2020-2025) elaboraron estrategias nacionales con hincapié en la exportación de hidrógeno verde. En este documento se propone un marco conceptual que combina enfoques de cadenas de valor y sistemas tecnológicos, y, mediante el análisis de 23 países y 26 variables, se concluye que no existe un único modelo de desarrollo. Los países de la región pueden seguir trayectorias diversas y complementarias, lo que exige políticas a medida, fortalecimiento de las capacidades estatales y cooperación regional para construir una industria del hidrógeno sostenible e inclusiva.



Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)
Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC)
www.cepal.org

Acceso a la versión digital



<https://bit.ly/CEPAL2025-108S>