

2023 —●

Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del **Hidrógeno**



Argentina
Presidencia

Secretaría de
Asuntos Estratégicos

Índice

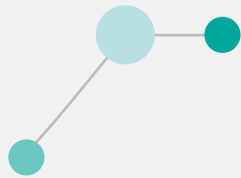
Listado de acrónimos	
Desarrollar sectores estratégicos requiere políticas públicas activas	
por Mercedes Marcó del Pont	
Argentina cuenta con las condiciones para impulsar toda la cadena de valor de la economía del hidrógeno	
por Flavia Royón	
Hidrógeno: una oportunidad para el desarrollo	1
¿Qué es el hidrógeno y cómo se produce?	7
El rol del hidrógeno en la transición energética	10
Competitividad de la Argentina	14
Metas y acciones	
Costos	18
Mercados de exportación	22
Mercado interno	26
Desarrollo industrial en la cadena de valor del hidrógeno	30
Ciencia, tecnología e innovación	35
Empleo y formación	40
Certificaciones	43
Infraestructura de soporte para la economía del hidrógeno	46
Inversiones	50
Política ambiental	53
Agenda de cooperación internacional y regional	57
Resultados esperados a 2050	60

Listado de acrónimos

ADIMRA	Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina
AHK	Cámara de Industria y Comercio Argentino Alemana
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAF	Banco de Desarrollo de América Latina
CAPEX	Inversiones de capital
CAPMIN	Cámara Argentina de Proveedores Mineros
CCS	Captura y almacenamiento de carbono
CCUS	Captura, utilización y almacenamiento de carbono
CEARE	Centro de Estudios de la Actividad Regulatoria Energética
CEMA	Cámara Empresaria de Medio Ambiente
CFI	Consejo Federal de Inversiones
CH3OH	Metanol
CIPIBIC	Cámara de Industriales de Proyectos e Ingeniería de Bienes de Capital
CITEC	Instituto Provincial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Santa Cruz
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNEA	Comisión Nacional de Energía Atómica
CO2	Dióxido de Carbono
CONICET	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
CyT	Ciencia y tecnología
EAE	Evaluación Ambiental Estratégica
EERR	Energías Renovables
ENARGAS	Ente Nacional Regulador del Gas
ENH	Estrategia Nacional de Hidrógeno
EPSE	Energía Provincial Sociedad del Estado
GEI	Gas de efecto invernadero
GIZ	Sociedad Alemana de Cooperación Internacional (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit)
GW	Gigavatio
H2	Hidrógeno
I+D	Innovación y desarrollo
IEA	Agencia Internacional de Energía (International Energy Agency)

Listado de acrónimos

IED	Inversión Extranjera Directa
INGEI	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
INTI	Instituto Nacional de Tecnología Industrial
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change)
IRENA	Agencia Internacional de Energía Renovable (International Renewable Energy Agency)
IRAM	Instituto Argentino de Normalización y Certificación
LCOE	Costo nivelado de la energía eléctrica renovable (Levelized Cost of Energy)
LCOH	Costo nivelado de hidrógeno (Levelized Cost of Hydrogen)
MERCOSUR	Mercado común del Sur
MINCyT	Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación
Mt	Millones de toneladas
NH3	Amoníaco
NOA	Noroeste argentino
NDC	Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (Nationally Determined Contributions)
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PEM	Membrana de intercambio de protones (Proton Exchange Membrane)
SAF	Combustible sustentable de aviación (Synthetic Aviation Fuels)
SMR	Reactores modulares pequeños (Small Modular Reactor)
SNCT	Sistema nacional de ciencia y tecnología
TRL	Escala de madurez tecnológica (Technology Readiness Level)
Y-TEC	YPF Tecnología



Desarrollar sectores estratégicos requiere políticas públicas activas

por Mercedes Marcó del Pont*

La crisis climática y ecológica global es el motor de una revolución tecnológica y productiva que se ha denominado transición energética. De cara al calentamiento global muchos países asumieron ambiciosos compromisos de descarbonización, que se vieron acelerados a partir de la crisis energética y las tensiones en las cadenas de suministros provocadas por la pandemia y la guerra en Ucrania. Frente a este escenario las principales economías industriales del mundo están impulsando políticas públicas en torno a nuevas energías para alcanzar un objetivo triple: cumplir con las metas de reducción de gases de efecto invernadero, garantizar la seguridad energética e impulsar el desarrollo tecnológico y productivo en torno a las industrias de la transición.

Sin embargo, en muchos países las necesidades de energías limpias superan a sus posibilidades de generación, por la calidad de los recursos renovables y por la extensión de sus territorios.

El hidrógeno de bajas emisiones representa una oportunidad peculiar para la descarbonización, porque va a permitir que la potencia de viento y del sol de lugares como la Patagonia y del norte argentino contribuyan a abatir las emisiones de diferentes puntos del planeta.

Las excelentes condiciones para la producción de hidrógeno de bajas emisiones que se presentan en Argentina, principalmente por la calidad de los recursos eólico, solar, gasífero y de biomasa, convierten a nuestro país en un destino atractivo para las inversiones. No menos importante es la oportunidad que se abre para el hidrógeno rosa, sacando ventaja de la tradición nuclear argentina y en especial el proyecto CAREM, un reactor pequeño modular que puede ser aplicado a la producción de hidrógeno. **La riqueza y diversidad de nuestros recursos nos permiten diseñar una estrategia multicolor.**

La economía del hidrógeno es, sin embargo, mucho más que el desarrollo de los recursos naturales. **El hidrógeno es un producto industrial y un vector energético. Y, por lo tanto, las capacidades y conocimientos argentinos son un elemento clave de las ventajas competitivas para una inserción exitosa en este nuevo mercado.** De la mano de las competencias en química, petroquímica, metalmecánica, geología, metalurgia y siderurgia, es posible prever que la nueva economía del hidrógeno **será una oportunidad para inversiones abocadas a la exportación y también para la construcción de un denso entramado industrial** que permitirá crear empleo de calidad y contribuir a que nuestra industria transite el camino hacia la descarbonización ganando competitividad en los mercados globales.

Con el despliegue de esta economía surgirán nuevos polos industriales orientados a la producción de hidrógeno y sus derivados, como el amoníaco, el metanol y hasta el acero verde. También emergerán nuevos sectores como el de los equipamientos críticos de esta cadena de valor:, los electrolizadores, y los bienes de capital vinculados a la generación de energías renovables.

Para alcanzar esos resultados se requieren políticas públicas. El escenario global de transición energética nos abre una inmensa oportunidad, pero **es necesario torcer el curso natural que limita la participación de los países con abundancia y calidad de recursos al rol de meros exportadores de materias primas.** Debemos saber **aprovechar las capacidades industriales y tecnológicas del país**, que son nuestro diferencial competitivo.

Este es el horizonte que persigue la Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno, que reconoce las oportunidades de Argentina para contribuir a la transición energética global y para apalancar su desarrollo industrial, tecnológico y territorial.

Septiembre de 2023

*Secretaría de Asuntos Estratégicos de la Presidencia de la Nación.

Argentina cuenta con las condiciones para impulsar toda la cadena de valor de la economía del hidrógeno

por Flavia Royón*

El Plan de Transición Energética al 2030 trazado por Argentina fue elaborado con una **mirada de inclusión social y de fortalecimiento de las capacidades de desarrollo del país**. Desde esa perspectiva, **la transición energética se dará a través de un sendero progresivo de adquisición de competencias tecnoproductivas** apalancadas principalmente en la complementariedad estratégica de las capacidades y recursos del país, dentro de una ventana de oportunidad para la **inserción argentina en cadenas globales de valor dinámicas que pueden colaborar en la resolución de problemas climáticos, sociales, económicos y de dependencia del sector externo**.

Los lineamientos estratégicos para la transición energética en la Argentina contemplan específicamente el hidrógeno bajo en emisiones. Las peculiaridades geográficas, industriales y científicas de la Argentina la posicionan en un lugar de privilegio a la hora de poder encarar la industrialización del hidrógeno y convertirse en un proveedor internacional de esta nueva fuente de energía.

Y, en este sentido, **Argentina tiene una gran potencialidad para la generación del hidrógeno verde, rosa y azul**. El primero por las óptimas condiciones para generar energías renovables como la solar, la eólica y la hidroeléctrica, siendo el país reconocido a nivel global como uno de los potenciales abastecedores de hidrógeno. El hidrógeno rosa por las capacidades adquiridas en materia de una energía que no produce emisiones como la nuclear.

En el caso del hidrógeno azul por contar con el segundo reservorio de gas no convencional más importante del mundo. En particular, Argentina tiene la posibilidad de apalancar la producción de hidrógeno azul a partir de sus vastos recursos gasíferos, reconvirtiendo la actual producción de hidrógeno gris hacia la producción de hidrógeno azul, con captura y almacenamiento de dióxido de carbono y medición de emisiones.

Las competencias argentinas en la industria del gas y del petróleo posicionan al país en un lugar privilegiado para el desarrollo de tecnologías de almacenamiento y uso del dióxido de carbono, clave de cara a la transición energética.

No cabe duda que el país está en condiciones favorables para impulsar la economía del hidrógeno y toda su cadena de valor: Argentina con una industria consolidada, capaz de desarrollar electrolicadores y demás elementos que la industria del hidrógeno requiere y, en la Patagonia, existen puertos de aguas profundas y condiciones propicias para la actividad.

Sin embargo, para **alentar a estas inversiones capital intensivas es necesario un marco promocional y de seguridad jurídica**. Por eso, a instancias de la Secretaría de Energía, el Poder Ejecutivo elevó al Congreso en 2023 el **proyecto de ley de Promoción del Hidrógeno bajo en emisiones** de carbono y otros gases de efecto invernadero, que **define un marco normativo de estabilidad fiscal y regulatoria para el desarrollo de la economía del hidrógeno y sus vectores, buscando garantizar las condiciones de inversión necesarias y fomentar la diversificación del entramado industrial y tecnológico de la Argentina**.

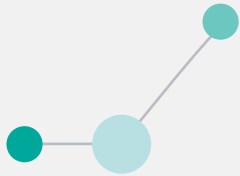
El proyecto normativo, junto con la Estrategia Nacional del Hidrógeno, son fruto de un **arduo trabajo interdisciplinario de distintos órganos de los gobierno nacional y provinciales**, y de la colaboración estrecha de representantes de la academia, la ciencia y la industria. Pero, especialmente es una **hoja de ruta trazada con una mirada federal** que contempla la articulación público-privada y el diálogo estratégico de industrias asociadas junto al sector científico-tecnológico, con el fin de **desarrollar la economía del hidrógeno** en línea con la gran potencialidad del país.

Estas acciones se complementan con el marco de sostenibilidad que se busca desarrollar de la mano de la Evaluación Ambiental Estratégica. **Con esto se propone que el despliegue de esta nueva actividad sea consistente con los objetivos climáticos, ambientales y de respeto por las comunidades**.

Los avances realizados posicionan a la Argentina entre los pocos países que cuentan con una hoja de ruta que plasma la política, un proyecto de ley de la economía del hidrógeno que se orienta a dar previsibilidad en un sector incipiente; y un marco de sostenibilidad para un desarrollo armónico con creación de empleo e industria nacional.

Septiembre de 2023

*Secretaria de Energía del Ministerio de Economía de la Nación.



Hidrógeno: una oportunidad para el desarrollo

El calentamiento global y la multiplicación de sus impactos adversos pusieron a la crisis climática en un lugar central de las agendas públicas alrededor del mundo. El Acuerdo de París firmado en 2015 y los compromisos asumidos por los países en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) dan cuenta de esto y del interés de la sociedad por generar un nuevo paradigma basado en Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). La pandemia del COVID-19, la presión generada sobre las cadenas de suministro y la crisis energética desatada a partir de la guerra en Ucrania dieron mayor complejidad al escenario y **aceleraron el proceso de transformación hacia una matriz energética más limpia, con participación decreciente de los combustibles fósiles.**

Desde entonces, **las principales economías del mundo han desplegado políticas industriales orientadas a garantizar la sostenibilidad ambiental, la seguridad energética y la resiliencia de las cadenas de valor.** Algunos ejemplos de estas políticas son la Ley de Reducción de la Inflación y la Ley de Inversión en Infraestructura y Empleos de los Estados Unidos, orientadas a impulsar la transición energética y fomentar la industrialización en tecnologías estratégicas; o el Pacto Verde de la Unión Europea y su Plan Industrial que promueve la mejora de la competitividad industrial y la transformación hacia la carbono neutralidad.

Como respuesta a los desafíos que plantean la transición energética y las tensiones geopolíticas, las principales economías del mundo desplegaron políticas industriales destinadas a garantizar la sostenibilidad ambiental, la seguridad energética y la resiliencia de las cadenas de valor

Argentina ha demostrado un firme compromiso con la protección del ambiente y la lucha contra el cambio climático. Al mismo tiempo, aspira a que esta transición permita fortalecer su competitividad industrial. La riqueza y la variedad de sus recursos naturales, junto con sus capacidades industriales y tecnológicas, permiten anticipar que el país jugará un papel clave en la descarbonización de las actividades económicas, no solo en su territorio sino también en otras latitudes. En este contexto, **Argentina inició un proceso de construcción de política pública donde el desarrollo sostenible** es uno de sus pilares centrales. En la segunda Contribución Determinada

a Nivel Nacional, publicada en 2020 junto con su actualización de 2021, el país estableció el compromiso de no superar la emisión neta de 349 millones de toneladas (Mt) de dióxido de carbono equivalente a 2030. La Estrategia de Desarrollo Resiliente con Bajas Emisiones a Largo Plazo, elaborada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, reconoce la necesidad de hacer todos los esfuerzos para alcanzar la neutralidad en emisiones de GEI para el 2050.

Por otra parte, distintas áreas de gobierno elaboraron lineamientos y planes estratégicos que abordan estos desafíos atendiendo también a objetivos de construcción de capacidades tecnológicas y productivas, como el Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático; el Plan de Transición Energética al 2030 y sus Lineamientos a 2050; el Plan Nacional de Transporte Sostenible; el Plan Argentina Productiva 2030; y el Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación 2030. Los lineamientos para **la transición energética elaborados por la Secretaría de Energía de la Nación establecen que la transición debe ser justa, asequible y sostenible, atendiendo de forma simultánea a los objetivos de descarbonización y de desarrollo productivo con perspectiva federal.**

La riqueza y la variedad de los recursos naturales de Argentina, junto con sus capacidades industriales y tecnológicas, permiten anticipar que el país jugará un papel clave en la descarbonización de las actividades económicas, no solo en su territorio sino también en otras latitudes

En sintonía con la experiencia internacional, la cadena de valor del hidrógeno es un eje articulador de la política pública hacia una transición energética justa.

Para Argentina, **promover la cadena de valor del hidrógeno conlleva implicancias que van más allá de la reducción de emisiones, porque representa una oportunidad para la reindustrialización.** El hidrógeno es un producto industrial cuya generación depende críticamente de la calidad de los recursos naturales. En ese sentido, **la competitividad del país en esta nueva economía se fundamenta en integrar las ventajas naturales y las ventajas construidas, en base a las capacidades industriales, científicas y tecnológicas y el trabajo argentino.**

A partir de esta nueva cadena de valor, el país podrá **expandir las exportaciones, descarbonizar actividades económicas, generar nuevos empleos de calidad y fortalecer el entramado industrial.** Este proceso tendrá lugar, especialmente en las localizaciones con recursos para la producción de hidrógeno de forma sostenible y competitiva, contribuyendo así al desarrollo territorial armónico.

Políticas públicas para el despliegue de la economía del hidrógeno

Como parte del proceso para impulsar este nuevo sector, el Poder Ejecutivo Nacional asignó al hidrógeno una relevancia estratégica. Las primeras acciones, orientadas a la promoción del diálogo público-privado, se iniciaron en 2021 y derivó, en febrero de 2023, en la constitución de la **Mesa Intersectorial del Hidrógeno**. Este espacio, creado en el ámbito del Consejo Económico y Social y liderado por la **Secretaría de Asuntos Estratégicos de la Presidencia de la Nación**, trabajó en la coordinación entre el sector privado y diferentes áreas de gobierno, nacionales y provinciales para elaborar la **Estrategia Nacional de Hidrógeno (ENH)**. Los resultados de dicho proceso se ven reflejados en este documento.

Sobre las estrategias nacionales

Las estrategias nacionales son una herramienta de política pública que permite trazar líneas de acción y metas para generar certidumbre en torno al sendero de desarrollo de un sector de la economía. Al momento de la finalización de este documento en agosto de 2023, un conjunto de 21 países y la Unión Europea habían publicado sus estrategias para el sector del hidrógeno. Otros 27 países se encontraban trabajando con miras a ese objetivo y al menos otros 34 habían iniciado discusiones sobre políticas públicas en torno al hidrógeno y su rol en la transición energética.

En la **Mesa Intersectorial del Hidrógeno participaron alrededor de 70 representantes de más de 30 organizaciones, públicas y privadas**, entre las cuales se encuentran los gobiernos de las provincias de Buenos Aires, Chubut, Neuquén, Río Negro, Santa Cruz y Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur; además de los organismos e instituciones públicas como ENARGAS, INTI, CNEA, CEARE y CFI; y empresas con participación estatal, YPF Tecnología (Y-TEC), EPSE e INVAP. Del ámbito privado se destaca la participación de asociaciones empresarias de energías renovables, producción y consumo de hidrógeno y fabricación de bienes de capital, como el **Consorcio H2ar y ADIMRA**. **Además contó con la participación de otros representantes del sector privado, académico y sindical por su anclaje en el Consejo Económico y Social.**

El reconocimiento de las oportunidades y la necesidad de un marco de incentivos para promover la actividad condujo a que en mayo de 2023 el Poder Ejecutivo Nacional elevara al Congreso de la Nación el **proyecto de ley de “Promoción del Hidrógeno de Bajas Emisiones de Carbono y Otros Gases de Efecto Invernadero”**. Este proyecto fue elaborado por la **Secretaría de Energía del Ministerio de Economía de la Nación** junto a otras áreas del Poder Ejecutivo Nacional como la Secretaría de Industria y Desarrollo Productivo, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Ministerio de Transporte y la Secretaría de Asuntos Estratégicos de la Presidencia de la Nación; y contó con la participación de los gobiernos de las provincias de Río Negro y Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur.

Esta iniciativa legislativa tiene como objeto promover proyectos de producción de hidrógeno de bajas emisiones, organizar la gobernanza del sector y fomentar el desarrollo productivo y tecnológico a lo largo de toda la cadena de valor.

Por último, la Secretaría de Asuntos Estratégicos en coordinación con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible está realizando una **Evaluación Ambiental Estratégica, para proveer de un marco de sostenibilidad a la ENH, planificar el despliegue territorial de esta nueva actividad y asegurar los objetivos de una transición justa.**

La visión para una Estrategia Nacional del Hidrógeno

La visión que guía la estrategia nacional del hidrógeno tiene tres ejes. **En primer lugar, reconoce la importancia de impulsar el desarrollo tecnológico y productivo en toda la cadena de valor, incluyendo la producción de los bienes de capital críticos y la provisión de servicios tecnológicos.**

En segundo lugar, dando cuenta de los diferentes recursos y capacidades disponibles en el territorio argentino, **contempla la producción del hidrógeno de bajas emisiones por medio de diferentes tecnologías,** ya sea a partir de fuentes renovables (verde), a partir de energía nuclear (rosa), o a partir de combustibles fósiles con captura de carbono (azul).

En tercer lugar, establece dos pilares para el despliegue de la economía del hidrógeno: el mercado interno, fundamental para generar condiciones iniciales, evaluar prototipos y desarrollar tecnología nacional; **y los mercados de exportación,** orientados a la producción en gran escala altamente competitiva, sacando de ventaja de la calidad de los recursos naturales y las capacidades construidas.

Los tres ejes que guían la visión de la Estrategia Nacional de Hidrógeno son el impulso del desarrollo tecnológico y productivo en toda la cadena de valor, la decisión de utilizar mediante distintas tecnologías para la producción, y el despliegue de la demanda interna y el mercado de exportación

La nueva economía del hidrógeno de bajas emisiones está en plena formación. Aún los mercados no se han consolidado y sus alcances no se conocen en profundidad. Por esta razón, las metas y acciones para el horizonte de tiempo 2030-2050 presentadas en esta estrategia podrán ser revisadas periódicamente, en instancias coordinadas por la gobernanza que se establezca del marco normativo, **desde esta visión compartida de la Mesa Intersectorial del Hidrógeno.**

Principales resultados

Los principales resultados que surgen de la ENH indican que:

- **Hacia 2050 Argentina tendrá una producción doméstica total de al menos 5 Mt anuales de hidrógeno de bajas emisiones.** El 20% estará destinado al mercado local, tanto para la descarbonización de los usos actuales del hidrógeno (industrias del acero, petroquímica y refino) como para atender los nuevos usos (principalmente combustibles sintéticos). El 80% restante, es decir unas 4 Mt anuales, estará destinado a abastecer, a través de exportaciones, el mercado internacional de vectores energéticos de bajas emisiones.
- **Para alcanzar estas metas de producción será necesario instalar al menos 30 GW de capacidad de electrólisis y 55 GW de generación eléctrica renovable,** lo que implica multiplicar por 11 la generación renovable actual y más que duplicar la generación total de electricidad en la Argentina.
- **La producción de hidrógeno girará en torno a polos productivos,** ubicados en función de la calidad de los recursos y la cercanía a los mercados internos y puertos para la exportación.
- **La vinculación de estos polos con la red de universidades y centros tecnológicos locales** será clave para el desarrollo de nuevas tecnologías, así como para la adopción temprana y adaptación a las condiciones productivas locales.
- La realización de los objetivos establecidos requiere una **fuerte transformación de la infraestructura, en corredores viales críticos y puertos.**
- El despliegue de la nueva actividad **redundará en la creación de más de 80 mil empleos calificados.**
- **Argentina se propone participar en el mercado internacional de hidrógeno potenciando el desarrollo productivo a lo largo de toda la cadena de valor.**





2021

- Constitución de la **Mesa Interministerial del Hidrógeno** en el marco del CES, con el objetivo de coordinar acciones.
- Encuentros de diálogo público-privado: **“Oportunidades del Hidrógeno en Argentina y Potencial régimen de promoción”**.
- Foro y documento **“Hacia una estrategia Nacional del Hidrógeno 2030”**.

2022



- **Encuentro Nacional del Hidrógeno 2030** - Bariloche.
- **Encuentro Y-TEC** con Secretarías de Energía provinciales y nacional.
- **Diálogo público-privado** con puntos focales de las áreas de gobierno, Consorcio H2ar y otros.



2023

- Formalización de la **Mesa Intersectorial del Hidrógeno en Argentina**.
- Documentos de **Visión y Fundamentos**.
- Encuentros técnicos **Mesa Intersectorial del Hidrógeno**
- **Estrategia Nacional de Hidrógeno**

Mesa Intersectorial del Hidrógeno

3 Reuniones plenarias de la Mesa intersectorial

+70
participantes

+30
organizaciones
públicas y privadas

+40
reuniones
(grupos de trabajo + bilaterales)

+60
cuestionarios
relevados

Consejo Económico y Social

Gobiernos provinciales

- Buenos Aires
- Chubut
- Neuquén
- Río Negro
- Santa Cruz
- Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico sur

Organismos públicos

- CNEA
- INTI
- ENARGAS

Empresa e Instituciones públicas

- INVAP
- EPSE
- CEARE
- YTEC
- CFI

Organizaciones privadas

- Consorcio H2Ar
- ADIMRA
- AHK Argentina
- CAPMIN
- Otras empresas de energías renovables y desarrolladores de hidrógeno.
- CEMA
- CIPIBIC
- Eurocámara Argentina
- GIZ

¿Qué es el hidrógeno y cómo se produce?

El hidrógeno es el primer elemento de la tabla periódica, el átomo más simple de todos y el elemento más abundante en el universo. Sin embargo, no está disponible de forma libre sino que se encuentra asociado con otros átomos formando sustancias compuestas como el agua (H₂O) y el metano (CH₄), entre muchos otros.

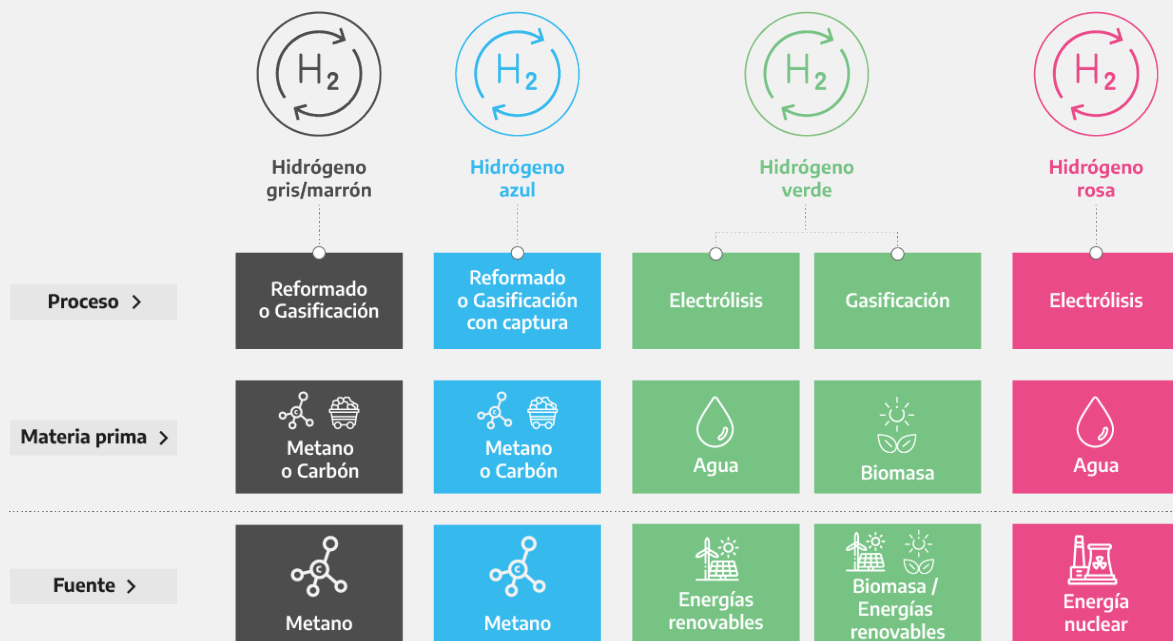
Para la obtención de la molécula de hidrógeno (H₂) se requiere implementar un proceso que consume energía. Por lo tanto, **se dice que el hidrógeno es vector energético que sirve para almacenar y transportar energía, aunque también se utiliza como insumo en diversos procesos industriales** como la siderurgia, el refinado de hidrocarburos y la producción de fertilizantes. Como la utilización de hidrógeno no genera emisiones de CO₂, **puede contribuir a diversos objetivos de descarbonización, tanto del sector energético como productivo.**

Captura, Utilización y Almacenamiento de Carbono

CCUS refiere a Carbon Capture, Utilization and Storage, que en español significa captura, utilización y almacenamiento de carbono. Es un conjunto de procesos que, asociados a la producción de hidrógeno a partir de fuentes fósiles, permite reducir las emisiones, generando hidrógeno de bajas emisiones. Cuando no se prevén usos para el CO₂ capturado esta tecnología recibe el nombre de Carbon, Capture and Storage (CCS).

Actualmente el hidrógeno industrial se obtiene a partir de gas natural u otros combustibles fósiles en procesos que generan emisiones de GEI (como el reformado de gas natural con vapor). Pero el hidrógeno de bajas emisiones es el que se obtiene por electrólisis de agua a partir de energías renovables (hidrógeno verde) o utilizando energía nuclear (hidrógeno rosa); o el que incorpora a los métodos actuales tecnologías de captura, almacenamiento y uso de CO₂ (CCUS) (hidrógeno azul). El hidrógeno de bajas emisiones permite reducir hasta un 100% de las emisiones asociadas a la producción de hidrógeno, en comparación con los procesos actuales de obtención de H₂.

Tipo de hidrógeno en función del proceso y la fuente de energía

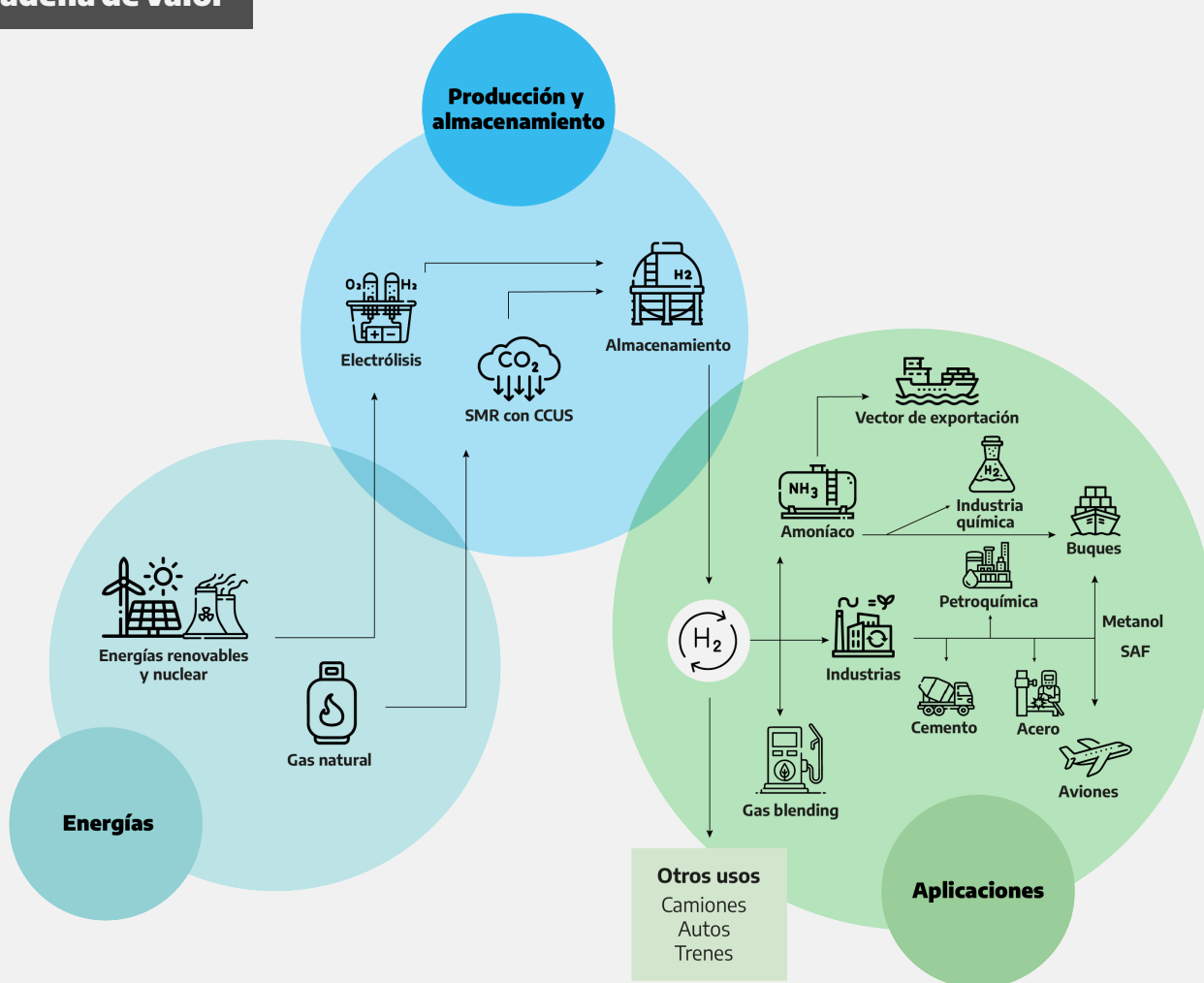


El hidrógeno de bajas emisiones puede ser utilizado como combustible directo (su combustión genera vapor de agua) o en otros compuestos como el metanol o el amoníaco. La transformación de hidrógeno en otras moléculas facilita su uso como combustible y especialmente su transporte.

Las cadenas de valor del hidrógeno de bajas emisiones

El hidrógeno de bajas emisiones involucra varias cadenas de valor: la asociada a la generación de energías; a la producción y almacenamiento de hidrógeno en sí y de sus subproductos y derivados; y las cadenas relacionadas con los usos del hidrógeno y sus aplicaciones.

Cadena de valor

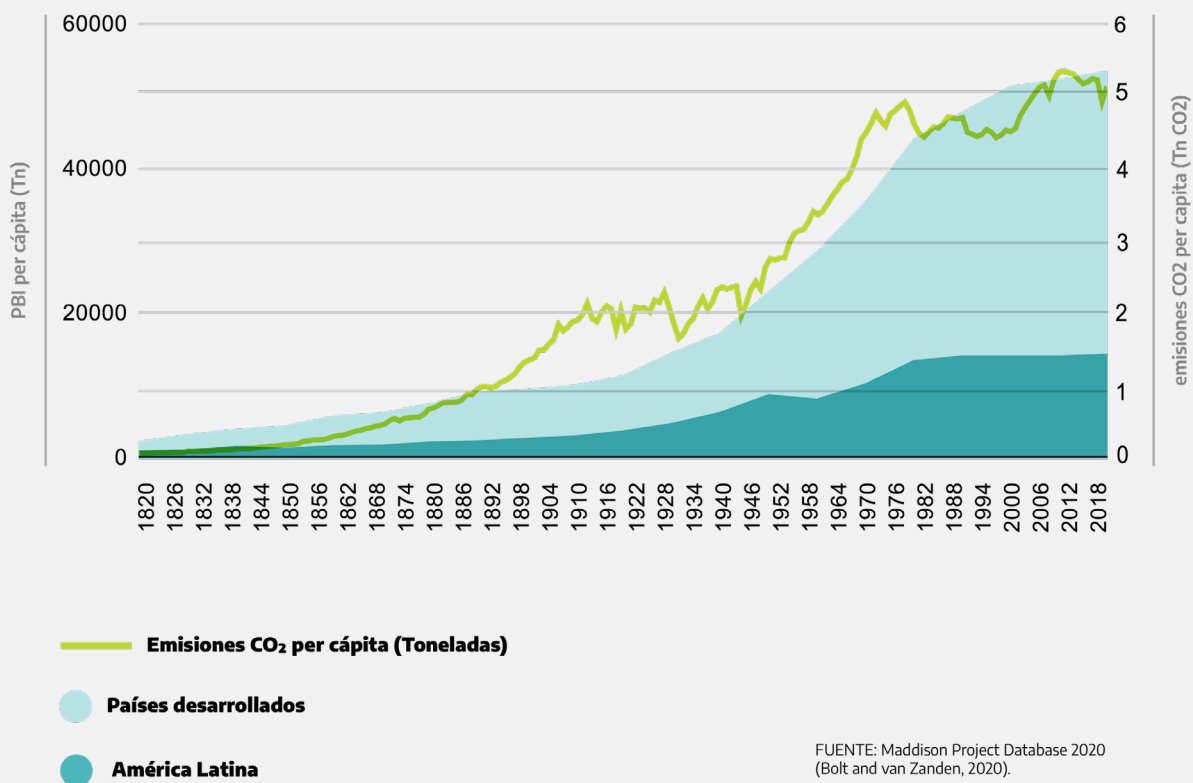


Cada una de estas cadenas a su vez están compuestas por segmentos específicos que requieren de un abanico amplio de competencias tecnológicas e industriales. Entre ellas destacan: (i) la provisión de insumos y materiales críticos; (ii) la producción de bienes de capital, así como sus partes y piezas; (iii) la construcción de infraestructuras para transporte y almacenamiento; (iv) la provisión de servicios intensivos en conocimiento, desde servicios de ingeniería hasta actividades de investigación y desarrollo; (v) la adaptación de bienes y servicios para el uso del hidrógeno de bajas emisiones; (vi) la producción de productos derivados del hidrógeno como los combustibles sintéticos, y (vii) la producción de bienes industriales utilizando hidrógeno de bajas emisiones para el acceso a nuevos mercados, como acero o fertilizantes de de bajas emisiones.

El rol del hidrógeno en la transición energética

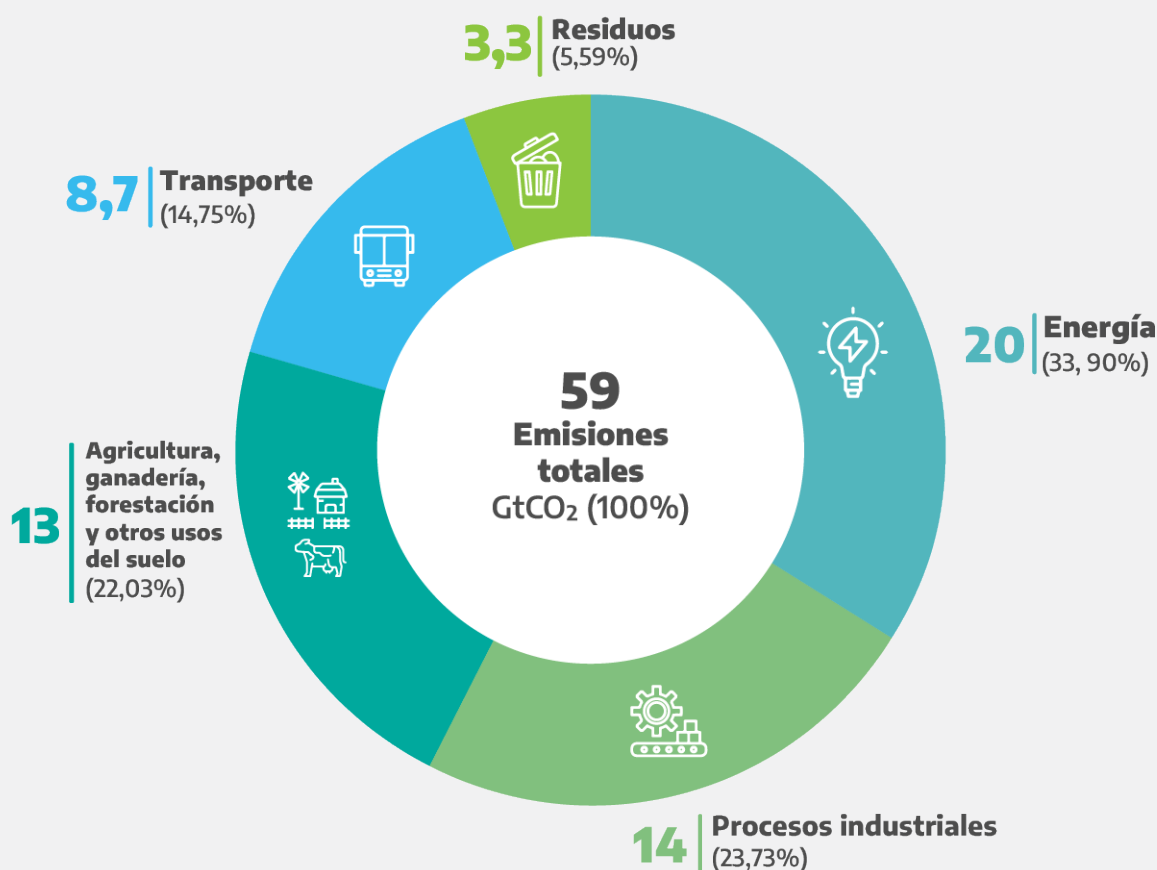
El incremento en los niveles de ingreso per cápita y las transformaciones productivas fueron acompañadas a lo largo de la historia moderna por un aumento significativo de las emisiones de GEI y la degradación ambiental. Sin embargo, los desafíos que enfrenta el desarrollo productivo en la actualidad requieren que las transformaciones en las estructuras productivas, el transporte de mercancías y los hábitos de consumo estén alineados con el cumplimiento de los ODS, el Acuerdo de París y otros compromisos ambientales asumidos por los países.

Crecimiento del PBI per cápita y de las emisiones de CO₂



Desde 1820 a la actualidad, las emisiones de GEI per cápita se multiplicaron más de 100 veces. En la actualidad, los sectores que concentran la mayor cantidad de emisiones son la generación de energía, que emite el 33,9% del total; seguido por los procesos industriales, con una emisión del 23,7%; y, las actividades de agricultura, ganadería, forestación y otros usos de la tierra, que representan un 22%, de acuerdo con los datos publicados por el IPCC, en 2023. **En los dos primeros sectores, el hidrógeno puede aportar a la reducción de emisiones de GEI.**

Emisiones de GEI por sector de la economía global



En este contexto, **el hidrógeno de bajas emisiones se presenta como un vector energético que ofrece una solución concreta para descarbonizar sectores que por sus características sean de difícil electrificación y reemplazar insumos industriales derivados de fósiles.**

Además, **permite acumular energía de forma estacional, contribuyendo a mejorar la eficiencia en la producción de energía renovable** y atenuar las intermitencias que caracterizan a las fuentes tradicionales, eólica y solar fotovoltaica. Esto hace que el hidrógeno cumpla un papel clave dentro de las estrategias de descarbonización de los países, no sólo por la cantidad de emisiones evitadas sino especialmente por ser, en algunos casos, el único vehículo posible para reducir los GEI.

Uno de los rasgos más relevantes que presenta la economía del hidrógeno es que la comercialización internacional del recurso, ya sea en forma directa, utilizando otros vectores energéticos (como amoníaco o metanol), o en productos descarbonizados en origen (como acero o fertilizantes), habilita la posibilidad para transportar energía de bajas emisiones entre diferentes regiones. De esta forma, la producción y comercialización del hidrógeno de bajas emisiones puede contribuir a acelerar la descarbonización de aquellos países que presentan mayores necesidades energéticas y que no alcanzan a cubrir las con sus propios recursos.

Competitividad y contribución a la reducción de emisiones de CO2



Es esperable que la demanda de hidrógeno de bajas emisiones crezca en base a dos componentes: i) por su contribución a la descarbonización de industrias actuales y ii) por los nuevos usos en aquellas actividades que pueden incorporarlo para reducir emisiones. En ambos casos esa demanda será impulsada por nuevas exigencias regulatorias, estrategias corporativas o de los accionistas, el comportamiento de los consumidores y/o el acceso a financiamiento.

Algunos países y regiones instrumentaron normativas que, en el mediano plazo, afectarán al comercio internacional de productos intensivos en energía. Tal es el caso de las medidas de ajuste de carbono en frontera y las exigencias en el nivel de emisiones generado a lo largo de la cadena de producción. **En este contexto, son cada vez más las empresas que asumen compromisos de reducción de emisiones, lo que habilita una ventana de oportunidad para que nuevos actores se incorporen de forma temprana a la cadena de valor del hidrógeno.**

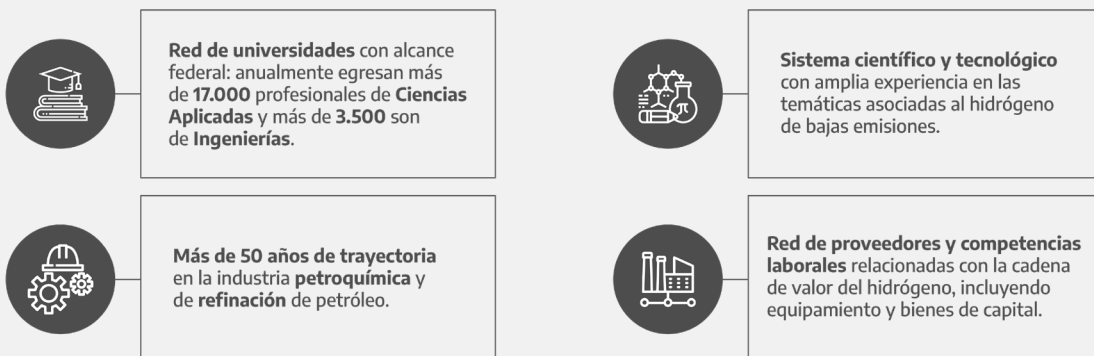
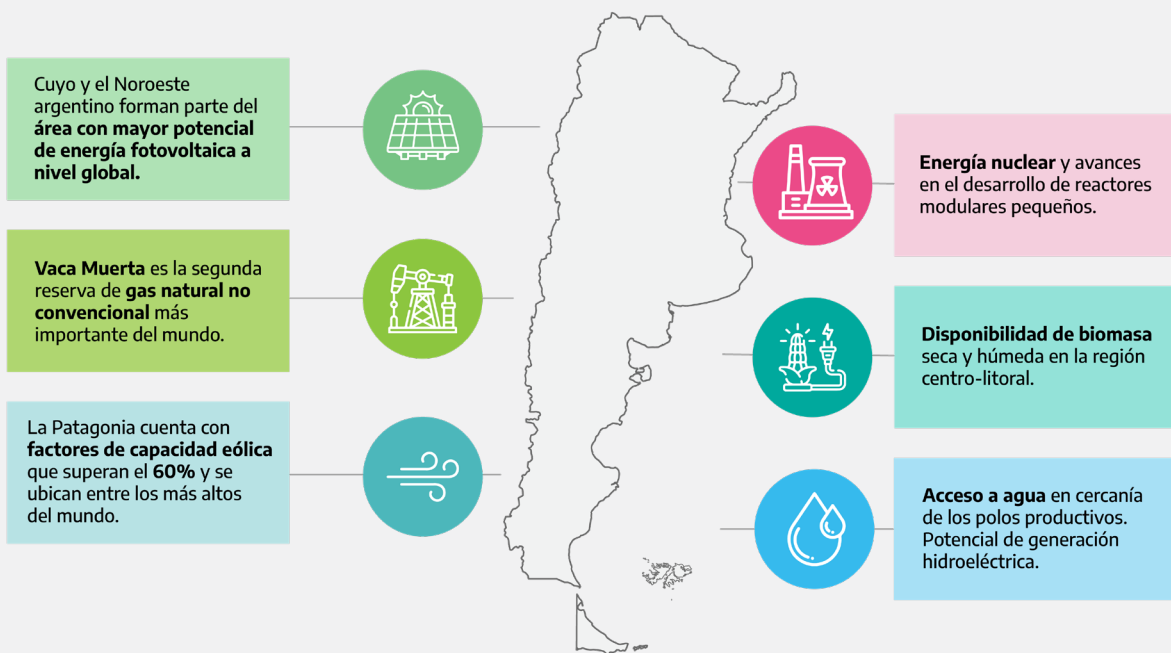
Para el 2050, el mundo proyecta una producción de 500 Mt de hidrógeno de bajas emisiones al año, de las cuales 415 Mt serán para abastecimiento local y mercados de cercanía y 85 Mt serán intercambiadas anualmente a larga distancia. Argentina se propone contribuir con 4 Mt anuales para el 2050 y abastecer así un 5% del mercado internacional de larga distancia. **La disponibilidad de recursos naturales de excelencia y la sinergia con capacidades industriales y científicas son las principales ventajas por las cuales el país se presenta en condiciones competitivas para ofrecer sus recursos energéticos al mundo, mientras se desarrolla su mercado interno y las cadenas de valor asociadas.**



Competitividad de la Argentina


Argentina tiene un conjunto de ventajas que permiten proyectarla como una potencial productora competitiva de hidrógeno de bajas emisiones (verde, azul y rosa) para el mercado internacional y el mercado interno. Estas ventajas tanto naturales como construidas se distribuyen, a lo largo y ancho del país, alentando al despliegue de la actividad con un fuerte anclaje y arraigo territorial.

Competitividad de Argentina



Capacidades desplegadas en el territorio argentino

 Proyectos de H2 en desarrollo

 Polo industrial

 Puerto H2


 Polo CyT


 Pilotos

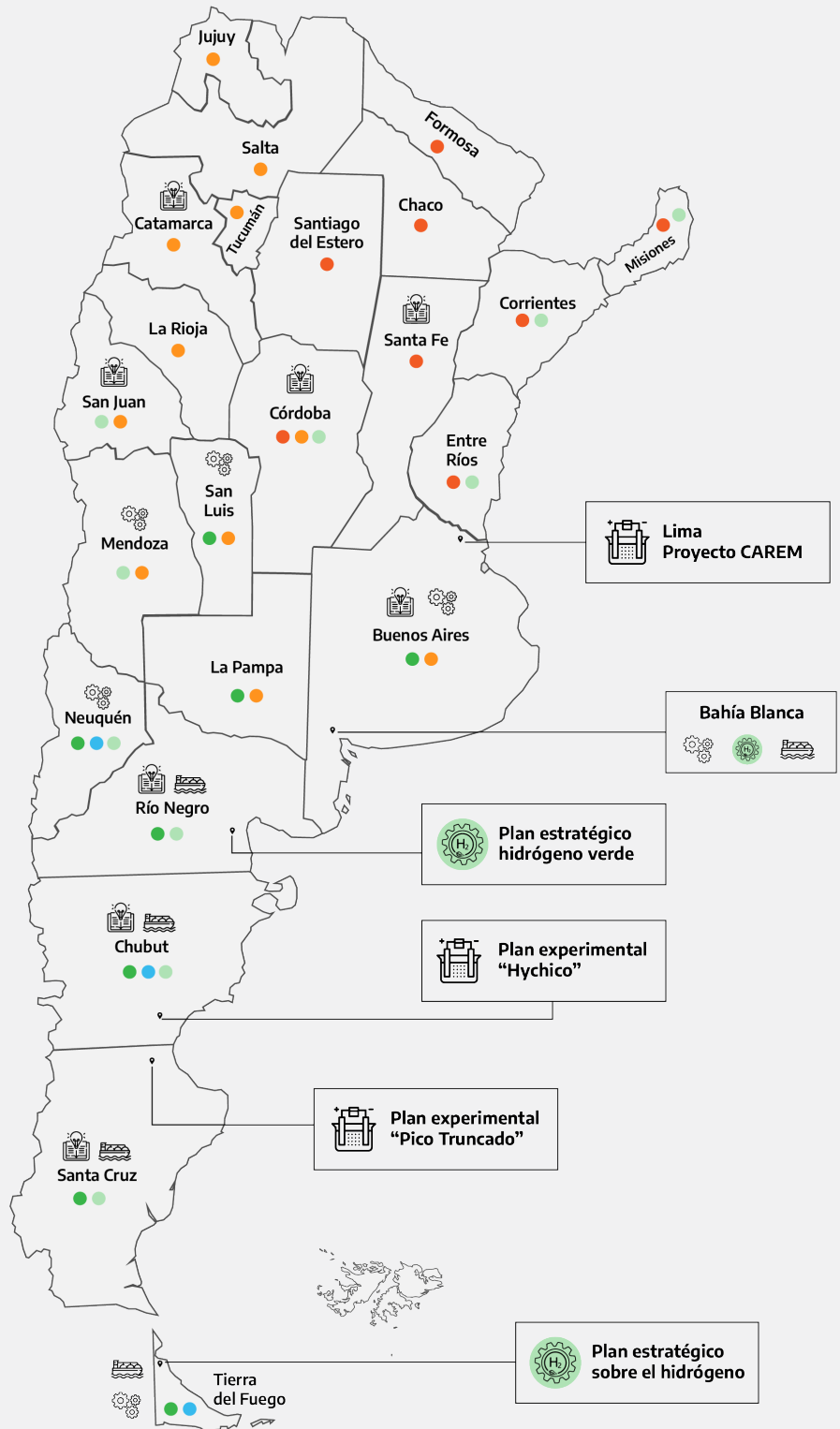
 Recurso eólico

 Recurso solar

 Biomasa

 Gas natural

 Recurso hidroeléctrico



Proyecto de Ley Promoción del Hidrógeno de Bajas Emisiones de Carbono y Otros Gases de Efecto Invernadero

Tiene como objetivo promover proyectos productivos, organizar las instancias de gobernanza y fomentar el desarrollo tecnológico en toda la cadena de valor.



Evaluación Ambiental Estratégica (EAE)

Incorpora los aspectos ambientales en la planificación, establece un marco de sostenibilidad para el despliegue territorial y brinda mejor información para la toma de decisiones.

De esta manera contribuye a la reducción de riesgos asociados a la implantación de proyectos y para la identificación de oportunidades, incorporando a las comunidades locales en la toma de decisiones.

Plan Estratégico de Hidrógeno - Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur

Apunta al desarrollo de proyectos de inversión para la producción y comercialización de hidrógeno azul y verde, así como de otros derivados. Su objetivo es generar las herramientas para lograr organizar la producción de hidrógeno en la provincia, respetando criterios socioambientales en toda la cadena de valor.



Plan Estratégico Hidrógeno Verde - Río Negro

Destaca los recursos naturales, las capacidades y la infraestructura existente en la Provincia, que la ubica como una posibilidad competitiva para el desarrollo de proyectos de producción de hidrógeno verde. Su objetivo en la industrialización de la cadena de valor, exportación de hidrógeno verde desde Sierra Grande y la visibilización de Río Negro como plaza de inversiones nacionales y extranjeras. Toma la temática del hidrógeno de bajas emisiones como herramienta estratégica de mitigación de los efectos del cambio climático para lo cual tiene un inventario de gases de efecto invernadero con lo que, en conjunto, se promueve el círculo virtuoso esperado.

Polos productivos

Bahía Blanca es uno de los principales polos petroquímicos de la región, concentra la mayor producción de hidrógeno y amoníaco del país. Además, su puerto se destaca por ser el único en Argentina que despacha amoníaco. Mendoza y Campana son dos polos de producción de hidrógeno de gran importancia. Todos vinculados a una red proveedores de larga trayectoria.



Proyecto CAREM - Buenos Aires

Consiste en el desarrollo del primer reactor nuclear de potencia íntegramente diseñado y construido en América Latina. El primer modelo está en construcción, emplazado en Lima, provincia de Buenos Aires. Más de 1000 empresas se encuentran vinculadas de forma directa o indirecta al proyecto. El 70 % de los insumos, componentes y servicios vinculados serán provistos por empresas argentinas certificadas bajo los exigentes estándares internacionales de calidad, supervisados por la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).



Planta Piloto Hychico - Chubut


Hychico produce hidrógeno verde de alta pureza desde 2008, cuenta con un sistema de 2,3 km de tuberías y una instalación de almacenamiento geológico. La producción se aplica experimentalmente a mezclas con gas natural y a un generador de 1,4 MW, también es apto para su uso en celdas de combustible.



Planta Experimental Pico Truncado - Santa Cruz

Planta experimental de Hidrógeno verde. Centro de formación de RRHH de desarrollo y prueba de tecnología en entorno real. En cercanías, se construirá el Polo Científico Tecnológico de Energía para la Patagonia Austral promovido por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación (MINCYT), el Instituto de Ciencia Tecnología e Innovación de la Provincia de Santa Cruz (CITEC) y la Agencia I+D+i



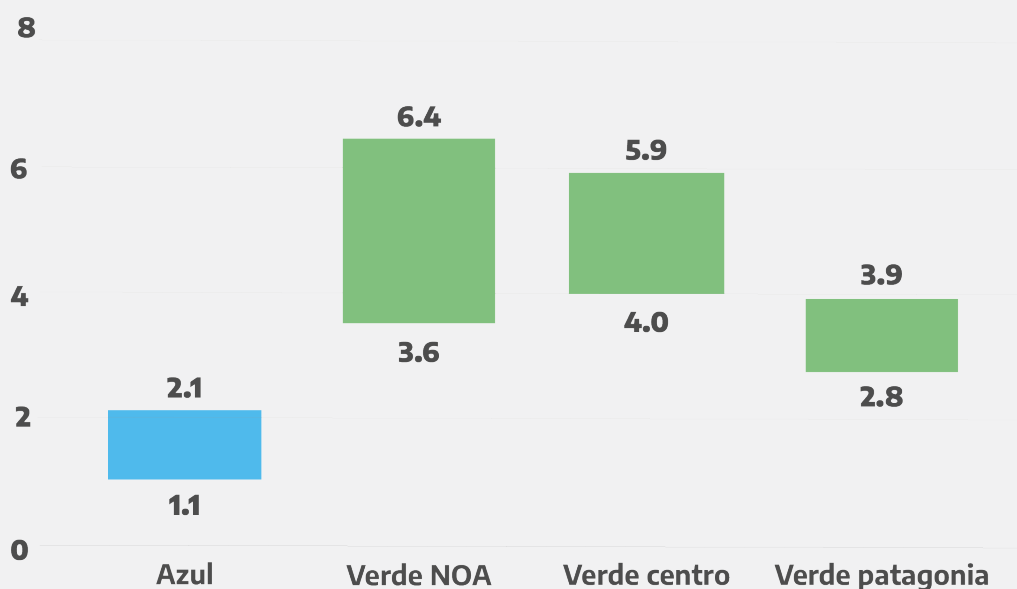
Metas y Acciones
de la Estrategia
Nacional para
el Desarrollo 
de la Economía
del  **Hidrógeno**

Costos

El principal desafío que enfrenta la economía del hidrógeno a nivel global radica en los costos de producción. El hidrógeno se posiciona actualmente como una solución tecnológica preponderante para la descarbonización de muchos sectores. Para que este vector pueda contribuir efectivamente a la transición energética, sus costos deben ser competitivos en comparación con otras alternativas.

Argentina puede ofrecer costos competitivos de producción de hidrógeno. El costo del hidrógeno azul se ubicaría entre 1,1 y 2,1 USD/kg, según estimaciones realizadas al momento de la elaboración de la ENH (precio del gas natural). El costo del hidrógeno verde se encontraría entre 6,4 y 2,8 USD/kg, al considerar la calidad y disponibilidad de los recursos renovables en diferentes localizaciones, siendo la región patagónica la más competitiva en las condiciones actuales.

Costos actuales (USD/kg)



Metas de costos 2030 - 2050

Argentina tiene la posibilidad de desarrollar proyectos de gran escala, tanto por su extensión territorial, como por la disponibilidad de infraestructura y capacidad para la provisión de servicios asociados a la actividad industrial. Los costos estimados al momento de la elaboración de este documento son el punto de partida que evidencia la competitividad del país.

Cuando se consideran las ganancias de eficiencia de los electrolizadores y de las tecnologías CCUS, así como las ganancias de competitividad asociadas al aprendizaje industrial en la operación de las plantas de producción de hidrógeno, es posible prever una curva de reducción de costos que ubica a la Argentina entre las regiones más competitivas del mundo en la producción de hidrógeno de bajas emisiones. Un factor relevante en el proceso de mejora en los costos de producción del hidrógeno verde es la escala de producción: las estimaciones muestran que se alcanzan ganancias de competitividad por escala en proyectos de al menos 2 GW de generación renovable. La extensión territorial permitiría que varios proyectos de gran escala puedan coexistir en diferentes localizaciones del país.

¿Cómo se mide el costo de producción del hidrógeno y cuáles son sus principales determinantes?

El indicador LCOH (Costo nivelado de hidrógeno) es la herramienta más utilizada a nivel global para medir el costo de producción del hidrógeno. Su estimación compara la cantidad producida de hidrógeno a lo largo de la vida útil de un proyecto, junto con los costos fijos y operativos.

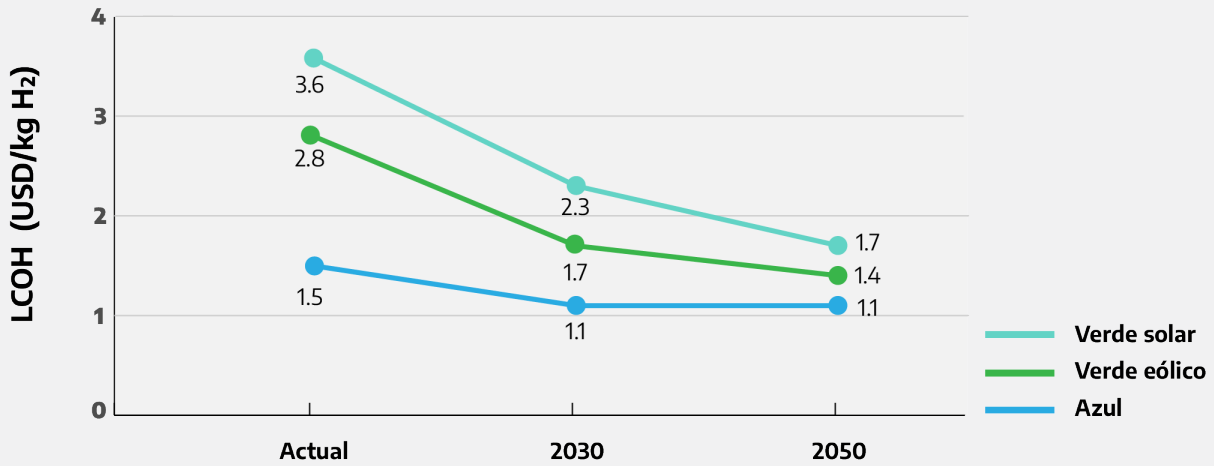
La variable que más impacta sobre el LCOH es el costo de la energía, ya sea del gas natural (para H2 azul) o energía eléctrica renovable (para H2 verde).

Dependiendo del precio, el gas natural representa entre el 50% y el 70% del LCOH del hidrógeno azul, mientras que el CAPEX de las plantas de hidrógeno y captura de CO2 determinan entre el 30 y el 35% del mismo. El costo nivelado de la energía eléctrica renovable (LCOE) es la variable que más afecta al LCOH del hidrógeno verde. Se estima que el LCOE representa cerca del 70% del LCOH.

Se estima que en 2050 se podrá producir hidrógeno verde a partir de la utilización del recurso eólico en la Patagonia a 1,4 USD/kg y en 2030 a 1,7 USD/kg. En el caso del hidrógeno azul, se alcanzará un costo de 1,1 USD/kg desde 2030 en adelante.

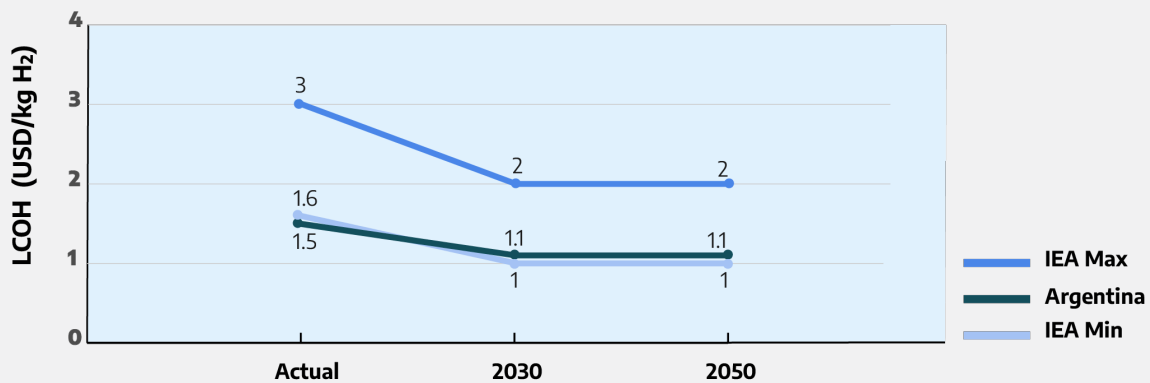
También existe potencial para la producción de hidrógeno rosa sobre la base de las capacidades nucleares y especialmente a partir del proyecto CAREM, un reactor modular pequeño que puede ser aplicado a la producción de hidrógeno de bajas emisiones.

Proyección de costos en Argentina

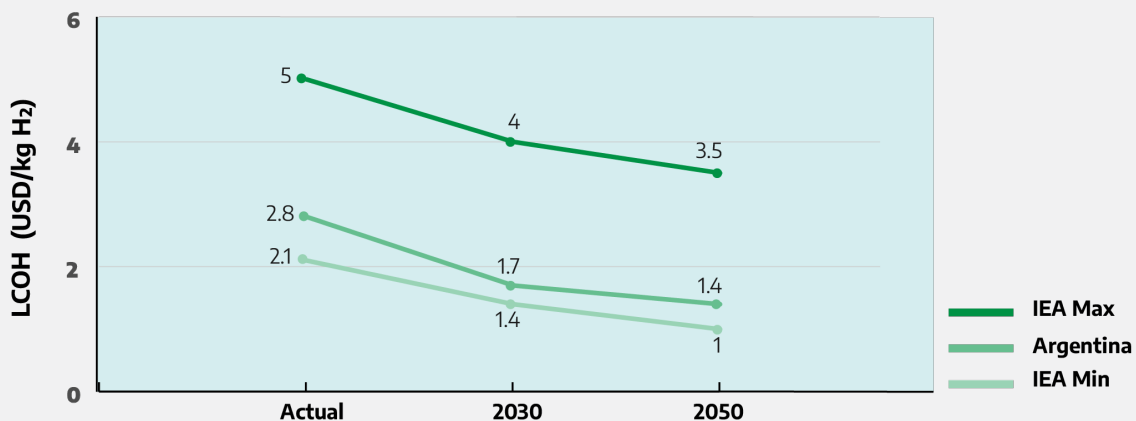


Las estimaciones para 2030 y 2050 posicionan a Argentina entre los niveles más bajos de costos de producción proyectados por la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés).

Proyección de costos hidrógeno azul

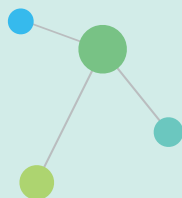


Proyección de costos hidrógeno verde



Acciones para una oferta competitiva

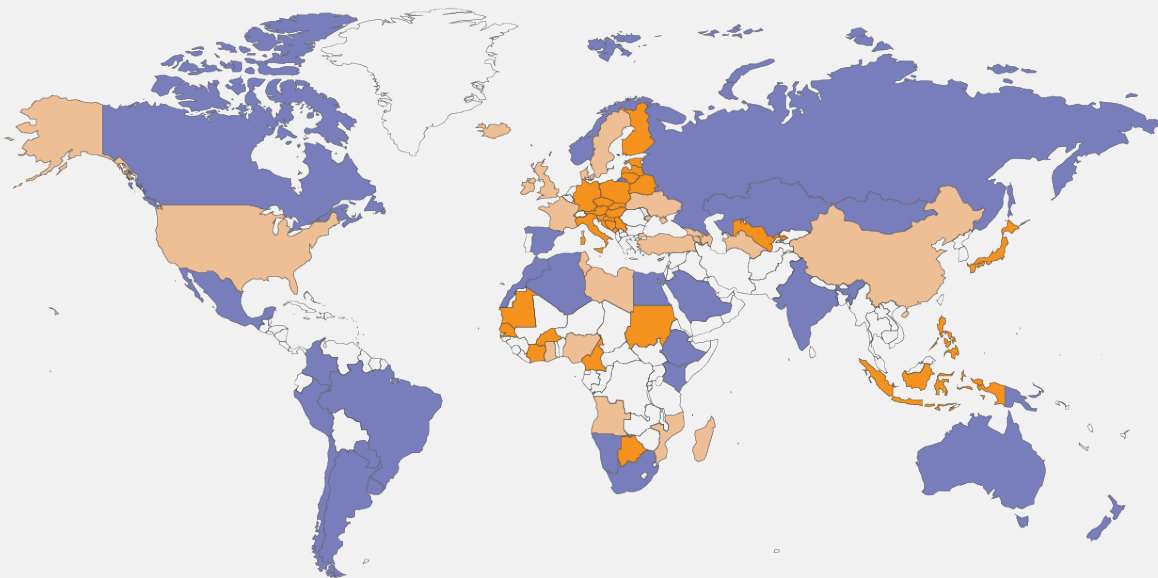
- **Impulsar la competitividad en los polos de producción de hidrógeno para crear y promover el mercado interno y el mercado de exportación.**
- **Promover el desarrollo de proveedores locales de bienes de capital, insumos y equipamiento, y de servicios basados en conocimiento, especialmente en asociados a las demandas de los polos de producción.**
- **Impulsar proyectos demostrativos de escala piloto, que permitan estimar costos reales de producción de hidrógeno de bajas emisiones con diferentes tecnologías, en diferentes localizaciones y considerando la parte logística.**
- **Mejorar la eficiencia de las tecnologías críticas para la producción de hidrógeno de bajas emisiones, como ser en electrólisis y tecnologías de CCUS, a partir de la transferencia tecnológica y la innovación.**
- **Aumentar la generación de energías renovables a costos competitivos.**



Mercados de exportación

La Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA, por sus siglas en inglés) estimó que en un escenario de transición energética avanzada, el hidrógeno de bajas emisiones cubrirá el 12% del consumo total de energía y será responsable del 10% de la reducción de las emisiones GEI al 2050. La IEA estima que para cumplir estas metas, la producción global de hidrógeno de bajas emisiones debería alcanzar 140 Mt de toneladas anuales en 2030 y 500 Mt anuales en 2050.

Posicionamiento de los países en el mercado global de hidrógeno



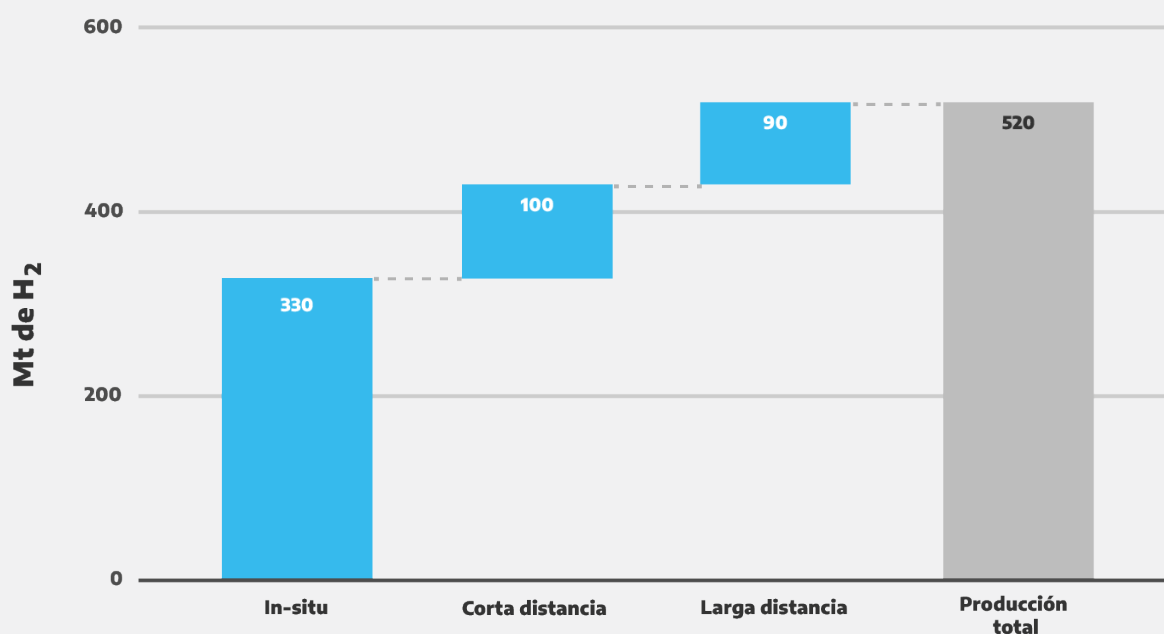
- **Exportador**
- **Autosuficiente**
- **Importador**

Fuente: World Energy Council

Las previsiones disponibles indican que el 64% de la demanda global será cubierta con producción localizada cerca de los centros de consumo, mientras que al menos un 36% deberá abastecerse desde otras latitudes. Europa es una de las regiones que no cuenta con suficientes recursos naturales y disponibilidad territorial para producir toda la energía que necesita, por tanto requerirá importar alrededor del 50% del hidrógeno que consumirá, mientras que países asiáticos como Corea del Sur y Japón planifican adquirir más del 80%. **De esta manera, los países con disponibilidad de recursos naturales producirán hidrógeno de bajas emisiones y otros vectores para abastecer a los mercados que tengan escasez.**

El principal desafío tecnológico que enfrentará el comercio internacional de hidrógeno es el transporte. Existen diferentes alternativas en discusión. Entre ellas, el hidrógeno en estado gaseoso o líquido, o la utilización de otros productos químicos como el amoníaco (NH₃) y el metanol (CH₃OH), que contienen hidrógeno y cuyas tecnologías de transporte ya están resueltas y maduras.

Producción y comercio internacional a 2050

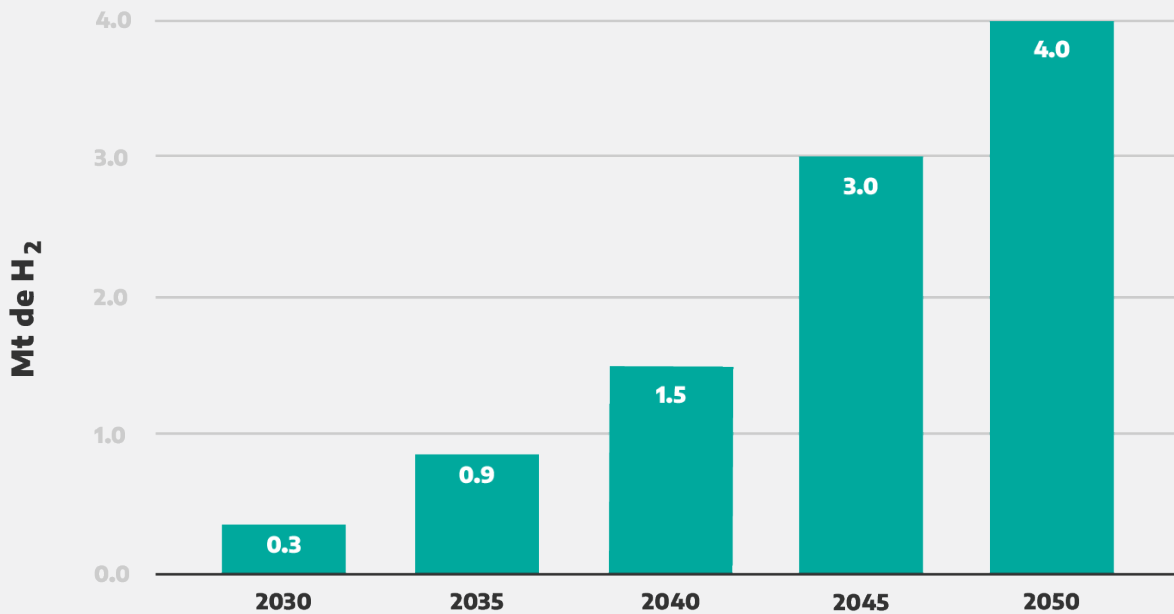


Para 2050 se espera que unas 180 Mt de hidrógeno sean comercializadas entre países.

Las proyecciones indican que ese intercambio comercial se repartirá entre cortas distancias, a través de ductos (alrededor de 95 Mt), y largas distancias en barco (alrededor de 85 Mt). **Argentina participará competitivamente en el mercado internacional, especialmente en el segmento de larga distancia.** La experiencia de la industria argentina en la producción y gestión de productos químicos, así como la existencia de un puerto para este tipo de comercio (Bahía Blanca), permite asumir que el país podrá ingresar tempranamente al mercado internacional.

Metas de costos 2030 - 2050

Exportaciones de hidrógeno de bajas emisiones



Las ventajas competitivas que presenta Argentina posibilitan proyectar una participación relevante en el comercio internacional a partir de 2030 con 0.3 Mt anuales, alcanzando en 2050 a abastecer el 5% del mercado global proyectado al 2050, que representa una producción de al menos 4 Mt anuales.

Acciones para desarrollar mercados de exportación

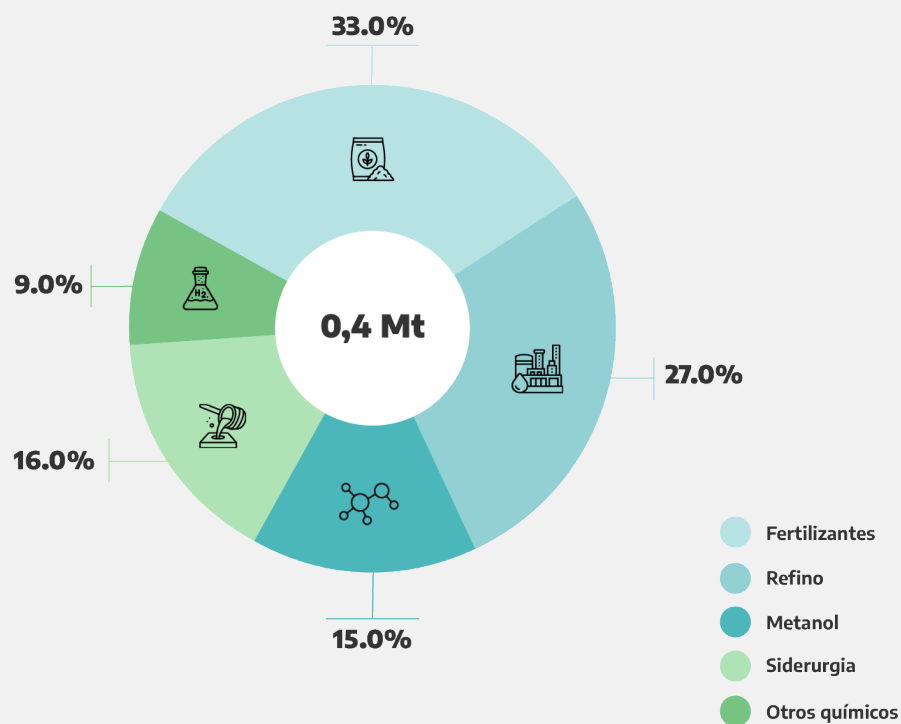
- **Implementar proyectos demostrativos para calcular costos reales de producción de hidrógeno de bajas emisiones con diferentes tecnologías y en diferentes localizaciones, con el objetivo de mejorar y alcanzar costos competitivos**
- **Posicionar a la Argentina como proveedor competitivo y confiable de hidrógeno de bajas emisiones y sus derivados.**
- **Alcanzar mercados de exportación de hidrógeno a partir de acciones comerciales.**
- **Desarrollar la certificación del hidrógeno de bajas emisiones y crear capacidades para la certificación ágil y transparente de aceptación internacional.**



Mercado interno

Argentina produce actualmente 0,4 Mt de hidrógeno gris al año para consumo interno, que representa el 9% del mercado de América Latina (4,4 Mt) y aproximadamente el 0,4% de la demanda global (94 Mt). Debido a los costos de transporte y almacenamiento, la producción está localizada cerca de los sitios de consumo y se utiliza para producir fertilizantes, metanol- en la industria siderúrgica-, y para el refinado de combustibles, además de otras industrias químicas.

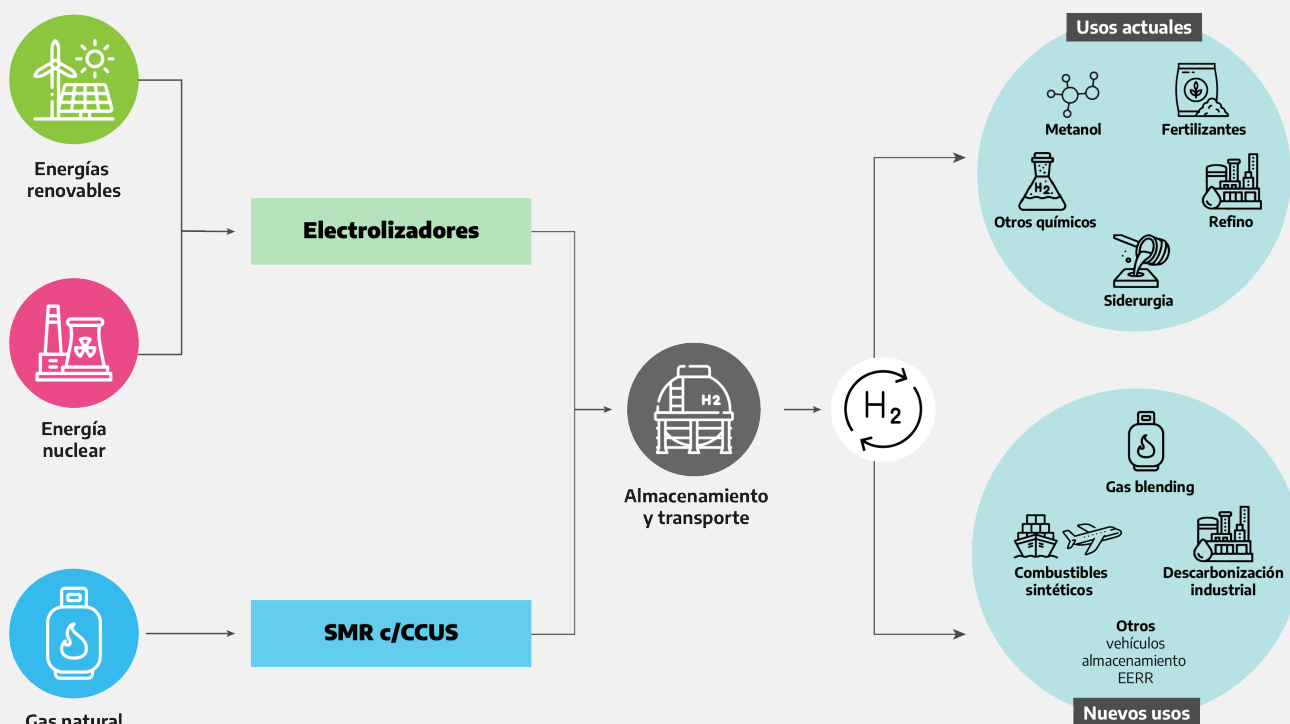
Destinos locales del hidrógeno argentino



La existencia de un mercado local maduro es una de las fortalezas que exhibe la Argentina para impulsar la economía del hidrógeno de bajas emisiones. Este mercado doméstico favorece el avance de prototipos y la producción en pequeña escala. La trayectoria productiva junto con sus proveedores locales y los polos científicos y tecnológicos posicionan al país para: (i) participar en los diferentes segmentos de la cadena de valor de hidrógeno, (ii) adoptar el hidrógeno de bajas emisiones en usos actuales y nuevos usos y (iii) crear tempranamente este nuevo mercado.

En el corto plazo, la producción de combustibles sintéticos como metanol, combustible sustentable de aviación (SAF) y aceite vegetal hidrogenado (HVO) **demandará hidrógeno de bajas emisiones para descarbonizar el sector transporte marítimo y aeronáutico.** También, pero en menor medida, se aplicará a la electromovilidad, principalmente en vehículos pesados que utilizan celdas de combustible alimentadas con hidrógeno.

Usos actuales y nuevos usos



La **industria siderúrgica** incorporará hidrógeno de bajas emisiones en el corto plazo ya que la tecnología para producir acero a partir de reducción directa es competitiva. Otras industrias de alto consumo energético se encuentran analizando la viabilidad técnica y económica de incorporar hidrógeno para su descarbonización.

Adicionalmente, la demanda doméstica podría crecer a partir de la creación de un mercado voluntario de gas blending, una demanda estable que brinda certidumbre a los oferentes locales. Este tipo de mercados habilita a usuarios interesados en adquirir una mayor proporción de hidrógeno limpio, de forma virtual y voluntaria, permitiendo financiar el sistema y cumplir objetivos de descarbonización sin realizar modificaciones en las instalaciones. Aunque es fundamental realizar previamente estudios técnicos sobre las condiciones de factibilidad de la infraestructura existente.

A medida que las condiciones tecnológicas lo habiliten, **una parte de la producción actual podría adecuarse paulatinamente a soluciones de bajas emisiones**, mediante la incorporación de CCUS y/o incorporando hidrógeno verde para dar respuestas a las demandas del mercado interno.

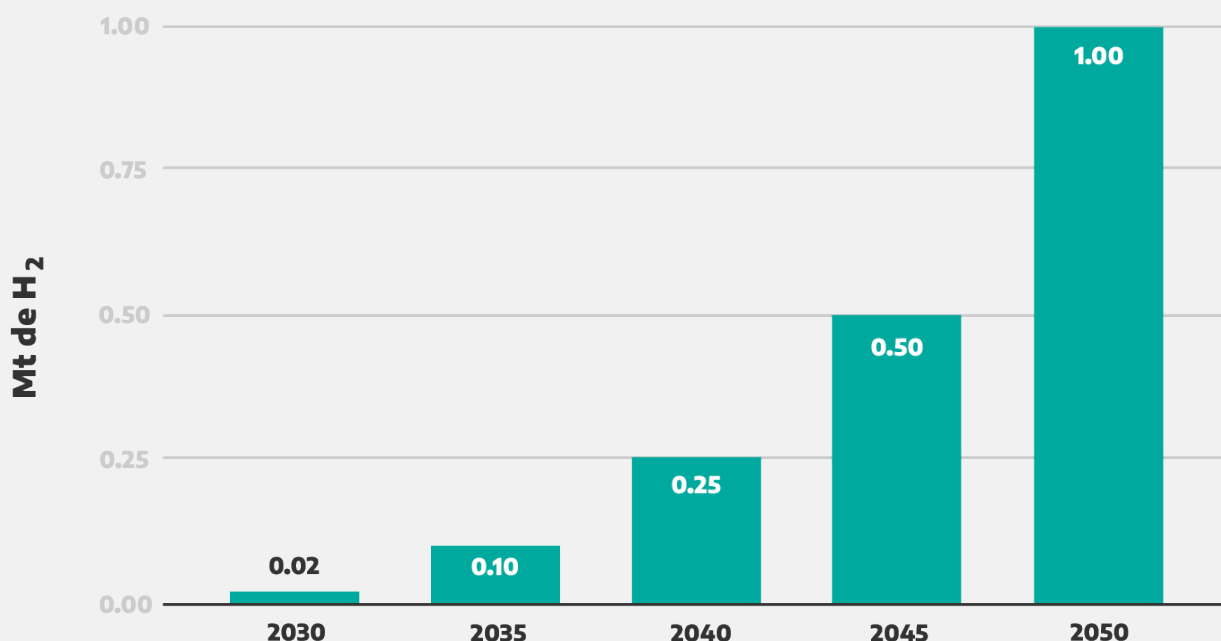
Gas blending

El gas blending es un término utilizado para hacer referencia al hecho de incorporar un porcentaje de hidrógeno a la corriente de gas natural. Este uso del hidrógeno es considerado por algunos países como una forma de generar una demanda local constante que promueva la oferta. Además, permite aprovechar excedentes de energía renovable que no pueden ser despachados y contribuye a reducir emisiones asociadas a la combustión del gas natural. Su implementación requiere evaluar técnicamente los ductos de gas existentes, implicando costos adicionales, que deberán compararse con los beneficios potenciales.

Metas de de mercado interno 2030 - 2050 —

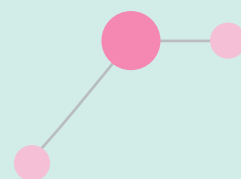
La demanda interna de hidrógeno de bajas emisiones evidenciará un crecimiento sostenido a partir de 2030, para alcanzar las 100 mil toneladas anuales en 2035. A 2045 se espera una demanda de 500 mil toneladas anuales, alcanzando a **1 millón de toneladas a 2050**. Una porción de la demanda será cubierta con la producción local de hidrógeno azul, lo que contribuirá en mejorar las condiciones para generar desarrollos de mayor escala que puedan participar en mercados de exportación.

Mercado interno de hidrógeno de bajas emisiones de Argentina 2030-2050



Acciones para crear y fortalecer el mercado interno

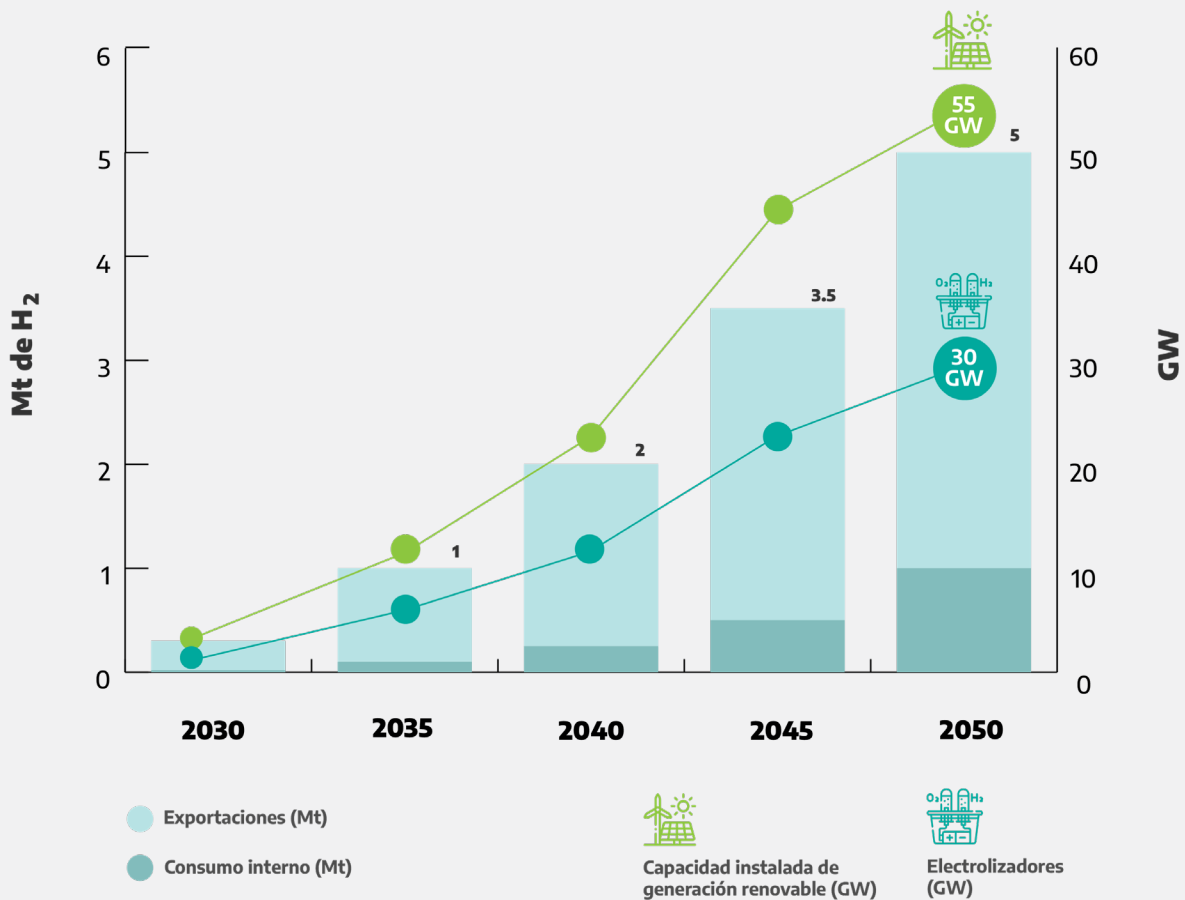
- **Generar proyectos demostrativos sobre utilización de hidrógeno de bajas emisiones en procesos industriales domésticos y en el transporte.**
- **Habilitar entornos regulatorios controlados (sandbox regulatorios) para viabilizar proyectos demostrativos de uso de hidrógeno.**
- **Realizar estudios y pruebas operativas para la implementación de gas blending en redes aisladas de gas natural.**
- **Crear mecanismos de armonización de costos diferenciales entre H2 de bajas emisiones y combustibles fósiles.**
- **Aplicar herramientas de análisis sectorial para la evaluación del potencial crecimiento de nuevos mercados de carbono.**
- **Potenciar el rol de las empresas públicas en la producción y adopción del hidrógeno de bajas emisiones.**
- **Crear, adaptar y aplicar normativa de seguridad de toda la cadena de valor del hidrógeno**



Desarrollo industrial en la cadena de valor del hidrógeno

La producción argentina de hidrógeno crecerá desde las 0,4 Mt anuales actuales hasta alcanzar 5 Mt en 2050, lo que implica que el sector incrementará su tamaño unas 12 veces. La adecuación de esta industria posibilitará abandonar progresivamente los métodos tradicionales e ir incorporando tecnologías limpias. **La demanda internacional traccionará para escalar la producción ganando eficiencia y productividad. Este horizonte de fuerte crecimiento genera una ventana de oportunidad para el desarrollo industrial en toda la cadena de valor.**

Proyección de oferta de hidrógeno y demanda de bienes de capital



Dadas las condiciones competitivas del gas natural y el extraordinario potencial de las energías renovables, en particular la eólica y solar fotovoltaica, **es esperable que en el corto plazo se produzca hidrógeno verde y azul**. En el largo plazo, el aprendizaje tecnológico en torno al proyecto CAREM, uno de los primeros reactores pequeños modulares en construcción en el mundo, podría permitir al país ser referente mundial en la producción de **hidrógeno rosa** y en su cadena de valor.

A fines ilustrativos, si se considera un escenario en el que toda la producción proyectada de hidrógeno de Argentina (5 Mt) se obtiene a partir de electrólisis de agua y energías renovables, **se necesitarán 30 GW de electrolizadores y 55 GW de capacidad de energía renovable para 2050**. En base a las tecnologías actuales, esto **implicaría instalar entre 6000 y 8000 aerogeneradores, ocupando una superficie de 11.000 km², que equivale a 55 veces el área de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires o la mitad de la superficie de provincias como Tucumán y Tierra del Fuego**. En cuanto a **la potencia necesaria de electrolizadores, equivale a 30.000 unidades de 1 MW, 10 veces la potencia instalada en la central hidroeléctrica Yacretá**.

El vertiginoso crecimiento en los niveles de producción de hidrógeno de bajas emisiones introducirá presiones sobre la fabricación de las tecnologías críticas que abre una oportunidad para la radicación y desarrollo de proveedores especializados en Argentina

La expansión de la producción de hidrógeno requerirá un conjunto de bienes de capital y servicios tecnológicos complementarios. Entre los equipamientos e infraestructuras críticas se destacan los electrolizadores para la producción de hidrógeno; la producción de bienes de capital para la generación de energías renovables; las plantas de reformado de gas natural con vapor; los parques para la generación eléctrica renovable; y la infraestructura necesaria para la aplicación de tecnologías CCUS. También son importantes los servicios intensivos en conocimiento, como los de ingeniería, claves en la realización de estudios de factibilidad y prefactibilidad; los servicios para la gestión y operación de proyectos (incluyendo construcción y montaje de parques de energías renovables); y el software y los servicios informáticos.

El vertiginoso crecimiento esperado en la producción global de hidrógeno de bajas emisiones introducirá presiones adicionales sobre la fabricación de bienes de capital críticos. A nivel mundial, las proyecciones indican que los requerimientos de capacidad instalada de electrólisis serán de 232 GW en 2030 y de 3200 GW en 2050. Esto representa 3,2 millones de electrolizadores de 1 MW de potencia y más de 6000 GW de energías renovables, lo que equivale a unos 600.000 aerogeneradores de 10 MW.

Los anuncios de inversión de producción de electrolizadores a nivel global registrados hasta 2023 sólo alcanzarán a cubrir la mitad de las necesidades, siempre y cuando todos los proyectos se concreten en tiempo y forma. Estas condiciones permiten prever cuellos de botella en el abastecimiento de estos bienes de capital críticos.

Los fabricantes de aerogeneradores y tecnología fotovoltaica comenzaron recientemente a replantear sus capacidades de producción para cubrir las demandas adicionales. La IEA y la IRENA publicaron en 2022 y 2023, respectivamente, sendos reportes en los que identifican la necesidad de ampliar la capacidad productiva de electrolizadores y aerogeneradores.

Además, **existe un conjunto amplio de componentes y equipamientos electromecánicos asociados a esta industria, que serán claves para el transporte y almacenamiento**, incluyendo desde recipientes de presión y compresores hasta válvulas y cañerías. Toda la cadena también requerirá de servicios tecnológicos y software para la operación de planta, mantenimiento, logística y trazabilidad, especialmente de cara a la certificación de origen.

Esto pone en evidencia una **demanda creciente de bienes de capital a nivel mundial y abre una oportunidad para la radicación y desarrollo de proveedores especializados en la Argentina**, con el fin de atender de forma eficiente las necesidades del mercado interno y regional. De acuerdo con lo que estipulan las estrategias nacionales elaboradas por distintos países de la región y diversos reportes internacionales, el 15% de la producción mundial de hidrógeno se generará en el Cono Sur.

Proyección de producción de hidrógeno en América Latina



Las capacidades industriales, científicas y tecnológicas argentinas permiten prever que parte de la provisión de tecnología, electrolizadores y otros bienes de capital y servicios será generada en el país, lo que se posiciona como una meta estratégica para ampliar y mejorar la matriz productiva con actividades de mayor valor agregado.

Metas de desarrollo industrial 2030 - 2050

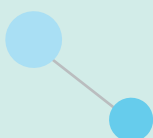
Argentina se plantea el objetivo de alcanzar una producción doméstica de hidrógeno de al menos 1 Mt en 2030 y 5 Mt a 2050. Para ello será necesario el desarrollo de proveedores locales radicados en el país que permitan dar respuesta a las necesidades de bienes de capital y servicios conexos en la cadena de valor para alcanzar un 50% de contenido nacional a 2050, y exportar al mercado regional.

Se espera fortalecer y generar nuevas capacidades industriales, por ejemplo, en el sector de energías renovables para la producción de bienes de capital, sus partes y piezas, góndolas, torres y potencialmente palas de aerogeneradores. También se postula adaptar capacidades existentes para fabricar equipos para el almacenamiento y transporte de hidrógeno y derivados, así como también nuevos proveedores de partes, piezas y equipos de electrolizadores.

Capacidades	Equipamiento para energías renovables	Electrolizadores	Recipientes y compresores	Servicios tecnológicos
Existentes	Fundición y mecanizado de piezas Transformadores y componentes Sistemas de almacenajes, construcción de torres	Dos proyectos para el desarrollo de prototipos de electrolizadores alcalinos Empresas con cercanía tecnológica con la fabricación de electrolizadores	Proveedores para gas comprimido Proveedores para hidrógeno de alta presión	Servicios tecnológicos a la industria de oil & gas, petroquímica y otras
Fortalecer y/o generar	Góndolas y paneles Construcción de torres o palas. Equipos para conversión, transformación y control de energía	Partes y piezas de electrolizadores y para procesos complementarios en planta de electrólisis Equipos para electrónica de potencia	Adaptación de equipos actuales para almacenamiento y transporte de H2	Operación de planta Mantenimiento predictivo y preventivo Logística Trazabilidad

Acciones para potenciar la industria y el agregado de valor

- **Desarrollar proveedores de la cadena de valor del hidrógeno (bienes y servicios).**
- **Promover la construcción de prototipos de electrolizadores y otros bienes de capital críticos.**
- **Fomentar la asociación entre tecnólogos, empresas industriales locales y demandantes de bienes de capital.**
- **Promover la contratación de proveedores y servicios nacionales en las compras públicas.**
- **Acelerar la adopción de normativa de seguridad en la producción, manipulación, transporte y uso del hidrógeno a lo largo de la cadena de valor.**
- **Fortalecer las capacidades de certificación y aumentar el número total de empresas proveedoras certificadas según estándares internacionales de calidad y seguridad industrial.**
- **Crear y adaptar normativa específica para el almacenamiento geológico y el transporte del CO₂.**



Ciencia, tecnología e innovación

El aporte de la investigación científico-tecnológica al incremento de la eficiencia de los bienes tecnológicos es fundamental para mejorar la competitividad de la producción local de hidrógeno de bajas emisiones. A lo largo de los próximos años un conjunto de sectores tecnológicos alcanzarán un gran dinamismo, principalmente los electrolizadores y las tecnologías CCUS. **Potenciar la investigación y desarrollo del país, junto con las capacidades industriales en el campo de los electrolizadores, principalmente los alcalinos, resulta un aspecto estratégico para que Argentina pueda posicionarse en la carrera tecnológica vinculada al hidrógeno.** Este impulso al desarrollo tecnológico permitirá ofrecer tecnología local a los proyectos que se radiquen en el país.

Argentina cuenta con una amplia red de universidades nacionales y provinciales, así como con un conjunto de organismos científico-tecnológicos que conforman un robusto sistema de ciencia y tecnología distribuido a lo largo y ancho del país. En el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología (SNCT) se desempeñan más de 50 mil investigadores. Gran parte de estos recursos humanos se nuclean en grupos de I+D de las universidades nacionales y en el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Otras instituciones descentralizadas, como la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), también trabajan en temas relacionados a la economía del hidrógeno con mayor cercanía a sus aplicaciones.

Una amplia red de universidades nacionales y provinciales, así como con un conjunto de organismos científico-tecnológicos que conforman un robusto sistema de ciencia y tecnología, permitirá potenciar la investigación y desarrollo de Argentina en materia de hidrógeno.

El país cuenta con polos científicos y tecnológicos que se destacan por contar con grupos con amplia trayectoria en temas vinculados al hidrógeno como son La Plata y Bahía Blanca, en la provincia de Buenos Aires; el de Bariloche en Río Negro, y los de las ciudades de Córdoba y Santa Fe, en las respectivas provincias homónimas.

El SNCT coopera y se vincula estrechamente con una red de empresas públicas como YPF Tecnología (Y-TEC), empresa mixta propiedad de YPF y CONICET; INVAP, sociedad del estado de la provincia de Río Negro que conduce proyectos tecnológicos complejos; la empresa provincial de energía de la provincia de San Juan orientada a la tecnología solar fotovoltaica (EPSE); y la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP), gestionada por CNEA y el gobierno neuquino, con potencial para la producción de amoníaco. En el caso de Santa Cruz, la planta experimental de hidrógeno de Pico Truncado es a la vez una experiencia piloto de producción de hidrógeno de bajas emisiones y espacio de formación e investigación. **La asociación de estas capacidades con el sector privado genera consorcios y proyectos vinculados a un amplio espectro de aplicaciones industriales.**

Proyectos I+D según grado de Madurez Tecnológica (TRL) en Argentina



Esta sólida red público-privada federal le otorga al país un amplio conocimiento científico básico, especialmente en materiales aplicados a la energía y otros conocimientos tecnológicos, que abarcan una cartera de proyectos en diferente estadio de maduración tecnológica. En los últimos cinco años se ha observado un incremento de proyectos de desarrollo de tecnología de electrolizadores alcalinos en etapas intermedias.

Madurez Tecnológica

La escala de madurez tecnológica, o Technology Readiness Level (TRL), surgió en los años 70 en la NASA, con el objetivo de medir el estado de desarrollo de una tecnología. Actualmente, la TRL se utiliza internacionalmente como una referencia para identificar el grado de avance y madurez de las tecnologías, determinar y precisar la viabilidad del proyecto y la menor o mayor cercanía del producto al mercado desde el inicio de la investigación.

La escala de los TRLs va de 1 al 9, donde las etapas iniciales comprenden los TRL 1 a TRL 4 (análisis de los principios básicos o modelo conceptual en entorno laboratorio), las etapas intermedias los TRL 5 y 6 (puesta a prueba en un entorno controlado) y las avanzadas los TRL 7 a TRL 9 (validación y ajustes de la tecnología en entorno real).

Las plantas piloto constituyen una capacidad clave para probar tecnologías en entornos reales y obtener prototipos que demuestren su funcionamiento en una pequeña escala comercial, dinamizando el mercado doméstico. Además, ayudan a identificar problemas operativos así como también resolver cuestiones relacionadas a regulaciones, metodologías de implementación segura, infraestructura y cadenas de suministro. Actualmente funcionan en el país dos plantas piloto, pioneras en la región. **Poder replicar estas facilidades en otras localizaciones, donde exista potencial para producir hidrógeno, favorece y acelera la implantación de proyectos a gran escala, permitiendo probar tecnologías y adaptarlas al contexto operativo.**

Un ejemplo concreto en el cual una planta piloto puede ser de gran utilidad es el hidrógeno azul. En este caso se presenta la posibilidad de agregar valor al recurso gasífero a partir de incorporar CCUS al proceso tradicional, lo que implica resolver cuestiones tecnológicas ligadas a la captura y el almacenamiento seguro de CO₂ que deben probarse en entornos reales.

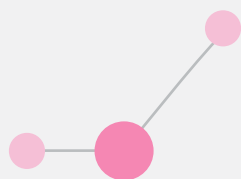
Metas de desarrollo industrial 2030 - 2050

Argentina se propone, en el corto plazo, alcanzar el nivel de madurez tecnológica avanzada (TRL 7 a 9) en electrolizadores alcalinos y sus equipos auxiliares. La firma Y-TEC cuenta con un prototipo de electrolizador alcalino en etapa de prueba y apunta a construir el primer electrolizador alcalino de alta potencia (1 MW) de tecnología propia. Este proyecto se generó en articulación con el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), y con el apoyo del Fondo Argentino Sectorial (FONARSEC) de la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación; en colaboración con el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación productiva (MINCYT) y el Consejo Federal de Ciencia y Tecnología (COFECYT). Existen otros ejemplos como este, que se encuentran madurando con el objetivo de alcanzar en los próximos años una mayor cantidad de proyectos en etapas intermedias y avanzadas.

Proyectos I+D según grado de Madurez Tecnológica (TRL) en Argentina



Antes de 2030, Argentina tiene el objetivo de dominar la tecnología de electrólisis alcalina, lo que permitirá transferir a la industria el conocimiento que habilite la producción seriada de estos bienes tecnológicos críticos y abastecer a las fases iniciales de los proyectos de producción a gran escala. En este horizonte de tiempo, también se contará con un atlas de capacidades de almacenamiento de CO2 para proyectos de hidrógeno azul de forma segura y sostenible. Entre 2030 y 2050, se prevé consolidar la oferta local de tecnología, incluyendo CCUS, para producir hidrógeno de bajas emisiones a gran escala.



Acciones para una economía del hidrógeno con desarrollo científico y tecnológico nacional

- **Promover la tecnología de electrólisis alcalina en prototipos para giga escala y las tecnología PEM para investigación y aplicaciones de mega escala.**
- **Fomentar I+D en tecnología CCUS, de nuevos materiales y de almacenamiento de CO₂; así como los estudios para de almacenamiento geológico de hidrógeno.**
- **Promover pilotos público-privados para combustibles sintéticos y descarbonización de procesos industriales.**
- **Fomentar la creación de start-ups tecnológicas asociadas a hidrógeno.**
- **Impulsar la investigación en torno a nuevas tecnologías para la obtención de hidrógeno.**
- **Generar centros y potenciar equipos de investigación, desarrollo e innovación vinculados a la cadena de valor del hidrógeno.**
- **Fortalecer la infraestructura de laboratorio.**
- **Alentar la conformación de consorcios públicos-privados para el desarrollo tecnológico y la innovación.**
- **Propiciar estrategias y herramientas de promoción orientadas a construir capacidades en nuevas tecnologías incipientes que en un futuro puedan modificar los escenarios de generación, almacenamiento y usos del hidrógeno**



Empleo y formación

El despliegue de la economía del hidrógeno representa grandes cambios y oportunidades en las perspectivas del empleo. **Una transición justa hacia la descarbonización y el cambio de matriz productiva implican un impacto positivo en términos de cantidad de puestos de trabajo, como también una mejora de las condiciones laborales y la creación de empleo de calidad.** La adaptación de las ocupaciones existentes demandará nuevos perfiles laborales y, consecuentemente, requerirá nuevas habilidades por parte de los trabajadores. Esto plantea un doble desafío en el mapa federal argentino: potenciar el desarrollo de la producción de hidrógeno y, en simultáneo, aprovechar la oportunidad para promover la inclusión social mediante el fomento de los mercados de trabajo locales.

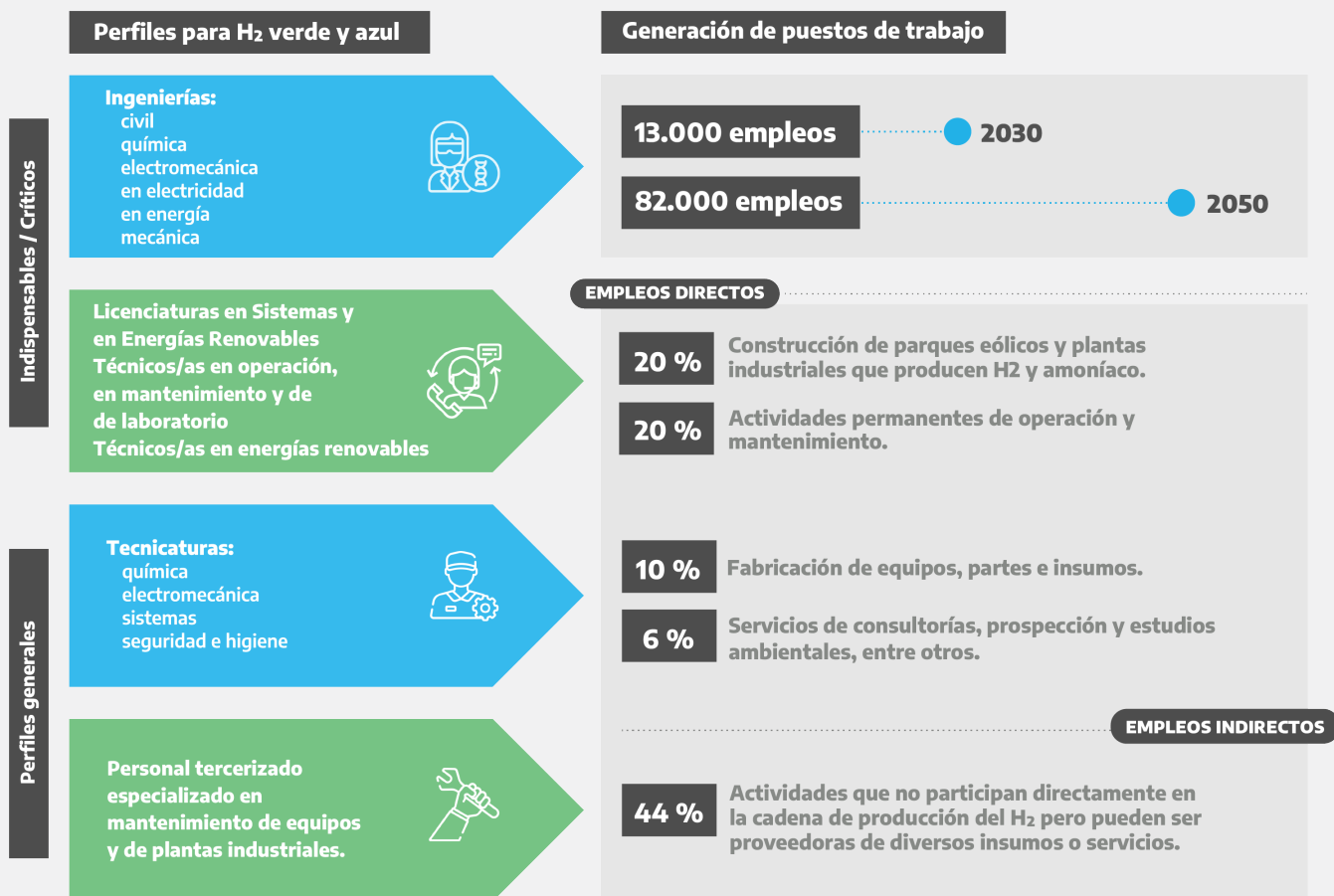
Una transición justa hacia la descarbonización y el cambio de matriz productiva tendrá efectos positivos en términos de cantidad de puestos de trabajo, en las condiciones laborales y promoverá la creación de empleo de calidad. También demandará nuevos perfiles y habilidades laborales

La expansión de la demanda doméstica e internacional de este vector energético junto con otras actividades que lo harán en el futuro, alentarán un balance positivo entre los puestos que se crearán y aquellos que puedan verse afectados como resultado de la transición hacia las energías limpias. Esto incluye nuevos empleos en la construcción, operación y mantenimiento de infraestructuras, no sólo de producción de hidrógeno de bajas emisiones, sino de transporte y carga de combustible. Parte de esta demanda de empleo será satisfecha a partir de la reconversión de ocupaciones vinculadas a la cadena de extracción y producción de combustibles fósiles.

Metas de empleo 2030 - 2050

En Argentina, la economía del hidrógeno generará más de 13.000 puestos de trabajo de calidad hacia 2030 y más de 82.000 en 2050. Sobre el universo total de empleos, el 56% corresponde a puestos directamente vinculados a la actividad y el 44% a posiciones indirectas.

En el corto plazo, esta nueva actividad no solo requerirá un elevado número de trabajadores sino también de nuevos perfiles laborales, los cuales serán demandados especialmente en las localizaciones de los polos de producción de hidrógeno. Entre los perfiles considerados como indispensables y críticos se encuentran los perfiles universitarios (licenciaturas y/o ingenieros) y/o técnicos relacionados con energías renovables, químicas, energía, mecánico, electricidad, electromecánico, civil, mantenimiento de redes eléctricas, sistemas y laboratorios.



El sistema de educación técnica y superior argentino cuenta con las capacidades para hacer frente a estos desafíos. A su vez, las instituciones laborales en el país pueden contribuir a esta transición orientando la capacitación de los trabajadores a través de sus centros de formación técnica y profesional. La articulación con sindicatos y cámaras empresarias favorece el proceso de identificación de perfiles laborales, la elaboración de currículas y la identificación de trayectos formativos a lo largo de la vida laboral.

Resulta clave para la formación de empleos verdes contar con plantas a escala piloto que promuevan la formación de recursos humanos y la detección de necesidades en las áreas de la tecnología del hidrógeno, oficios y profesiones críticas, herramientas de comunicación, seguridad e higiene laboral.

Acciones para fortalecer las capacidades laborales y promoción del empleo

- Fortalecer los programas de formación profesional en zonas cercanas a los polos de producción de hidrógeno
- Fortalecer programas de becas en las disciplinas y competencias identificadas como críticas.
- Fortalecer la coordinación entre la educación media, técnica y superior así como con el sistema de formación profesional para el desarrollo de trayectos formativos requeridos por la industria.
- Articular acciones entre áreas de gobierno para la formación técnica y profesional y para capacitación en temáticas vinculadas a la economía del hidrógeno.
- Potenciar las capacidades laborales y promover el empleo verde.



Certificaciones

A nivel mundial los sistemas de certificación de origen y tipo de hidrógeno se encuentran en proceso de construcción. **Este tipo de sistemas permitirá a la industria del hidrógeno garantizar a los consumidores su contenido de carbono, lo que generará una ventaja competitiva a la hora de cumplir requisitos mínimos de acceso a los mercados internacionales** y, además, potenciar el ingreso de productores locales al mercado de bonos de carbono.

Actualmente, **las discusiones están centradas en definiciones técnicas respecto de los criterios de emisiones y gobernanza del esquema**. Las primeras propuestas han tomado estado público en los últimos años. La Unión Europea impulsó, mediante la creación del consorcio público-privado denominado CertifHy, un esquema de carácter voluntario que utiliza etiquetas de colores para caracterizar la producción de hidrógeno de acuerdo con la Directiva Europea de energías renovables. Desde un enfoque diferente, Estados Unidos propone categorizar al hidrógeno en función de las emisiones asociadas al ciclo de vida sin generar etiquetas de colores. **Otras propuestas plantean sumar en los criterios de certificación aspectos relacionados con el marco de sostenibilidad** en un sentido amplio, incorporando cuestiones como la pérdida de biodiversidad, el desplazamiento de comunidades o las crecientes desigualdades. La plataforma PtX-Hub en Europa está proponiendo brindar una base conceptual para una posterior traducción de estos aspectos en criterios para la certificación.

América Latina está dando los primeros pasos para definir su esquema de garantías de origen. Si bien todavía no existe un esquema definido, el consenso general indica que implementarlo es un aspecto central para el despliegue y consolidación del mercado regional. El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) se ha puesto al frente de las acciones para contribuir a la tarea. Desde ese organismo se impulsa un esquema cuya gobernanza quede bajo la tutela de una institución supranacional con reconocimiento regional. También propone un marco de sostenibilidad amplio que considere las características propias de la región, respetando especialmente la decisión de las comunidades originarias y la preservación de las fuentes de agua, y se apoye en las capacidades de cada país para la ejecución de las acciones necesarias para su funcionamiento. En el caso de Argentina se pueden establecer acuerdos y complementación con los socios del MERCOSUR para establecer esquemas de certificación regional.

En Argentina, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) trabaja en la elaboración de una hoja de ruta para la certificación de origen del hidrógeno verde y de bajas emisiones. Los avances se registran en el marco de un Proyecto Interinstitucional en Temas Estratégicos (PITES), coordinado por Y-TEC.

La certificación de origen y la incorporación de nuevas tecnologías requieren normativas para garantizar la seguridad en toda la cadena de valor. Argentina implementará un esquema basado en criterios de emisiones sin preferencia tecnológica.

La certificación de origen y la incorporación de nuevas tecnologías de producción, transporte y uso de hidrógeno requieren normativas para garantizar la seguridad en toda la cadena de valor y en los nuevos mercados que se generen. En este aspecto, el panorama internacional es concreto, dado que las normativas de referencia se generan a partir del Comité Técnico 197 de la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés). Luego, cada país adopta y adapta las normativas a través de sus organismos de normalización miembros de la ISO. En Argentina este trabajo lo realiza el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), convocando a expertos de organizaciones públicas y privadas.

Metas de certificaciones 2030 - 2050

Argentina implementará antes de 2030 un esquema de certificación de origen basado en criterios de emisiones sin preferencia tecnológica. Este sistema estará apoyado en las capacidades públicas existentes y contará con mecanismos claros para la determinación de emisiones, adaptables al cambio tecnológico y alineados con las exigencias de los mercados adoptantes. Un aspecto relevante para que funcione de forma organizada es la gobernanza, que será centralizada por el sector público nacional y coordinada a nivel regional a través de organizaciones supranacionales que permitan potenciar el alcance del mismo.

Características del sistema



Alineado
a criterios
internacionales



Gobernanza
pública, clara y
centralizada



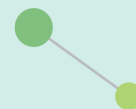
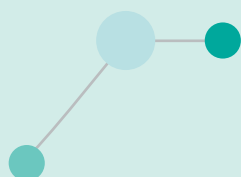
Adaptable a
las nuevas
tecnologías



Basado en
criterios de
emisiones

Acciones para garantizar una producción de hidrógeno segura y sostenible

- **Desarrollar el esquema de certificación del hidrógeno de bajas emisiones en coordinación con países de la región.**
- **Adquirir las herramientas y generar las capacidades para la medición de emisiones en las actividades asociadas a la cadena de valor del hidrógeno.**
- **Fortalecer capacidades de acceso público para realizar el análisis de ciclo de vida de los diferentes proyectos.**
- **Profundizar el proceso de adopción y adaptación de estándares técnicos del ISO TC-197 para asegurar condiciones de uso seguro en toda la cadena de valor.**
- **Fortalecer capacidades del Sistema Nacional de Calidad y su infraestructura asociada, para brindar acceso a la oferta tecnológica en todo el territorio del país.**
- **Acelerar la generación o adopción de normativa de seguridad en toda la cadena de valor, incluyendo normativa específica para almacenamiento geológico y transporte de CO₂.**
- **Promover la incorporación de criterios económicos, sociales, ambientales y de gobernanza a las certificaciones.**



Infraestructura de soporte para la economía del hidrógeno

El desarrollo de la economía del hidrógeno requerirá el despliegue de nuevas infraestructuras y la adaptación de las existentes. **La planificación y ejecución de obras debe acompañar a los proyectos de producción de escala comercial, cuya ubicación geográfica será próxima a la disponibilidad de recursos naturales, condiciones geológicas para almacenamiento de CO₂ y a los centros de demanda local.**

Los ejes en esta área se centran en: (i) generar facilidades en torno a los polos de producción; (ii) adecuar corredores para la conexión entre lugares de producción y adoptantes; (iii) acondicionar infraestructura portuaria para la exportación; (iv) construir sitios para el almacenamiento y el despacho de hidrógeno y sus derivados; (v) definir espacios de almacenamiento geológico y construir infraestructura para el transporte de CO₂; y (vi) planificar redes de transporte para la energía.

Las obras deben generar facilidades en torno a los polos de producción para, entre otros objetivos, adecuar corredores para conectar la producción con la demanda, acondicionar puertos, construir sitios de almacenamiento y desarrollar infraestructura para el transporte de CO₂

Las necesidades de infraestructura dependen del tipo de proyecto, distinguiendo entre proyectos de exportación y los abocados a la demanda interna. La evaluación y planificación considerará otros usos potenciales de esa infraestructura.

Es esperable que los proyectos de exportación se radiquen principalmente en la zona sureste del país (desde el sur de la provincia de Buenos Aires hasta Tierra del Fuego) con el objetivo de aprovechar la disponibilidad de un recurso eólico de excelencia a nivel mundial y la salida al Atlántico. En esa región será necesario fortalecer la infraestructura vial, requerida durante el montaje de los parques eólicos y para la provisión de insumos industriales. También será necesario evaluar capacidades existentes y la viabilidad técnica y socioambiental de nuevos puertos, en especial los de aguas profundas.

En la región de la patagonia actualmente hay 17 puertos, de los cuales 7 son de aguas profundas. Entre estos se destaca el puerto de Bahía Blanca, que cuenta con servicios para el despacho de productos derivados del hidrógeno, como amoníaco, y cuya capacidad puede ser expandida. Actualmente, esta región está siendo evaluada por desarrolladores de proyectos de hidrógeno de bajas emisiones. Los proyectos de gran escala que planeen generación propia off-grid construirán su propia infraestructura eléctrica.

Generación “on-grid” y “off-grid”

Un sistema de generación renovable “on-grid” se mantiene conectado a la red de distribución eléctrica lo que le permite tomar energía de la misma para la producción de hidrógeno en momentos en los cuales la disponibilidad de recurso renovable no es suficiente. Las instalaciones “off-grid” no cuentan con ese respaldo y por consiguiente la producción de hidrógeno depende de la generación de energía renovable dedicada a este fin.

Un relevamiento realizado por el Ministerio del Interior, en cooperación con gobiernos provinciales y otros sectores de la producción y el trabajo, **evidencia que existen necesidades estratégicas para renovar y mejorar al menos 9 puertos en 5 provincias. Las tareas que deben ser encaradas incluyen el despliegue de nuevas capacidades, dragados y ampliaciones, entre otras obras.** Asimismo, se encuentran planificadas más de 30 obras de infraestructura eléctrica tendientes a mejorar el transporte y la interconexión entre ciudades de la patagonia, donde se podría incrementar la actividad económica como resultado de la radicación de polos productivos de hidrógeno.

Los proyectos orientados a la **demandas interna** se ubicarán cerca de los centros de consumo. La definición de los métodos de producción se realizará en función de la disponibilidad de los recursos y los costos de producción (acceso a energías renovables, a infraestructura de gas natural y a condiciones geológicas para el almacenamiento de CO₂). Debido a una menor escala de estos proyectos, las necesidades de infraestructura serán de menor envergadura, pudiendo ser proyectos on-grid.

Metas de infraestructura 2030 - 2050

Las características de los proyectos de producción destinados a la exportación y demandas interna permiten prever la constitución de, por lo menos, 5 polos productivos en la Argentina. Las respuestas a las consultas realizadas en el marco de la Mesa Intersectorial del Hidrógeno con los distintos actores dan cuenta que las localizaciones para dichos emplazamientos serían entre el sur de Buenos Aires y Tierra del Fuego, en el NOA, Cuyo y norte de Buenos Aires.

La producción de hidrógeno a partir de gas natural con tecnologías de CCUS necesita de infraestructura relacionada al transporte del CO₂ desde los lugares de captura hasta las localizaciones con potencial para su reutilización y/o almacenamiento a gran escala. La definición de estos puntos hará posible diseñar una red de ductos para la interconexión de las zonas.

Los corredores viales necesitarán, en algunos casos, adecuaciones dependiendo del tipo de producción de hidrógeno para las conexiones asociadas a su consumo, transporte y almacenamiento. Se puede complementar también con el acondicionamiento de redes ferroviarias existentes en trayectos cortos de forma puntual, por ejemplo entre polos de producción y puertos. **De acuerdo con los aportes relevados en la Mesa Intersectorial del Hidrógeno, al menos tres corredores serán estratégicos: uno en la región sur, que conecte desde Buenos Aires a Tierra del Fuego; un segundo corredor oeste, entre Bahía Blanca - Río Negro - Neuquén; y el tercero en la zona centro, reforzando el eje Buenos Aires - Rosario - Córdoba.**

Entre los nuevos usos del hidrógeno, se destaca su aplicación para la producción de combustibles sintéticos que serán demandados para el transporte marítimo y aéreo. Este uso requiere planificar la adaptación de espacios para almacenamiento y nuevas estaciones de recarga.

Metas de infraestructura



En Argentina, la región comprendida entre el sur de Buenos Aires, la patagonia y los puertos actuales o potenciales para exportación actúan como centros de gravitación para el desarrollo de proyectos de hidrógeno. Será estratégico acondicionar entre 2 y 5 puertos para acompañar las exportaciones de hidrógeno argentinas en el mercado internacional y el intercambio de bienes e insumos por vía marítima.

Acciones para atender las necesidades de infraestructura

- **Planificar el despliegue territorial de la economía del hidrógeno.**
- **Realizar estudios de factibilidad de puertos para polos productivos exportadores.**
- **Analizar la capacidad de la infraestructura vial vigente para atender el crecimiento de los polos de producción de hidrógeno.**
- **Planificar estaciones de recarga para servicios de combustibles limpios en puertos y aeropuertos.**
- **Generar proyectos demostrativos de estaciones de recarga de combustibles sintéticos en base a hidrógeno.**
- **Desarrollar el transporte de hidrógeno asociado a los polos de producción (cortas distancias).**
- **Identificar y definir sitios para almacenamiento de CO2.**



Inversiones

La producción de hidrógeno a gran escala es una actividad intensiva en capital, que presenta grandes incertidumbres por ser **un mercado en construcción, donde se generan altas expectativas en las fases iniciales de estos nuevos negocios**. El acceso al financiamiento para concretar inversiones de capital y tecnología es un factor relevante para la competitividad. Por ello, la definición de la ENH junto con un marco normativo de incentivos y previsibilidad para la localización de inversiones productivas y la transferencia de tecnología, acelerará y aumentará el número de proyectos necesarios para consolidar la economía del hidrógeno.

Una política activa de búsqueda de inversiones y promoción de las oportunidades que ofrece Argentina es fundamental para insertar al país en los mercados mundiales como proveedor seguro y confiable de hidrógeno, amoníaco y combustibles sintéticos de baja emisión

En el plano internacional, la promoción de nuestro país por parte del Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto en articulación con las embajadas radicadas en los países con mayor potencialidad de demanda y/o posibilidades para establecer acuerdos de inversión resulta clave. Al igual que contar con un sistema de información sobre financiamiento para la economía verde.

Metas de Inversiones

El monto esperado de inversiones compatible con la producción esperada se ubica en torno a los 90.000 millones de dólares.

En este sentido, **resulta fundamental una política activa de búsqueda de inversiones y promoción de las oportunidades que ofrece el país que permita instalar a la Argentina en los mercados mundiales como proveedor seguro y confiable de hidrógeno, amoníaco y combustibles sintéticos de baja emisión.**

Ante la inexistencia de una demanda consolidada, **la primera etapa debe enfocarse en detectar socios estratégicos para financiar plantas piloto que permitan probar tecnología en entornos reales y demostrar la competencia técnica y económica. En una segunda etapa se deberá profundizar con acciones de posicionamiento, presencia y participación en licitaciones y concursos para contratos de aprovisionamiento futuro**, como así también la promoción de la asociación y cooperación con empresas e instituciones que provean a los mercados demandantes.

Se deberá continuar con la formación del cuerpo diplomático y otras áreas para representar al país en rondas de inversión y/o en foros comerciales relacionados, a fin de fortalecer alianzas estratégicas con socios externos para la producción y/o el desarrollo de tecnología vinculadas con la cadena de valor. Complementariamente, para optimizar este trabajo promocional, **resulta determinante contar con un mapa detallado y actualizado de los requerimientos tecnológicos e industriales priorizados por los diversos actores involucrados en la economía del hidrógeno** (como productores o usuarios).

Por su parte, cada vez es mayor el volumen de financiamiento destinado a proyectos de transición energética. **Los bancos multilaterales de desarrollo están trabajando fuertemente en la adecuación de sus carteras en este sentido.** Entre ellos, el BID adoptó una política para no financiar proyectos asociados al aumento de emisiones; el Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe (CAF) tiene como objetivo que el 40% de su cartera sea verde para 2026; el Banco Mundial está revisando sus objetivos; y los principales fondos de inversión a nivel global también están en proceso de descarbonizar sus carteras.

La Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno aporta señales para disminuir el riesgo de las inversiones privadas y, con el apoyo del sector público, crear un efecto multiplicador que permita acelerar la producción y las exportaciones de hidrógeno bajo en emisiones

Del mismo modo, aunque aún incipiente, **existe en el país un mercado voluntario de bonos verdes que puede resultar atractivo para que empresas del sector del hidrógeno, como también pequeños y medianos ahorristas, puedan adquirir títulos de deuda en proyectos de esta índole.** Brindando también un rol activo a las entidades bancarias para promover líneas de financiación en las producciones que apunten a la descarbonización.

La ENH aportará señales de mediano y largo plazo para disminuir el riesgo de las inversiones privadas, en este mercado que está en construcción. **El objetivo es crear un efecto multiplicador de la inversión, con el apoyo del sector público, para acelerar la producción y las exportaciones de hidrógeno de bajas emisiones.**

Acciones para promoción de las inversiones

- **Capacitar al cuerpo diplomático argentino con información para la difusión internacional de los proyectos carbono neutrales.**
- **Identificar necesidades y requerimientos tecnológicos e industriales a fin de diseñar hojas de ruta que guíen el accionar de las representaciones argentinas en el mundo para contribuir en el desarrollo del ecosistema tecnológico-industrial argentino de la economía del hidrógeno de bajas emisiones.**
- **Identificar mercados emisores de Inversión Extranjera Directa (IED) destinada a proyectos carbono neutrales, junto con el diseño de planes y estrategias para captar tales flujos de inversiones.**
- **Promover inversiones y acuerdos de cooperación para la fabricación de electrolizadores, y/o sus partes y piezas, así como de los bienes de capital para los sistemas e infraestructuras de almacenamiento y transporte de hidrógeno y derivados.**
- **Promover transferencia de tecnología, como también infraestructura.**
- **Promover inversiones nacionales y/o transfronterizas para la construcción de infraestructura y proyectos de hidrógeno de bajas emisiones.**
- **Consolidar el papel del Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto como entidad interlocutora pública frente a potenciales inversores en hidrógeno de bajas emisiones. Ampliar y fortalecer una estrategia de comunicación para transmitir confiabilidad y estabilidad para los proyectos de inversión.**
- **Impulsar la suscripción de contratos de aprovisionamiento de largo plazo que contribuyan a la estabilidad y previsibilidad de la economía del hidrógeno bajo en emisiones en nuestro país.**
- **Impulsar acuerdos bilaterales con países demandantes de hidrógeno de bajas emisiones para el desarrollo de infraestructura para su exportación.**
- **Fomentar el acceso a los mercados de carbono de los proyectos de hidrógeno.**



Política ambiental

La **producción de hidrógeno de bajas emisiones a gran escala persigue objetivos de mitigación ambiental, porque apunta a las reducciones de GEI, pero puede producir efectos adversos sobre el ambiente y las comunidades**, como el cambio en el uso del suelo y del paisaje, pérdidas de biodiversidad, estrés hídrico, fragmentación de hábitats, aumento de la contaminación y otras afectaciones socio-culturales. En el caso del hidrógeno azul se incorpora la posibilidad de que se generen emisiones fugitivas en sitios de almacenamiento de CO₂.

La construcción de acuerdos, que incorporen las voces de las comunidades locales de forma temprana en la toma de decisiones, es una acción clave para potenciar oportunidades y mitigar riesgos asociados a la implantación de los proyectos de producción de hidrógeno bajo en emisiones

Estos **potenciales efectos deben ser evaluados críticamente para asegurar un desarrollo sostenible de la actividad**. La construcción de acuerdos, incorporando las voces de las comunidades locales de forma temprana en la toma de decisiones, es una acción clave para potenciar oportunidades y mitigar riesgos asociados a la implantación de los proyectos.

Metas de política ambiental 2030 - 2050 —.

Argentina se propone desplegar una economía del hidrógeno de bajas emisiones consistente con un desarrollo sostenible que contemple la protección del ambiente y la política climática nacional. Las metas de producción de hidrógeno establecidas en esta estrategia nacional contribuirán a atender las demandas del mercado doméstico y extranjero, convirtiendo al país en un aliado para la descarbonización global.

La certificación del hidrógeno de bajas emisiones fortalecerá el logro de estos objetivos y brindará información relevante para ampliar y mejorar los datos del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI). Del mismo modo, posibilitará que los proyectos de hidrógeno participen en los mercados de carbono y accedan a nuevas fuentes de financiamiento y otros incentivos destinados a la mitigación del cambio climático.

Argentina se propone desplegar una economía del hidrógeno de bajas emisiones consistente con un desarrollo sostenible que contemple la protección del ambiente y la política climática nacional. La certificación del hidrógeno de bajas emisiones fortalecerá el logro de estos objetivos

Con vistas a establecer un marco de sostenibilidad de la ENH, se ha puesto en marcha una Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) para: (i) proveer una mayor consistencia entre los objetivos productivos y las metas ambientales, en el marco del cumplimiento de la normativa ambiental vigente; (ii) generar condiciones de mayor certidumbre a las potenciales inversiones, estableciendo las bases para las Evaluaciones de Impacto Ambiental que deben afrontar los proyectos individualmente; y (iii) elaborar propuestas de zonificación potencial para la radicación de polos productivos.

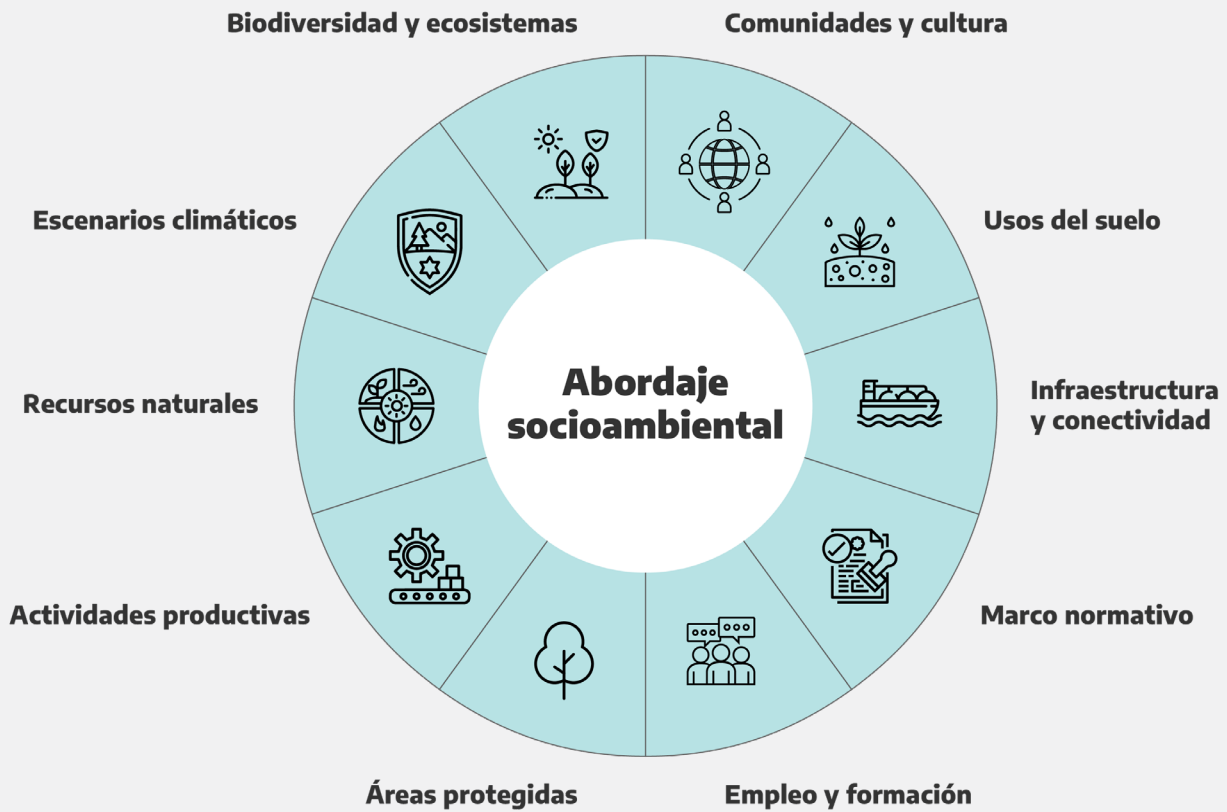
Evaluación Ambiental Estratégica

Siguiendo los lineamientos técnicos elaborados por la Secretaría de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación, la Secretaría de Asuntos Estratégicos lidera el proceso de Evaluación Ambiental Estratégica (EAE). Esta herramienta es clave para brindar un marco de sostenibilidad al despliegue territorial de la economía del hidrógeno.

Su implementación implica realizar un ejercicio de planificación participativa y federal, que contempla: (i) la recopilación y sistematización de información relativa a los variables socioambientales potencialmente afectadas por la producción de hidrógeno de bajas emisiones; (ii) la implementación de una metodología de comunicación y consulta con actores del territorio; (iii) la evaluación de los resultados obtenidos en un análisis multicriterio que pondera las oportunidades y los riesgos del despliegue territorial de la actividad; y (iv) la elaboración de un plan de seguimiento para futuras iteraciones de la EAE, que contemple la mejora de la información disponible y de cuenta del avance de proyectos y/o políticas implementadas en relación con la economía del hidrógeno.

La implementación de esta herramienta es consistente con la adhesión de la República Argentina al Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe (más conocido como “Acuerdo de Escazú”).

Abordaje socioambiental del hidrógeno



Hacia el año 2030, Argentina habrá revisado y, en caso de ser necesario, ampliado el alcance de la EAE a otros territorios y tecnologías, con el objetivo de generar mejores condiciones y prácticas en términos de comunicación y participación pública.

Acciones para construir un marco de sostenibilidad

- **Implementar la EAE y un plan de seguimiento para futuras revisiones.**
- **Promover la participación, comunicación y sensibilización vinculada a la producción de hidrógeno de bajas emisiones en el territorio nacional.**
- **Incorporar la participación de proyectos de hidrógeno en la implementación de la Estrategia Nacional de Uso de Mercados de Carbono.**
- **Sumar en el esquema de certificación de origen herramientas que permitan estimar la contribución del hidrógeno de bajas emisiones a la mitigación al cambio climático y a los desafíos del desarrollo sostenible.**
- **Identificar vacíos normativos e impulsar la creación de las regulaciones necesarias para una gestión ambientalmente segura y eficiente del hidrógeno y sus derivados, así como de los sitios de almacenamiento.**



Agenda de cooperación internacional y regional

América Latina se posiciona como potencia exportadora de hidrógeno. Se prevé que la región pueda dar respuesta a más del 30% de la demanda de Europa y Asia. Ante este escenario, **la articulación y cooperación por parte de Argentina con otros países de la región y sus socios del MERCOSUR será un elemento clave.** Algunos ejemplos de espacios para la coordinación regional son las certificaciones armonizadas del hidrógeno y el desarrollo de estándares técnicos, ambientales y de seguridad compatibles; la infraestructura conjunta y la complementación en las redes de proveedores.

Asimismo, el hecho que nuestro país esté alejado de los principales puntos de conflicto globales, habite en una zona de paz, con gobiernos democráticos hace 40 años y mantenga una convivencia amistosa y colaborativa con sus vecinos, sumado a la relación cooperativa con las principales economías del mundo, potencia a la Argentina y a la región como una opción confiable como proveedor de energía a través del hidrógeno.

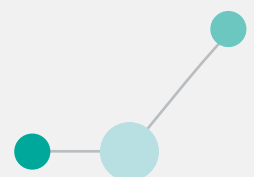
El país cuenta con una larga trayectoria de cooperación en la región y otros socios, como Alemania, Japón, entre otros. En el marco del Mercosur, la cooperación con Brasil es de gran relevancia por sus lazos como socios comerciales, las similitudes en sus matrices industriales y su desarrollo técnico-científico.

Avanzar en proyectos de colaboración para maximizar el potencial de las diversas fuentes de energía renovable disponibles en la región será un eje estratégico en materia de cooperación. Existen diversas oportunidades de aprovechamiento basadas en la capacidad de interconexión en la región, como las centrales hidroeléctricas conjuntas ubicadas entre Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay que podrían prestar apoyo a proyectos piloto que requieren pequeños volúmenes de hidrógeno. Otra oportunidad estratégica es la posibilidad de adaptar los gasoductos existentes entre Chile y Argentina para transportar hidrógeno puro como parte de una red que permita exportaciones regionales a través de los puertos del Pacífico y del Atlántico hasta la red de gasoductos existentes y en vías de ampliación.

La dinámica de articulación y complementación fortalecerá propuestas de valor para la fabricación de partes, componentes o ensamblado de equipos en un espacio regional, procurando alcanzar mayores niveles de integración vertical, conformando cadenas de valor a través de economías de escala que sean atractivas para los inversores y generen valor agregado en la región.

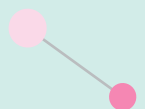
La articulación y cooperación con la región en materia de certificaciones, estándares ambientales, complementación de redes de proveedores y desarrollo de infraestructuras será clave para que América Latina se posicione como potencia exportadora

Además, será importante una coordinación regional para **aumentar la capacidad de influencia en los procesos de intercambio y definición de los estándares, requisitos y condiciones que se establecerán como ingreso a los mercados internacionales,** en la medida que estos países como potenciales exportadores puedan establecer criterios que potencien su competitividad a futuro.



Acciones para fortalecer la cooperación internacional y regional

- Consolidar la participación de Argentina en los foros internacionales y demás instancias de cooperación relacionadas con hidrógeno y/o transición energética.
- Utilizar la red de acuerdos comerciales de Argentina, su participación en plataformas internacionales y sus relaciones diplomáticas para movilizar recursos humanos y materiales que aceleren el despliegue de la economía del hidrógeno de bajas emisiones en el país.
- Promover acuerdos para la complementación y desarrollo de proveedores regionales.
- Coordinar con los países de la región estrategias productivas, normativas y comerciales dirigidas a atraer IED, aprovechando los marcos institucionales y políticos de la integración regional.
- Trabajar en forma conjunta con los socios del MERCOSUR en los procesos de definiciones técnicas relacionados con las certificaciones y normas técnicas en materia de hidrógeno, su transporte y utilización.



Resultados esperados a 2050

Costos **1,4 USD/kg** H2 verde

5 Mt anuales
producción total

4 Mt anuales
exportación

82.000
empleos de calidad

Certificación de origen
para acceder a los mercados

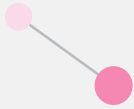
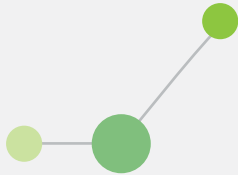
Evaluación Ambiental
Estratégica

U\$ 90.000 millones
inversión producción H2

Proveedores y
electrolizadores
1 MW nacionales

30 GW electrolizadores
y **55 GW** EERR

5 polos productivos
2 a 5 puertos
para exportación H2





Argentina
Presidencia

Secretaría de
Asuntos Estratégicos
