

12 perspectivas sobre el hidrógeno – Edición Argentina

IMPULSO



Supported by:



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Climate Action



INTERNATIONAL
CLIMATE
INITIATIVE



International
PtX Hub



FUNDACION
TORCUATO DI TELLA

on the basis of a decision
by the German Bundestag

12 perspectivas sobre el hidrógeno – Edición Argentina

DETALLES DE LA PUBLICACIÓN

IMPULSO

12 perspectivas sobre el hidrógeno –
Edición Argentina

ELABORADO POR

Agora Energiewende

www.agora-energiewende.de
info@agora-energiewende.de

Agora Industry

www.agora-industry.org
info@agora-industrie.de

Anna-Louisa-Karsch-Straße 2
10178 Berlin | Germany
P +49 (0)30 700 14 35-000

Fundación Torcuato Di Tella

Esmeralda 1376 | 1007 Ciudad Autónoma de
Buenos Aires, Argentina
T +54 11 5169 7000
<http://ftdt.cc>
mc@itdt.edu

GESTIÓN DEL PROYECTO

Fabian Barrera
fabian.barrera@agora-energiewende.de

AUTORES

Fabian Barrera (Agora Energiewende);
Luciano Caratori, Micaela Carlino, Hernán Carlino
(todos de la Fundación Torcuato di Tella)

Diseño: Karl Elser Druck GmbH | Theo Becker
Traducción: CPSL Documentation & Tools GmbH
Imagen de portada: Bruno De Regge | Unsplash

307/02-I-2023/ES

Versión 1.2, Enero 2024

NOTA SOBRE LA TRADUCCIÓN

Esta traducción al español de la publicación "12 insights on hydrogen - Argentina edition" ha sido actualizada para reflejar la adopción de la estrategia nacional del hidrógeno en Argentina en septiembre de 2023.

AGRADECIMIENTOS/VARIOS

Nos gustaría agradecer a las siguientes personas por sus diversas contribuciones: Matthias Deutsch, Leandro Janke, Zaffar Hussain, Camilla Oliveira, Emir Çolak (todos de Agora Energiewende).

Además, queremos agradecer a los socios de PtX Hub por sus revisiones y aportes: Veronica Chorkulak, Stephan Remler, Claudia Ilting, Manuel Andresh, Sonia Rueda, Nelly Eisenbach (todos de la GIZ); Dirección Nacional de Escenarios y Evaluación de Proyectos energéticos bajo la Subsecretaría de planificación energética de la Secretaría de Energía de Argentina, Luisa Lopez (DECHEMA), Raul Bertero (CEARE).

La iniciativa del International Power-to-X Hub es implementada por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en nombre del Ministerio Federal de Economía y Protección Climática de Alemania (BMWK, por sus siglas en alemán). Financiado por la Iniciativa Internacional sobre el Clima (Internationale Klimaschutzinitiative, IKI), el PtX Hub es una contribución a la Estrategia Nacional Alemana de Hidrógeno de 2020 y representa uno de los cuatro pilares del BMUV en el programa de acción de PtX iniciado en 2019.

Cómo citar este documento: *Agora Energiewende, Agora Industry, Fundación Torcuato Di Tella (2023): 12 perspectivas sobre el hidrógeno – Edición Argentina*

Prólogo

Estimado lector,

el papel del hidrógeno renovable está recibiendo cada vez más atención en la búsqueda global de la neutralidad climática. El potencial comercial del hidrógeno y sus derivados, junto con los importantes beneficios sociales y económicos de una economía del hidrógeno, está atrayendo nuevos actores a su juego. De igual forma, la crisis mundial de los combustibles fósiles ha subrayado la necesidad de nuevos proveedores de energía y un mercado industrial más diverso, desplazando la atención hacia los países ricos en energías renovables.

Argentina cuenta con vastos recursos energéticos que la posicionan como uno de los futuros potenciales exportadores de hidrógeno renovable y productos Power-to-X (PtX). Sin embargo, al emprender el camino para convertirse en uno de los centros de producción de

hidrógeno del mundo, ciertos aspectos deben analizarse cuidadosamente. El desarrollo de la infraestructura energética, el uso de gas natural, la certificación y las necesidades de inversión, son algunos de los temas más relevantes que se discuten actualmente a nivel nacional.

Este breve estudio tiene como objetivo contribuir a la discusión actual sobre las prioridades y los próximos pasos, que forman parte del proceso de toma de decisiones, para maximizar los beneficios locales de escalar la producción de hidrógeno renovable en Argentina. También destacamos la importante contribución que el país puede realizar a la descarbonización global, potencialmente a través de la exportación de productos verdes.

Espero que la lectura le sea tan grata como informativa.

Un cordial saludo,

Frank Peter; *Director, Agora Industry*

Conclusiones principales:

1

El hidrógeno renovable será crucial para alcanzar la neutralidad climática; sin embargo, debe reservarse para aplicaciones donde la electrificación directa no es posible. Al implementar la estrategia nacional de hidrógeno de Argentina, es primordial que se garantice que el uso del hidrógeno se priorice en sectores clave como la industria, el transporte marítimo y la aviación, así como para aportar flexibilidad a un sistema energético basado en renovables. Para otros usos, la electrificación directa suele ser más económica y eficiente.

2

Argentina está bien posicionada para convertirse en un importante productor mundial de hidrógeno debido a su vasto potencial energético. Los recursos energéticos renovables de Argentina pueden producir electricidad barata que puede convertirse en hidrógeno renovable. El gas natural con captura y almacenamiento de carbono podría utilizarse como tecnología puente, pero debería pasarse al hidrógeno renovable lo antes posible.

3

El desarrollo de la economía del hidrógeno renovable puede contribuir a descarbonizar la industria argentina y generar importantes beneficios socioeconómicos para el país. El hidrógeno puede facilitar la producción de productos verdes con un alto potencial de demanda para la exportación, como el amoníaco, los fertilizantes y los combustibles sintéticos. El aumento de la producción de estos productos estimularía el crecimiento industrial sostenible y contribuiría a la diversificación económica y a la creación de empleo.

4

La cooperación internacional podría reforzar la economía del hidrógeno renovable en Argentina e impulsar así la descarbonización mundial. La producción de hidrógeno renovable en Argentina puede beneficiar enormemente a la descarbonización global y, por lo tanto, es de interés para la comunidad internacional apoyar la expansión de la infraestructura y el desarrollo industrial del país. La cooperación regional también reforzaría la posición de América Latina como productora de hidrógeno en los foros internacionales sobre estándares y comercio.

Tabla de contenido

El hidrógeno como impulsor de la descarbonización en Argentina	5
12 perspectivas sobre el hidrógeno en Argentina	9
1. La diversificación de la matriz energética con energías renovables puede habilitar el potencial de hidrógeno en Argentina	9
2. El hidrógeno desempeña un papel fundamental en la neutralidad climática, pero secundario respecto a la electrificación directa	14
3. Debe priorizarse la infraestructura energética e incluirse la producción de hidrógeno en los planes de desarrollo a largo plazo	17
4. Argentina tiene el potencial de convertirse en un exportador global importante de productos PtX; debe asegurarse de que la producción vaya acompañada de la descarbonización de la demanda doméstica de hidrógeno	20
5. El posible futuro mercado de vehículos de hidrógeno se reduce a diario	23
6. La industria bioenergética argentina puede contribuir significativamente a su mercado de PtX	26
7. Argentina debe contemplar su papel en el comercio mundial para garantizar la competitividad de sus exportaciones a los mercados europeos y de Asia-Pacífico	28
8. La industria del hidrógeno tiene que ser competitiva y establecer normas que cumplan los requisitos del comercio internacional y la industria	31
9. El hidrógeno fósil con captura y almacenamiento de carbono (CCS) puede servir de tecnología puente, pero será desplazado por el hidrógeno renovable	33
10. Argentina puede identificar las posibles ubicaciones iniciales de los centros de hidrógeno, mediante el mapeo de recursos complementarios y economías locales en las provincias	37
11. Argentina debe crear un marco regulatorio claro para la producción de hidrógeno, desarrollar condiciones adecuadas para atraer la inversión y considerar el hidrógeno como un asunto energético y climático para el acceso a instrumentos financieros	40
12. Promover la I+D e incentivar la cooperación internacional puede acelerar la producción de hidrógeno	44
Referencias	47

El hidrógeno como impulsor de la descarbonización en Argentina

Resumen del contexto energético argentino

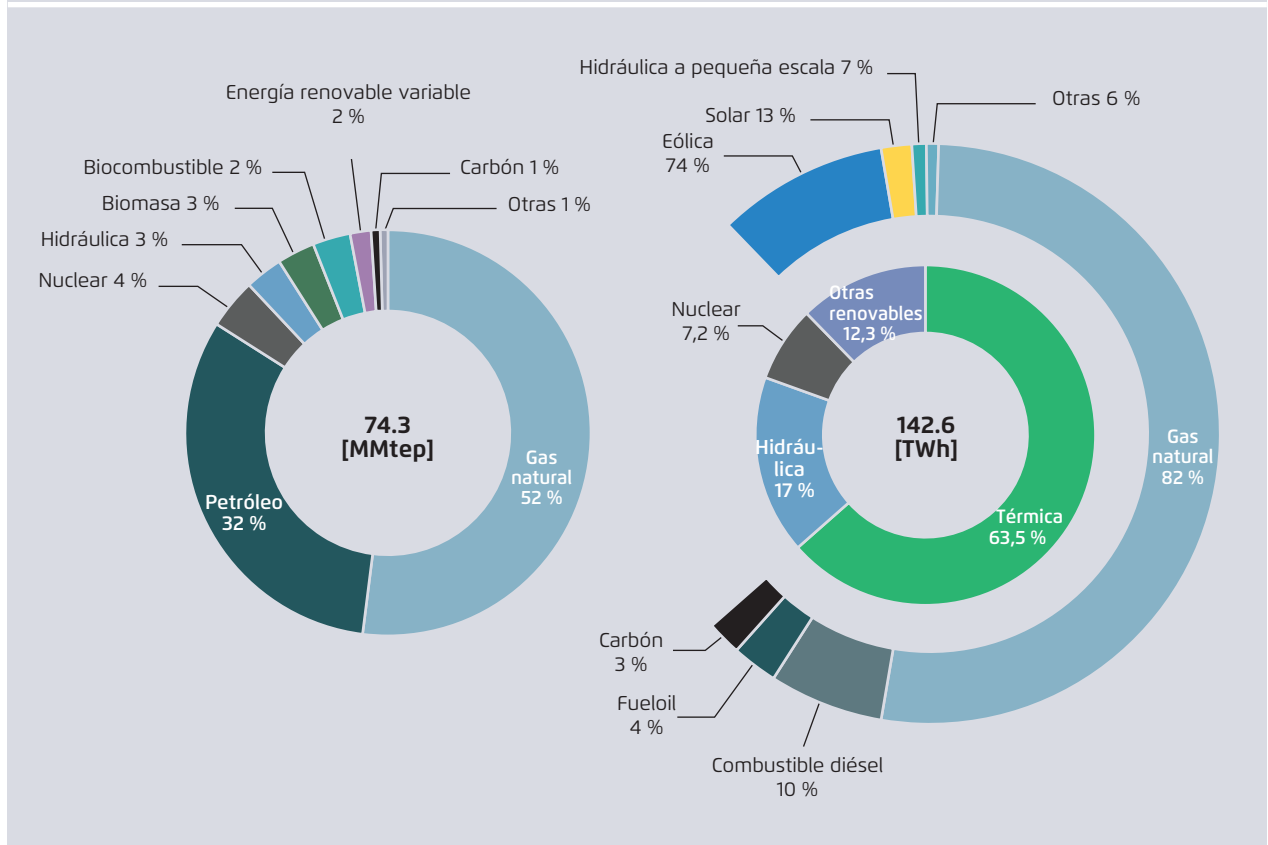
Argentina se caracteriza por contar con una amplia variedad de recursos energéticos. Dispone de una de las reservas de gas y petróleo no convencionales más grandes del mundo, la mayoría de las cuales se encuentran en el yacimiento de Vaca Muerta de la cuenca de Neuquén. Aunque el gas natural es la fuente de energía principal del país (véase la Figura 1), Argentina es un mercado atractivo para

la energía limpia debido a su abundante disponibilidad de recursos energéticos renovables.

La matriz energética del país está dominada, en gran medida, por los hidrocarburos, que representan el 85 por ciento del suministro total nacional de energía primaria, seguidos de la energía nuclear y las renovable (incluidas la hidráulica, solar, eólica y la bioenergía) (véase la Figura 1). Esta gran dependencia de los combustibles fósiles se refleja también en el suministro eléctrico del país, en el que el gas natural supone más

Suministro de energía primaria y generación de electricidad en Argentina en 2021

Figura 1



Agora Energiewende y Fundación Torcuato di Tella según CMMESA (2022)

del 60 por ciento de la generación eléctrica. La energía nuclear también constituye una fuente de energía importante y el país ha desarrollado conocimiento en esta tecnología, brindándole experiencia para continuar explorando su desarrollo. Las energías renovables ejercen un rol significativo en la producción nacional de electricidad, en particular, la energía hidroeléctrica (véase la Figura 1). Otras fuentes de energía renovable de importancia y gran evolución en el país incluyen la eólica, la solar fotovoltaica y la bioenergía. Cabe señalar que, a pesar de la abundancia de recursos energéticos, durante los meses de invierno, el suministro local de gas natural no cubre el consumo doméstico y, por lo tanto ha sido necesario importar GNL, diésel y fueloil para satisfacer la demanda total de electricidad.

Argentina ha fomentado el uso de energía renovable en la generación de electricidad durante más de una década. Por ejemplo en 2015, el país estableció objetivos claros a este respecto, siendo este un paso importante en la implementación de una serie de programas que ofrecían incentivos y beneficios al uso de las energías renovables, incluida la generación distribuida para usuarios particulares. El conjunto de políticas y normas aumentó la capacidad instalada de energía renovable en 4 349 MW entre 2015 y la primera mitad de 2022. Con respecto a la generación de electricidad, la proporción de energía renovable aumentó de menos del 2 por ciento al 14 por ciento.

En la actualidad, la infraestructura de transmisión energética, junto con las condiciones macroeconómicas del país¹, constituyen los principales obstáculos para el desarrollo del mercado de la energía renovable en Argentina. El resultado ha sido que la generación de

1 Durante las últimas décadas, Argentina se ha visto afectada por fluctuaciones económicas y desequilibrios macroeconómicos significativos que han limitado su crecimiento económico. Esta situación ha influido de forma negativa en el desarrollo de su infraestructura y otros sectores estratégicos, planteando desafíos importantes para la inversión y la planificación en infraestructura, y a su vez afectando a la confianza de los inversores.

energía renovable y no renovable ha experimentado una expansión moderada.

La importancia del hidrógeno

Los recursos energéticos de Argentina hacen que el país sea muy atractivo para la producción de hidrógeno, tanto renovable como aquel procedente de combustibles fósiles. El hidrógeno fósil con captura y almacenamiento de carbono (CCS, por sus siglas en inglés), supone una posible tecnología de transición, pero los responsables políticos deberían evaluar con atención los riesgos de las fugas de metano y la posibilidad de activos varados, teniendo en cuenta la demanda mundial de hidrógeno renovable y sus derivados o power-to-X (PtX). A medida que el mercado del hidrógeno se afiance durante los próximos años, las condiciones podrían mejorar de manera que Argentina se convierta en un productor competitivo de hidrógeno y de otros productos PtX.²

Las condiciones de la energía renovable en Argentina son óptimas para la generación de hidrógeno renovable. Por ejemplo, las estimaciones de horas de carga completa³ (factor esencial en la producción de hidrógeno renovable) sitúan el promedio ponderado del factor de capacidad de la energía eólica en el 47 por ciento en 2021 (4 149 horas de carga completa). El mismo año, la

2 Bajo el paraguas del PtX Hub, Agora Energiewende, en colaboración con el Öko Institut, ha diseñado el analizador de oportunidades de negocio (BOA, por sus siglas en inglés), una herramienta interactiva que promueve la exportación de una serie de moléculas PtX, como el amoníaco y el metanol verdes, combustibles sintéticos, etc. Esta herramienta permite a los usuarios calcular el costo de entrega de las moléculas PtX desde el país de exportación hasta el de importación, resaltando la ventaja competitiva de un país frente a otro. Argentina es uno de los países que se ha analizado en detalle. Es decir, la herramienta aporta datos locales más detallados con el fin de obtener información previa sobre la viabilidad del comercio de productos PtX en el país.

3 Las estimaciones se basan en datos extraídos de 99 plantas de generación de energía con una capacidad total instalada de 4 367 MW en el período entre 2019 y 2021.

solar fotovoltaica alcanzó un factor de capacidad del 29 por ciento (2 541 horas de carga completa) (CAM-MESA, 2022). No obstante, el factor de capacidad de los parques de energía eólica y solar fotovoltaica se distribuye de forma irregular a través del vasto territorio nacional. La Patagonia y Buenos Aires lideran la generación de energía eólica (cada región con factor de capacidad de alrededor del 50 por ciento o 4 300 horas al año), mientras que la región de Cuyo muestra mejores resultados en la solar fotovoltaica (31 por ciento o 2 650 horas de carga completa al año).

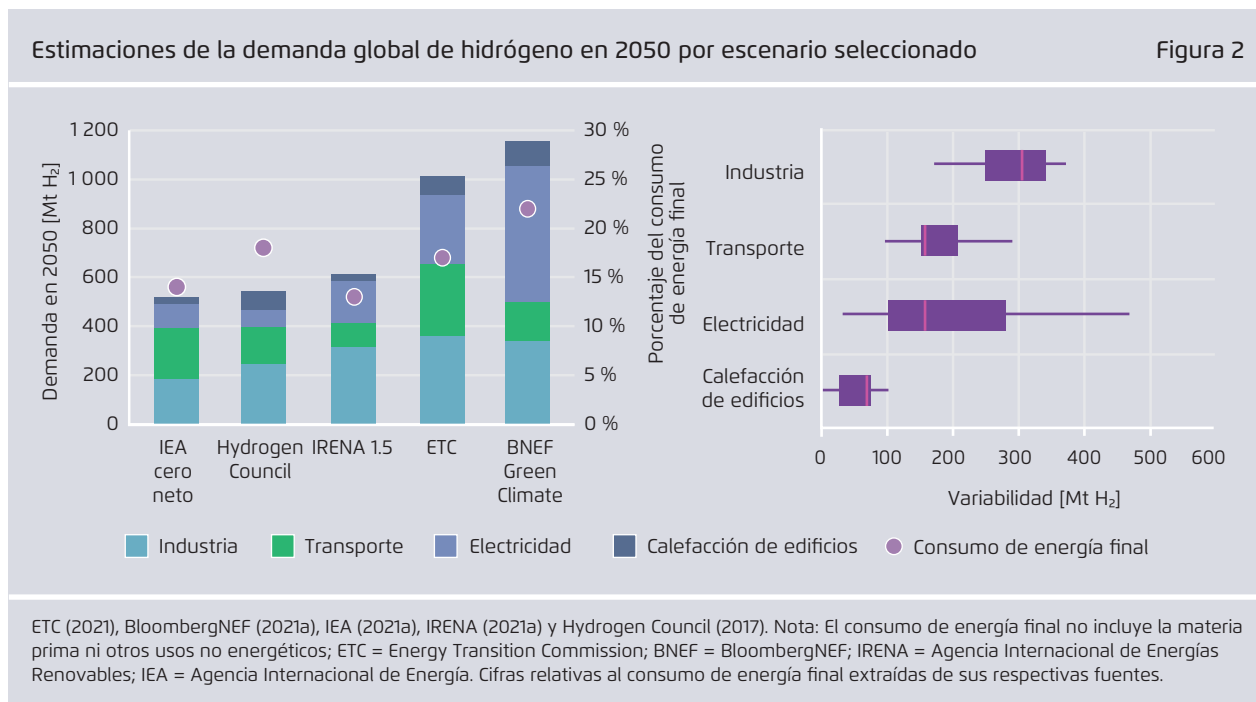
Además, la disponibilidad de terreno en Argentina también supone una ventaja notable en la producción de hidrógeno. Este hecho es incluso más significativo en la región de la Patagonia, que cuenta con importantes recursos energéticos y una baja densidad de población. Los proyectos de hidrógeno y nuevas energías generarían menor impacto en la población local y enfrentarían menor oposición. Sin embargo, todos los proyectos deberían garantizar un marco económico, ambiental, social y de gobernanza (EESG, por sus siglas en inglés) integral que mitigue los impactos locales negativos. La disponibilidad de

terreno aumenta el potencial del hidrógeno de Argentina, en particular, si se compara con los países europeos.

Demanda global de hidrógeno

El uso de hidrógeno en Latinoamérica corresponde solo al 5 por ciento de la demanda global (IEA, 2021), que alcanzó los 94 Mt en 2021 (IEA, 2022). Argentina, uno de los seis principales consumidores de hidrógeno de la región, utilizó alrededor de 350 kt en 2019. Se destinó, sobre todo, a aplicaciones industriales del hidrógeno, como el refinado de petróleo y la producción de amoníaco, metanol y hierro de reducción directa (DRI, por sus siglas en inglés) (IEA, 2021). Debido al uso extendido del hidrógeno y a su potencial de producción hidrógeno renovable, Argentina podría convertirse en un actor fundamental en el apoyo a la descarbonización mundial.

Se espera que la demanda de hidrógeno global siga creciendo en vista de la función que cumple en toda la cadena energética. Como muestra la Figura 2, diver-



Los escenarios energéticos globales estiman que la demanda de hidrógeno será de más de 600 Mt en 2050. La mayoría de estos escenarios concuerdan en que la demanda de hidrógeno estará motivada por la descarbonización de aplicaciones difíciles de descarbonizar en la industria y el transporte (principalmente aéreo y marítimo). El uso del hidrógeno en el sector eléctrico se destinará principalmente a las aplicaciones de almacenamiento que amplíen la integración de energías renovables variables en el sistema. Sin embargo, la demanda de hidrógeno en el sector eléctrico es la más difícil de pronosticar, ya que el panorama tecnológico es incluso más complicado que las alternativas disponibles para los sectores de calefacción y transporte. A pesar de ello, el hidrógeno puede expandirse más que cualquier otra tecnología gracias a sus muchas aplicaciones fuera del sector eléctrico.

Es probable que ciertos países que proyectan una gran demanda de hidrógeno bajo en carbono no sean capaces de satisfacer dicha demanda con producción local. En ese caso, los países que poseen abundantes fuentes de energía renovable, como Argentina, pueden desempeñar un papel esencial en el suministro de hidrógeno renovable a los centros con gran demanda. A modo de ejemplo, en consonancia con los objetivos alemanes de lograr la neutralidad climática en 2045, se estima que la demanda de hidrógeno del país será de 1,9 Mt H₂ en 2030 y 7,9 Mt H₂ en 2045⁴ (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut, 2021). Para ello, Alemania necesitaría importar más de dos tercios de su demanda de hidrógeno, cifra que la convertiría en uno de los mercados de importación de PtX más importantes de la UE.

4 Los valores originales corresponden a 63 TWh en 2030 y 265 TWh en 2045. Cálculo basado en el poder calorífico inferior del hidrógeno de 33,3 kWh/kg.

El papel de Argentina en la actual crisis energética mundial

Los precios globales de los combustibles fósiles han experimentado un rápido aumento desde 2021. La situación se ha agravado desde el estallido de la guerra de Rusia contra Ucrania, que ha tenido un efecto significativo en los precios del gas natural y ha contribuido a desencadenar una recesión económica mundial caracterizada por una inflación elevada y una reducción de la seguridad energética y alimentaria. El impacto en Europa ha sido severo: el precio del gas natural ha alcanzado precios récord de hasta 70 USD por mmbtu, lo que ha creado inseguridad en el suministro energético de la región y ha afectado a la cadena de suministro global de gas natural y GNL. Los elevados precios del gas natural también repercuten negativamente en el sector industrial. Las empresas europeas se plantean suspender actividades, y algunos productos hechos a partir del gas natural, como el amoníaco y el acero, alcanzaron precios récord en 2022. Ejemplo de ello son los precios de los fertilizantes a nivel mundial, que se han triplicado desde mediados de 2020 y tendrán repercusiones persistentes en la producción agrícola global (IEA, 2022b).

Los abundantes recursos energéticos de Argentina brindan al país una oportunidad única de convertirse en un actor fundamental en respuesta a la crisis energética mundial. Argentina puede contribuir a diversificar la cadena de suministro global de fertilizantes y otros productos PtX, así como aliviar la presión en las rutas del gas natural afectadas por el conflicto en Ucrania. De este modo, los recursos energéticos de Argentina de fuente fósil y renovable, pueden contribuir de forma significativa a aliviar la crisis energética mundial, a la vez que posicionan al país como un centro global de productos PtX.

12 perspectivas sobre el hidrógeno en Argentina

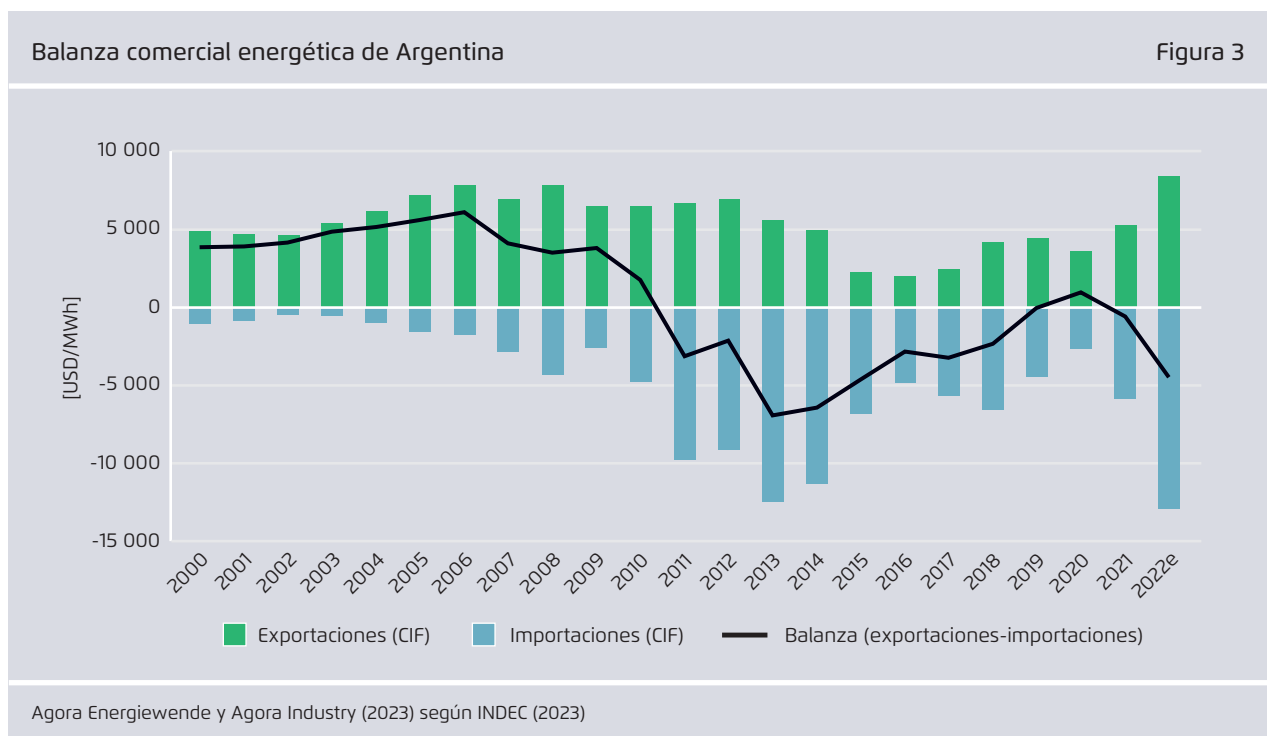
1 La diversificación de la matriz energética con energías renovables puede habilitar el potencial de hidrógeno en Argentina

Argentina posee abundantes recursos energéticos sin explotar capaces de satisfacer las necesidades energéticas del país

La energía renovable puede mitigar la dependencia del país de los combustibles fósiles y crear oportunidades de desarrollar un sector industrial más sustentable y una mayor capacidad de producción del hidrógeno renovable y los productos PtX. En la generación de energía y electricidad en Argentina, predominan los combustibles fósiles, entre ellos, el gas natural, que desempeña un papel fundamental. No obstante, la actual infraestructura impide que el país aproveche al máximo sus recursos. Por ejemplo, el país tiene que importar GNL, diésel y fueloil durante los meses de

invierno, cuando la demanda energética es elevada, aunque esta situación estaría en proceso de ser modificada gracias a nuevos desarrollos de infraestructura energética. La Figura 3 muestra la balanza comercial energética de Argentina. Se puede apreciar que las importaciones de energía todavía suponen un costo considerable para el país. Argentina puede reforzar su seguridad energética mediante la diversificación de su matriz y de este modo disponer de mayor variedad de fuentes para satisfacer su demanda energética.

Las estimaciones sitúan el potencial bruto total de los recursos de energía solar fotovoltaica, eólica, hidráulica y geotérmica de Argentina en 29 000 TWh al año, liderado por la energía solar fotovoltaica (57 por ciento)



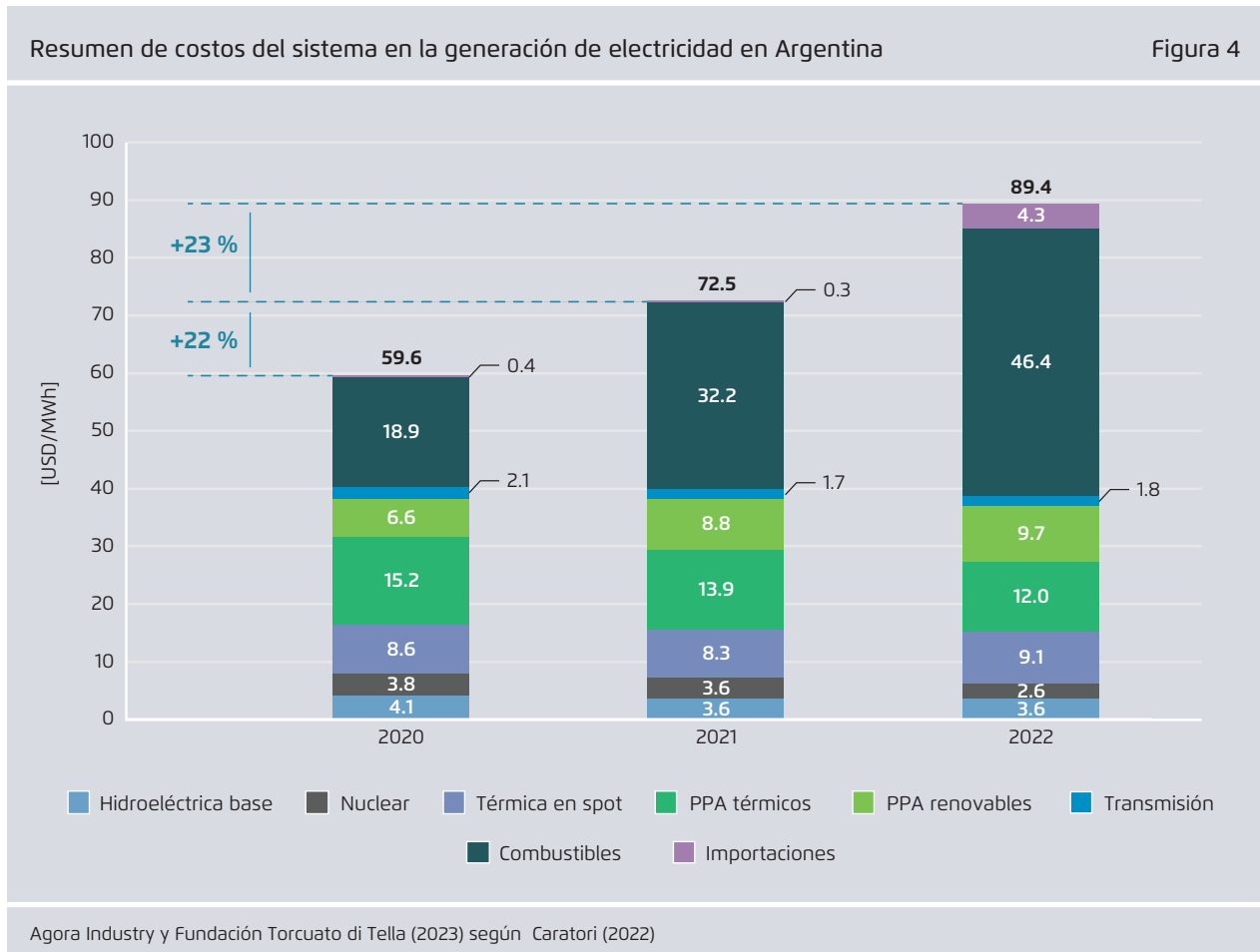
y la eólica (42 por ciento) (IDB, 2017). Asimismo, las estimaciones de IRENA sobre el potencial de energía renovable de Argentina comparado con el promedio mundial la colocan en el extremo superior en cuanto a la energía solar y la eólica (IRENA, 2022b). El potencial sin explotar del país en materia de renovables puede ayudar de manera significativa a satisfacer la demanda energética ante un potencial crecimiento de los niveles de electrificación y producción de hidrógeno renovable.

Un mayor desarrollo de las energías renovables puede aportar importantes beneficios al país

El desarrollo de la energía renovable en Argentina no solo puede ayudar a mejorar la seguridad energética,

sino también a disminuir los subsidios a la electricidad. La energía renovable puede contribuir a mitigar el impacto del costo de los combustibles en los costos totales del sistema, el principal componente del costo de la electricidad en Argentina, como muestra la Figura 4. La reducción del costo de la electricidad puede ayudar a reducir la diferencia que cubren los subsidios y de este modo contribuir a disminuir el gasto público. Además, descendería el precio de la electricidad para el sector industrial, lo cual facilitaría la electrificación y su descarbonización.

En 2021, los subsidios a la electricidad para cubrir la diferencia entre las tarifas domésticas y los costos del sistema ascendieron al 1,8 por ciento del PIB de Argentina, mientras que las tarifas eléctricas para los hogares cubrían solo el 37 por ciento de los



Cuadro de texto 1: Reducir las emisiones de carbono: compromisos climáticos de Argentina

Argentina ratificó el Acuerdo de París en septiembre de 2016, lo que obligó al país a preparar y comunicar sus contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC, por sus siglas en inglés). Las NDC presentadas por Argentina en 2021 aumentaron la ambición del país en reducción de emisiones. El objetivo actual consiste en mantener las emisiones netas por debajo de 349 MtCO_{2e} para 2030. Esta cifra es un 26 por ciento más ambiciosa a la presentada en su NDC en 2017 (483 MtCO_{2e} para 2030). Asimismo, Argentina se ha comprometido a hacer los esfuerzos por alcanzar las cero emisiones netas en 2050.

El sector energético es el mayor responsable de las emisiones de carbono del país, con más de la mitad (51 por ciento) de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (generación de energía, consumo y emisiones fugitivas). La mayoría de las emisiones del sector energético proceden de la combustión de combustibles fósiles. El segundo mayor responsable de las emisiones argentinas es la agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra (39 por ciento), seguido de los procesos industriales y el uso de productos (6 por ciento). El 4 por ciento restante proviene de las emisiones de los vertederos.

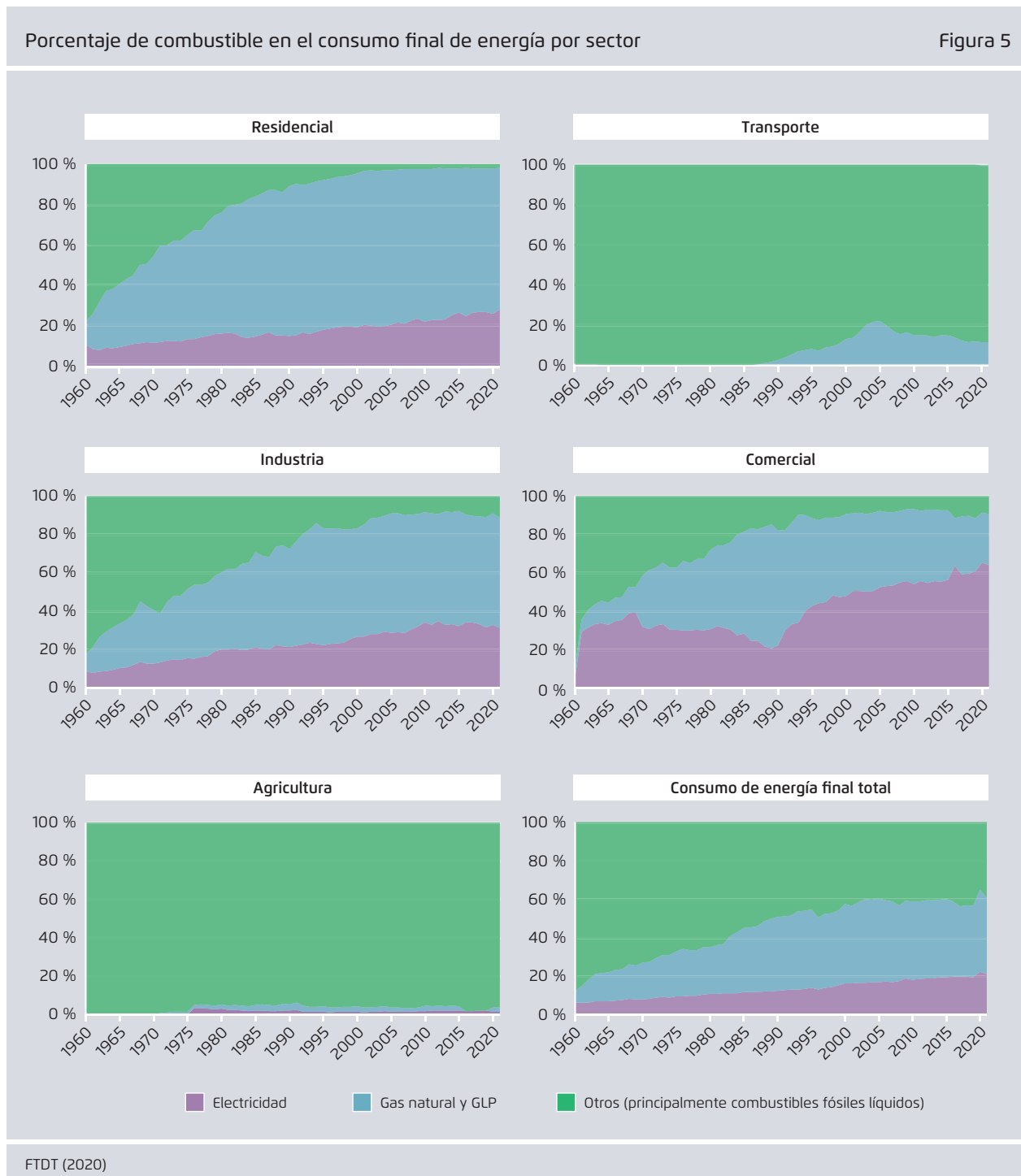
Fuente: MAyDS, 2022

costos totales del sistema (CMMESA, 2021). Se espera que estas cifras crezcan en 2022 como consecuencia de la crisis mundial del precio de los combustibles fósiles. Es probable que la diferencia entre las tarifas y los costos totales del sistema crezca debido a la dependencia de los precios de la electricidad en los costos del combustible y a la volatilidad del cambio de moneda extranjera (principalmente entre el dólar estadounidense y el peso argentino). Los contratos de compra de energía (PPA, por sus siglas en inglés) con algunos productores de Argentina se establecen en dólares estadounidenses. De igual modo, los costos del gas natural doméstico y los combustibles importados (GNL y combustibles fósiles líquidos) se gestionan en la misma moneda. La crisis mundial de los precios del combustible fósil y el efecto del cambio climático en la generación hidroeléctrica argentina han empeorado aún más el problema, en particular, durante los meses de invierno. En julio de 2022, los costos totales del sistema aumentaron un 75 por ciento (véase la Figura 4). La situación también es crítica para la industria. El sector no recibe subsidios para

cubrir los costos de la electricidad, por lo que los usuarios industriales se ven obligados a cubrir íntegramente el aumento de los costos totales del sistema. Una mayor penetración de las renovables podría rebajar estos costos mediante una reducción del consumo de combustible, junto con el costo promedio de la generación, ya que los PPA de renovables se firman por debajo de los costos medios del sistema.

La descarbonización del sector energético exigirá el uso de otras tecnologías con bajas emisiones de carbono

Argentina podría adoptar una serie de estrategias para reducir su dependencia de los combustibles fósiles y disminuir las emisiones del sector energético, en consonancia con sus acuerdos climáticos y el objetivo de hacer esfuerzos para alcanzar la neutralidad climática antes de 2050. Esto mejoraría también la seguridad energética al reducir la necesidad de importar combustibles fósiles líquidos y GNL.



El sector del transporte consume actualmente grandes cantidades de combustibles fósiles líquidos (véase la Figura 5). Tecnologías como los vehículos eléctricos (véase el cuadro de texto 2) podrían facilitar la descarbonización y mejorar otros aspectos de la integración

sectorial que incrementarían la flexibilidad del sector energético. El sector residencial es un gran consumidor de gas natural, pues el 70 por ciento de la energía del sector en 2021 proviene de este recurso energético, principalmente para el calentamiento de agua, la

calefacción y la cocción. El sector residencial en Argentina cuenta con la mayor participación del gas natural de Latinoamérica y el Caribe. El gas natural es esencial durante los meses de invierno debido a la elevada demanda térmica (sieLAC-OLADE, 2022). La introducción de tecnologías bajas en carbono en este sector, como las bombas de calor, las cocinas eléctricas, los calentadores solares de agua, etc., pueden tener varios impactos positivos, como (1) la diversificación del suministro energético del sector, que incrementaría la seguridad energética; (2) el aumento de la entrada de energía renovable en la generación de electricidad (centralizada y distribuida) y en la calefacción; (3) la integración de los sectores de uso final a fin de mejorar la flexibilidad del sector eléctrico; y (4) la contribución a la reducción de emisiones en el sector. La promoción de este tipo de tecnologías en el sector debería combinarse con estrategias para fomentar aún más la electrificación con energías renovables y eficiencia energética.⁵

5 El PtX Hub en Argentina ha desarrollado el estudio de escenarios de hidrógeno y PtX para el país, que comprende una serie de rutas detalladas de transición energética para Argentina hasta 2050. Las rutas muestran cómo el hidrógeno y los productos PtX pueden ayudar en la descarbonización de los sistemas nacionales de electricidad, térmicos, de transporte e industriales, incluidas las exportaciones. Las rutas están diseñadas para ayudar a priorizar estrategias de desarrollo en el sector energético del país.

Para maximizar los beneficios, el desarrollo de la energía renovable debe acompañar la producción de hidrógeno

La promoción de la energía renovable en Argentina puede tener varias repercusiones positivas en el sector energético nacional. Además, la energía renovable es esencial para el desarrollo del hidrógeno renovable. Los recursos de energía renovable argentinos indican que el país tiene potencial para llegar a liderar el comercio de hidrógeno y PtX.

La expansión de la energía renovable y el inicio de la producción de hidrógeno a gran escala exigirán una inversión considerable en la infraestructura energética nacional. Por ende, es importante coordinar estos esfuerzos con el objetivo de maximizar sus beneficios sin afectar el proceso de descarbonización. La producción inicial de hidrógeno renovable de forma "off-grid" podría servir como punto de partida para la economía del hidrógeno del país, pero a mediano plazo debería pensarse en integrar estos proyectos al sector energético general. Esto reforzaría la descarbonización, la integración sectorial y la flexibilidad del sistema energético argentino, a medida que se va desarrollando la economía del hidrógeno en el país.

2

El hidrógeno desempeña un papel fundamental en la neutralidad climática, pero secundario respecto a la electrificación directa

El papel del hidrógeno en futuros sistemas energéticos

Los países alrededor del mundo amplían sus objetivos climáticos al establecer objetivos de cero emisiones netas a largo plazo. Argentina no es una excepción, se ha comprometido a hacer los esfuerzos por alcanzar la neutralidad en carbono para el 2050. Numerosos estudios han analizado las rutas que llevarían a cumplir con los compromisos de cero emisiones netas a mediados del siglo. La mayoría de ellos concuerdan en que la implantación de la energía renovable contribuirá la mayor parte a la transición energética. Por ejemplo, el escenario de 1,5 °C de IRENA muestra que el 90 por ciento del total de la descarbonización mundial en 2050 comprenderá energías renovables de fuentes directas, electrifica-

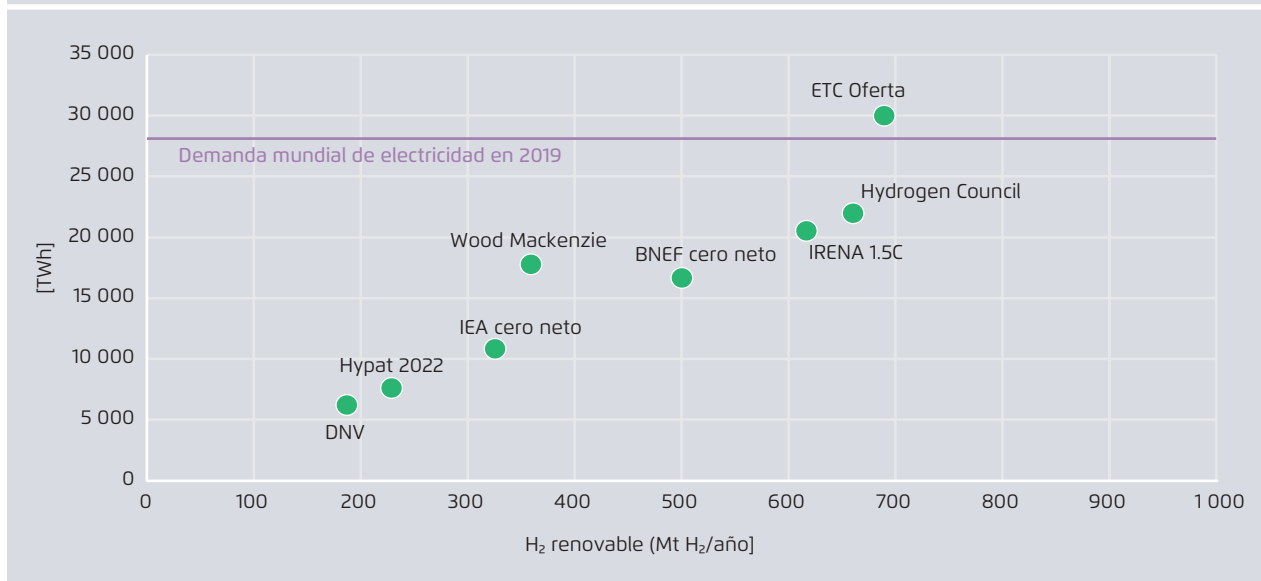
ción, eficiencia, bioenergía con CCS e hidrógeno renovable. Sin embargo, el hidrógeno ayudará a reducir solo un 10 por ciento del total de emisiones mundiales hasta 2050 (IRENA 2022).

Del mismo modo, el escenario de cero emisiones netas de la IEA subraya el papel de la electrificación en la descarbonización del sector energético mundial. Este escenario prevé que la electricidad dominará el uso de la energía en los sectores de uso final y representará más de la mitad del consumo final total hasta 2050 (IEA, 2022c).

Pese al rol significativo de la electrificación en la descarbonización global, algunas aplicaciones (la mayoría en los sectores industrial y del transporte), no podrán electrificarse y, por lo tanto, dependerán

Electricidad renovable necesaria para producir hidrógeno renovable en los escenarios globales para 2050

Figura 6



Agora Energiewende y Agora Industry (2023) según BNEF (2022); DNV (2022a); Hydrogen Council (2022); IEA (2022b); IRENA (2022); Riemer et al. (2022)





del hidrógeno y sus derivados. Sin embargo, la producción de hidrógeno renovable requerirá una cantidad importante de energía renovable, como muestra la Figura 6. Debido a que se producen pérdidas energéticas del 30 por ciento durante el proceso de producción de hidrógeno y otras pérdidas durante su uso, el hidrógeno puede ser hasta un 84 por ciento menos eficiente que las bombas de calor, cuando se compara el suministro de energía equivalente como parte de la electrificación directa en el sector residencial. Asimismo, el hidrógeno puede llegar a ser hasta un 60 por ciento menos eficiente que los vehículos eléctricos de batería en el sector del transporte. El hidrógeno renovable necesita de 2 a 4 veces más capacidad de energía renovable para alcanzar el mismo uso energético final que la electrificación directa (Agora Energiewende y Agora Industry (2021)). Por lo tanto, el hidrógeno es un elemento fundamental para la descarbonización mundial, pero es secundario respecto a la electrificación en el camino a la neutralidad climática.

Un conjunto claro de aplicaciones “sin arrepentimiento”

El aumento de la producción de hidrógeno ya sea en Argentina o en otro lugar, exigirá grandes inversiones. Una vez más, la producción de hidrógeno renovable requerirá un amplio despliegue de capacidad energética renovable. De este modo, es necesario priorizar el uso del hidrógeno en aplicaciones en las que este sea la única opción para la descarbonización. Asimismo, el hidrógeno no debe competir con otras tecnologías de descarbonización más eficientes, como las bombas de calor o los vehículos eléctricos. Con el propósito de alcanzar el objetivo mundial de 1,5 grados, el hidrógeno debe complementar a la electrificación a gran escala y el despliegue eficiente de energía solar y eólica, respaldadas por la hidráulica, nuclear, bioenergía, geotérmica y el almacenamiento energético.

Como muestra la Figura 7, Agora ha elaborado un resumen de las diferentes aplicaciones del hidrógeno

Necesidad de moléculas además de electrones verdes **Figura 7**

¿Se necesitan moléculas verdes?	Industria 	Transporte 	Sector energético 	Edificios 
Sin arrepentimiento	<ul style="list-style-type: none"> Agentes de reacción (acero por DRI) Materias primas (amoníaco o químicos) 	<ul style="list-style-type: none"> Aviación de larga distancia Transporte marítimo 	<ul style="list-style-type: none"> Respaldo a energías renovables en función de la cuota eólica y solar y de la estructura estacional de la demanda 	<ul style="list-style-type: none"> Redes de calefacción (carga de calor residual *)
Controversial	<ul style="list-style-type: none"> Calefacción a altas temperaturas 	<ul style="list-style-type: none"> Camiones y buses ** Transporte aéreo y marítimo de corta distancia Trenes *** 	<ul style="list-style-type: none"> Sólo cuando sea necesario, en función de otras opciones de flexibilidad y almacenamiento 	
Mala idea	<ul style="list-style-type: none"> Calefacción a bajas temperaturas 	<ul style="list-style-type: none"> Autos Vehículos livianos 		<ul style="list-style-type: none"> Calefacción de edificios

* Después de usar lo mayor posible energía renovable, calor ambiental y residual. Especialmente pertinente para grandes sistemas urbanos de calefacción centralizados existentes con flujos de alta temperatura. Tenga en cuenta que, según el formulario común para los informes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la calefacción urbana se clasifica como parte del sector eléctrico.

** Producción en serie de buses y vehículos pesados eléctricos más avanzada que los mismos a base de hidrógeno. Por el momento, hidrógeno para vehículos pesados o carga solo se implementará en lugares con sinergias (puertos o centros industriales).

*** Según la distancia, la frecuencia y las opciones de suministro de energía.

Agora Energiewende y Agora Industry (2021)

que deberían priorizarse en diferentes sectores de uso final. Estas aplicaciones se han identificado mediante una revisión de escenarios de sistemas energéticos prominentes a nivel mundial. Este conjunto de aplicaciones pretende proporcionar una orientación a los responsables de políticas que elaboran estrategias y hojas de ruta nacionales para usos específicos del hidrógeno. Para Argentina, las redes de calefacción y el respaldo a la energía renovable podrían no parecer aplicaciones relevantes, teniendo en cuenta el desarrollo descentralizado del sector de la calefacción en el país y la flexibilidad proporcionada por la generación eléctrica con gas natural y energía hidroeléctrica. No obstante, dependiendo del desarrollo que tenga el sector energético en el país, estas aplicaciones podrían ganar más importancia en el futuro.

Electrones y moléculas para descarbonizar la economía del país

Es muy probable que la producción de hidrógeno argentina contribuya a descarbonizar la demanda interna y que se pueda exportar a regiones de mayor intensidad energética, como la Unión Europea y Asia Oriental. Como se ha mencionado antes, los países latinoamericanos no tienen una gran demanda de hidrógeno, pero se prevé que esta crezca en los próximos años, ya que el sector industrial busca alternativas a los combustibles fósiles. La IEA estima que la demanda de hidrógeno en la región aumente en un 67 por ciento en 2030 y alcance cerca de 6,8 Mt H₂. El uso de hidrógeno tenderá a disminuir en la refinación de petróleo, pero aumentará en los sectores químico, del acero, del cemento y del transporte.

El impulso actual del desarrollo de hidrógeno ofrece a Argentina la oportunidad de transformar su industria en un sector más sustentable, al mismo tiempo que diversifica sus actividades económicas y genera

crecimiento. La producción de hidrógeno renovable en el país puede priorizarse con el objetivo de ampliar el uso industrial de productos PtX, como el amoníaco y el metanol verdes, y los combustibles sintéticos, junto con productos de mayor valor agregado como los fertilizantes y el acero verdes. Mediante el incremento de la producción de moléculas y productos verdes, Argentina puede participar activamente en los mercados internacionales, que priorizan cada vez más estos productos.

Ahora bien, en primer lugar, Argentina necesita encontrar un equilibrio adecuado entre el uso del gas natural y de las energías renovables a medida que desarrolla su industria local. Una opción consiste en priorizar la exportación de productos PtX y, al mismo tiempo, usar el gas natural en el ámbito local, siempre manteniendo la meta de pasar a las energías renovables lo antes posible. La producción de hidrógeno renovable a gran escala puede crear también un mercado de energía renovable más dinámico y fomentar su uso en los sectores eléctrico e industrial. El desarrollo sustentable de la industria basado en productos verdes modernizará el sector y mejorará su competitividad a escala mundial. La fabricación y el uso de productos PtX conllevará importantes beneficios socioeconómicos para el país, como la creación de empleo, una mayor seguridad alimentaria (a través de los fertilizantes) y la mejora del bienestar social (con la reducción de la pobreza energética y el impacto a la salud). Los nuevos proyectos de energía renovable e hidrógeno deberán tener en cuenta a las comunidades locales, las áreas protegidas, el acceso al agua y otros factores relevantes para garantizar una transición justa y equitativa, en particular, en regiones con gran potencial en materia de energías renovables. Por lo tanto, el desarrollo del hidrógeno deberá contar con un marco EESG integral que maximice esos posibles beneficios.

3

Debe priorizarse la infraestructura energética e incluirse la producción de hidrógeno en los planes de desarrollo a largo plazo

La actual infraestructura energética de Argentina limita su potencial

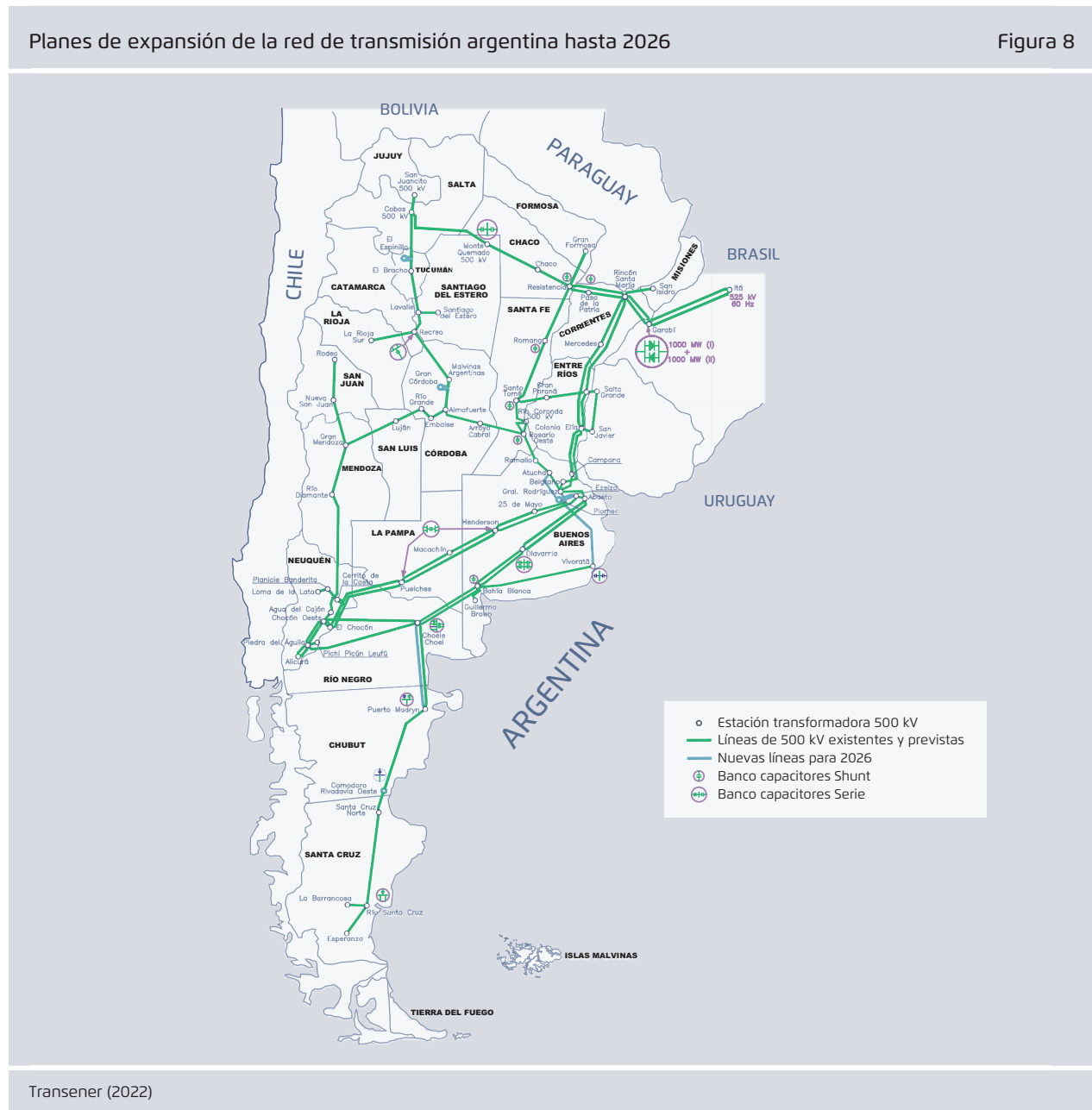
Las ambiciones de ampliar la economía del hidrógeno necesitarán mejorar la actual infraestructura energética del país para aprovechar al máximo sus recursos. Los planificadores energéticos de Argentina deberán considerar también los posibles futuros proyectos de hidrógeno y de renovables, tanto descentralizados como conectados a la red, con el fin de garantizar una integración adecuada en el sistema a largo plazo. Los efectos y ventajas de una mayor integración de estos proyectos deberán evaluarse con el objetivo de adoptar medidas apropiadas que aseguren una operación flexible.

La actual infraestructura energética del país constituye un factor restrictivo para el desarrollo de la generación eléctrica, tanto fósil como renovable. El aumento en la producción de hidrógeno someterá la infraestructura eléctrica a una mayor presión. Por ejemplo, el hidrógeno renovable requerirá un gran despliegue de energía renovable conectada a la red de transmisión. Este es uno de los principales desafíos a los que se enfrentan los proyectos renovables en el país. Las regiones con abundantes fuentes de energía renovable, como la Patagonia, las zonas meridional y atlántica de la provincia de Buenos Aires, el noroeste y la región de Cuyo, necesitarán importantes inversiones en infraestructura para ampliar la capacidad de transmisión de alta tensión. Solo así, estas regiones podrán aceptar más proyectos de este tipo y transportar la energía a los centros de demanda, como el Gran Buenos Aires (CADER, 2022). Teniendo en cuenta los requisitos operativos del sistema, la Figura 8 muestra la propuesta del operador de la red para ampliar la red eléctrica hasta 2026.

El Gobierno ha publicado recientemente su Plan Nacional de Expansión del Transporte Eléctrico. Este plan contempla el período hasta el 2035 y pretende dar prioridad a algunos de los trabajos en la red eléctrica para incrementar su capacidad de transmisión en un 36 por ciento (Secretaría de Energía, 2023). Se estima que la inversión total necesaria se acerca a los 4500 millones de dólares estadounidenses. A largo plazo, la ampliación de la energía renovable en Argentina necesitará que se introduzcan nuevas mejoras en la infraestructura eléctrica que permitan una mayor integración de las fuentes de energía renovable. También se requerirán servicios complementarios que aumenten la flexibilidad.

La actual infraestructura de gas natural ofrece una ventaja clara

Argentina ya dispone de una infraestructura de gas natural compuesta por gasoductos y puertos de GNL para la importación. En última instancia, estos elementos podrían adaptarse para transportar hidrógeno y productos PtX. No obstante, cabe resaltar que actualmente la infraestructura existente no permite desplegar todo el potencial de los recursos gasíferos del país, pues no es posible transportar una mayor producción desde los centros de producción hacia los centros de demanda y los mercados internacionales. Por otro lado, las redes de distribución tampoco serían ideales, ya que el uso residencial no representa una aplicación conveniente para el hidrógeno. En este caso, los recursos de gas natural son más competitivos y eficientes. A largo plazo, sin embargo, deberían tenerse en cuenta otras tecnologías con bajas emisiones de carbono (bombas de calor, calentadores solares de agua, etc.) para reducir las emisiones del sector.



La red de gasoductos nacional es muy amplia, con un total de alrededor de 98 000 km. La mayoría de ellos se usan para la distribución de gas, con 82 337 km dedicados, en gran parte, al suministro doméstico. El país cuenta en la actualidad con dos terminales de GNL, Escobar y Bahía Blanca, esta última reactivada en 2021. Argentina dispone, además, de gasoductos interconectados con Chile, Bolivia, Brasil y Uruguay.

Al mismo tiempo, la actual infraestructura constituye uno de los factores que limitan el incremento de la producción de gas natural en el país. El resultado es que la producción no ha variado desde principios de 2000. Actualmente se lleva a cabo el proyecto de un nuevo gasoducto que conectará la cuenca de Neuquén y los recursos de hidrocarburo no convencional de Vaca Muerta con la provincia de Buenos Aires. La primera parte del proyecto, aún en desarrollo al

escribir este reporte, aumentará el transporte de gas natural en un 25 por ciento y eliminará la necesidad de importar combustible. La segunda fase sigue a la espera de recibir apoyo financiero. En otras zonas del país se están desarrollando otros proyectos de expansión de los gasoductos. Cabe señalar que los futuros proyectos de infraestructura de gas natural deberán someterse a una evaluación cuidadosa, puesto que el avance de la descarbonización durante las próximas décadas podrá causar que la demanda de hidrocarburos caiga, lo que podría provocar activos subutilizados de los nuevos proyectos con combustibles fósiles.

Los puertos y la experiencia comercial desempeñarán un papel más relevante

Si Argentina quiere convertirse en un exportador de hidrógeno y productos PtX, necesitará una buena coordinación con el sistema de comercio existente, en especial en lo que respecta a los puertos, donde se tendrá lugar la mayor parte del almacenamiento, transporte y producción. La amplia experiencia comercial de Argentina y su infraestructura serán una ventaja importante en el diseño de los planes de exportación de PtX. De la misma forma, el objetivo de aumentar la producción y el comercio de hidrógeno requerirá la expansión y modernización de la actual infraestructura. Coordinar los planes de expansión de los puertos con las ambiciones de comercialización del hidrógeno y PtX será fundamental para sacar el mayor provecho a las inversiones en infraestructura, y así obtener beneficios conjuntos, como el uso de las tecnologías bajas en carbono en las actividades comerciales, parte del mercado de productos PtX.

Argentina tiene una extensa costa y una vasta red de vías navegables interiores. Aun así, la mayoría de sus aguas son muy poco profundas y demandan dragado y mantenimientos constantes (Palomar 2011). Cada

año, cien unidades portuarias en todo el país administran 185 millones de toneladas de mercancías. La mayoría de los cargamentos de grano y contenedores de Argentina se gestiona en los puertos ubicados en la vía interior navegable del troncal Santa Fe-Océano. La actividad portuaria de la región costera de la provincia de Buenos Aires se centra principalmente en combustibles, productos agrícolas a granel, fertilizantes y, en menor medida, contenedores (World Bank, 2022). Por el contrario, los puertos de la costa patagónica son de baja densidad y están muy especializados, en gran parte en el tráfico de cabotaje, como los hidrocarburos líquidos a granel.

El Plan de Modernización Portuaria elaborado por el Ministerio de Transporte comprende una nueva terminal y un muelle de carga en el puerto de Ushuaia. Incluye, además, planes para la extensión y modernización de varios puertos existentes y describe los proyectos de dragado que garantizan las condiciones de navegabilidad (Ministerio de Transporte de Argentina, 2023). Adicionalmente, han sido anunciados varios proyectos de infraestructura por parte del sector privado.⁶

No obstante, en general, la mayor parte de los planes de expansión de Argentina no definen qué papel desempeñará la nueva infraestructura portuaria en el desarrollo de la cadena de valor del hidrógeno. Si se materializa esta cadena, los planes estratégicos del país a largo plazo tendrán que incluir la ubicación de nuevos centros industriales de hidrógeno, previsiones de las exportaciones de PtX y otra información esencial.

6 YPF y Petronas han anunciado el desarrollo de un puerto de exportación y producción de GNL en la región de Bahía Blanca. Asimismo, la empresa australiana Fortescue ha anunciado la construcción, en la provincia de Río Negro, de un puerto dedicado exclusivamente a la exportación de hidrógeno y productos PtX.

4

Argentina tiene el potencial de convertirse en un exportador global importante de productos PtX; debe asegurarse que la producción vaya acompañada de la descarbonización de la demanda doméstica de hidrógeno

Argentina como centro de producción de productos PtX

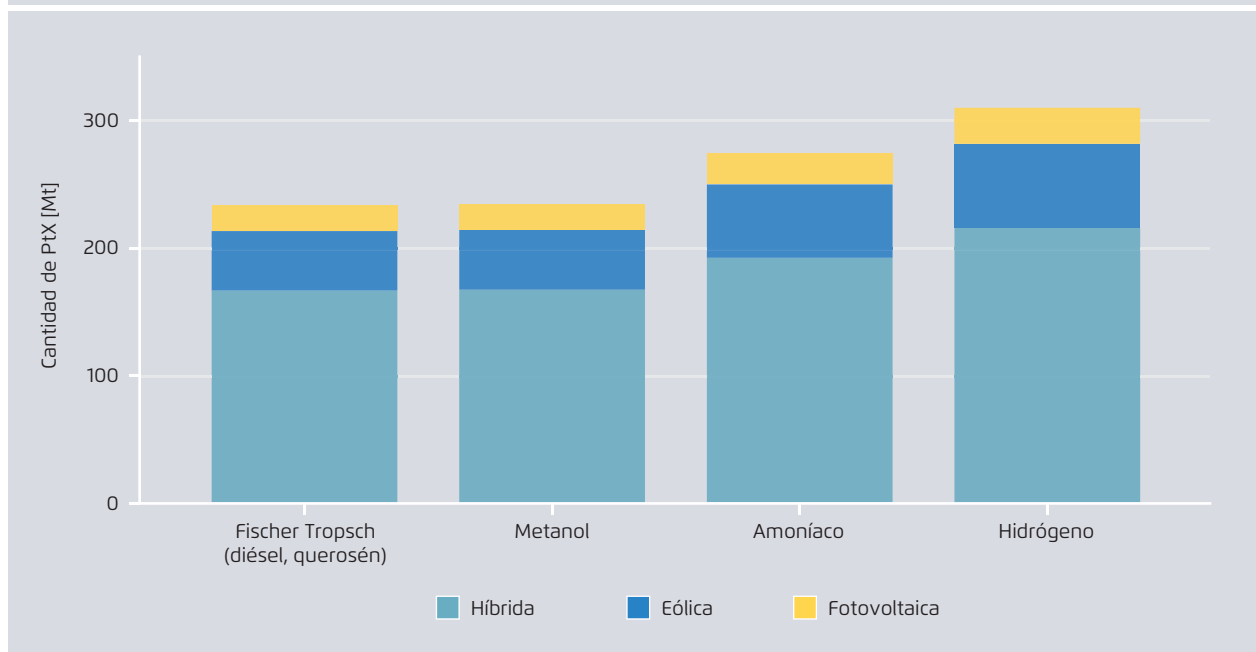
Gracias a sus abundantes recursos de energía renovable, Argentina tiene uno de los mayores potenciales del mundo para desarrollar hidrógeno renovable y productos PtX. A modo de ejemplo, el Global PtX Atlas señala que el 80 por ciento del área global identificada con potencial para producir PtX se concentra en solo 10 países. Argentina tiene el tercer mayor potencial, por detrás de EE. UU y Australia. Este potencial se ha identificado no solo en relación con las energías renovables, sino también con la disponibilidad de agua, un elemento

esencial en la fase de electrólisis para la producción de hidrógeno (Fraunhofer IEE, 2021).

Los sitios para producción de PtX identificados en Argentina comprenden una extensión de más de 150 000 km² destinados a sistemas híbridos de energía eólica y solar fotovoltaica, seguida de unos 48 000 km² de lugares que usan solo la eólica y más de 26 000 km² de uso de energía solar fotovoltaica (Fraunhofer, 2021). Como muestra la Figura 9, el producto PtX con mayor potencial es el amoníaco, seguido del metanol y los productos Fischer-Tropsch (combustibles sintéticos). El hidrógeno líquido y el gaseoso tienen potencial para ser

Volúmenes potenciales de generación de PtX en Argentina, electrólisis de alta temperatura

Figura 9



Fraunhofer IEE-PTX Atlas (2022). Nota: PTX Atlas calcula los volúmenes agregados de generación de PtX sobre la base de las áreas identificadas con potencial para producir PtX en el país y mediante el uso de las optimizaciones de expansión e implementación específicas para cada sitio.

utilizados principalmente a nivel local y, en cierta medida, regional debido a los costos y las limitaciones para su transporte. El interés de Argentina por exportar al extranjero sería más rentable con productos PtX u otros más valiosos, como los fertilizantes, el acero verde, entre otros.

El análisis de Fraunhofer no tiene en cuenta otros aspectos económicos o la complementariedad con otras fuentes de energía. El sector agrícola nacional, por ejemplo, también puede incrementar su potencial de amoníaco verde para la producción de fertilizantes.⁷ Además, la industria bioenergética existente podría convertirse en una buena fuente de carbono sustentable para hidrocarburos sintéticos (como el Fischer-Tropsch o el metanol verde).

El hidrógeno como herramienta para impulsar una industria sustentable de los fertilizantes

La actual producción de fertilizantes en Argentina no cubre la demanda local. Por lo tanto, el país debe importar más del 60 por ciento de su consumo total, lo que ocasionó gastos de 2300 millones de dólares estadounidenses en 2021 y tuvo repercusiones en la balanza comercial. En el período entre 2010 y 2020, el uso de fertilizantes en Argentina aumentó, en promedio, un 4,6 por ciento anual (Bolsa de Comercio de Rosario, 2021). La creciente demanda interna de fertilizantes, junto con el aumento de los precios internacionales en 2022, indica que el impacto negativo en la balanza comercial de Argentina será incluso más importante que en años anteriores.

El país podría aplicar estrategias para promover la producción local de fertilizantes que empleen

⁷ Un análisis más detallado de políticas para la producción de amoníaco y los fertilizantes verdes en Argentina se encuentra en el informe "Argentina como centro de producción de amoníaco verde: Una estrategia de desarrollo novedosa para abordar las crisis energética y climática globales".

amoníaco verde. De este modo, se desvincularía la producción de fertilizantes de la volatilidad del precio del gas natural y daría al país la oportunidad de exportar este tipo de productos a nivel regional y mundial. La ampliación de su capacidad productiva de amoníaco podría considerar el gas natural como una tecnología puente, pero debería priorizando el uso de hidrógeno renovable. Este hecho aportaría importantes beneficios socioeconómicos al país en términos de creación de empleo, seguridad alimentaria y descarbonización industrial. La comunidad internacional también podría beneficiarse de ello, ya que el aumento en la producción de fertilizantes podría aliviar la presión creciente a los precios de los alimentos y atenuar la demanda de gas natural. El informe de políticas "Argentina como centro de producción de amoníaco verde" presenta un análisis más detallado de los posibles próximos pasos para promover el uso del hidrógeno renovable en la producción de amoníaco y fertilizantes verdes.

Descarbonización de la industria argentina de gran consumo de energía

El hidrógeno puede contribuir a un crecimiento industrial sustentable en Argentina mediante la expansión del sector para que cubra la demanda local y la exportación. Como se ha mencionado antes, el hidrógeno procedente de combustibles fósiles con CCS podría utilizarse como tecnología de transición para impulsar el sector, pero las estrategias industriales a largo plazo deberían priorizar el hidrógeno renovable, en particular, para productos de exportación en el mercado verde internacional. La expansión de la cadena de valor industrial debería aprovechar las estrategias de descarbonización existentes para promover la descarbonización de la cadena de suministro local y preservar la competitividad del sector industrial.

El sector industrial argentino representa alrededor del 6 por ciento de las emisiones totales de gases de

efecto invernadero, que ascendieron a aproximadamente 21 MtCO_{2e} en 2018. Estas emisiones incluyen las procedentes de reacciones químicas cuando se usa el gas natural como materia prima en procesos industriales. El Plan de Acción Nacional de Industria y Cambio Climático (PANiCC) propone una serie de medidas de mitigación centradas en la eficiencia energética, la energía renovable, la economía circular y la captura de emisiones. Las medidas están encaminadas a promover el uso de la energía solar fotovoltaica, solar térmica y eólica en los procesos industriales. Adicionalmente, el plan propone el uso de biodigestores para producir

biogás en la industria como método de ahorro de energía. Una de las medidas del plan introduce combustibles alternativos en la industria cementera.

Todavía existe la necesidad de alcanzar prácticas más sustentables y una mejor coordinación en las industrias del acero, química y cementera en Argentina a los efectos de cumplir con las metas climáticas. Contemplar acciones claras para la electrificación, la modernización y el uso de hidrógeno podría suponer un paso importante en la promoción del sector mientras se desarrolla el mercado local del hidrógeno.

5 El posible futuro mercado de vehículos de hidrógeno se reduce a diario

Transporte impulsado por hidrógeno: ¿qué papel desempeñarán los vehículos con celda de combustible?

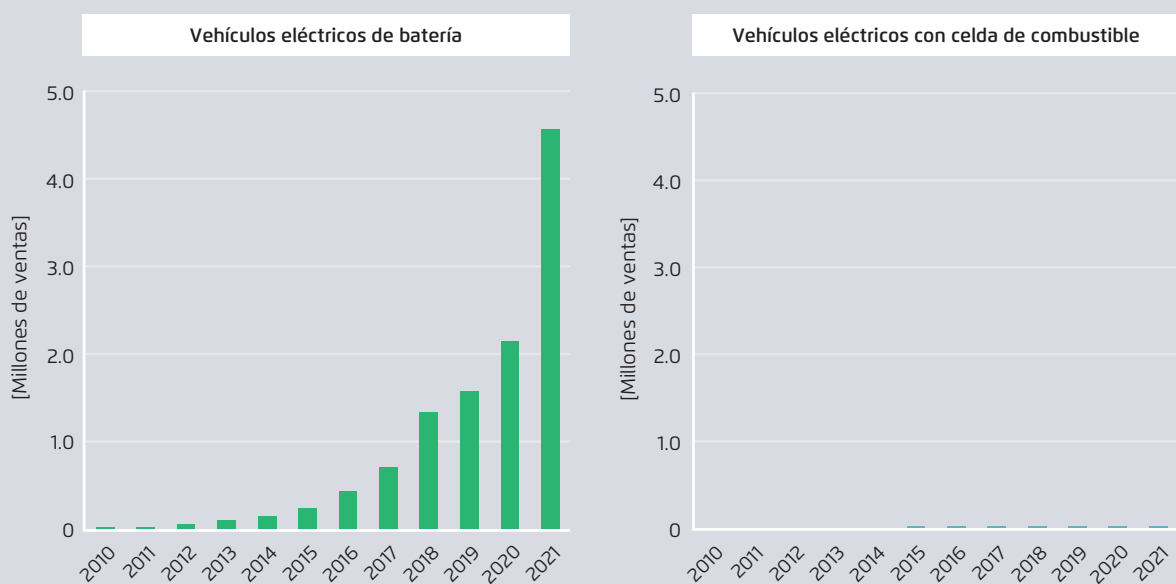
Los vehículos eléctricos con celda de combustible se consideraron alguna vez la clave para la descarbonización del sector del transporte. Pero esta tecnología se ha quedado atrás frente a los vehículos eléctricos de batería, que hoy en día dominan el mercado por completo, como muestra la Figura 10.

Se espera que el mercado vea algunos vehículos de hidrógeno, en especial, los fabricados para usos pesados en cargas de larga distancia y en el sector de la construcción o maquinaria. En concreto, el hidrógeno desempeñará un papel fundamental en la

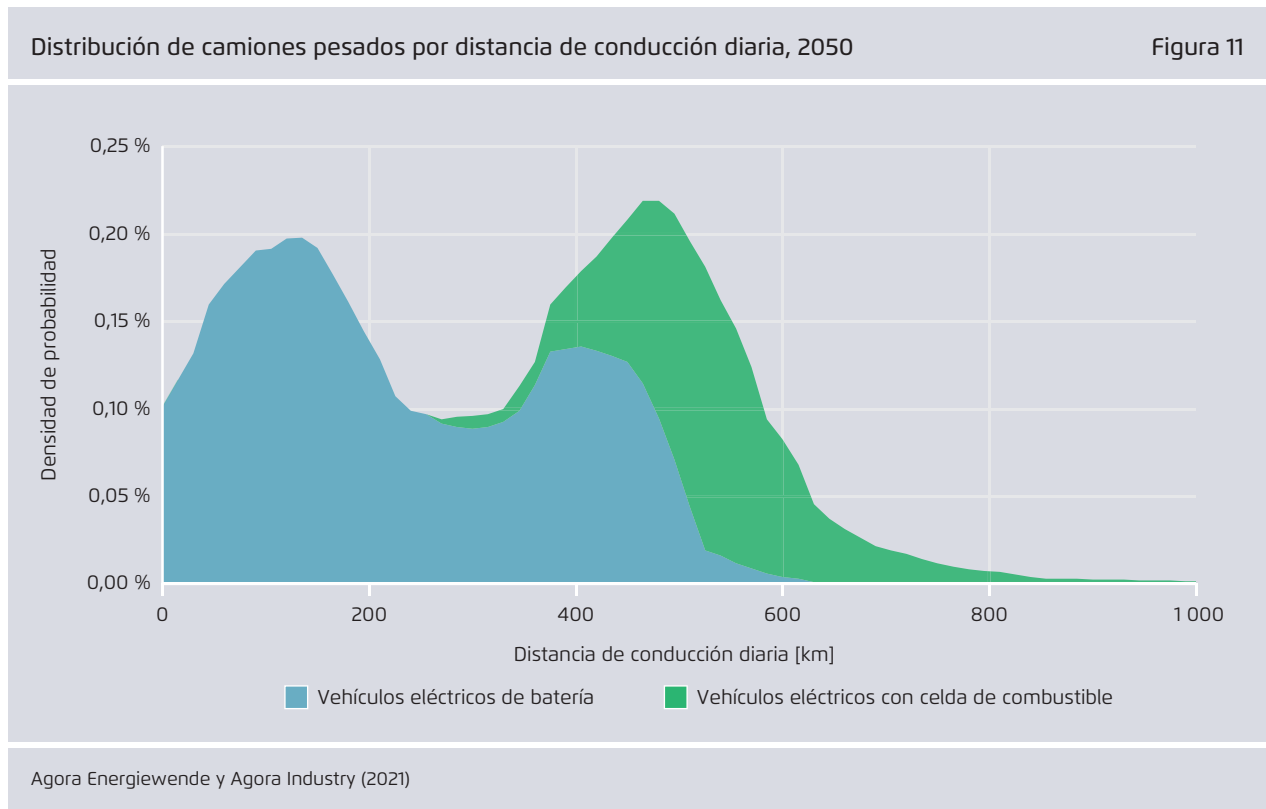
descarbonización del transporte en el sector minero, debido a que es uno de los pocos combustibles alternativos viables para los vehículos de minería. De hecho, los camiones mineros son una de las seis aplicaciones del hidrógeno con prioridad en la estrategia nacional chilena del hidrógeno verde. El actual sector minero argentino no es tan extensivo como el de Chile. Sin embargo, el hidrógeno podría ser una alternativa para ayudar a descarbonizar en transporte en este sector.

El hidrógeno puede llegar a tener un papel en algunos vehículos de carga, pero la tecnología de las baterías se está desarrollando rápido. Se espera que los camiones eléctricos de batería lleven a cabo la mayor parte del transporte de mercancías

Ventas anuales de vehículos eléctricos de batería frente a vehículos eléctricos con celda de combustible Figura 10



BloombergNEF (2022)



Cuadro de texto 2: Descarbonización del sector del transporte en Argentina

Hay una gran aspiración a lograr un sector del transporte argentino más sustentable. Una estrategia clave para alcanzar este objetivo se configura con la integración de los vehículos eléctricos. En la actualidad, la Cámara de Diputados debate una ley de electromovilidad que pretende proporcionar el marco legal necesario para un desarrollo estructurado del sector. La ley incluye incentivos fiscales en tecnología e infraestructura, un plan para interrumpir la venta de vehículos con motor de combustión interna en Argentina después de 2041 y la creación de un fondo exclusivo para el transporte sustentable.

El sector privado está decidido a desarrollar el transporte eléctrico en vista del potencial del país en el ámbito de las energías renovables y las reservas de litio. Por su parte, el sector industrial prevé fabricar en Argentina baterías de litio, que mejorarían la competitividad del mercado de vehículos eléctricos en el país.

Además de los vehículos eléctricos, es importante considerar el sector de los biocombustibles, que ya está consolidado en Argentina. Hasta 2019, los biocombustibles fueron la medida más significativa de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en el país, evitando alrededor de 4 MtCO_{2e} ese año. Ahora han sido superados por las renovables conectadas a la red en el sector eléctrico. El sector de los biocombustibles puede necesitar reformas adicionales que aborden los desafíos relacionados con su competitividad, promoción, aceptación internacional y apertura del mercado a nuevos actores.

Fuente: Ministerio de Desarrollo Productivo de Argentina, 2021; Y-TEC, 2021

mundial, como se muestra en la Figura 11. Esto se debe a que alrededor del 80 por ciento de la distancia de conducción es inferior a 400 km, distancia que se encuentra dentro del rango de autonomía de la batería eléctrica. En Argentina, los camiones pesados que funcionan con hidrógeno tendrán que competir a corto y mediano plazo con otras tecnologías como los biocombustibles, el gas natural comprimido y el gas natural licuado, por lo que su aplicación se enfrentará a una mayor competencia que en otras regiones del mundo.

La conversión de electricidad a combustibles líquidos (PtL, por sus siglas en inglés) a través del hidrógeno conquistará los mercados del transporte marítimo y la aviación

Para otros medios de transporte, como el transporte marítimo de larga distancia y la aviación, los combustibles líquidos tienen numerosas ventajas sobre el hidrógeno puro, sobre todo, una mayor densidad energética, que los convierte en un combustible más fuerte.

En octubre de 2022, la comunidad aeronáutica se comprometió a tomar la ruta de la neutralidad climática antes de 2050. Las tecnologías de bajas emisiones de carbono, como las aeronaves de hidrógeno o eléctricas a batería podrían desempeñar un papel importante en la reducción de los impactos negativos de la aviación de corta distancia o regional a mediano y largo plazo. No obstante, los combustibles de aviación sustentables (SAF, por sus siglas en inglés) son la única opción para desfosilizar las rutas de larga distancia en un futuro próximo. En el informe *Waypoint 2050*, el Air Transport Action Group (ATAG) presenta un resumen de las opciones energéticas que podrían contribuir a la reducción necesaria de emisiones en la aviación comercial. Es probable que la aviación necesite entre 330 y 445 millones de toneladas de SAF al año hasta 2050 (ATAG, 2021).

El desarrollo de las tecnologías PtL (power-to-Liquid) y SAF, en particular en los países en desarrollo y en las economías emergentes, podría crear centros de innovación social, creación de empleo e innovación. En última instancia, el desarrollo de estas tecnologías dependerá de las consideraciones sobre la sustentabilidad, los recursos y los contextos locales.

6

La industria bioenergética argentina puede contribuir significativamente a su mercado de PtX

La producción de PtX necesitará CO₂ como materia prima

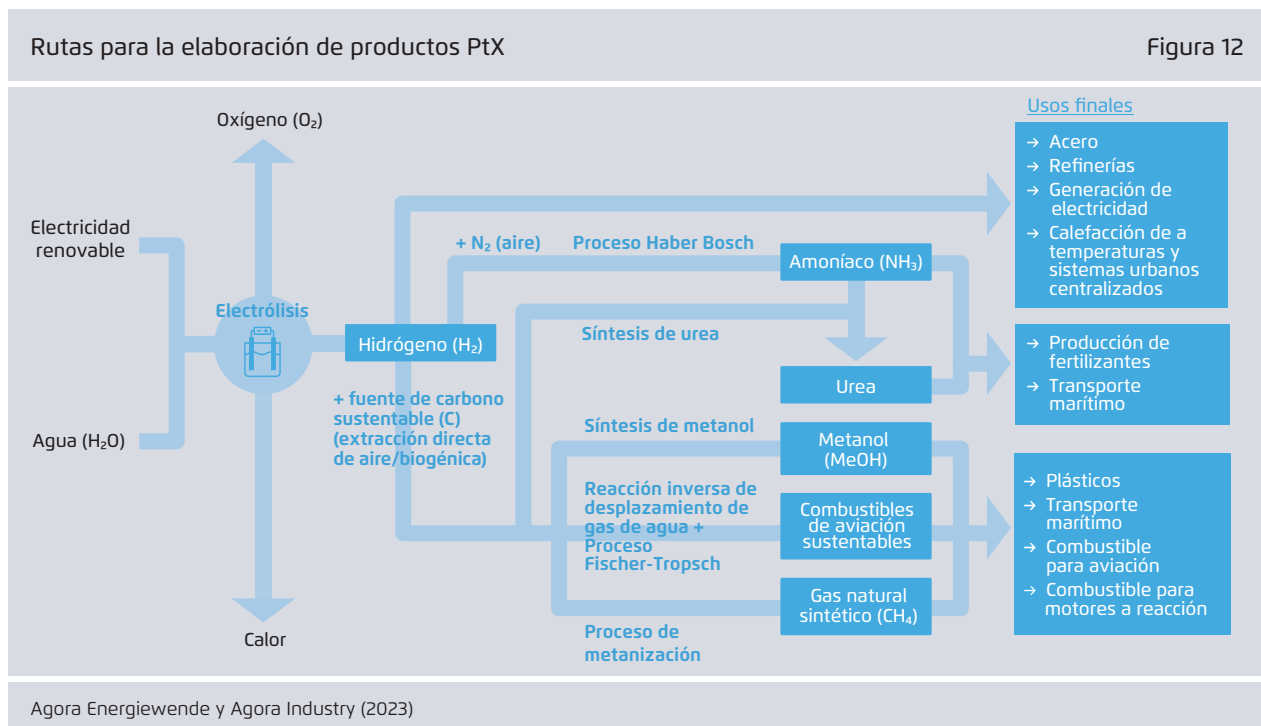
El CO₂ será un componente esencial en la producción de la mayoría de los derivados del hidrógeno y productos PtX. La Figura 12 muestra las rutas de la producción de PtX a partir de hidrógeno renovable. El CO₂ es, sin duda, necesario para producir fertilizantes, como la urea; los combustibles sintéticos, como el kerosene sintético; y los productos químicos, como el metanol verde. Es importante, por lo tanto, que Argentina identifique las potenciales fuentes de carbono sustentables que pueden usarse en la producción de PtX.⁸

8 Bajo el paraguas del PtX Hub, DECHEMA (la Sociedad de Ingeniería Química y Biotecnología) lidera un estudio sobre las posibles fuentes de carbono en Argentina que ayudará a mapearlas para la producción de PtX.

La disponibilidad y la localización de estas fuentes de carbono influirán en la priorización de una ruta de elaboración de productos PtX y en la identificación de las posibles necesidades en cuanto a infraestructura, como el transporte de CO₂ a las áreas con gran producción de hidrógeno. La localización de fuentes de carbono en Argentina podría requerir también una mejor coordinación y colaboración con la producción de hidrógeno, lo que ampliaría el potencial del país en el desarrollo de productos PtX.

La industria bioenergética argentina puede proveer una fuente de carbono sustentable

Durante décadas, Argentina ha tenido una industria bioenergética muy desarrollada. Esta industria



puede actuar como fuente importante de carbono sustentable para la elaboración de productos PtX. La futura ampliación de la industria bioenergética⁹ del país puede evaluarse en función de los planes de desarrollo de la industria del hidrógeno, lo que impulsaría los esfuerzos de ambas industrias en la creación de productos más valiosos para las ventas locales y la exportación. Además, los biocombustibles pueden integrarse con otras partes de la cadena de suministro de los productos PtX, como el combustible para el transporte de moléculas verdes.

Argentina utiliza ampliamente los biocombustibles desde 2006, cuando introdujo un marco jurídico y normativo para regularlos. El país es en la actualidad uno de los mayores exportadores de biocombustibles del mundo; un tercio de su producción local se destina al mercado internacional. Del mismo modo, desde septiembre de 2022, la producción anual de etanol alcanzó aproximadamente los 95 000 metros cúbicos. El etanol se produce principalmente a partir del maíz y la caña de azúcar (Secretaría de Energía, 2022). Estimaciones recientes muestran que la materia prima disponible podría incrementar la capacidad instalada actual en un 82 por ciento en el caso del biodiésel y en un 152 por ciento en el caso del etanol (Hilbert, et al., 2021). A mediano plazo, tendría que analizarse e implementarse una transición a los biocombustibles de una nueva generación, considerando un marco regulatorio apropiado que promueva su desarrollo.

La producción de etanol tiene el potencial de convertirse en una fuente de carbono sustentable para la fabricación de PtX. Entre tanto, la producción de

biodiésel requiere más investigación sobre el uso de la glicerina, un producto secundario procedente de la producción de biodiésel, como posible fuente de carbono. El hidrógeno renovable también puede usarse en la producción de aceite vegetal tratado con hidrógeno (HVO, por sus siglas en inglés), que supone una alternativa de descarbonización importante para el combustible diésel y el sector de la aviación. Argentina tiene el potencial de convertirse en exportador de HVO, pero como para cualquier desarrollo de las bioenergías es importante garantizar prácticas de producción sustentables que eviten otros posibles impactos ambientales negativos como lo es un incremento de la deforestación. El apoyo a una política a favor del uso de cualquier tipo de biocombustible necesita tener en cuenta los efectos directos e indirectos en el clima y la biodiversidad, de los procesos de producción y la materia prima, siempre dando prioridad a minimizar el daño al medioambiente.

El programa Probiomasa de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) estima el potencial de producción de biogás de Argentina, procedente de la explotación ganadera de engorde, láctea, porcina y de vinaza, en 416 ktep por año, en su mayoría concentrado en la ganadería de engorde (44 por ciento) y la producción porcina (27 por ciento) (FAO, 2020). El biogás puede integrarse en la cadena de producción de PtX como una fuente de carbono. Sin embargo, la producción de biogás no suele estar centralizada, por lo que sería necesario coordinar los esfuerzos en agrupar las fuentes de producción de biogás para maximizar su potencial. De acuerdo con las estimaciones de producción de biogás en Argentina, la provincia de Buenos Aires acumula el mayor potencial, además de una capacidad significativa de producir energía eólica. Estas condiciones podrían ser ideales para el desarrollo de una industria de PtX.

9 La demanda adicional de biomasa procedente de la industria del hidrógeno debe garantizar que esta no conduzca a una intensificación del uso de la tierra que sea perjudicial para el medioambiente, así como cambios directos o indirectos en el uso de la tierra que provoquen efectos perjudiciales en los ecosistemas y los ciclos del carbono.

7

Argentina debe contemplar su papel en el comercio mundial para garantizar la competitividad de sus exportaciones a los mercados europeos y de Asia-Pacífico

¿Cuáles son los potenciales mercados de hidrógeno del futuro?

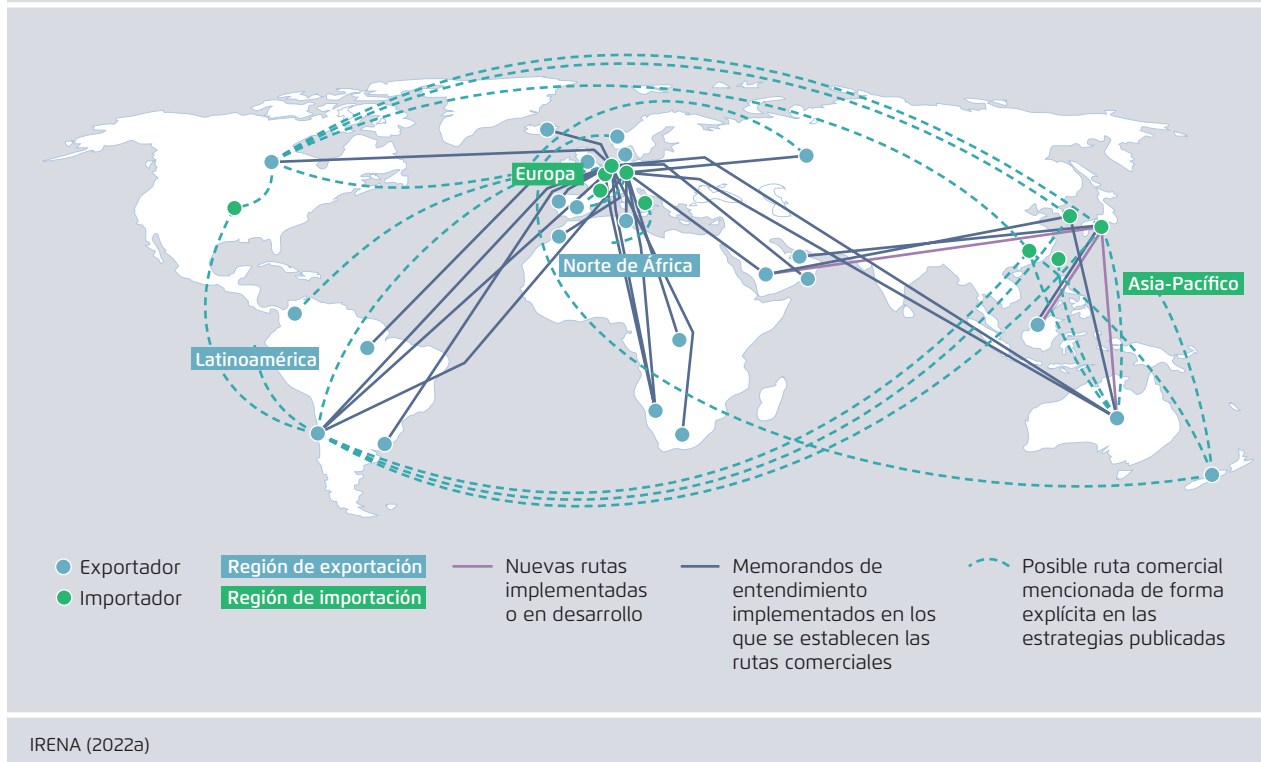
Los países con abundancia de recursos renovables a un precio competitivo están en mejor posición para promover la producción de hidrógeno. El comercio de hidrógeno renovable contribuirá a reconfigurar la geopolítica energética, ya que muchos de los países ricos en energías renovables se encuentran en el sur global, ofreciendo así una oportunidad de crecimiento económico a las economías emergentes y un mecanismo de mejora de la cooperación internacional para mantener el aumento de temperatura por debajo de 1,5 °C.

Los grandes consumidores de energía, como Europa y la región Asia-Pacífico, no podrán satisfacer su demanda interna de hidrógeno, así que necesitarán importar productos PtX de países con abundantes fuentes de energía renovable que sean capaces de producir hidrógeno renovable y sus derivados a un precio competitivo. La Figura 13 muestra las posibles rutas comerciales del hidrógeno a nivel mundial. Incluye también las potenciales nuevas rutas que conectarían otras regiones, como Latinoamérica con la región Asia-Pacífico.

Argentina tiene un gran potencial exportador de productos PtX. Considerando proyectos que aún

Desarrollo potencial de rutas comerciales del hidrógeno a nivel mundial

Figura 13



están en desarrollo, la IEA estima que Latinoamérica será la región que liderará las exportaciones de hidrógeno de bajas emisiones antes de 2030. Chile, Argentina y Brasil encabezan las capacidades de exportación de la región, que alcanzarán los más de 3 Mt H₂ equivalentes (IEA, 2022). El mercado del hidrógeno argentino se encontrará principalmente en el extranjero, en Europa y tal vez en Asia oriental, y, en cierta medida, en otros países latinoamericanos.

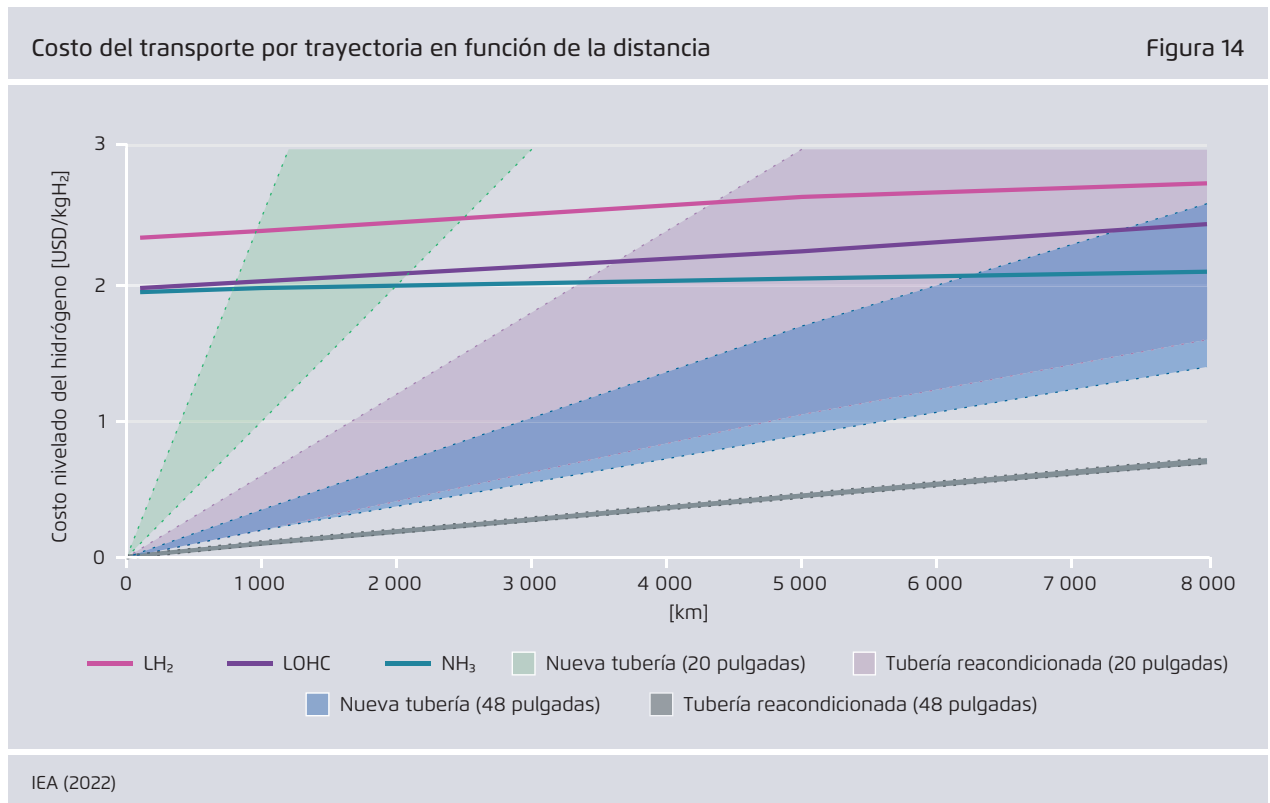
El dilema de cómo transportar hidrógeno ...

Cuando se analiza el comercio de hidrógeno, la competencia se centra en el costo nivelado del hidrógeno (LCOH, por sus siglas en inglés); hasta ahora, el sistema de entrega ha influido poco en el potencial de exportación. Gracias al alto nivel de sus fuentes de energía renovable, Argentina puede alcanzar antes de 2030 un LCOH muy competitivo,

entre los 2,0 y 2,7 dólares estadounidenses por kg de H₂ (60 y 81 dólares por MWh, respectivamente).¹⁰ Estos costos competitivos del hidrógeno renovable serán alcanzables solo si el riesgo de inversión del país se reduce y crea un entorno más atractivo para los desarrolladores de proyectos en Argentina.

Sin embargo, la entrega de hidrógeno estará limitada, técnica y económicamente, por la distancia de transporte. Como muestra la Figura 14, los gasoductos son la opción más rentable en distancias inferiores a

10 Estos valores se basan en los cálculos de Agora Energie-wende. Agora ha analizado los aspectos que deben considerarse para calcular el LCOH con el objetivo de entender los límites del sistema a considerar, así como los factores de costo de diferentes estudios de todo el mundo. Un enfoque común del cálculo del LCOH facilitará la comparación y el debate de políticas de alto nivel. Este análisis se puede encontrar en el reporte: Levelised cost of hydrogen – Making the application of the LCOH concept more consistent and more useful.



5 000 km y las tuberías readaptadas son más económicas que las nuevas. En distancias superiores a 8 000 km, se recomienda el transporte marítimo, aunque, en este caso, el hidrógeno competirá con otras moléculas verdes, como el amoníaco, el metanol y los combustibles sintéticos, por la capacidad de transporte. En distancias de entre 5 000 y 10 000 km, las alternativas pueden variar en función del producto transportado y el lugar de entrega.

Se espera que Argentina tenga un mercado exterior más amplio, en el que el transporte marítimo juegue un papel muy importante para el transporte de

moléculas verdes. El amoníaco verde será la meta más fácil de alcanzar para el país a corto plazo, ya que también puede ser utilizado como combustible con bajas emisiones en el sector del transporte marítimo. Asimismo, los fertilizantes con base de amoníaco verde pueden ejercer una gran influencia en este mercado, incluidas las exportaciones a grandes productores agrícolas, como Brasil. A ello se suma el hecho de que el sector bioenergético argentino favorece la síntesis de otros productos PtX, como el metanol verde y los combustibles sintéticos para aviones, con el uso de las fuentes de carbono sostenible disponibles en el país.

8

La industria del hidrógeno tiene que ser competitiva y establecer normas que cumplan los requisitos del comercio internacional y la industria

Formulación de estándares para el hidrógeno en Argentina

Los estándares y normas para la producción de hidrógeno son esenciales en el desarrollo de una economía del hidrógeno. Estas normas regularían las fuentes, los métodos de producción y las características medioambientales. Además, la certificación de hidrógeno puede servir como mecanismo para promover la competencia justa, garantizar una óptima calidad del producto y mantener la competitividad de la industria. Los estándares y certificaciones deben desarrollarse no solo para el hidrógeno, sino también para otros productos PtX, como el amoníaco y el metanol verdes, los combustibles sintéticos, etc. Argentina debe considerar el diseño de un sistema de certificación en sus esfuerzos por aumentar la producción de hidrógeno. Se recomienda que dicho proceso sea participativo e incluya consultas con las diferentes partes interesadas de la cadena de suministro del hidrógeno, tanto de sectores públicos como privados. Asimismo, los sistemas de certificación deberían ofrecer la suficiente flexibilidad como para permitir revisiones periódicas y adaptaciones a las condiciones dinámicas del mercado actual. Este aspecto cobra especial relevancia en una industria en desarrollo como la del hidrógeno y los productos PtX.

Las normas y certificaciones deben reflejar las condiciones locales cuando se establezcan objetivos para la producción de hidrógeno. Sin embargo, existen ya algunas pautas internacionales que podrían ayudar a poner en marcha el proceso y a elaborar los primeros borradores a fin de debatirlos con las partes interesadas locales. Un ejemplo de ello es el estudio sobre la certificación del hidrógeno en Latinoamérica, elaborado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), sobre las estructuras existentes en la región.

Algunos países y regiones ya han empezado a trabajar en el proceso de certificación del hidrógeno. Brasil, por ejemplo, ha desarrollado el sistema de certificación *book and claim* (reserva y reclamo) para el hidrógeno renovable, como parte de sus esfuerzos en hacer provecho de este mercado. Por otra parte, la Unión Europea ha publicado en 2023 un marco regulatorio para la producción y la importación del hidrógeno renovable, con requisitos destinados a evitar que su producción incremente las emisiones totales del sistema o de la red eléctrica, al hacer uso de las energías renovables existentes y retirarlas de los usuarios actuales, aumentando así la producción fósil despachable. EU y a menor medida Brasil son regiones con potencial de exportación de PtX para Argentina, motivo por el cual el país debería examinar y evaluar estas iniciativas como parte de su propio proceso de certificación. Evaluar las condiciones establecidas por los posibles importadores de hidrógeno y PtX puede contribuir a armonizar la fabricación de estos productos dentro de regiones comerciales, lo que facilitaría la comercialización y la competitividad industrial. Adoptar prácticas internacionales óptimas, que puedan adaptarse al contexto local, mejorará el atractivo del país en el comercio internacional de hidrógeno.

En estas circunstancias, sería interesante consultar a las partes interesadas del ámbito internacional cuando se diseñe el proceso de certificación nacional. Las visiones internacionales pueden ser muy valiosas, en especial, debido al interés creciente de Argentina por convertirse en un país exportador de hidrógeno y productos PtX.

Argentina en el debate sobre estándares internacionales

Como potencial exportador de productos PtX, Argentina debe participar activamente en el debate interna-

cional sobre estándares y certificaciones, en particular, de productos verdes. El país no debería esperar a que otras regiones y países establezcan las condiciones del comercio de hidrógeno. Es necesario que se celebren acuerdos comunes entre exportadores e importadores para garantizar un mercado justo y competitivo que vele por unas condiciones que los productores de PtX puedan alcanzar.

Argentina debería examinar las iniciativas de certificación y estándares existentes para así señalar aquellas condiciones que parezcan no ser viables para el país e identificar aquellas que favorezcan su participación en el mercado del hidrógeno.

La colaboración regional puede ser la clave de la participación en debates y plataformas como bloque único, ya que muchos países de la región esperan

incorporarse al mercado internacional del hidrógeno. Los países latinoamericanos pueden establecer condiciones que fomenten la competitividad de la región frente a otros posibles exportadores, como lo son la industria bioenergética, las existentes capacidades técnicas, el desarrollo tecnológico local, entre otras.

La participación activa de Argentina y otros países del sur global productores de hidrógeno en el debate internacional sobre las normas y la certificación de este producto es fundamental para evitar perpetuar antiguas tendencias energéticas (principalmente en la industria de los combustibles fósiles) en relación con el extractivismo y neocolonialismo. Este aspecto permitiría lograr una situación beneficiosa para todos los países involucrados en el mercado del hidrógeno.

9

El hidrógeno fósil con captura y almacenamiento de carbono (CCS) puede servir de tecnología puente, pero será desplazado por el hidrógeno renovable

El costo de usar gas natural

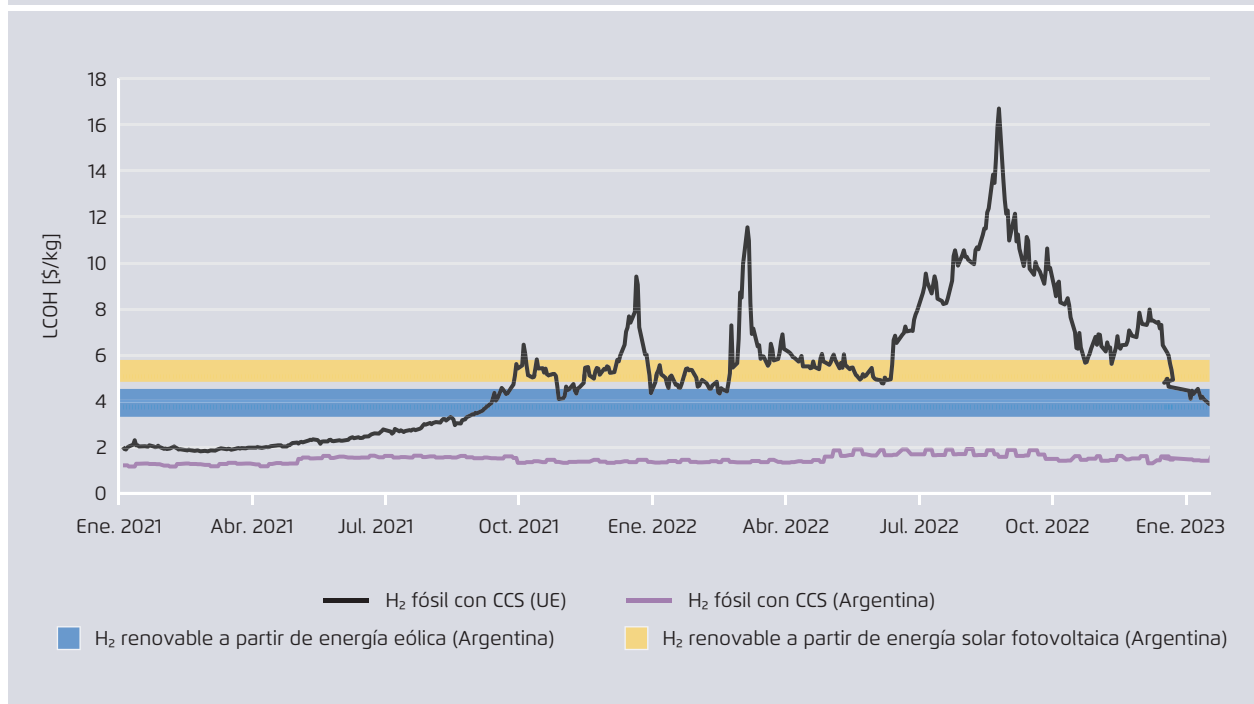
Los precios del gas natural, especialmente en Europa, han sufrido el grave efecto del actual conflicto entre Rusia y Ucrania. No obstante, Argentina dispone de enormes reservas de gas natural, por lo que no ha experimentado variaciones de precio notables en los últimos años. Entre 2019 y 2022, el precio del gas natural argentino ha tenido, en promedio, una tasa anual de crecimiento del 2,9 por ciento. Por el contrario, en Europa su precio ha alcanzado una tasa media anual de crecimiento del 167 por ciento durante el mismo período.

La Figura 15 muestra que la volatilidad de los precios del gas natural en los mercados europeos aumenta la competitividad del hidrógeno renovable, que supera a la del hidrógeno fósil con CCS. La situación es otra en Argentina, donde el hidrógeno fósil con CCS es más competitivo que las estimaciones promedio del hidrógeno renovable. Por consiguiente, el país debería priorizar instrumentos de políticas que permitan cerrar esta brecha de precio entre el hidrógeno renovable y el fósil con CCS.

Promover el desarrollo de hidrógeno de origen fósil con CCS podría eventualmente llegar a competir con

Precios del gas natural: hidrógeno renovable e hidrógeno fósil con CCS

Figura 15



Agora Energiewende e Industry (2023) según las siguientes fuentes de datos: Horas de carga completa de las renovables: CAMMESA; precios del gas natural: Secretaría de Energía (ARG), TTF (UE); el H₂ fósil con CCS se basa en el reformado de metano con vapor con un 95 % de tasa de extracción

el uso de gas natural en los sectores de energía y calefacción, lo que podría aumentar la presión sobre la seguridad energética del país. Por lo tanto, el uso doméstico del hidrógeno de origen fósil debe evaluarse cuidadosamente. En concreto, los responsables de políticas energéticas deben evaluar los beneficios que puede ofrecer un mayor aporte de energía renovable en la matriz energética argentina en términos de seguridad energética, diversificación económica y desarrollo sustentable. Por otra parte, como el mercado internacional del GNL es muy atractivo para Argentina, una participación más activa en él afectaría a los precios locales del gas natural, creando incertidumbre con respecto a su uso en la producción de hidrógeno.

Hidrógeno fósil con CCS como alternativa para acelerar la transición en Argentina

Argentina debe analizar cuidadosamente el desarrollo del hidrógeno para establecer un equilibrio entre el gas natural (como tecnología puente) y la energía renovable. La mayoría de los mecanismos de apoyo internacional existentes para el desarrollo del hidrógeno se centran en el hidrógeno renovable. Producir hidrógeno a partir de combustibles fósiles supondría perder la oportunidad de acceder a un importante apoyo financiero en Argentina. A ello se suma el hecho de que incentivar este tipo de hidrógeno puede afectar a la competitividad del país en el comercio internacional. También podría retrasar su proceso de descarbonización y limitar los beneficios socioeconómicos que el hidrógeno renovable podría aportar. La normativa de la CCS todavía no se ha aplicado en Argentina y este debate afrontará desafíos relativos al uso y la propiedad de la tierra para el almacenamiento de carbono, el registro, el monitoreo, etc. Además, actualmente, no hay información pública disponible sobre todos los aspectos necesarios para evaluar la capacidad geológica nacional en este ámbito. Sin embargo, se están llevando a cabo varios estudios al respecto que podrían ayudar a determinar el potencial técnico del uso de CCS en el país.

Argentina puede flexibilizar el uso interno del hidrógeno mediante la aplicación de recursos de gas natural como tecnología puente que impulse la industria local. Sin embargo, la nueva infraestructura que se desarrolle para el uso del hidrógeno procedente de combustibles fósiles con CCS, debe estar preparada para la transición al hidrógeno renovable lo antes posible. La inversión en esta nueva infraestructura podría ocasionar activos varados, ya que el mercado internacional tiene una clara orientación hacia el hidrógeno renovable y los productos PtX. Además, esa inversión debería evitar contribuir al carbon lock-in o dependencia de una economía basada en carbono. Ciertas vías de producción de hidrógeno, en particular las que se basan en combustibles fósiles, pueden incrementar el riesgo de carbon lock-in, así retrasando la transición hacia el hidrógeno renovable (Rosenow, et al., 2021; Oh, et al, 2022). Esto puede aumentar las emisiones fugitivas de metano o la dependencia hacia los activos de captura del carbono en el largo plazo. En cambio, el hidrógeno renovable puede sustituir al hidrógeno procedente de combustibles fósiles a corto y mediano plazo.

Garantizar la sustentabilidad de la producción de hidrógeno fósil con CCS

El hidrógeno fósil con CCS puede ser una tecnología a tener en cuenta por parte de los responsables políticos argentinos, teniendo en cuenta los recursos de gas natural del país. Sin embargo, tienen que evaluar la eficacia de la captura de carbono y los riesgos que las fugas de metano, carbono e hidrógeno pueden suponer para el clima. El hidrógeno fósil con CCS puede tener un mayor impacto climático que el propio hidrógeno procedente de combustibles fósiles, como muestra el Cuadro de texto 3.

El hidrógeno procedente de combustibles fósiles se produce con el uso del gas natural como materia prima por medio del reformado de metano con vapor (SMR, por sus siglas en inglés), que es cuando se puede aplicar el proceso de CCS. El proceso de CCS

Cuadro de texto 3: La fuga de hidrógeno y sus posibles implicaciones climáticas

La molécula de hidrógeno es mucho más pequeña que la de otros gases, como el CO₂ y el metano, por lo que es más difícil de almacenar o contener. En una economía basada en el hidrógeno, se esperan fugas de hidrógeno en varias fases del proceso de producción, incluso en algunos casos, el hidrógeno se libera a la atmósfera directamente. La molécula tiene efectos indirectos de calentamiento que ganarán relevancia cuando la producción de hidrógeno aumente. En la actualidad, no se conoce con certeza la cantidad de fuga de hidrógeno. No obstante, debería prestarse más atención a este riesgo debido a su relevancia en los futuros escenarios de descarbonización.

Las moléculas de hidrógeno en la atmósfera pueden tener repercusiones climáticas indirectas al prolongar la vida de otros gases de efecto invernadero. Debido al impacto de la fuga de hidrógeno cuando se combina con la de metano, el mecanismo de producción del mismo se vuelve crítico a la hora de evaluar el impacto climático del hidrógeno en comparación al impacto directo de las emisiones de CO₂ procedentes de combustibles fósiles. Durante los primeros 10 años, el hidrógeno fósil con CCS podría tener un efecto de calentamiento un 40 por ciento mayor que el de los combustibles fósiles en el peor de los casos de fuga de hidrógeno. El hidrógeno renovable en el mismo escenario podría mitigar solo el 65 por ciento del impacto de los combustibles fósiles. En el mejor de los casos de fuga de hidrógeno durante los primeros 10 años, el hidrógeno fósil con CCS puede reducir en un 65 por ciento el efecto de calentamiento de los combustibles fósiles, mientras que el hidrógeno renovable puede mitigar más del 95 por ciento de ese efecto, bajo las mismas condiciones. El impacto climático del hidrógeno tiende a disminuir con el tiempo, pero las estimaciones muestran que, en un período de más de 100 años, el hidrógeno fósil con CCS solo podrá reducir hasta el 85 por ciento del efecto de calentamiento de los combustibles fósiles en el escenario más optimista.

Fuente: Ocko, et al., 2022

implica la captura, compresión, transporte y almacenamiento del CO₂ producido durante el SMR. Cabe señalar, no obstante, que el proceso de SMR crea dos tipos de emisiones.¹¹ En primer lugar, se liberan las emisiones procedentes de la combustión del gas natural para producir la energía térmica necesaria para la reacción. La concentración de CO₂ en el gas de combustión es baja y, por lo tanto, la separación

es cara y consume mucha energía. En el segundo caso, las emisiones del proceso provienen de la conversión del gas natural y el vapor (agua) en hidrógeno y CO₂. Estas emisiones contienen una mayor concentración de CO₂.

Habitualmente, solo las emisiones del proceso con CO₂ son aptas para el proceso de CCS por su mayor concentración de este gas. Las emisiones de la combustión, responsables de alrededor de un tercio del total de emisiones procedentes del SMR, seguirán liberándose a la atmósfera (Ausfelder et al., 2022). Con el objetivo de reducir la huella de carbono del hidrógeno fósil con CCS, es necesario sustituir el gas natural empleado como combustible por combustible neutro en CO₂ (por ejemplo, el biogás).

11 Las emisiones fugitivas de metano deben considerarse cuando se usa hidrógeno procedente de combustibles fósiles con CCS. El uso de gas natural, en especial el derivado de fuentes no convencionales, puede provocar fugas de metano a lo largo de su explotación y uso con un impacto climático significativo. De forma similar, el proceso de SMR tiene que garantizar prácticas adecuadas que mitiguen las emisiones fugitivas de metano e hidrógeno.

El desarrollo de la CCS para el hidrógeno procedente de combustibles fósiles requiere un lugar adecuado para el almacenamiento de CO₂, así como el desarrollo de infraestructuras de transporte de las emisiones desde el lugar de producción hasta su almacenamiento.

Se prevé un crecimiento de la demanda de hidrógeno renovable en el futuro

La mayoría de los países con alta demanda de hidrógeno han concentrado sus esfuerzos en la producción e importación de hidrógeno renovable, en consonancia con sus ambiciosas estrategias de descarbonización. Como consecuencia, la comunidad internacional se ha esforzado cada vez más por promover y financiar el hidrógeno renovable y los productos PtX.

Por ejemplo, los actuales debates relativos a la tercera revisión de la Directiva Europea sobre Energías Renovables (RED III) se centran en establecer un objetivo mínimo del uso de hidrógeno renovable y combustibles con base de hidrógeno en el sector del transporte de al menos 1 por ciento para 2030. En el sector industrial, la RED III también ha establecido para 2030 el objetivo de usar un 42 por ciento de hidrógeno renovable (y combustibles con base de hidrógeno) como energía final y en aplicaciones no energéticas (EC, 2021).

La Ley estadounidense de Reducción de la Inflación (IRA, por sus siglas en inglés) de 2022 ofrece hasta diez años de incentivos fiscales para la implementación de tecnología e infraestructura de energías

limpias (incluidas las infraestructuras de renovables, hidrógeno y red eléctrica). En cuanto al hidrógeno limpio, la IRA incluye créditos fiscales para la producción e inversión en hidrógeno limpio, préstamos para ampliar las inversiones privadas, un nuevo programa de tecnología de aviación de bajas emisiones y combustible alternativo de 300 millones de dólares estadounidenses, 5800 millones en inversión directa para la descarbonización industrial, y creación de demanda para productos con bajas emisiones de carbono (por ejemplo, el acero y el cemento) a través de compras gubernamentales y otras medidas de promoción del hidrógeno limpio y sus derivados.

Con el objetivo de reducir la diferencia de precio entre el hidrógeno procedente de combustibles fósiles y el renovable, algunos instrumentos internacionales pretenden crear un mercado verde con un mecanismo de compensación que mejore la competitividad de los productos PtX. Un ejemplo es el de H₂Global Foundation, que ofrece subastas de compra de productos renovables con base de hidrógeno a un precio con recargo que cubrirá el costo efectivo de la producción verde. Los contratos de compra tendrán una duración de diez años, con el fin de asegurar la recuperación de los costos a los inversores que ganen las ofertas. A continuación, el producto verde se podrá vender en Europa en subastas anuales. Si el precio de venta del producto resulta ser menor que el de compra, el Gobierno alemán cubrirá la diferencia. En el mes de noviembre de 2022 se llevó a cabo la primera subasta para comprar amoníaco. Mientras tanto, más Gobiernos europeos se han unido a la iniciativa.

10

Argentina puede identificar las posibles ubicaciones iniciales de los centros de hidrógeno, mediante el mapeo de recursos complementarios y economías locales en las provincias

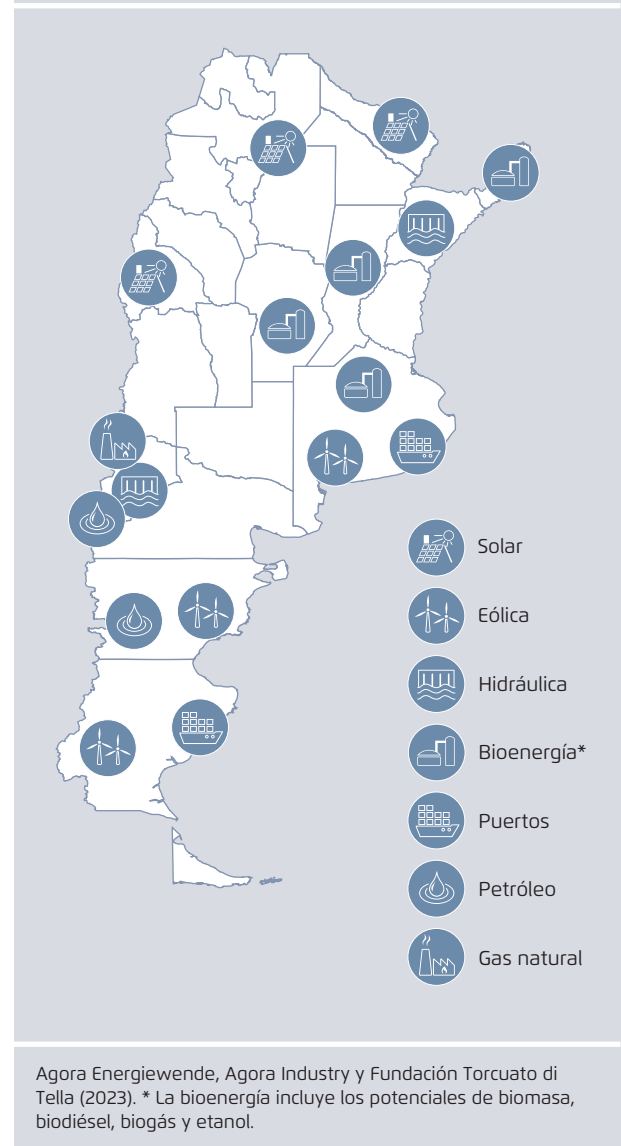
Diversidad de recursos en todo el territorio

Argentina está compuesta por 23 provincias y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, cubriendo un vasto territorio casi tan grande como un tercio del tamaño de Europa. El mapeo de la disponibilidad de recursos energéticos en el territorio argentino es clave para identificar la complementariedad y las posibles áreas de creación de nuevos centros industriales y comerciales, así como para ampliar los existentes.

El país dispone de diversas actividades económicas, dada la distribución de los recursos naturales entre sus provincias, como muestra la Figura 16. La complementariedad de los recursos será esencial en el desarrollo de la economía del hidrógeno en el país, del mismo modo que los recursos energéticos y el agua serán esenciales para la producción de hidrógeno. No obstante, las fuentes de carbono sustentable, probablemente procedentes del sector bioenergético, serán necesarias para la fabricación de productos PtX. Asimismo, las infraestructuras industriales y portuarias existentes serán fundamentales en la elaboración de productos con valor agregado destinados a los mercados internacionales. Puede debatirse a nivel provincial una hoja de ruta definida que aborde diferentes productos PtX en función de la disponibilidad de recursos. Por ejemplo, los combustibles sintéticos pueden producirse en las provincias más cercanas a la industria bioenergética, mientras que el amoníaco verde puede producirse en las zonas donde no hay fuentes de carbono sustentable disponibles. Este ejercicio requerirá una estrecha cooperación entre el gobierno nacional y los gobiernos provinciales para garantizar

Mapa de la distribución de recursos naturales y energéticos entre las provincias

Figura 16



que las estrategias son consistentes con los objetivos de la estrategia nacional del hidrógeno.

Los procedimientos de ejecución de proyectos tendrán que ser consistentes entre las provincias

Las normas de gestión de los recursos naturales y energéticos se dictan a nivel provincial, lo que las convierte en complejas y desiguales entre jurisdicciones. Este hecho es relevante en lo que respecta a normas ambientales, en especial cuando se desarrollan nuevos proyectos de hidrógeno. Tras la elaboración y adopción de un marco regulatorio nacional para la promoción del hidrógeno, las provincias podrán trabajar conjuntamente en adherirse a este marco de una forma uniforme, con la atención centrada en la protección de la flora y la fauna, el consumo y vertimiento de agua, la generación de residuos, el bienestar de las poblaciones indígenas y otros factores pertinentes. La existencia de un marco regulatorio común en la ejecución de proyectos puede buscar asegurar unas condiciones equitativas del mercado, el uso adecuado de los recursos naturales y energéticos y la protección del medioambiente y de la población local. Podrá así mismo contribuir a atraer a desarrolladores de proyecto e inversores a todo el territorio argentino.

Argentina tiene una larga historia de negociaciones normativas y legislativas que articulan los poderes de los gobiernos provinciales y federal. En la actualidad, las provincias gestionan sus propios recursos naturales y energéticos y aprueban normas medioambientales para protegerlos. En otras palabras, la normativa medioambiental argentina es compleja, ya que se solapan las leyes y normas federales, provinciales y municipales. Los proyectos de hidrógeno deberían seguir las pautas más rigurosas de sustentabilidad y protección medioambiental, en particular, en el caso de productos del hidrógeno y PtX para la exportación. De lo contrario, los nuevos proyectos tendrán un impacto en el medioambiente y se convertirán en una industria extractiva que no proporciona beneficios socioeconómicos ni climáticos. De forma similar, una normativa ambiental no muy clara

puede ocasionar retrasos a los desarrolladores de los proyectos, lo cual incrementa los costos y disminuye el atractivo del territorio para la inversión.

La industria del hidrógeno puede fomentar el desarrollo local

Las industrias del hidrógeno y la energía renovable podrían ayudar a estimular el desarrollo local si se utilizan adecuadamente los diversos recursos que necesita la industria del hidrógeno, incluidos la energía y el carbono sustentable, favoreciendo un desarrollo más equitativo entre las provincias cuyo desarrollo socioeconómico ha sido desigual. Las provincias deben evaluar la integración de los proyectos de energías renovables e hidrógeno en la electrificación de las comunidades locales o en actividades económicas locales, como la agricultura. Asimismo, las provincias con importantes recursos de combustibles fósiles podrían vincular la generación de empleo a los nuevos mercados verdes a fin de facilitar una transición justa fuera del empleo en la industria del gas, que puede llegar a ser redundante en el futuro. El actual sistema fiscal federal debería revisarse con el objetivo de garantizar una distribución uniforme de los ingresos entre las provincias y condiciones fiscales equitativas para los desarrolladores de proyectos.

Argentina es el país federal más descentralizado de Latinoamérica, en el que alrededor de un 50 por ciento del gasto público total se produce a nivel subnacional. No obstante, el país tiene un alto grado de desequilibrio fiscal vertical. Al analizar el presupuesto provincial y nacional y la asignación de impuestos, se observa que, en promedio, cerca del 35 por ciento del gasto provincial se financia con impuestos recaudados directamente de las autoridades provinciales. El 65 por ciento restante se financia con impuestos percibidos por las autoridades nacionales (federales). Estas cifras también son desiguales entre las provincias, ya que algunas reciben más del 80 por ciento de sus ingresos totales

del gobierno federal. En este sentido, la diversidad de recursos de todo el país para el desarrollo de las cadenas de valor de los productos PtX es una oportunidad de aumentar sus propios ingresos y mejorar el saldo de las cuentas provinciales. Además, la industria del hidrógeno en Argentina puede

desempeñar un papel esencial al contribuir a un crecimiento más equitativo mediante la expansión del sector industrial para la fabricación de productos de valor agregado, la apertura al comercio internacional y el aumento de la recaudación tributaria, que elevaría los ingresos fiscales en todo el país.

11

Argentina debe crear un marco regulatorio claro para la producción de hidrógeno, desarrollar condiciones adecuadas para atraer la inversión y considerar el hidrógeno como un asunto energético y climático para el acceso a instrumentos financieros

La importancia de crear una política y un marco regulatorio para el hidrógeno

Con el fin de crear mercados atractivos para los inversores privados e internacionales, los países deben propiciar un entorno fiable para el desarrollo del hidrógeno renovable. Por ejemplo, políticas claras con objetivos de producción de hidrógeno y PtX específicos a mediano y largo plazo ofrecen a los inversores una señal positiva en cuanto a la trayectoria que el país quiere tomar y su interés en la promoción de estos proyectos.

En Septiembre de 2023, Argentina dió un paso muy importante con la presentación de su Estrategia Nacional de Hidrógeno y de esta forma se ha unido a otros países de la región como Chile, Colombia y Uruguay, quienes han presentado documentos similares para priorizar el desarrollo del hidrógeno. Estos países han desarrollado hojas de ruta detalladas que incluyen próximos pasos y responsabilidades claras en el desarrollo de la economía del hidrógeno entre las partes interesadas locales, así como la creación de un marco regulatorio, la necesidad de estándares para el sector e, incluso, la creación de mecanismos de financiamiento destinados a proyectos piloto del hidrógeno. Todos estos aspectos crean un entorno de financiamiento atractivo y estable que complementa el potencial del hidrógeno del país.

La primera estrategia nacional de hidrógeno de Argentina se encuentra enfocada en desarrollar una cadena de valor del hidrógeno. El desarrollo de este documento contó con la colaboración por parte de una diversidad de partes interesadas a través de una mesa de diálogo intersectorial. Este importante hito en el desarrollo de hidrógeno en Argentina, es complemen-

tado por el gran interés internacional que el país ha despertado en el desarrollo del hidrógeno renovable, en especial debido a sus abundantes recursos energéticos renovables. Sin embargo, a pesar de ya haber desarrollado esta estrategia nacional el país aún debe establecer una política o un marco regulatorio claros para promover el hidrógeno. Anteriormente, el Gobierno ha expresado su interés en hacerlo y ha venido trabajando en una actualización de la ley del hidrógeno de 2006, que incluirá un sistema nacional de promoción del hidrógeno.

La Secretaría de Energía, además, ha diseñado un plan de transición energética que incluye el desarrollo de la cadena de valor del hidrógeno, así como el uso de las grandes reservas de gas natural no convencional del país y las tecnologías de bajas emisiones, como las energías renovables y la energía nuclear. En este contexto, será importante vincular la estrategia nacional del hidrógeno a los compromisos climáticos, a los planes de descarbonización del sector industrial, así como a la planificación energética y las políticas medioambientales aplicables a la cadena de valor.

El hidrógeno es una iniciativa intersectorial

El hidrógeno y los productos PtX afectan a toda la cadena energética, por lo que deben debatirse con todas las partes interesadas para formular estrategias realistas y alcanzables para su desarrollo. Por otra parte, la infraestructura necesaria para aumentar el uso de productos PtX supondrá una inversión significativa a largo plazo, por lo que requerirá

el apoyo y el acuerdo de todos los sectores involucrados.

El aumento del hidrógeno requerirá una buena coordinación y planificación con diversos sectores. El primero es el sector eléctrico. Esto garantizará que los proyectos de energía renovable puedan integrarse en el sistema y así, contribuyan a la descarbonización del sector, aprovechando la flexibilidad que la producción y el almacenamiento de hidrógeno pueden aportar a la generación de electricidad. El segundo es el sector de los hidrocarburos. Como potencial productor de hidrógeno y promotor de infraestructuras, puede evaluar el rol del hidrógeno procedente de combustibles fósiles evitando el riesgo de activos varados y garantizar estrictas normas de sustentabilidad en el proceso de CCS. El tercero es el sector industrial. Como usuario principal del hidrógeno, tiene una oportunidad de crecer para que elabore productos de valor agregado destinados al consumo local y la exportación, y que a la vez esto promueva la descarbonización y la sustentabilidad del sector. Por último, hay otros sectores, como el del transporte y el alimentario, que tendrían que examinar la función del hidrógeno en sus iniciativas de descarbonización, así como las ventajas y los desafíos de usar productos PtX.

Atraer la inversión para el desarrollo del hidrógeno en Argentina

Los inmensos recursos energéticos de Argentina han servido de anzuelo para atraer la inversión en hidrógeno, a pesar de las incertidumbres que rodean la inversión y la ejecución de proyectos en el país. Argentina tiene experiencia en la aplicación de atractivos mecanismos de mitigación del riesgo para fomentar la inversión del sector privado en las energías renovables. Estos mecanismos incluyen el programa RenovAr (véase el Cuadro de texto 4). Su ampliación y ajuste podría ser una buena forma de atraer la inversión para el desarrollo de la infraestructura del hidrógeno en el país.

De igual modo, el sector financiero argentino tiene que crear la capacidad técnica y financiera para evaluar el financiamiento de los proyectos de hidrógeno. Esto puede requerir contar con nuevas competencias técnicas que permitan evaluar la rentabilidad de proyectos para la producción de PtX. Al mismo tiempo, debido al potencial de mitigación de las emisiones de los productos PtX a nivel local e internacional, Argentina debería contemplar el desarrollo del hidrógeno como una estrategia de mitigación climática. Esto facilitaría el acceso de los proyectos de hidrógeno a mecanismos de financiamiento destinados a mitigar el cambio climático. A mediano plazo, los promotores de proyectos deberían alinear sus estrategias de hidrógeno para acceder a opciones de financiamiento global, como los mecanismos internacionales del mercado de carbono que se están desarrollando de acuerdo con el artículo 6 del Acuerdo de París, entre otras opciones de financiamiento climático.

Cuadro de texto 4: Mitigación del riesgo en la promoción de la energía renovable en Argentina

Aún a pesar de las condiciones macroeconómicas en Argentina, el país ha creado atractivos programas de desarrollo de la energía renovable en el pasado. En 2015, por ejemplo, Argentina lanzó el programa de abastecimiento de energía eléctrica a partir de fuentes renovables (RenovAr), que ofrecía un marco para la cobertura del riesgo mediante un sistema de subasta de la energía renovable. El comprador del proceso de subasta es CAMMESA, la compañía administradora del mercado eléctrico mayorista, a cargo de la operación del sistema eléctrico argentino.

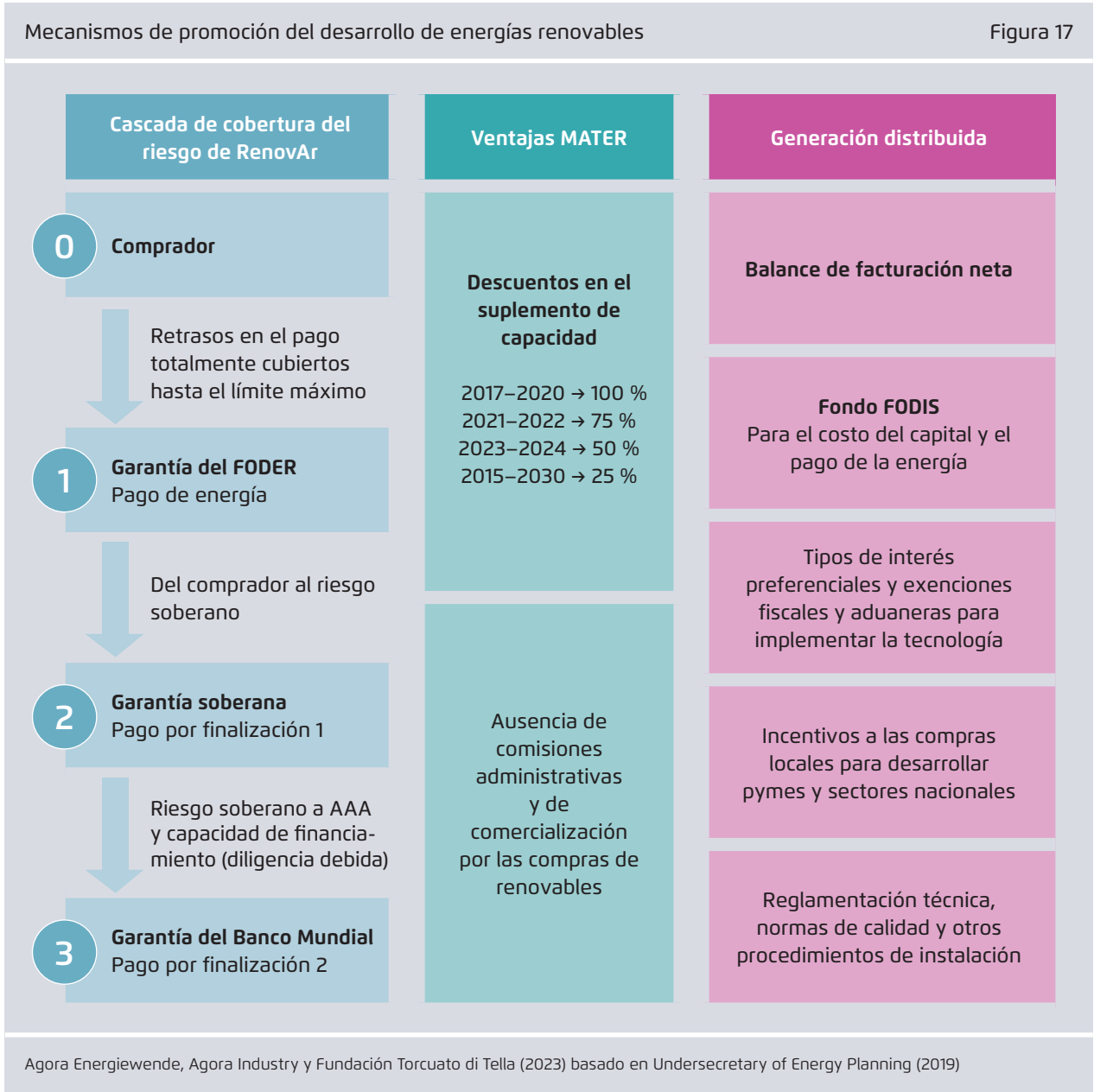
Bajo este programa, el Gobierno argentino estableció una “cobertura en cascada” que consiste en (1) **un fondo para el desarrollo de energías renovables (FODER) que garantiza** la cobertura de posibles retrasos en el pago a las empresas generadoras, (2) una **garantía soberana** que podría aplicarse al pago de finalización; y (3) una **Garantía del Banco Mundial (GCF)** para aislar los proyectos RenovAr del riesgo país, asimilar la contraparte soberana a un perfil de riesgo AAA y mejorar la capacidad de financiamiento de los proyectos. El programa RenovAr fue un referente internacional de cómo promover la energía renovable y obtuvo buenos resultados en los primeros años de aplicación.

En 2018, la crisis financiera planteó nuevos desafíos para el cierre financiero de los posibles proyectos de RenovAr y futuras rondas de subasta. Con un mayor riesgo país y una rentabilidad diferente a la esperada por los inversores, los proyectos sufrieron retrasos más allá del plazo exigido en los PPA y la normativa. Como resultado, los PPA privados (MATER) se han convertido en el principal mecanismo impulsor de los nuevos proyectos de energía renovable, motivados por los atractivos precios de los contratos. Sin embargo, las actuales dificultades de transmisión son un desafío fundamental para la implementación de la energía renovable en el país.

La Figura 17 muestra una comparación entre la cascada de cobertura del riesgo de RenovAr, los actuales PPA privados de renovables y el marco aplicado para catalizar los proyectos de generación distribuida.

Mecanismos de promoción del desarrollo de energías renovables

Figura 17



12

Promover la I+D e incentivar la cooperación internacional puede acelerar la producción de hidrógeno

Los profesionales argentinos podrían fomentar el desarrollo de tecnología

Los profesionales de la energía y la industria en Argentina tienen la capacidad de establecer una economía del hidrógeno competitiva en el país. Sin embargo, el desarrollo a gran escala de la industria del hidrógeno podría exigir un número incluso mayor de profesionales que puedan hacer realidad estas aspiraciones. Así, el país tendrá que evaluar las necesidades de capacidad en paralelo al diseño de estrategias, planes y agendas para la expansión de la industria y la producción de hidrógeno. Para este fin, el país puede establecer alianzas con instituciones académicas, centros técnicos y otras organizaciones que formen a profesionales capaces de hacer avanzar la economía del hidrógeno en Argentina.

Se han lanzado varias iniciativas en Argentina para fomentar el desarrollo del conocimiento y la tecnología locales en áreas relacionadas con el hidrógeno y el PtX. Estas constituyen el primer paso en la elaboración de planes más amplios para desarrollar la creación de capacidades y la tecnología local adaptadas a las condiciones del país. El desarrollo tecnológico local, como los electrolizadores y otras tecnologías bajas en carbono, puede reducir la dependencia de productos extranjeros y fomentar la innovación nacional. Los actuales esfuerzos por desarrollar baterías de litio son un claro ejemplo de las capacidades técnicas y de innovación del país. La Tabla 1 presenta un resumen de algunas de estas iniciativas.

Cooperación regional por un mercado del hidrógeno más dinámico en Latinoamérica

Numerosos países latinoamericanos han mostrado interés en el desarrollo del hidrógeno en vista de sus

recursos energéticos renovables, el avanzado proceso de descarbonización que acompaña a la producción de hidrógeno y el deseo de cosechar los beneficios económicos de esta floreciente industria.

Algunos países ya han desarrollado hojas de ruta del hidrógeno claras y otros han empezado a elaborar varios proyectos piloto que tienen como objetivo aumentar la producción de hidrógeno y PtX en los próximos años. Este creciente interés por la producción de hidrógeno es una señal de la competitividad del mercado latinoamericano en este ámbito. Por lo tanto, sería beneficioso para los países de la región tener un enfoque coordinado para el desarrollo del hidrógeno de forma que puedan desplegar todo su potencial.

Hasta el momento, se han visto importantes ejemplos de coordinación en la región, como el caso del Green Hydrogen Hub de Colombia, en el que las industrias del hidrógeno colombiana y chilena han unido esfuerzos para la ejecución de proyectos de hidrógeno renovable, combinando sus conocimientos técnicos y locales y así aprovechar los incentivos financieros del país de acogida. Recientemente, ambos gobiernos firmaron un convenio de cooperación para promover varias áreas de la transición energética y mejorar la integración energética mediante el desarrollo del hidrógeno renovable. Otros proyectos de cooperación en las áreas de desarrollo de la tecnología, creación de capacidades, proyectos de producción binacional, etc., serán decisivos para aumentar la producción de hidrógeno renovable de la región.

La cooperación regional en Latinoamérica puede llevar también a un objetivo y una visión comunes del comercio de hidrógeno, una que se adapte a las condiciones únicas de la región, en particular, en la protección e integración de las comunidades

locales. Una postura regional también puede ayudar en los debates internacionales sobre condiciones comerciales, estándares y certificación. Crear un bloque regional con una posición y una perspectiva comunes sería importante al momento de debatir las condiciones de exportación, los criterios de sustentabilidad y otros aspectos esenciales del mercado del hidrógeno.

Cooperación internacional centrada en el comercio de productos PtX

Los posibles países importadores están en la búsqueda de tener garantizado su futuro suministro de hidrógeno, en consonancia con sus ambiciosas estrategias de descarbonización y como medida para mitigar la actual crisis de combustibles fósiles. A

pesar del gran interés y el potencial de Argentina, el país todavía no forma parte de ninguno de estos acuerdos bilaterales sobre hidrógeno renovable o productos PtX.

Los acuerdos bilaterales de suministro de hidrógeno transmiten una señal positiva para el desarrollo de un potencial mercado de PtX, atraen la inversión y hacen avanzar los debates nacionales sobre la elaboración de políticas y marcos regulatorios adecuados para la producción de hidrógeno renovable. Y, sobre todo, estos acuerdos pueden abrir nuevas rutas comerciales para los productos PtX.

Además, celebrar este tipo de acuerdos con posibles países importadores posicionaría a Argentina como un actor relevante en los debates geopolíticos sobre el hidrógeno. Un primer paso para Argentina podría

Iniciativa/institución	Tipo	Año	Concepto
Asociación Argentina de Energía Eólica (AAEE) y Asociación Argentina del Hidrógeno	Privada	1996	Potencial de producción de hidrógeno en la Patagonia, con foco en el hidrógeno líquido.
Hychico	Privada	2006	Primer proyecto piloto de electrólisis de hidrógeno a partir de energía eólica en enero de 2009, con capacidad de 94,5 toneladas al año.
		2010	Tubería de transporte de hidrógeno de alrededor de 23 km de largo. Instalaciones piloto de almacenamiento subterráneo que utilizan campos agotados de petróleo y gas.
Instituto de Tecnologías del Hidrógeno y Energías Sostenibles (ITHES)	Pública		Planta piloto de hidrógeno a pequeña escala de biocombustibles (bioetanol, glicerol y biogás).
Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable (IEDS)	Pública		Producción de hidrógeno a partir de energía nuclear; hidrógeno como derivado de la biorremediación; producción enzimática
			Uso de hidrógeno combinado con gas natural para el transporte público y de mercancías.
Consortio para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno en Argentina (H ₂ AR)	Público-privada		Promoción de intercambio y estrategias para el desarrollo de tecnologías y del mercado del hidrógeno en Argentina.
Plataforma H ₂ Argentina	Público-privada	2020	Centrado en la elaboración de políticas y normas energéticas para el desarrollo de hidrógeno renovable. En septiembre de 2021, esta plataforma promovió un proyecto de ley para actualizar la legislación argentina en materia de hidrógeno.

Fundación Torcuato di Tella (2023)

ser revisar los acuerdos de comercio energético y bilaterales existentes con el objetivo de identificar nuevas áreas de expansión que incluyan los productos PtX.

Sin embargo, el país tiene que evaluar meticulosamente los términos de estos acuerdos bilaterales a

fin de garantizar condiciones adecuadas, factibles y realistas para todas las partes involucradas. El comercio de hidrógeno requiere un marco EESG bien establecido que cubra sus componentes más importantes, evite la promoción de industrias extractivas y ofrezca ventajas socioeconómicas significativas a Argentina.

Referencias

Agora Energiewende, Agora Industry (2021).

12 Insights on Hydrogen, <https://www.agora-energie-wende.de/en/publications/12-insights-on-hydrogen-publication/>, (Último acceso Mayo 2023)

Air Transport Action Group (ATAG) (2021).

Waypoint 2050 X, Balancing growth in connectivity with a comprehensive global air transport response to the climate emergency: a vision of net-zero aviation by mid-century, https://aviationbenefits.org/media/167417/w2050_v2021_27sept_full.pdf (Último acceso Marzo 2023)

F. Ausfelder, E. O. Herrmann, and L. F. López

González (2022). *Perspective Europe 2030 technology options for CO₂-emission reduction of hydrogen feedstock in ammonia production. Frankfurt am Main: DEHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.*, https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/Studie+Ammoniak.pdf, (Último acceso Marzo 2023)

Banco Central de la República Argentina (BCRA)

(2023). *Tipo de Cambio de Referencia Comunicación "A" 3500 (Mayorista) y Tipo de Cambio Nominal Promedio Mensual (TCNPM)*. Retrieved December 2022, https://www.bcra.gob.ar/publicacionesestadisticas/tipos_de_cambios.asp, (Último acceso Marzo 2023)

BloombergNEF (2022). *Electric Vehicle Outlook 2022*, <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/> (Último acceso Marzo 2023)

Bolsa de Comercio de Rosario (2021). *Fertilisers: perspectives and opportunities for Argentina (Fertilizantes: panorama y oportunidades para la Argentina)*, <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/fertilizantes>, (Último acceso Agosto 2022)

Cámara Argentina de Energías Renovables (CADER)

(2022). *Technical and economic evaluation of priority extensions to increase the capacity of injection of renewable energies in the SADI*

CAMMESA (2022). *Monthly Synthesis*. Retrieved

December 2022, "Informes y Estadísticas", <https://cammesaweb.cammesa.com/informes-y-estadisticas/>, (Último acceso Marzo 2023)

Caratori. L. (2022). *A strategic analysis on Energy in*

Argentina for 2023-2024

Food and Agriculture Organisation of the United

Nations (FAO) (2020). *Actualización del balance de biomasa con fines energéticos en la Argentina. Colección Documentos Técnicos N.º 19. Buenos Aires*, <https://www.fao.org/publications/card/en/c/CA8764ES/>, (Último acceso Marzo 2023)

Interamerican Development Bank (IDB) (2017). *La*

Red del Futuro: Desarrollo de una red eléctrica limpia y sostenible para América Latina, <https://publications.iadb.org/en/la-red-del-futuro-desarrollo-de-una-red-electrica-limpia-y-sostenible-para-america-latina>, (Último acceso Mayo 2023)

International Energy Agency (IEA) (2022). *Global*

Hydrogen Review 2022, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c5bc75b1-9e4d-460d-9056-6e8e626a11c4/GlobalHydrogenReview2022.pdf>, (Último acceso Octubre 2022)

IEA (2022a). *How the energy crisis is exacerbating*

the food crisis, Commentary, <https://www.iea.org/commentaries/how-the-energy-crisis-is-exacerbating-the-food-crisis>, (Último acceso Octubre 2022)

IEA (2022b). *World Energy Outlook 2022, Paris*, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c282400e-00b0-4edf-9a8e-6f2ca6536ec8/WorldEnergyOutlook2022.pdf>, (Último acceso Noviembre 2022)

IEA (2021). *Hydrogen in Latin America, From near-term opportunities to large-scale deployment, Paris*, <https://www.iea.org/reports/hydrogen-in-latin-america> (Último acceso Mayo 2023)

International Renewable Energy Agency (IRENA) (2022). *World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi*, <https://irena.org/publications/2022/mar/world-energy-transitions-outlook-2022>, (Último acceso Noviembre 2022)

IRENA (2022a). *Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi*, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jan/IRENA_Geopolitics_Hydrogen_2022.pdf?rev=1cfe49eee979409686f101ce24ffd71a, (Último acceso Marzo 2023)

IRENA (2022b). *Statistical Profiles, Argentina*, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/South-America/Argentina_South-America_RE_SP.pdf?rev=cabed6bcdce4d3e9cdbe0e87676afbf, (Último acceso Marzo 2023)

Fraunhofer IEE (2022). *Global PtX Atlas*, <https://maps.iee.fraunhofer.de/ptx-atlas/> (Último acceso Febrero 2023)

Fraunhofer IEE (2021). *PTX-ATLAS: Weltweite Potenziale für die Erzeugung von grünen Wasserstoff und Klimaneutralen synthetischen Kraft- und Brennstoffen*, https://www.iee.fraunhofer.de/content/dam/iee/energiesystemtechnik/de/Dokumente/Veroeffentlichungen/FraunhoferIEE-PtX-Atlas_Hintergrundpapier_final.pdf (Último acceso Febrero 2023)

Fundación Torcuato Di Tella (FTDT)/CEPE (2022). *Actualización de las emisiones energéticas, primer semestre de 2022*, https://www.utdt.edu/ver_contenido.php?id_contenido=22485&id_item_menu=37106#:~:text=Actualizaci%C3%B3n%20del%20Bolet%C3%ADn%2D%201%C2%B0%20semestre%20de%202022

FTDT (2020). *Deep Decarbonization Latin America Project – Argentina - Dossier de oportunidades de mitigación y su priorización*, <https://descarboniz.ar/resultados-del-proye/dossier-de-oportunidades-de-mitigacion-y-su-priorizacion/> (Último acceso Marzo 2023)

Hilbert, Jorge & Caratori, Luciano. (2021). *El potencial de los biocombustibles argentinos para contribuir al cumplimiento de las contribuciones de Argentina en el marco del Acuerdo de París*. 10.13140/RG.2.2.13044.48002/1.

National institute of statistics and censuses (INDEC) (2023). *Intercambio comercial argentino*, <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-2-40>, (Último acceso Marzo 2023)

Ministry of Environment and Sustainable Development (MAyDS) (2022). *Informe Nacional de Inventario del Cuarto Informe Bienal de Actualización de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC)*.

Ministry of Productive Development of Argentina (2021). *Proyecto de Ley de Promoción de la Movilidad Sustentable*, https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/10/movilidad_sustentable.pdf (Último acceso Noviembre 2022)

Ministry of Transport of Argentina (2023). *Plan de Modernización de Puertos*, <https://www.argentina.gob.ar/transporte/puertos/plan-de-modernizacion-de-puertos-0>

Ocko IlisaB., Hamburg Steven P. (2022). *Climate consequences of hydrogen emissions, Atmospheric Chemistry and Physics*, <https://acp.copernicus.org/articles/22/9349/2022/acp-22-9349-2022.pdf>, (Último acceso January 2023)

Oh, D. & Yeon, Y. (2022). *Unveiling Fossil Green-washing: Hidden Emissions of Korea's Hydrogen Scheme. Solutions for Our Climate (SFOC)*

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2021). *Towards a Climate-Neutral Germany by 2045. How Germany can reach its climate targets before 2050 Executive Summary conducted for Stiftung Klima-neutralität, Agora Energiewende and Agora Verkehrswende.*

Rosenow, J & Lowes, R. (2021). *Will blue hydrogen lock us into fossil fuels forever? One Earth. Volume 4, issue 11, P1527-1529*

sieLAC – OLADE (Latinoamerican Energy Organisation) (2022). *Sistema de Información Energética de Latinoamérica y el Caribe (Latin American and Caribbean Energy Information System)*, <http://sielac.olade.org/>

Secretariat of Energy (2023). *National electricity transmission expansion plan*

Secretariat of Energy (2022). *Biofuels Statistics*

Transener (2022). *Guía de referencia del sistema de transporte de alta tensión 2023-2030*

Undersecretariat of Energy Planning (2019). *Innovative policy approaches to catalyze the energy transition in Argentina, The case of renewables, Presentation at IEA 2019 TCP Universal Meeting, June 2019*, https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2019-06-19_argentina_universal_tcp_meeting_caratori_.pdf (Último acceso Mayo 2023)

World Bank (2022). *Guidelines for a Port and Inland Waterways Strategy in Argentina*, <https://tradenews.com.ar/wp-content/uploads/2022/11/Guidelines-for-a-Ports-and-Inland-Waterways-Strategy-in-Arentina-.pdf>

Y-TEC (2021). *Avanza la construcción de la primera planta argentina de desarrollo de baterías de litio, Online commentary*, <https://y-tec.com.ar/avanza-la-construccion-de-la-primera-planta-argentina-de-desarrollo-de-baterias-de-litio/>, (Último acceso Noviembre 2022)

Publicaciones de Agora Energiewende

EN INGLÉS

Chemicals in transition

The three pillars for transforming chemical value chains

Levelised cost of hydrogen

Making the application of the LCOH concept more consistent and more useful

15 Insights on the Global Steel Transformation

Decarbonisation in State-Owned Power Companies

Briefing from the workshop on 28–29 September 2022

From coal to renewables

A power sector transition in Kazakhstan

12 Insights on Hydrogen – Argentina Edition

Breaking free from fossil gas

A new path to a climate-neutral Europe

How Europe can make its power market more resilient

Recommendations for a short-term reform

Argentina as a hub for green ammonia

A forward-looking development strategy for addressing the global energy and climate crises

Overview of China's Energy Transition 2022

Chapter on Oil

Transforming industry through carbon contracts (Steel)

Analysis of the German steel sector

The driving forces behind the green transition in Europe and South Korea

A comparison between the European Green Deal and the Korean Green New Deal

Overview of China's Energy Transition 2022

Chapter on Natural Gas

Coal Phase-Out in Germany

The Multi-Stakeholder Commission as a Policy Tool

Publicaciones de Agora Energiewende

EN ALEMÁN

Windstrom nutzen statt abregeln

Ein Vorschlag zur zeitlichen und regionalen Differenzierung der Netzentgelte

Chemie im Wandel

Die drei Grundpfeiler für die Transformation chemischer Wertschöpfungsketten

Roll-out von Großwärmepumpen in Deutschland

Strategien für den Markthochlauf in Wärmenetzen und Industrie

Stellungnahme zum Entwurf eines Gesetzes zur Anpassung des Energiewirtschaftsrechts an unionsrechtliche Vorgaben

Referentenentwurf des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz

Ein neuer Ordnungsrahmen für Erdgasverteilnetze

Analysen und Handlungsoptionen für eine bezahlbare und klimazielkompatible Transformation

Rückenwind für Klimaneutralität

15 Maßnahmen für den beschleunigten Ausbau der Windenergie

Klimaneutrales Stromsystem 2035 (Zusammenfassung)

Wie der deutsche Stromsektor bis zum Jahr 2035 klimaneutral werden kann

Stellungnahme zum Netzentwicklungsplan Gas 2022-2032 der Fernleitungsnetzbetreiber

Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2022

Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2023

Volle Leistung aus der Energiekrise

Mit Zukunftsinvestitionen die fossile Inflation bekämpfen

Durchbruch für die Wärmepumpe

Praxisoptionen für eine effiziente Wärmewende im Gebäudebestand

Power-2-Heat

Erdgaseinsparung und Klimaschutz in der Industrie

Schutz in der fossilen Energiekrise

Optionen für Ausgleich und Entlastung

Todas nuestras publicaciones se encuentran disponibles en nuestro sitio web:
www.agora-energiewende.org

Sobre Agora

Agora Energiewende desarrolla análisis científicamente sólidos y políticamente viables para garantizar el éxito de la transición energética en Alemania, Europa y el resto del mundo. La organización trabaja independientemente de los intereses económicos y partidistas. Su único compromiso es con la acción climática. Agora Industry es una división de Agora Energiewende que diseña estrategias e instrumentos hacia una transformación climáticamente neutra de la industria.



Esta publicación está disponible para su descarga escaneando este código.

Agora Energiewende

Anna-Louisa-Karsch-Straße 2 | 10178 Berlin, Germany

P +49 (0)30 700 14 35-000

F +49 (0)30 700 14 35-129

www.agora-energiewende.de

info@agora-energiewende.de

Agora Industry

Anna-Louisa-Karsch-Straße 2 | 10178 Berlin, Germany

P +49 (0)30 700 14 35-000

F +49 (0)30 700 14 35-129

www.agora-industry.org

info@agora-industrie.de

