



# Hoja de ruta del **hidrógeno verde** en Uruguay



Ministerio  
**de Industria,  
Energía y Minería**

# Hoja de ruta del **hidrógeno verde** en Uruguay



## GRUPO INTERINSTITUCIONAL:



Ministerio de **Industria, Energía y Minería**  
Ministerio de **Relaciones Exteriores**  
Ministerio de **Economía y Finanzas**  
Oficina de **Planeamiento y Presupuesto**

Ministerio de **Transporte y Obras Públicas**  
Ministerio de **Vivienda y Ordenamiento Territorial**  
Ministerio de **Ambiente**



CON EL APOYO:





Este documento surge del trabajo del grupo instersintitucional, coordinado por el MIEM y con el apoyo del BID durante el 2021 e inicios del 2022.

Este documento está en consulta a partir de la fecha de su presentación (junio 2022) hasta la fecha comunicada en [www.hidrogenoverde.uy](http://www.hidrogenoverde.uy).

Se podrán realizar comentarios y aportes a través del mail: [hidrogeno@miem.gub.uy](mailto:hidrogeno@miem.gub.uy)

Este informe se ha elaborado con especial preocupación en el uso de expresiones y conceptos que no excluyan a las personas por su género. En algunos casos, con el fin de evitar la sobrecarga gramatical se ha utilizado el masculino genérico en el entendido de que este designa indistintamente a hombres y mujeres, sin que por ello deba interpretarse un uso sexista del lenguaje.

La referencia a este documento es: Hoja de Ruta del Hidrógeno verde en Uruguay, MIEM 2022.

[www.miem.gub.uy](http://www.miem.gub.uy) | [www.hidrogenoverde.uy](http://www.hidrogenoverde.uy)

El presente documento es un insumo técnico elaborado por el mencionado grupo interinstitucional para que el Estado Uruguayo pueda diseñar las políticas públicas necesarias para desarrollar la industria del hidrógeno verde. En cualquier caso, el presente documento no constituye ninguna obligación legal.

Diseño: 3Vectores

Fotos: Banco de fotos del MIEM, de UruguayXXI y unsplash.com



## ACRÓNIMOS

ANCAP	Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland
ANII	Agencia Nacional de Investigación e Innovación
ANP	Administración Nacional de Puertos
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CONICYT	Consejo Nacional de Innovación, Ciencia y Tecnología
DRI	Reducción Directa de Hierro (Direct Reduced Iron, en inglés)
Energía Eólica <i>Offshore</i>	Energía generada por aerogeneradores ubicados en el mar
Energía Eólica <i>Onshore</i>	Energía generada por aerogeneradores ubicados en tierra
ESG Factors	Factores Ambientales, Sociales y de Gobernanza (Environment, Social and Governance Factors, en inglés)
GW	GigaWatt
Gt	Gigatoneladas
e-Jet Fuel	Combustible de aviación, en este caso, elaborado a base a hidrógeno verde.
LATU	Laboratorio Tecnológico del Uruguay
MEF	Ministerio de Economía y Finanzas
MIEM	Ministerio de Industria, Energía y Minería
MVOT	Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial
MRREE	Ministerio de Relaciones Exteriores
Mt	Megatoneladas
MTOP	Ministerio de Transporte y Obras Públicas
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMI	Organización Marítima Internacional
OPP	Oficina de Planeamiento y Presupuesto
PIB	Producto Interno Bruto
SAF	Sustainable Aviation Fuel
SYNFUEL	Para este documento, combustible sintético elaborado a base a hidrógeno verde
TCO	Costo total de propiedad a la largo de su vida útil (Total Cost of Ownership, en inglés)
URSEA	Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua
USD	Dólares americanos
UTE	Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas



# TABLA DE CONTENIDO

<b>Prólogo</b>	<b>6</b>
<b>1- Resumen ejecutivo</b>	<b>8</b>
<b>2- Colaboración y metodología</b>	<b>11</b>
<b>3- ¿Por qué hidrógeno verde?</b>	<b>13</b>
3.1- Situación global	14
3.2- Roles del hidrógeno verde en la transición energética	15
<b>4- ¿Por qué hidrógeno verde en Uruguay?</b>	<b>17</b>
4.1- Un país que impulsa estrategias sostenibles	18
4.1.1- Política energética y primera etapa de la transición	19
4.1.2- Políticas de sostenibilidad	19
4.2- Ventajas competitivas para desarrollar el hidrógeno verde y derivados	20
4.2.1- Potencial y complementariedad de energías renovables	20
4.2.2- Matriz eléctrica con participación renovable del 97%	22
4.2.3- Alta disponibilidad de agua	22
4.2.4- Alta disponibilidad de CO <sub>2</sub> /biomasa	24
4.2.5- Logística	24
4.2.6- Un país para invertir	25
<b>5- Producción de hidrógeno verde y derivados</b>	<b>26</b>
<b>6- Potencial del mercado doméstico y de exportación</b>	<b>30</b>
6.1- Mercado doméstico	31
6.2- Mercado de exportación	33
<b>7- Ambición 2040</b>	<b>36</b>
<b>8- Identificación de riesgos para el desarrollo del sector</b>	<b>41</b>
<b>9- Construcción de una política de Estado</b>	<b>44</b>
9.1- Desarrollo de aspectos regulatorios e incentivos	45
9.2- Impulso a la participación ciudadana y generación de capacidades	46
9.3- Apoyo para desarrollo de infraestructura	47
9.4- Fortalecimiento de la cooperación internacional	47
9.5- Implementación de la hoja de ruta del Programa H2U	48
<b>10- Referencias</b>	<b>49</b>

## PRÓLOGO



Tengo el agrado de dirigirme a ustedes para hablarles de la hoja de ruta que Uruguay pone en conocimiento público para convertirse en un país líder en producción y exportación de hidrógeno verde.

El presente documento es el resultado de un arduo trabajo llevado adelante por un formidable grupo de colaboradores de diferentes organismos, a quienes va un especial agradecimiento por su compromiso y profesionalidad. Quisiera destacar el apoyo brindado por el Banco Interamericano de Desarrollo por la colaboración de sus profesionales de alto nivel técnico y por permitirnos contar con información sólida para la toma de decisiones.

Asimismo, el proceso de elaboración incluyó una serie de mesas de intercambio con actores directamente involucrados en la temática, tanto del sector público como del privado y la academia. También se basó en estudios de factibilidad realizados por una prestigiosa consultora internacional.

Ahora bien, ¿por qué el hidrógeno verde? ¿Por qué ahora?

Al poco tiempo de asumir como ministro de Industria, Energía y Minería tuve el gusto de recibir a varias delegaciones que comenzaban a posicionar al hidrógeno verde como la clave para acelerar la transición energética global. Uruguay comenzaba ya a dar sus primeros pasos hacia la descarbonización de su matriz de transporte pesado y de larga distancia.

El hidrógeno es uno de los recursos más abundantes del planeta y se usa regularmente en diferentes procesos industriales. Es un vector capaz de almacenar y transportar energía y puede utilizarse directamente o para la producción de insumos energéticos.

Entonces, ¿cuál era la novedad? En un escenario de descarbonización global a 2050 y en aquellos sectores de mayor dificultad para bajar emisiones, las energías renovables (solar y eólica), que atraviesan un proceso de reducción de costos, y el agua nos permiten producir insumos energéticos verdes o con mínimo impacto ambiental. Es por esto que la Unión Europea, Estado Unidos, Reino Unido y Japón (entre otros) seleccionaron al hidrógeno como uno de los principales vectores que permitirán descarbonizar aquellos sectores de la economía con mayor dificultad para abatir su huella climática.

El hidrógeno permite la electrificación del transporte terrestre de larga distancia y carga, pero además su aplicación mediante procesos químicos conocidos permite la producción de combustibles verdes como el metanol de origen renovable, el amoníaco, el kerosene verde y el diésel sintético. Estos combustibles y químicos verdes son los que permiten descarbonizar el transporte marítimo y aéreo, los fertilizantes y la producción de acero y de cemento, entre otros.

El proceso para lograr la transición energética está tomando mucho impulso en el mundo, a través de estrategias como la electromovilidad (camino que Uruguay ya ha iniciado) y del hidrógeno verde. Se han comprometido fondos significativos en el desarrollo de una economía del hidrógeno y constituye un aspecto estratégico en la agenda tanto de los principales países como de compañías globales. La geopolítica energética está iniciando un proceso de transición hacia una mayor diversificación, en la que países que históricamente no han tenido recursos energéticos relevantes se posicionan como



nuevos jugadores con diversos roles y posibilidades.

Uruguay se enfrenta a una oportunidad única de ampliar la frontera de producción energética y exportadora del país. La primera transición energética nos ha demostrado el potencial de producción de renovables y ha reforzado nuestra credibilidad como país destinatario de inversiones de gran porte. Buscamos pasar del sol y del viento al hidrógeno, lo que nos permitirá producir combustibles sintéticos exportables, así como otros derivados, y de ahí fertilizantes verdes que podrán impulsar una producción sostenible, derramando a otros sectores de la economía, tanto a nivel industrial como agropecuario.

Desarrollar la cadena de producción de hidrógeno verde y derivados para el mercado de exportación y el mercado doméstico nos permitirá apalancar el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y, por otra parte, reforzar los esfuerzos para alcanzar nuestros compromisos a nivel climático, creando oportunidades laborales y mejorando la sostenibilidad de nuestra economía. ¿Cómo aprovechar esta oportunidad y dotar a los agentes de los correctos incentivos?

Eso es lo que intenta responder esta hoja de ruta, basada en nuestro potencial: proponer metas ambiciosas al 2040 y aunar el esfuerzo de diversos organismos del Estado para, en conjunto con el sector privado, alcanzar los objetivos. El desafío es muy grande, con muchas interrogantes por resolver. De todas formas, el Uruguay tiene la rica tradición de generar políticas públicas asentadas en sólidos estudios técnicos, planificación estratégica y colaboración de todos los actores (públicos y privados) en la obtención de las metas planteadas.

Esta hoja de ruta es un primer paso para comenzar a fijar un rumbo en diálogo con muchos otros actores y, en paralelo, ir impulsando acciones concretas a través del desarrollo de un programa específico llamado H2U. Ya se han desarrollado regulaciones e incentivos para promover la producción nacional de la primera molécula de hidrógeno verde, que nos permitirá ir generando capacidades y conocimiento, así como mayores oportunidades para la sociedad en su conjunto.

Finalmente, invito a todos a participar de la consulta de este documento con el objetivo de enriquecer el trabajo realizado, y así poder acelerar la segunda transición energética.

**Omar Paganini,**

Ministro de Industria, Energía y Minería



# 1. Resumen **ejecutivo**



## 1. RESUMEN EJECUTIVO

Las ambiciosas metas de descarbonización para 2050, establecidas a nivel global, llevan a la necesidad de impulsar cambios acelerados y significativos, tanto respecto a las fuentes de energía utilizadas como al uso de materias primas consumidas en distintos procesos industriales.

Por otra parte, la transición energética buscada implica que países con alta dependencia de pocos proveedores de energía fósil tengan la necesidad de diversificar sus fuentes de energía renovable, lo que les permitirá mayor resiliencia a lo largo del tiempo así como una disminución de los riesgos futuros. En este marco, el hidrógeno verde, producido a partir de agua y energías renovables y con capacidad de descarbonizar distintos usos (transporte, energía térmica, energía industrial, materias primas y estabilización de redes eléctricas altamente renovables), se ha posicionado como un vector energético de gran relevancia en la agenda global, en especial para aquellos sectores donde la descarbonización a través de energía eléctrica es muy compleja. En un escenario proyectado de alta demanda tanto en Europa como en el este asiático, habrá países que serán importadores y países que serán exportadores

de hidrógeno de bajas emisiones. Uruguay se ubica entre estos últimos, con condiciones que lo vuelven muy competitivo.

Nuestro país prácticamente ha descarbonizado su matriz eléctrica, y se ha posicionado en un lugar destacado a nivel mundial, con un 97% de participación de energías renovables (periodo 2017-2020). La calidad, abundancia y complementariedad de los recursos eólico y solar permitirían dar continuidad a este proceso para así lograr costos competitivos para la producción de hidrógeno a escala. Para 2030, los costos de producción pueden alcanzar 1,2-1,4 USD/kg, con una capacidad total mayor a los 90 GW de potencia a partir de energía renovable en los sitios con mayor potencial.

A su vez, el país cuenta con centrales hidroeléctricas, infraestructura de red de transporte de energía eléctrica y fácil acceso a biomasa, que pueden permitir una producción competitiva de combustibles sintéticos (e-metanol y e-Jet Fuel). Se destaca el puerto de Montevideo con acceso al océano Atlántico y la actual operativa logística interna desarrollada, así como su fortaleza financiera, que genera condiciones favorables para el desarrollo de nueva infraestructura.

Uruguay cuenta con alta disponibilidad de agua dulce por pertenecer a una gran cuenca



regional, así como por el régimen de precipitaciones anuales. La demanda de agua necesaria para la producción de hidrógeno verde propuesta en esta hoja de ruta es notoriamente menor respecto a demandas actuales de sectores agrícolas e industriales en el país.

Teniendo en cuenta la potencialidad de sus recursos y las metas establecidas, para 2040 la producción de hidrógeno podrá acercarse a un millón de toneladas por año. Esto requerirá una instalación de 20 GW en energías renovables y 10 GW en electrolizadores. En una primera fase se impulsará la exportación de combustibles sintéticos y fertilizantes verdes, que permitirán traccionar el mercado doméstico apuntando al transporte pesado de larga distancia. Será necesario generar incentivos y reglamentaciones así como analizar las futuras infraestructuras que generen las condiciones para una siguiente fase en la que sea posible exportar hidrógeno y amoníaco verde.

El hidrógeno verde y sus derivados representan una oportunidad de facturación para Uruguay de 2100 millones de dólares anuales a 2040, impulsada por los mercados de exportación de combustibles sintéticos e hidrógeno, así como por el uso de hidrógeno para la descarbonización profunda de su economía (en los sectores transporte, pulpa y papel, transporte marítimo y agricultura).

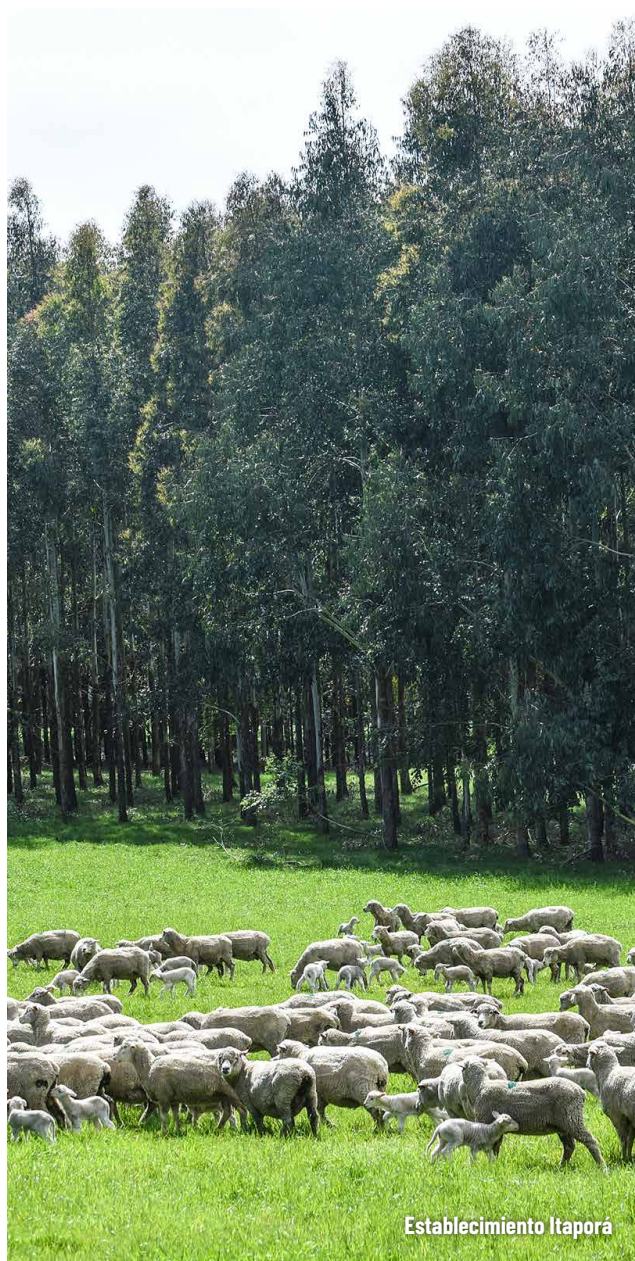
El desarrollo de la industria de hidrógeno verde podría generar más de 35 000 puestos de trabajo directos calificados en construcción de plantas, operación y mantenimiento, logística y educación técnica.


La experiencia de décadas en desarrollo de proyectos de energías renovables; marcos regulatorios sólidos; estabilidad política, institucional y legal, y solidez macroeconómica hacen de Uruguay un lugar atractivo para la inversión extranjera y en particular para el desarrollo de proyectos de hidrógeno, muchos de ellos de gran escala.

El desarrollo de una economía de hidrógeno verde a nivel nacional aportará a la diversifi-

cación de la matriz productiva nacional, al aumentar el valor agregado a través de un nuevo eslabón industrial y desarrollar el potencial exportador a nuevos mercados a nivel mundial, con la consecuente contribución significativa al desarrollo económico.

El Gobierno de Uruguay ubica al hidrógeno verde como un instrumento prioritario en su programa de sostenibilidad y está comprometido a impulsar la regulación correspondiente, la racionalización de los permisos, un conjunto de incentivos atractivos y el análisis de la infraestructura necesaria para su desarrollo y su eventual promoción a futuro.





## 2. **Colaboración y metodología**

## 2. COLABORACIÓN Y METODOLOGÍA

Uruguay comenzó a trabajar en el desarrollo del hidrógeno verde en el año 2018, a partir de la formación de un grupo interinstitucional inicial compuesto por el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) y las empresas públicas de energía ANCAP y UTE. En esta primera etapa se entendía el desarrollo del hidrógeno verde como un paso natural para el país, luego de haber culminado la descarbonización de la matriz eléctrica. Se vislumbraban las oportunidades que se generarían a mediano y largo plazo en la descarbonización del sector energético (transporte carretero pesado, marítimo y aéreo; industria, etc.) y de las materias primas, lo que se suma a la ventaja de constituir un vector energético que permite distribuir energía renovable entre sectores y regiones. El foco de ese momento estuvo puesto en el análisis de la producción de hidrógeno verde a partir de energías renovables y su uso en el transporte pesado y de larga distancia, en lo que se llamó el Proyecto Verne.

En 2020, el grupo interinstitucional de hidrógeno se amplió y se incorporaron otros ministerios e instituciones del Estado. A la fecha lo integran el MIEM, el Ministerio de Ambiente (MA), el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), la Administración Nacional de Puertos (ANP), la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII), Uruguay XXI, ANCAP, UTE y el Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU).

En ese mismo año se trabajó junto con el puerto de Róterdam (PoR), Países Bajos, en la realización de estudios preliminares que permitieron vislumbrar el potencial que tenía el Uruguay para ser un país productor y exportador de hidrógeno verde y derivados hacia Europa, y especialmente hacia el PoR. Durante todo el proceso se recibió constante apoyo y estrecha colaboración del Banco Interamericana-

no de Desarrollo (BID), hasta la realización de una publicación con las primeras conclusiones de dicho trabajo (Banco Interamericano de Desarrollo, 2021).

Durante 2021, también con el apoyo del BID, se avanzó en el desarrollo de la presente hoja de ruta. En primera instancia se contrató a McKinsey & Company (de acuerdo con el contrato C-RG-T3777-P001 concluido con el BID) para la realización de estudios técnicos que dieran soporte a este documento. El detalle completo de estos estudios será de acceso público. Como parte de este proceso se desarrollaron tres instancias de intercambio con actores relevantes del sector (mesas de trabajo), que incluyeron la participación de más de 70 representantes del ámbito nacional e internacional en cada encuentro. A continuación se detalla el alcance de cada una de ellas.


**Mesa 1: Oferta y demanda de hidrógeno verde y derivados.** Costos de producción en Uruguay: costo nivelado de energía eléctrica (LCOE, por sus siglas en inglés), costo nivelado de hidrógeno (LCOH, por sus siglas en inglés) y costo de derivados de hidrógeno. Potencial mercado doméstico y de exportación.

**Mesa 2: Habilitadores y barreras.** Aspectos regulatorios, permisos, financiamiento, acuerdos bilaterales, infraestructura requerida, talento y licencia social.

**Mesa 3: Propuesta inicial de hoja de ruta de hidrógeno verde.** Hitos principales, beneficio socioeconómicos, análisis de riesgos.

Luego de un proceso de análisis e intercambio con actores relevantes a nivel nacional e internacional, se concluye que Uruguay tiene muy buenas condiciones para el desarrollo del hidrógeno verde y derivados, tanto para comercializar a nivel local como para la exportación. A partir de esa conclusión es que se plantea la presente hoja de ruta a 2040.

3.  
¿Por qué  
**hidrógeno  
verde?**



## 3. ¿POR QUÉ HIDRÓGENO VERDE?

El hidrógeno verde es clave para lograr las ambiciosas metas de descarbonización a nivel global, en particular para aquellos sectores donde es más difícil reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El hidrógeno es muy versátil ya que puede utilizarse directamente o combinarse con otros elementos para producir nuevos productos. Es de aplicación para los sectores de transporte terrestre, marítimo y aéreo así como para uso industrial, doméstico y para estabilización de los sistemas energéticos renovables

### 3.1 - Situación global

De acuerdo a los estudios del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), para limitar el calentamiento global a menos de 1,5° C el mundo debe lograr ser carbono neutral en el año 2050 (IPCC, 2018).

El 80,2% de la energía global que se consume proviene de fuentes fósiles (Renewables - REN 21, 2021). Su demanda continuará en aumento, dado que la población mundial mantiene una tendencia creciente y se proyecta un mayor desarrollo económico. Por tanto, es urgente y prioritario acelerar una transición energética baja en carbono.

A nivel global y en el marco del Acuerdo de París (2016), en el contexto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, cada país establece medidas para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Muchos ya han fijado el objetivo de ser carbono neutrales para 2050 (Naciones Unidas, Cambio Climático, 2022) y se están desarrollando las regulaciones en este sentido (Comisión Europea – Acción Climática, 2022).

Como consecuencia, las industrias están realizando anuncios en esta línea. Las principales marcas de la industria automotriz han anunciado que sus vehículos serán emisio-

nes cero al año 2050, y algunas de ellas incluso antes (General Motors, 2022). Las compañías de transporte marítimo y de aviación han comenzado a desarrollar sus planes de descarbonización para incorporar hidrógeno y combustibles verdes sintéticos de forma gradual en sus flotas (Maersk, 2022; Airbus, 2022; Boeing, 2022).

Otras industrias energéticas también han anunciado que serán emisiones cero al año 2050, incluso empresas que tienen su negocio principal en la venta de hidrocarburos (Shell, 2022; British Petroleum, 2022).

El hidrógeno, generado a partir de fuentes de energía de bajas emisiones, tiene un papel central para alcanzar emisiones netas cero para el año 2050. Puede evitar 80 Gigatoneladas (Gt) de emisiones acumuladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el 20% de la reducción necesaria en 2050. Esto requiere el uso de 660 millones de toneladas de hidrógeno renovable y bajo en carbono, equivalente al 22% de la demanda global de energía final en 2050 (McKinsey & Company, 2022).

La estimación de la demanda de hidrógeno y derivados en Europa y algunos países asiáticos es tan elevada que será necesaria su importación desde otros sitios más lejanos para lograr cumplir con las metas establecidas (World Energy Council, 2021).

### 3.2 - Roles del hidrógeno verde en la transición energética

El hidrógeno verde aporta en diversos aspectos a la transición energética que se encuentra en curso a efectos de asegurar el cumplimiento de las metas ambientales establecidas al año 2050. La principal contribución que se ha identificado se refiere a que su producción y uso permitirían la descarbonización de usos finales de energía y materias primas que son difíciles de lograr por otra vía o que no se pueden realizar de forma directa con energías renovables o a través de la electrificación directa.

Por una parte, el uso de este vector energético posibilitaría distribuir energía en otros sectores. Es así que, partiendo de energía eléctrica de origen renovable, resultaría posible producir hidrógeno y utilizarlo en aplicaciones que incluyen una amplia variedad de usos, tales como la síntesis de amoníaco para fertilizantes; la producción de combustible para la movilidad en vehículos pesados y derivados de hidrógeno para uso marítimo y en aviación; la obtención de calor industrial; en algunas condiciones climáticas, el acondicionamiento térmico de edificaciones; y la reducción de hierro en forma directa para producción de acero, etc. (ver figura 1).

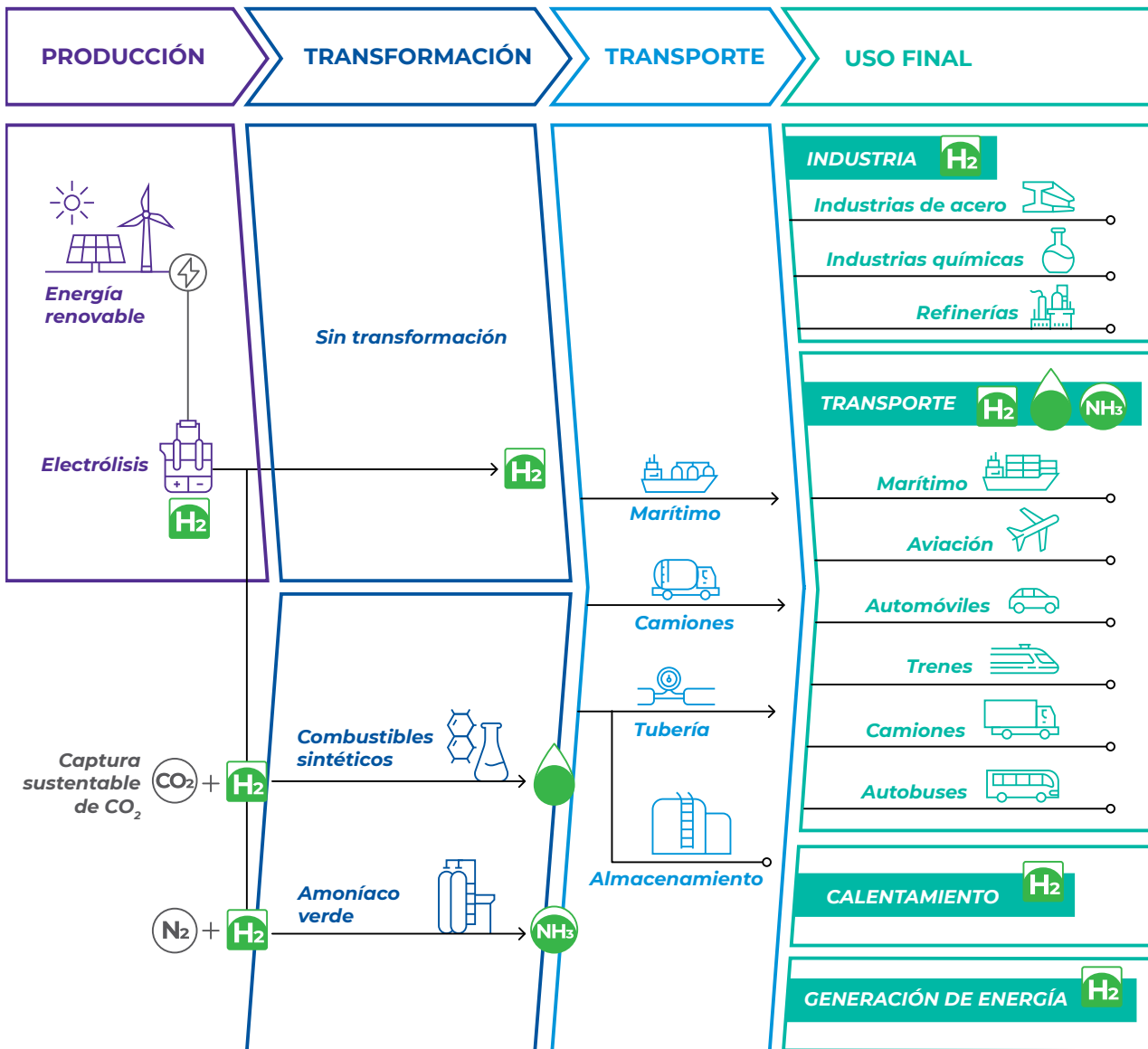


Figura 1: Usos del hidrógeno en distintos sectores como fuente de energía o materia prima.

Fuente: Basado en documento de la Agencia Internacional de Energía, "Green Hydrogen: A guide to policy making" (International Renewable Energy Agency, 2020).

Otra vía mediante la cual el hidrógeno verde contribuiría a la transición energética refiere al aumento de la resiliencia del sistema energético, al permitir la integración de energías renovables a gran escala.

El uso de hidrógeno verde y sus derivados como vectores energéticos aportaría al transporte de energía verde entre regiones a partir de la posibilidad de que fuera trasladada en forma económica a lo largo de grandes distancias, de forma similar a como hoy ocurre con otros energéticos (por ejemplo, el petróleo o el gas natural licuado). De este modo, sería posible transportar energías renovables en la forma de hidrógeno verde, derivados o productos verdes desde regiones del planeta que cuenten con la posibilidad de producir energías renovables en abundancia y de manera económica hacia áreas con déficit de recursos (o de superficie para su transformación) o en las que, directamente, su producción resulte muy onerosa. La

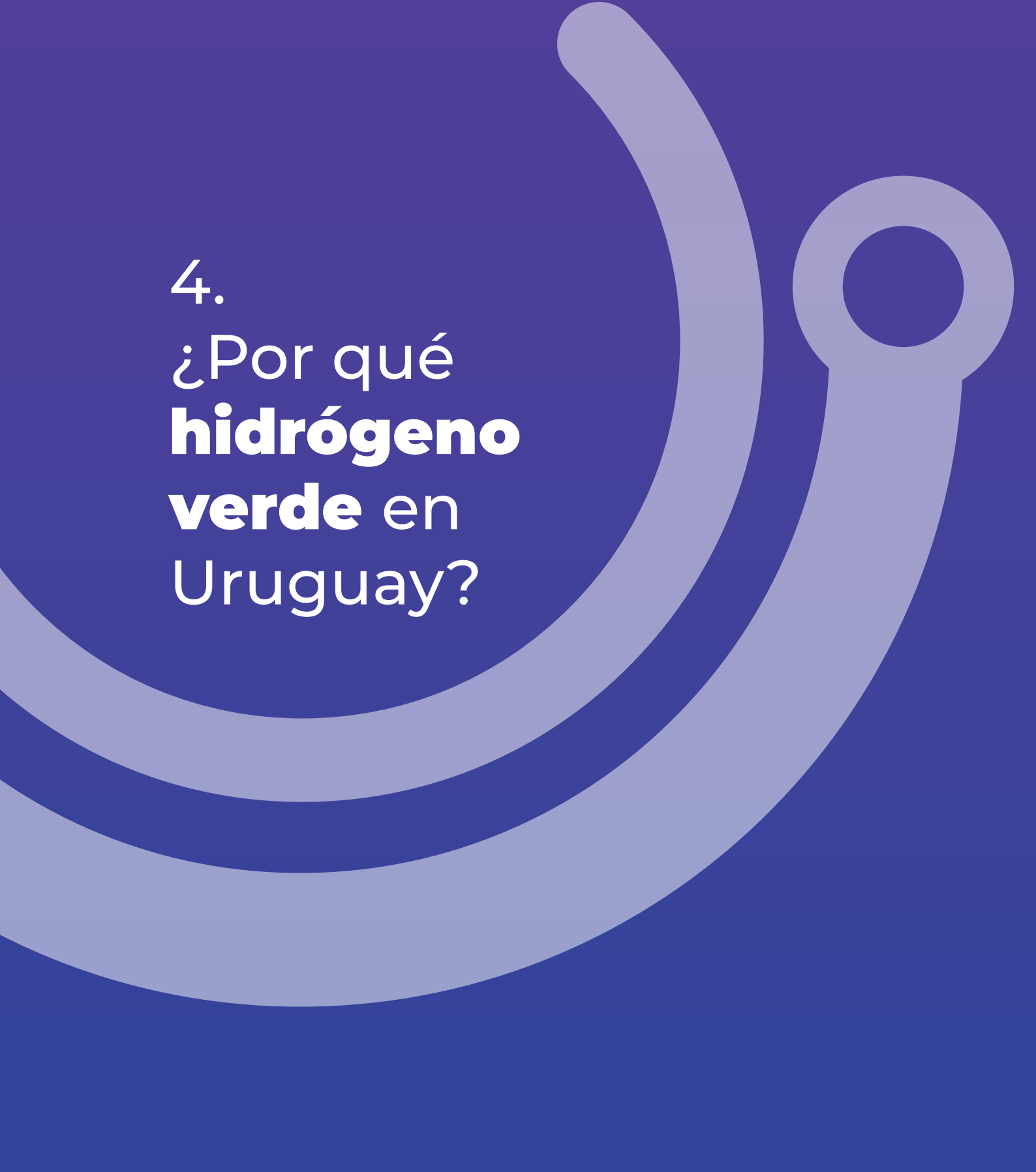


acumulación de hidrógeno en grandes cantidades y por largos períodos permitiría incrementar la participación de energías renovables en el sistema energético y contribuiría al funcionamiento continuo de la red, equilibrando los picos y valles de la demanda eléctrica, y almacenando energía en momentos de elevada disponibilidad y bajo costo para despacharla en momentos en que la demanda lo requiera. Aportaría adicionalmente a la diversificación de los recursos energéticos en las diferentes regiones, al permitir el uso de los recursos más atractivos y rentables. Posibilitaría, en otro orden, dar mayor seguridad a los distribuidores al momento de garantizar el suministro continuo a instalaciones esenciales (por ejemplo, servicios de salud y centros de datos, entre otros (Hydrogen Council, 2021).

Dentro del sector eléctrico también permitiría, en forma complementaria, la generación de energía eléctrica a partir del hidrógeno, aportando a lograr el equilibrio estacional, el respaldo para fuentes renovables variables y el funcionamiento de forma continua en la base. En otro orden, colaboraría con que los países que no pueden generar su propia energía eléctrica a partir de fuentes renovables importen hidrógeno o amoníaco verde y lo utilicen como insumo en esa actividad de generación eléctrica de origen renovable (Hydrogen Council, 2021).

Finalmente, el hidrógeno verde contribuiría a la transición en curso al dotar de mayor seguridad energética a los países en el mediano plazo, dado que podrá ser producido localmente o, eventualmente, ser importado de un significativo número de países productores distribuidos en múltiples regiones geográficas. Esto aportaría al logro de costos estables y decrecientes con el tiempo. Lo anteriormente descrito se contrapone con el sistema energético actual, en que los combustibles fósiles (80% de la matriz energética mundial) (Renewables - REN 21, 2021) son producidos por un conjunto acotado de países, a precios sujetos a variaciones por causas que los importadores no controlan.





4.  
¿Por qué  
**hidrógeno**  
**verde** en  
Uruguay?

## 4. ¿POR QUÉ HIDRÓGENO VERDE EN URUGUAY?

En Uruguay, el desarrollo del hidrógeno verde es un paso natural en su proceso de descarbonización, luego de que disminuyera significativamente el uso de los combustibles fósiles en la matriz eléctrica. Además, el país cuenta con ventajas competitivas importantes para ser un productor relevante de hidrógeno verde y derivados, tanto para el mercado local como para la exportación.

### 4.1 - Un país que impulsa estrategias sostenibles

En lo que se identifica como la primera etapa de su transformación energética, Uruguay ha alcanzado prácticamente la descarbonización de la generación de energía eléctrica. Lo anterior se traduce en una participación promedio de renovables en la matriz eléctrica del 97% en el período entre 2017 y 2020 (53% eólica, solar y biomasa y 44% hidroeléctrica), si bien la cifra varía según las características climáticas de cada

año (ver figura 2). De esta forma, el país ha disminuido significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del sector energético.

La segunda etapa de la transición energética en Uruguay incluye entre otros desafíos la descarbonización del resto del sector energético (transporte e industria), así como de las materias primas de uso industrial, el desarrollo de una economía del hidrógeno, el mantenimiento de la alta participación de energías renovables en la matriz eléctrica y un uso más eficiente del sistema eléctrico.

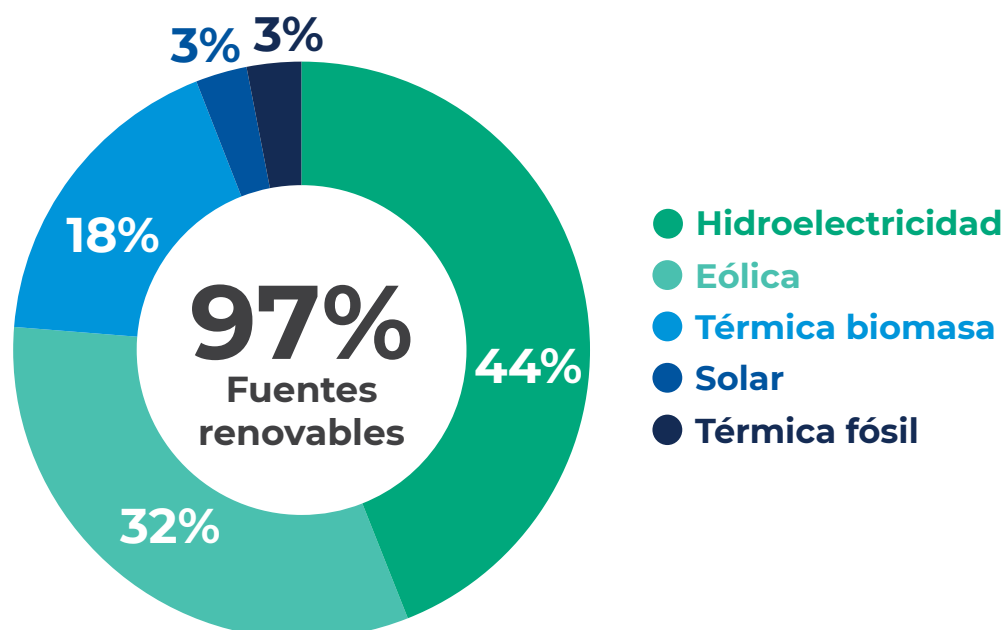


Figura 2: Generación de energía eléctrica en Uruguay - Promedio de los años 2017 a 2020.

Fuente: MIEM (ben.miem.gub.uy).



### 4.1.1 - Política energética y primera etapa de la transición

En 2008 Uruguay presentó su estrategia energética, en la que se explicita su compromiso con las energías renovables y la eficiencia energética. Esta política busca, por un lado, trascender la tradicional visión reduccionista basada en el análisis técnico-económico, al incorporar exclusivamente al análisis las dimensiones geopolítica, ambiental, social, ética y cultural. Por otra parte, esta política pública promueve la mirada y la planificación de largo plazo. Quizá su hito más relevante sea el acuerdo alcanzado en el año 2010 entre todos los partidos políticos con representación parlamentaria, que sentó las bases para la construcción de una política de Estado en el sector.

Como consecuencia de la ejecución de esta política, Uruguay prácticamente ha descarbonizado su matriz eléctrica, complementando la tradicional participación de la energía hidroeléctrica con la incorporación de energía eólica, solar y proveniente de la biomasa.

La alta penetración de las energías renovables en la matriz eléctrica ha permitido posicionar a Uruguay como un jugador de clase mundial en la transición energética. El país se ubica en el puesto número 13 en el ranking Índice de Transición Energética y es el líder de la región (Foro Económico Mundial, 2021).

En línea con su política sostenible, Uruguay se ha propuesto una Estrategia Climática de Largo Plazo a 2050 (Ministerio de Ambiente Uruguay, 2021), en la que el hidrógeno verde y sus derivados son utilizados para el transporte de carga pesada y de pasajeros de larga distancia, así como para algunos usos industriales. Consecuentemente, tanto para consumo doméstico como para exportación, el hidrógeno verde jugará un rol relevante para el país en el corto y largo plazo.

### 4.1.2 - Políticas de sostenibilidad

Uruguay cuenta con un amplio y robusto paquete de políticas públicas de desarrollo sostenible, que cubren la acción por el clima, la energía, la producción agropecuaria y los residuos.

Históricamente, y con independencia con independencia de los diferentes gobiernos, se ha impulsado el trabajo de forma transversal, articulando entre los ministerios productivos y de ambiente, entendiendo que la sostenibilidad solo puede desarrollarse de forma integrada y coherente con las demás dimensiones del desarrollo, incluida la social. Ejemplos de ello son las políticas de energía, cambio climático y forestal, y la ley de suelos, entre otros.

Dando continuidad a la relevancia de los temas ambientales a nivel de política de Estado, en el año 2020 se creó el Ministerio de Ambiente, para sumar a las acciones que priorizan los temas de sostenibilidad en la agenda y les dan mayor solidez institucional.

Uruguay, trabajando transversalmente a nivel de todos los ministerios, entes autónomos y servicios descentralizados, ha asumido la responsabilidad de guiar sus políticas públicas en torno al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), con el objeto de avanzar en cada uno de ellos hacia el año 2030. Desde 2017, Uruguay ha venido presentando informes voluntarios y ha completado el seguimiento de la situación país en cada uno de los 17 ODS (Presidencia de la República, 2021).

El impulso del H<sub>2</sub> verde permitirá acelerar los avances en los ODS 7 (Energía asequible y no contaminante), 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles) y 13 (Acción por el Clima), e indirectamente aportará a otros objetivos.

## 4.2 - Ventajas competitivas para desarrollar el hidrógeno verde y derivados

A continuación se describen las principales ventajas competitivas que presenta Uruguay para ser un productor relevante de hidrógeno verde y derivados, tanto para el mercado local como para su exportación.

### 4.2.1 - Potencial y complementariedad de energías renovables

Uruguay tiene un gran potencial para instalar nueva capacidad de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, principalmente eólica y solar fotovoltaica. El país cuenta con un muy buen recurso combinado eólico y solar, tanto por su complementariedad diaria como estacional; lo anterior permite obtener altos factores de capacidad en el electrolizador y bajos costos de producción de hidrógeno.



Según los estudios realizados, las características de las energías renovables solar y eólica en Uruguay permitirían alcanzar, en 2030, costos nivelados de energía (LCOE), con valores que se ubicarían en el rango comprendido entre 16 y 19 USD/MWh. Por su parte, la energía eólica offshore presentaría costos comprendidos en el rango entre 26 y 28 USD/MWh.

Impulsada por reducciones del Capex y mejoras tecnológicas, la tendencia de costos decrecientes se mantendría en el tiempo (aunque moderando su caída), y permitiría alcanzar en 2040 costos de hasta 11 USD/MWh para el aprovechamiento del recurso solar a través de la tecnología fotovoltaica, 15 USD/MWh para el eólico y 21 USD/MWh para el eólico offshore.

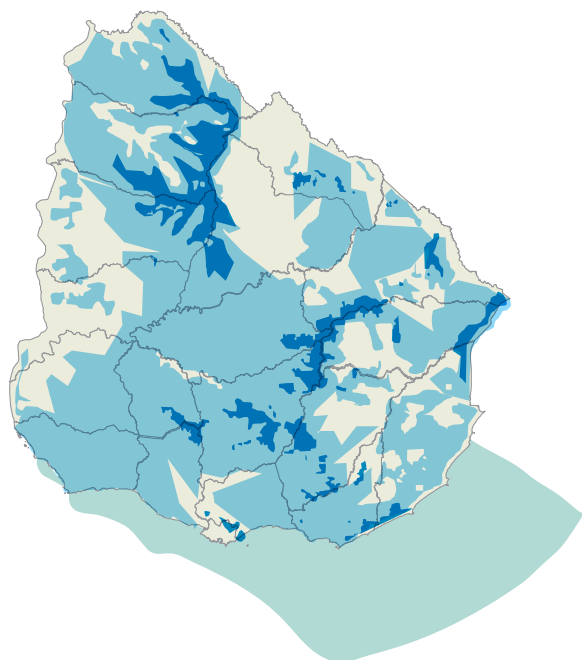
En los estudios realizados se identifican regiones del territorio nacional con distinto potencial para la generación de energías renovables (nivel I y nivel II). Las regiones que presentan mejores características (factores de capacidad de entre 25% y 28%) para la energía solar fotovoltaica (nivel I) se encuentran, en el oeste del país, en los departamentos de Artigas, Salto, Paysandú, Río Negro, Soriano y Colonia. El área disponible para el desarrollo de plantas solares fotovoltaicas en nivel I ofrecen una capacidad asociada de 60 GW. Las áreas centrales (entre Rivera y Canelones) presentan recursos de calidad media (nivel II, con factores de capacidad entre 20% y 24%), con un potencial de 135 GW adicionales.

Asimismo, para el desarrollo de plantas eólicas onshore, Uruguay presenta una capacidad de 30 GW en las áreas de alta calidad (nivel I, con vientos de 8-9 m/s), situadas en el límite entre los departamentos de Rivera, Tacuarembó y Salto, y entre Lavalleja, Florida y Treinta y Tres. El resto del territorio presenta características de calidad media (nivel II, con vientos de 7-8 m/s) y permitiría una capacidad de generación adicional de 50 GW (McKinsey & Company, 2021).

El área disponible para desarrollo de offshore permitiría la instalación de una capacidad adicional de 275 GW (Banco Mundial, 2020).

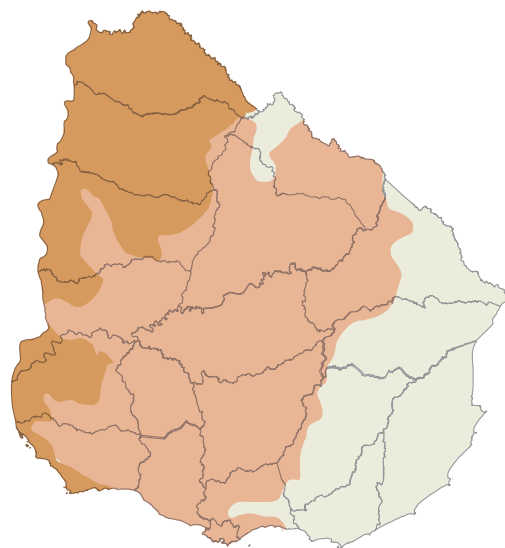
Los costos que aparecen a continuación reflejan el rango de recursos del nivel I - nivel II

### Capacidad eólica onshore y offshore



- **Nivel I | >8m/s | ~30 GWs | Área total= 17.500 km<sup>2</sup>**  
Supuestos: 15% de km<sup>2</sup> > ~10 MW/km<sup>2</sup>
- **Nivel II | >7m/s | ~50 GWs | Área total= 97.300 km<sup>2</sup>**  
Supuestos: 5% de km<sup>2</sup> > ~10 MW/km<sup>2</sup>
- **Offshore | 275 GW**  
Supuestos: 5% de km<sup>2</sup> > 20-30 MW/km<sup>2</sup>

### Capacidad solar fotovoltaica



- **Nivel I | ~60 GWs**  
**Área total= 31.500 + 6.500= 38.000 km<sup>2</sup>**
- **Nivel II | ~135 GWs**  
**Área total= 81.400 km<sup>2</sup>**

Figura 3a: Capacidades potenciales (GW) según fuente renovable.

Fuente: Atlas Solar, MIEM, McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.

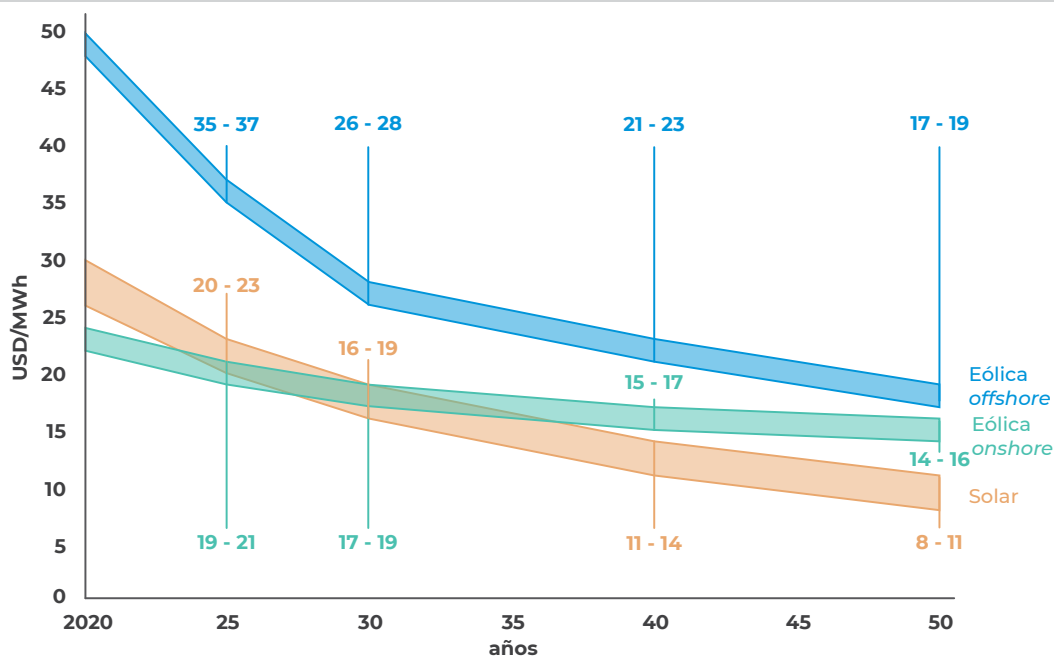


Figura 3b: Costo nivelado de energía (basado en el 5% WACC, no incluye costos de transporte) a escala (+500 MW), USD/MWh.

Fuente: Adaptado de McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.



#### 4.2.2 - Matriz eléctrica con participación renovable del 97%

Para procesos industriales que necesiten funcionar de forma continua (por ejemplo, la producción de e-Jet Fuel), la conexión a la red eléctrica nacional, con un 97% renovable —como se mencionó antes—, impacta positivamente en la rentabilidad de las inversiones requeridas para la producción de hidrógeno verde y derivados (plantas eólicas y solares fotovoltaicas complementadas con acumulación de hidrógeno). Para estos casos, la ventaja de una conexión a la red podría verse reflejada en una disminución del costo del hidrógeno de entre un 5 y un 10% respecto a una inversión únicamente a partir de instalaciones eólica y solar fotovoltaica desconectadas de la red y con acumulación de hidrógeno.

#### 4.2.3 - Alta disponibilidad de agua

Uruguay cuenta con acceso al océano Atlántico y a un gran número de ríos, algunos de ellos con cuencas que abarcan importantes áreas de países de la región. Entre los ríos con cuencas en otros países se destacan:

**a)** El río Negro, con una cuenca de aproximadamente 40% del área de Uruguay (70 714 km<sup>2</sup>; la cuenca abarca áreas de Brasil y Uruguay). El río Negro desemboca en el río Uruguay.

**b)** El río Uruguay, con una cuenca del doble del área del Uruguay (339 000 km<sup>2</sup>; abarca áreas de Argentina, Brasil y Uruguay). Desemboca en el Río de la Plata.

**c)** El Río de la Plata, con una cuenca 17 veces mayor al área del Uruguay (3 100 000 km<sup>2</sup>; abarca áreas de Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay).



Figura 4: Cuenca del Río de la Plata.

Fuente: Adaptado de cicplata.org.

A su vez, el país cuenta con un régimen de lluvias y disponibilidad hídrica muy importante, con precipitaciones medias anuales de 1320 milímetros (ver figura 5). Todo esto hace que la existencia de agua dulce sea muy abundante y apropiada para la producción de hidrógeno verde.

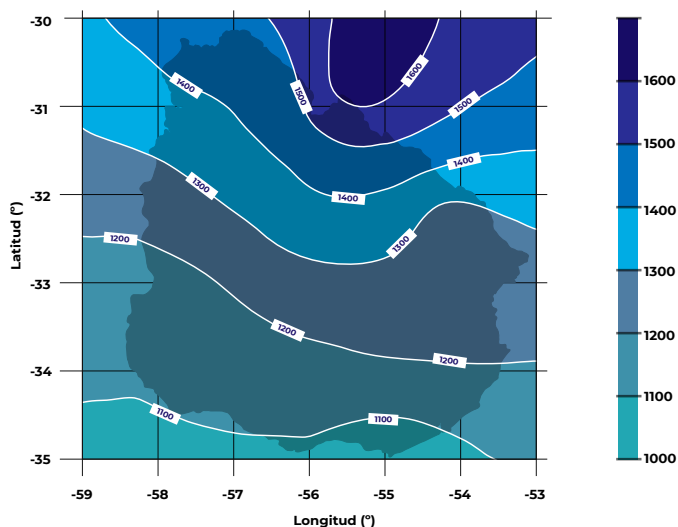


Figura 5: Precipitación media anual (mm), Uruguay (1961-1990).

Fuente: Adaptado de Dirección Nacional de Meteorología.

La producción estimada de hidrógeno para 2040, en esta hoja de ruta, es de un millón de toneladas para diferentes usos y derivados. Esto implicaría un consumo de 10 millones de m<sup>3</sup> de agua por año, teniendo en cuenta que para producir un kg de hidrógeno se necesitan entre 9 y 10 kg de agua. Por lo tanto, la producción de hidrógeno al 2040 requeriría un volumen de agua muy bajo, si se compara con usos de agua actuales del sector agrícola e industrial del país<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> A modo de referencia, el cultivo de arroz requirió un consumo de aproximadamente 2000 millones de m<sup>3</sup> de agua al año, en promedio, en 2020 y 2021. Esto significa una demanda de agua 200 veces superior a la necesaria para la producción de hidrógeno al año 2040 en esta hoja de ruta (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, 2019; Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, 2021).

#### 4.2.4 - Disponibilidad de CO<sub>2</sub> biogénico

Para la producción de combustibles sintéticos, como el e-metanol o el e-Jet Fuel obtenidos a partir de H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, el país cuenta con disponibilidad de CO<sub>2</sub> biogénico, asociado a instalaciones industriales que explotan biomasa proveniente de producción sostenible<sup>3</sup>, en la proximidad de zonas de buena disponibilidad de recursos renovables.

Uruguay está muy bien posicionado en materia de certificaciones de desarrollo sustentable en su producción forestal: llega a 80% en las plantaciones de bosques y a 100% a nivel de los productos que tienen procesamiento industrial en este sector (Sociedad de Productores Forestales del Uruguay, 2022). Con base, entre otros aspectos, en el desarrollo alcanzado por el sector forestal, y en particular por la industria asociada a esta cadena productiva, la bioenergía se ha convertido desde el año 2016 en el primer energético a nivel nacional. De ese modo, ha desplazado al petróleo y sus derivados, fuente que tradicionalmente ocupaba ese lugar, a una segunda posición (Ministerio de Industria, Energía y Minería Uruguay, 2021).

#### 4.2.5 - Logística

Uruguay cuenta con acceso al océano Atlántico, lo que permite la exportación de hidrógeno y derivados a Europa y Estados Unidos con distancias de envío menores que las de otros países con potencial exportador. De esa forma, se logran costos de transporte reducidos. El puerto de Montevideo presenta una oportunidad de desarrollo para la exportación de los derivados de hidrógeno.

<sup>3</sup> A partir de una política de Estado que ha sido sostenida por todos los partidos políticos que han ocupado el Poder Ejecutivo desde 1987 a la fecha, Uruguay ha promovido el desarrollo de la forestación de manera sostenible

El país no tiene accidentes geográficos de importancia y cuenta con rutas de acceso a todo el territorio e infraestructura para el transporte local del hidrógeno y sus derivados.

Es importante señalar que la vía del Ferrocarril Central permitirá conectar la zona de mayor potencial de energías renovables con el puerto de Montevideo, brindando muy buenas oportunidades para el transporte de los derivados de hidrógeno y facilitando sus posibilidades de exportación. Asimismo, el país cuenta con transporte fluvial y carretero que pueden ayudar a mejorar la competi-

tividad en el traslado de los productos de exportación.

Como antecedente, en el sector energético se puede mencionar que en la pasada década Uruguay afrontó y superó múltiples desafíos logísticos asociados a la construcción de infraestructura de generación, plantas industriales de gran porte y obras de transmisión, entre otros. Como indicador se señala que en 2014 el 60% de las cargas especiales (ya sea por dimensión o por peso) transportadas en el país correspondió a proyectos de energías renovables.



Campo uruguayo, ganado a pastoreo natural y forestación sostenible



### 4.2.6 - Un país para invertir

Uruguay es un país de una fuerte institucionalidad y profundo sentido republicano y respeto de la regla de derecho. Ocupa el primer puesto en América Latina en Estado de derecho (Proyecto de Justicia Mundial, 2021) y en democracia plena (Unidad de Inteligencia de *The Economist*, 2021).

Es un país abierto a la inversión privada nacional e internacional, con reglas claras y estables, y constituye un destino confiable para hacer negocios en una de las regiones económicamente más atractivas del mundo. Por otra parte, tiene una buena estabilidad sociopolítica: se encuentra posicionado en el sexto lugar en el mundo en cuanto a las libertades civiles y políticas de su población (Freedom House, 2022), y lidera en la región en cuanto a la baja percepción de corrupción (Transparencia Internacional, 2022).

Paralelamente, ha avanzado considerablemente en la digitalización del sector público, ya que se encuentra en el puesto 26 del *ran-*

*king* del índice de Desarrollo de e-Gobierno y es primero en la región en el año 2020 (Naciones Unidas, índice de Desarrollo de e-gobierno, 2022). Cuenta con grado inversor otorgado por las principales agencias internacionales de calificación de riesgo (Standard & Poor's, Fitch Ratings, DBRS y Moody's) y ha demostrado un crecimiento sostenido del Producto Interno Bruto (PIB) durante los últimos años, a excepción de la caída en 2020, relacionada con la pandemia de covid-19 que afectó a nivel global.

Uruguay se encuentra entre las principales economías del mundo para la inversión sustentable, según el Índice ESG que elabora JP Morgan. Este tiene en cuenta la calidad de la gobernanza y los factores sociales y ambientales. JP Morgan toma los factores Ambiental, Social y de Gobierno (ESG, por sus siglas en inglés) para ponderar el indicador de riesgo país. En este sentido, Uruguay se encuentra entre las economías emergentes más confiables para invertir (ver figura 6).

## Alto desempeño según factores ESG

Environment · Social · Governance

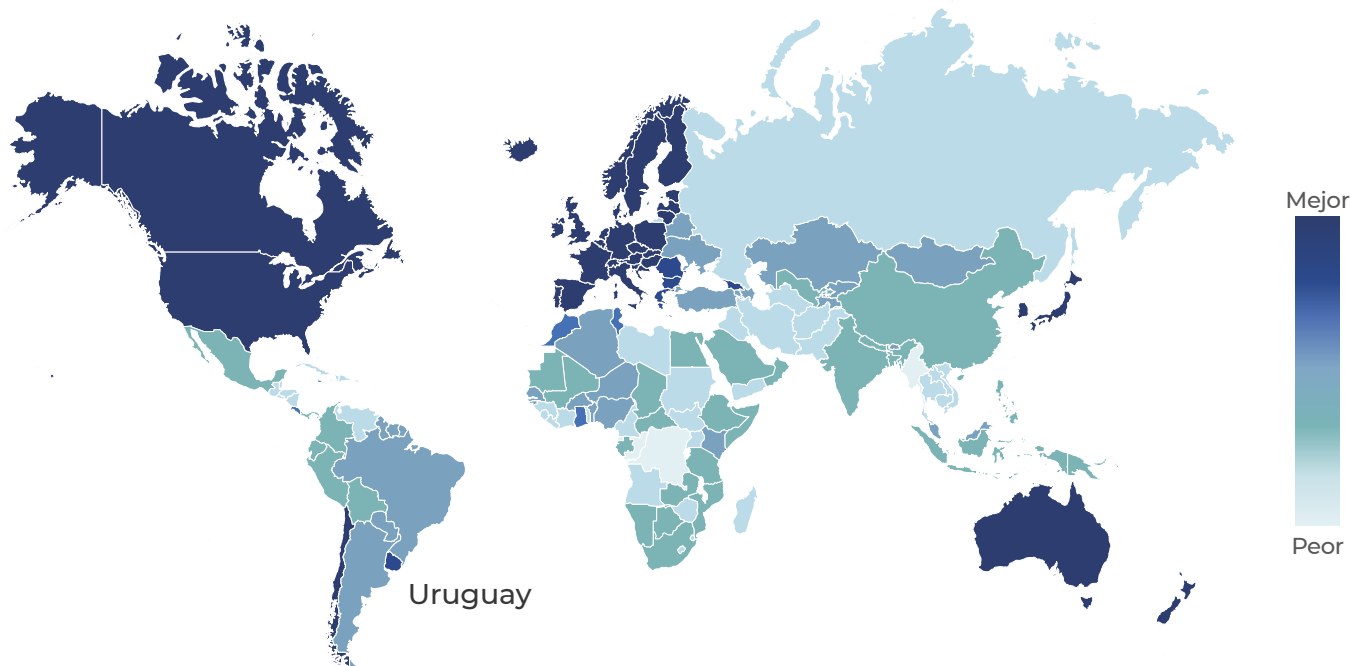


Figura 6: Mapa de desempeño de factores ESG. Ambiente, social y gobernanza. Año 2020.

Fuente: Uruguay XXI (JP Morgan Bluebay Asset Management - Verisk Maplecroft).



5.  
Producción  
de **hidrógeno**  
**verde** y  
derivados

## 5. PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO VERDE Y DERIVADOS

Los costos de renovables mencionados anteriormente permitirían que Uruguay, a 2030, alcance valores de producción de hidrógeno verde (LCOH) de entre 1,2 y 1,4 USD/kgH<sub>2</sub> en la región oeste y de entre 1,3 y 1,5 USD/kgH<sub>2</sub> en la región este (ver figura 7), para una escala superior a 500 MW. Estos costos de producción permitirían que Uruguay se posicione de manera competitiva entre exportadores netos, como Chile, Arabia Saudita, Omán, Namibia o Australia.

La alternativa de producir hidrógeno de fuentes *offshore* implicaría un costo menos competitivo, de entre 1,7 y 1,9 USD/kgH<sub>2</sub> a 2030 (ver figura 7).

Estimaciones para caso de 250 toneladas de producción diaria mínima de H<sub>2</sub> incluyendo energía y electrólisis (CAPEX, OPEX inc. agua).  
Almacenamiento, transporte o transmisión añaden 0,3 a 0,5 USD/KgH<sub>2</sub>.

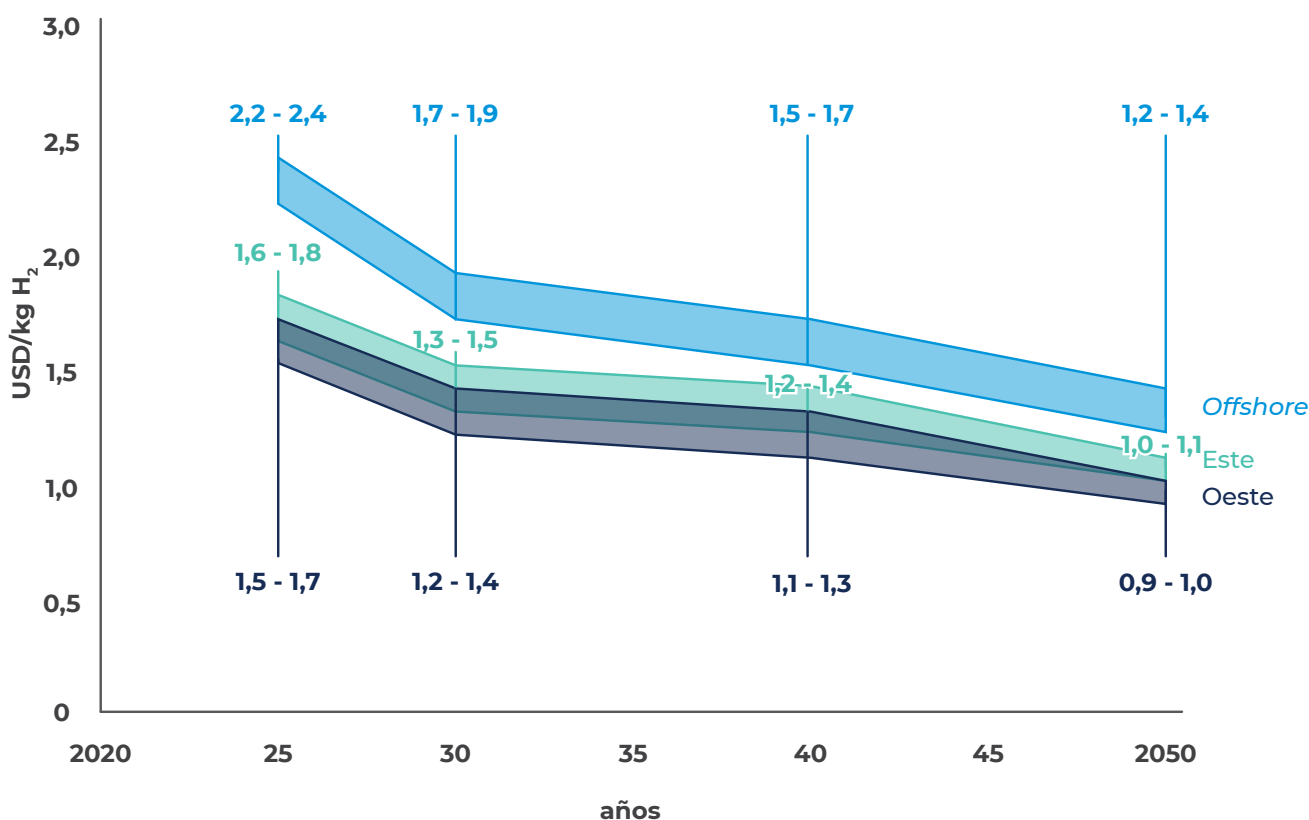
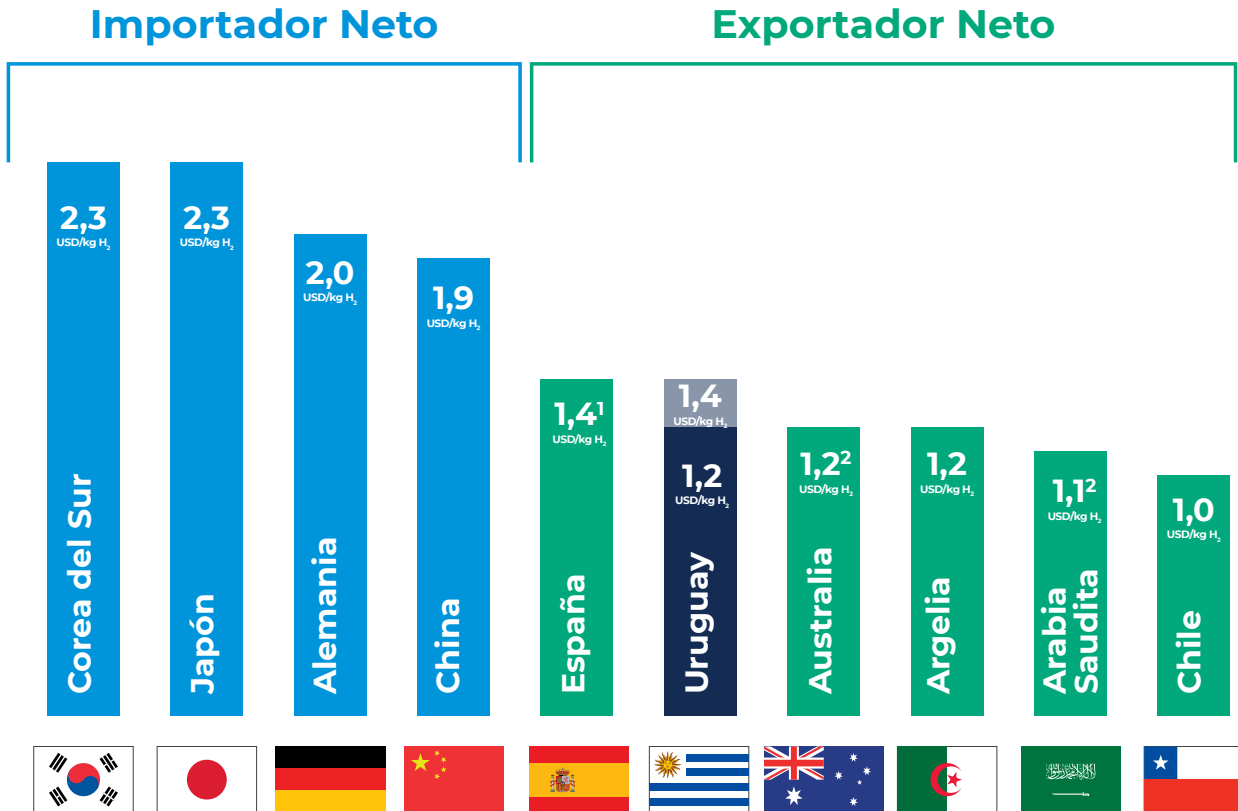


Figura 7a: Curva de costo de producción para hidrógeno por región en Uruguay, USD/kgH<sub>2</sub>

Fuente: McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.



1. Benchmark tomado del anuncio HyDeal para costos de producción a escala, excluye costos de transporte y distribución.
2. Benchmark tomado de las proyecciones del Consejo de Hidrógeno; excluye costos de transporte y distribución.

Figura 7b: Comparación de costos de producción 2030 (WACC: Chile 6%, Austria 5.4%, Arabia Saudita 5.3%, España 5%)(USD/kg H<sub>2</sub>)

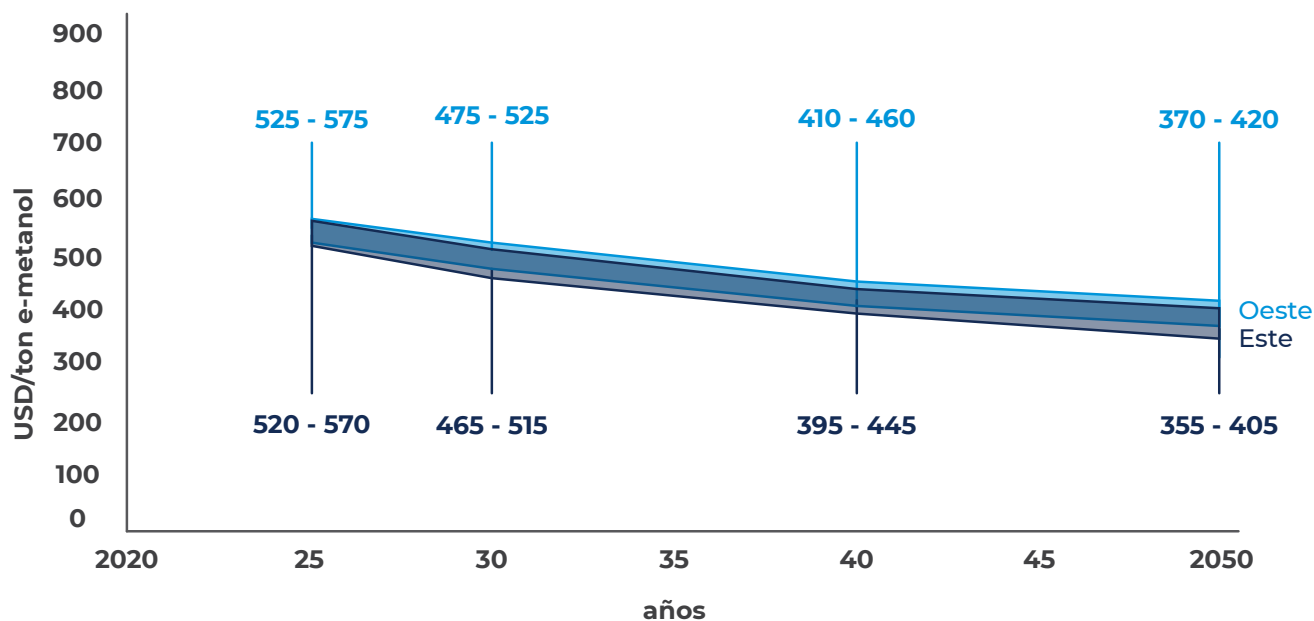
Fuente: McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.

A los costos de producción de hidrógeno es necesario agregar los logísticos: estos son el transporte o transmisión de electricidad y el almacenamiento, en función de la configuración por la que se opte, atendiendo a las necesidades de uso del hidrógeno aguas abajo. Para proyectos de escala superior a 500 MW, el transporte y almacenamiento local de hidrógeno por gasoducto surge como la opción más económica. Esto se logra a partir de la instalación de plantas de electrólisis junto a las plantas de generación de energía renovable. El costo asociado al transporte y almacenamiento local está entre 0,3 y 0,5 USD/kgH<sub>2</sub>.

El desarrollo de las infraestructuras necesarias, implementadas de manera coordinada, lograría sinergias que llevarían a una reducción del costo

nivelado de hidrógeno (LCOH) de entre 4% y 6%. Esto toma en cuenta el escenario de que los ductos que transportan el hidrógeno, la transmisión eléctrica o las adaptaciones portuarias se realicen para varios proyectos, en lugar de que cada proyecto desarrolle su propia infraestructura.

Respecto a la producción de derivados, para 2030 los costos de producción de e-metanol verde y de e-Jet Fuel podrían llegar a 465 USD/t y 1.205 USD/t respectivamente, considerando fuentes industriales para el CO<sub>2</sub> biogénico. La competitividad de estos productos frente a los de origen fósil está vinculada a la aplicación de impuestos al CO<sub>2</sub> en los países importadores, así como a la definición de cuotas de productos verdes en sectores particulares, como el marítimo y la aviación.

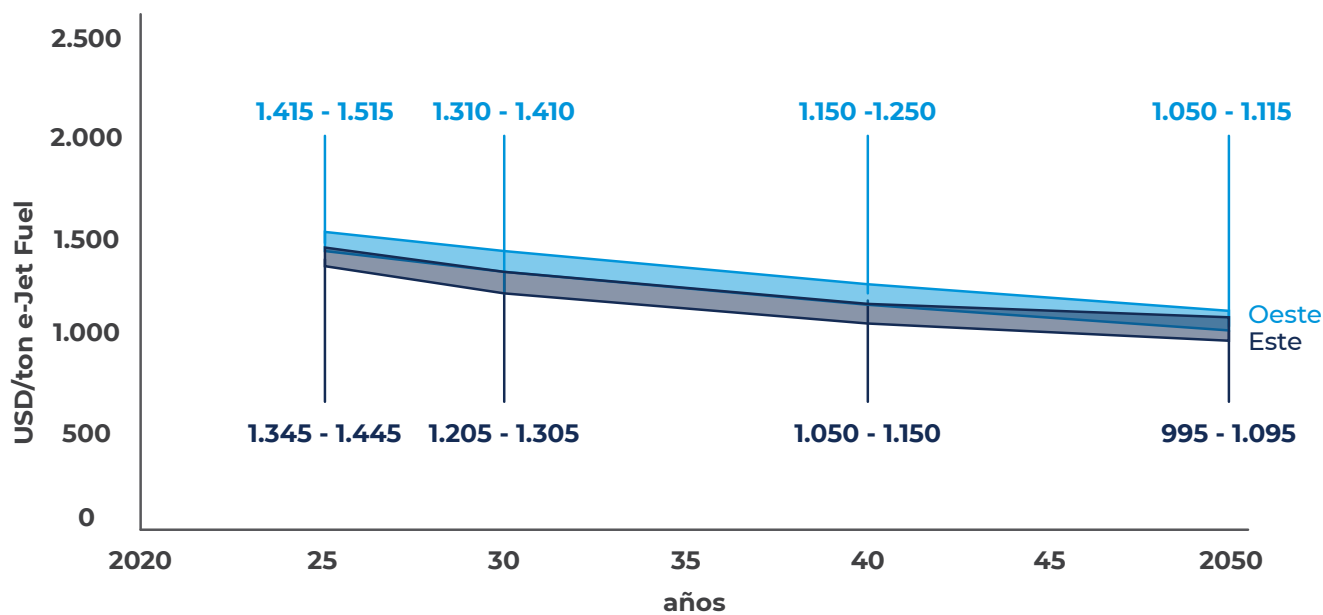


Costo de CO<sub>2</sub> de fuente industrial (USD/t CO<sub>2</sub>)

52

Figura 8a: CO<sub>2</sub> abastecido industrialmente: curva de costos de producción para e-metanol, (USD/ton e-metanol)

Fuente: McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.



Costo de CO<sub>2</sub> de Fuente industrial USD/t CO<sub>2</sub>

52

Figura 8b: CO<sub>2</sub> abastecido industrialmente: curva de costos de producción para jet Fuel, (USD/ton jet fuel).

Fuente: McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.



6.  
Potencial  
del mercado  
**doméstico** y de  
**exportación**

## 6. POTENCIAL DEL MERCADO DOMÉSTICO Y DE EXPORTACIÓN

Uruguay presenta un muy buen potencial en el mercado doméstico para descarbonizar el transporte terrestre y marítimo así como para sustituir importaciones mediante la producción de fertilizantes verdes. Este vendrá traccionado por un mercado exportador donde el país se destaca por la competitividad para producir combustibles sintéticos verdes que permitirán bajar las emisiones de la industria marítima y de aviación.

### 6.1- Mercado doméstico

Se identifica que las principales oportunidades domésticas para el desarrollo del hidrógeno en Uruguay estarán traccionadas por aplicaciones costo-competitivas frente a alternativas fósiles u otras aplicaciones de bajas emisiones (por ejemplo, el desarrollo de vehículos pesados de uso intensivo), por aplicaciones afectadas por objetivos de descarbonización de diversos sectores de la industria (como el caso de los sectores marítimos y aéreos) y, finalmente, por aplicaciones afectadas por la regulación y/o incentivos locales (por ejemplo, la promoción del uso de fertilizantes verdes).

Para la determinación de las principales metas de la demanda interna se toman en cuenta los siguientes aspectos para los diferentes usos con potencial:

#### Transporte

El punto de equilibrio del Costo Total de Propiedad (TCO, *total cost of ownership*) del transporte por carretera con celdas de combustible respecto al combustible fósil y baterías se alcanzará aproximadamente en el año 2026 para los camiones de carga pesada. Se estima que la flota de transporte pesado para el año 2030 será del orden de 21 700 vehículos y para 2040 alcanzará aproximadamente los 23 300 vehículos. Se asume, en el escenario más optimista, una penetración de vehículos a celdas de combustible con hidrógeno (FCEV, (fuel-cell electric vehicle) de transporte pesado de aproximada-

mente 30% (6500 vehículos) para el año 2030 y de 75% (17 500 vehículos) para el año 2040.

#### Transporte marítimo

Teniendo en cuenta los anuncios de actores internacionales y objetivos de descarbonización de la Organización Marítima Internacional (OMI), se proyecta un crecimiento de la demanda de combustibles de transporte marítimo, como el amoníaco verde o el e-metanol. Se asume una penetración de 1% para buques de contenedores del mercado interno para el año 2030 y de 9% para 2040.

#### Fertilizantes

Para la estimación del mercado de fertilizantes verdes, se considera un reemplazo del 20% de las importaciones de urea al año 2030 y de 80% al año 2040.

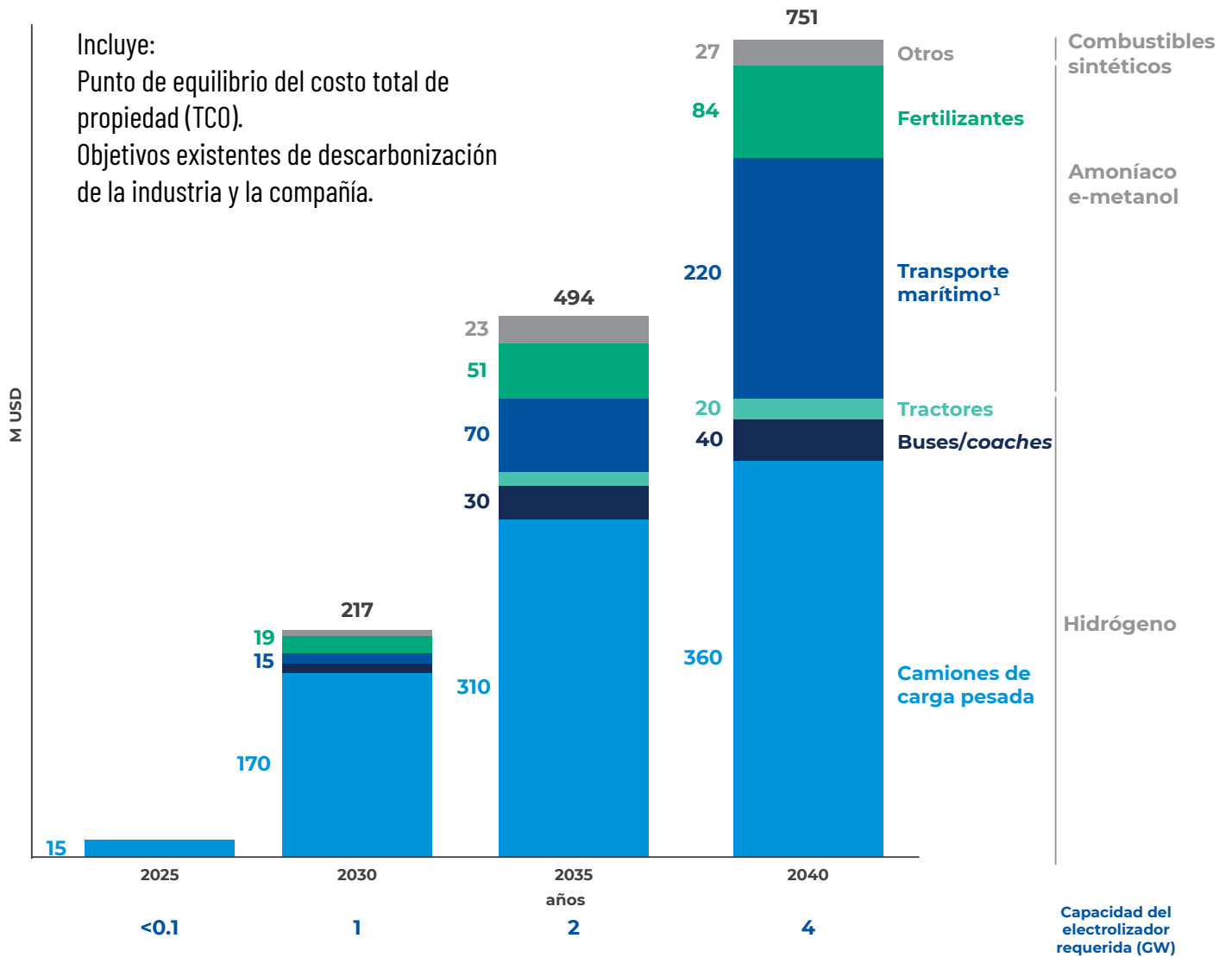


Puertito Del Buceo, Montevideo



En un escenario referencial, y tomando en cuenta las metas propuestas, la oportunidad doméstica alcanzaría una facturación de aproximadamente 200 millones de dólares en el año 2030 y sería del orden de los 750 millones de dólares en 2040. A 2030, la oportunidad será impulsada en un 85% por aplicaciones de transporte terrestre (por ejemplo, camiones de 40 toneladas con tecnología de celda de combustible), las primeras en ser

costo-competitivas. Al año 2040, la adopción de las aplicaciones de transporte terrestre crecería hasta alcanzar una facturación anual de 420 millones de dólares. También se incrementarían las demandas de amoníaco verde o e-metanol para el sector marítimo, así como de fertilizantes verdes, lo que puede reemplazar importaciones, y esto representaría una oportunidad de facturación adicional de más de 300 millones de dólares.



¹. Considera consumos para rutas internacionales

Figura 9: Demanda doméstica total (incluye calor de alto y mediano grado, aerolíneas [combustible para aviones], camiones de trabajo medio, montacargas y mezclas de gas.), M USD

Fuente: McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.



## 6.2- Mercado de exportación

Las necesidades de importación por parte de los principales centros de demanda podrían concentrarse en cinco productos. Por un lado, se encuentra el hidrógeno, impulsado por la demanda en aplicaciones de transporte terrestre, como insumo para la industria (por ejemplo, siderúrgica y refinerías), así como para la generación de energía eléctrica y calor. La demanda del sector marítimo para alcanzar sus metas de descarbonización impulsa la producción de e-metanol y amoníaco (NH<sub>3</sub>), este último, como insumo principal para fertilizantes verdes. Adicionalmente, el e-Jet Fuel tendrá un rol importante, a impulso de las regulaciones del sector de aviación respecto a la incorporación de SAF (Sustainable Aviation Fuel). Finalmente se encuentra el hierro reducido (DRI, Direct Reduced Iron, por sus siglas en inglés), debido a la demanda creciente de acero verde en el mundo, donde el hidrógeno es uno de los insumos principales.

Para Uruguay, el tamaño de la oportunidad de exportaciones de hidrógeno verde y productos derivados hacia los mercados europeos y de Estados Unidos dependerá de su competitividad relativa frente a países y regiones en posible competencia como Medio Oriente, Brasil, Chile y el norte de África. Esta competitividad puede variar según productos y destinos:

### Para el caso del producto hidrógeno

Uruguay presenta costos en destino (Estados Unidos y Europa), en línea con los principales competidores. El costo de transporte tendría un impacto menor en los costos en destino, y podría revertir diferencias en costos de producción entre países. La competitividad de la exportación a Europa se vería afectada (al igual que para todos los restantes países que integran el grupo de exportadores netos), de implementarse una interconexión física vía gasoducto desde el norte de África que permita el arribo de hidrógeno desde los países de esa región.

### Para el caso del e-metanol y e-Jet Fuel

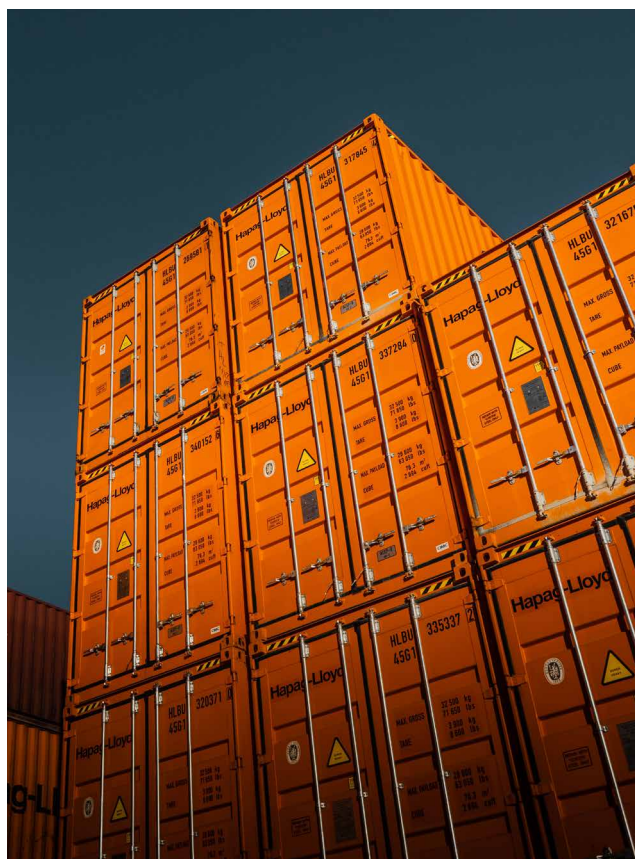
Uruguay presentaría costos en destino en línea con sus principales competidores, gracias a la complementariedad entre sus recursos renovables, el uso de una red descarbonizada y el acceso a un CO<sub>2</sub> biogénico obtenido a partir de procesos industriales y/o energéticos basados en biomasa sostenible.

### Para el caso del amoníaco verde

un producto en que los costos de transporte tienen un impacto limitado, Uruguay presentaría una competitividad menor frente a los mencionados anteriormente, y existirían mayores desafíos para su desarrollo.

### Para el caso del DRI

Uruguay presenta costos de producción en línea con sus principales competidores. Dada la baja disponibilidad global de hierro de alta calidad, Uruguay contaría con una ventaja competitiva al disponer de hierro de muy buena calidad. Su procesamiento demandaría importantes cantidades de hidrógeno verde.

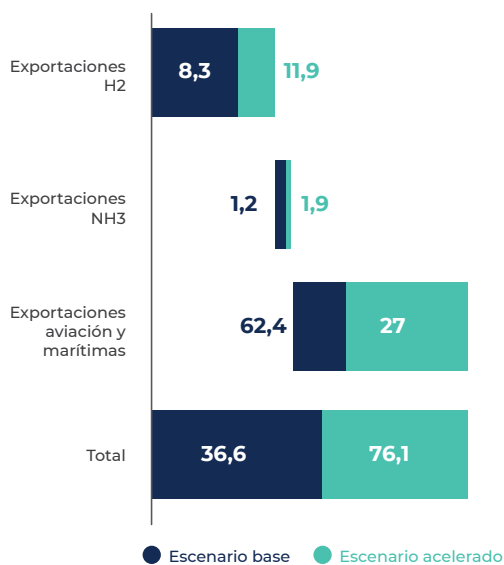




En función a los niveles de competitividad analizados y considerando un escenario más conservador (escenario base) respecto al volumen del

mercado global proyectado para cada producto, se podría establecer una meta de captura del mercado proyectado de 3,5% (ver figura 10).

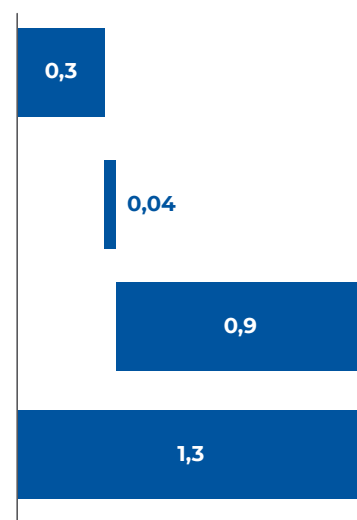
Tamaño de los mercados de exportación para 2040<sup>1</sup>, miles de M USD



Mercado capturado para 2040, %



Mercado capturado para 2040, miles de M USD



<sup>1</sup>EEUU y UE para combustibles sintéticos para aviación y marítimo, H<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>

Figura 10: Captura de mercado de exportación propuesta para la hoja de ruta.

Fuente: McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.



José Ignacio / Garzón, Maldonado



Eso se traduce en que Uruguay tendría una oportunidad de exportación de aproximadamente 1300 millones de dólares al año 2040, y de 95 millones de dólares al año 2030. El e-Jet

Fuel representaría el 55% de esta oportunidad a 2040, mientras que el hidrógeno constituiría el 25% y el sector marítimo (amoníaco o e-metanol), un 15% (ver figura 12).

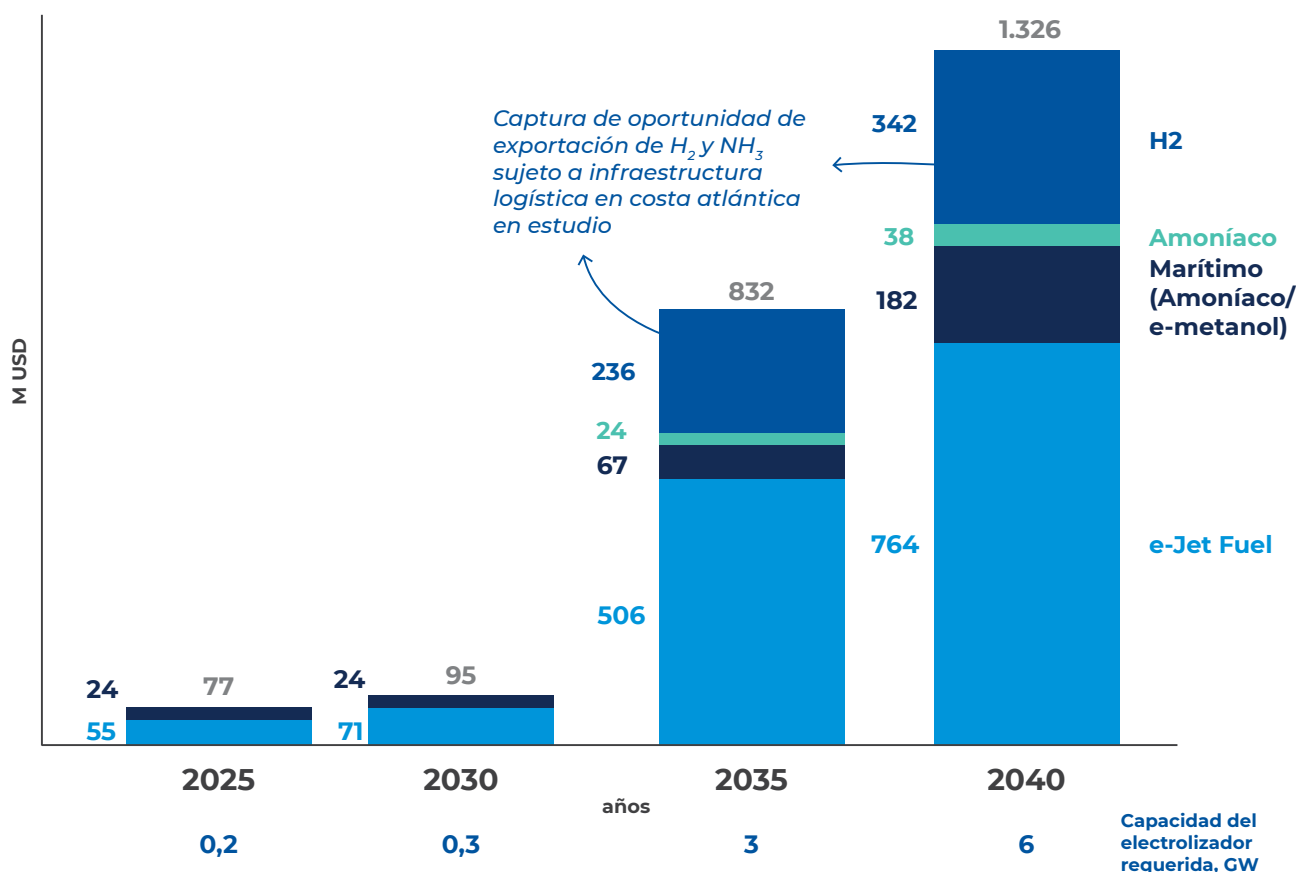


Figura 12: Oportunidad de exportaciones (M USD) a USA y Europa por aplicación.

Fuente: McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.

La explotación de las reservas de hierro para su transformación en DRI (con uso de hidrógeno verde) representa una oportunidad de exportación adicional para Uruguay, teniendo en cuenta la disponibilidad del mineral de alta calidad en el país (nivel de concentración superior a 67%). Lo anterior representaría una facturación anual adicional de hasta 4100 millones de dólares al año 2040. Con este propósito serán necesarios entre 5 y 6 GW adicionales

de capacidad de electrolizador y 10-12 GW adicionales para generación de energía eléctrica a partir del año 2035. Esta oportunidad requiere del desarrollo de infraestructuras portuarias en el este del país y de un mayor análisis, por lo que no se incluyen como metas en la presente hoja de ruta. Podrán incorporarse más adelante, luego de que los mercados vinculados al hidrógeno se encuentren en un mayor nivel de maduración.



**7.**  
**Ambición**  
**2040**

## 7. AMBICIÓN 2040

Sobre la base de las ventajas competitivas presentadas, Uruguay tiene muy buenas condiciones para impulsar el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde y derivados. Este desarrollo podrá ser un elemento clave para continuar impulsando un crecimiento económico y sostenible a la vez. La hoja de ruta propuesta propone capitalizar estas oportunidades, dadas las capacidades nacionales, el tamaño y el momento de crecimiento de los mercados de exportación del H<sub>2</sub> y sus derivados, las infraestructuras existentes y los beneficios socioambientales vinculados a su desarrollo.

Se prevé que estas capacidades se desarrollen en tres fases:

### **Fase 1**

Del año 2022 a 2024, tendrá como objetivo impulsar el desarrollo del mercado doméstico y sentar las bases para los primeros proyectos de exportación. Se avanzará en la implementación de la regulación específica para el sector que sea requerida a medida que se desarrolle la industria; en la ingeniería necesaria para las obras de infraestructura; y en la implementación de incentivos para los primeros proyectos y para la etapa posterior. En esta fase, sería necesario hacer foco en la implementación de proyectos demostrativos, orientados a las aplicaciones más relevantes para el mercado doméstico (por ejemplo, transporte terrestre) y en la atracción de las primeras iniciativas de mayor escala, con foco en el mercado de exportación. Se impulsarán mecanismos para desarrollar la investigación e innovación a partir del Fondo Sectorial de Hidrógeno lanzado en el año 2022. En este marco, se fomentarán la construcción de los primeros proyectos piloto de producción y el uso de hidrógeno verde y derivados, así como la investigación en esta temática. En esta etapa se iniciará el estudio del potencial que

podría tener la producción de hidrógeno con base en eólica offshore, como insumo para las fases 2 y 3.

### **Fase 2**

De 2025 a 2029, tendrá como objetivo escalar el mercado doméstico (demanda y proyectos), así como tener en operación los primeros proyectos para exportación (como el e-metanol). Para ello, son claves el desarrollo de la infraestructura de soporte necesaria (por ejemplo, ductos y líneas de transmisión), la implementación de los incentivos con foco en la atracción de inversiones, la mejora de competitividad en costos y el estímulo de la demanda interna.

### **Fase 3**

Durante la fase 3, a partir del año 2030, se deberá confirmar la ambición al año 2040. En esta etapa se consolidará el desarrollo del mercado doméstico. La definición previa que se realice respecto a las necesidades de infraestructuras logística o portuarias, o a la producción offshore en la costa atlántica, podrá permitir un mayor desarrollo de la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados. Se podrá escalar hacia la producción y exportación de productos como el hidrógeno verde y el amoníaco verde.

<b>Fases hoja de ruta.</b>	<b>Fase 1 (2022 - 2025):</b> Desarrollar regulación; desarrollar primeros proyectos piloto; atraer los primeros proyectos a escala de exportación.	<b>Fase 2 (2026 - 2030):</b> Expansión nacional; inicio de los primeros proyectos a escala de exportación.	<b>Fase 3 (+2030):</b> Mercado nacional a gran escala; crecimiento acelerado de exportaciones.
Detalles generales del proyecto.	+1-2 proyectos pequeña escala implementados, proyectos a mayor escala en desarrollo.	+3-4 proyectos de mediana escala (100-200 MW) y +1-2 proyectos a escala.	+ proyectos de mediana escala (100-200 MW) y + proyectos a escala mayor.
<b>Producción</b> (producción de energía e hidrógeno).	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 200- 500 MW de capacidad energética de RES en desarrollo.</li> <li>● ~50 MW de capacidad de producción H<sub>2</sub> para pequeña escala y 100-300 MW en desarrollo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2-4 GW de capacidad de alimentación de RES.</li> <li>● 1-2 GW de capacidad de producción H<sub>2</sub>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ~20 GW de capacidad de RES.</li> <li>● ~10 GW de capacidad de producción de H<sub>2</sub> y derivados.</li> </ul>
<b>Demanda</b> (usos finales en movilidad, industria y energía).	<ul style="list-style-type: none"> <li>● +1-2 proyectos pequeña escala implementados en casos de usos transporte (camiones pesados, buses de larga distancia, vehículos agrícolas).</li> <li>● +1 proyectos en desarrollo en synguels (incl. Metanol).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ~1-2 proyectos a escala en desarrollo para synguels.</li> <li>● +Proyectos de transporte doméstico; proyectos de derivados de H<sub>2</sub> para transporte marítimo o fertilizantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ~3-4 proyectos a escala en desarrollo para exportaciones de synguels, H<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>.</li> <li>● Más proyectos domésticos a lo largo de sectores (ej. transporte, marítimo, fertilizantes, etc.).</li> </ul>
<b>Infraestructura y logística</b> (ductos, almacenamiento, puertos).	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Planear y desarrollar ingeniería detallada para ductos, líneas de transporte y puertos.</li> <li>● Desarrollar solución portuaria para exportación de synguels en Montevideo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Planear y desarrollar ingeniería detallada para puertos de exportación en el Atlántico.</li> <li>● Ejecutar el plan de infraestructura (ej. ductos y líneas de transporte) y orquestar el despliegue coordinado para capturar sinergias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Construir solución logística para exportación por zona costera en el este.</li> <li>● Continuar la coordinación orquestada del despliegue de infraestructura para capturar sinergias.</li> </ul>
<b>Mecanismos clave necesarios:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Regulación.</li> <li>2 Incentivos.</li> <li>3 Acuerdos bilaterales.</li> <li>4 Licencia social.</li> <li>5 Talento.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Desarrollar normas de seguridad y técnicas y procesos de permisos ágiles.</li> <li>2 Diseñar estructura de incentivos para la fase 2, ofrecer apoyo financiero y de coordinación para los pilotos.</li> <li>3 Establecer acuerdos bilaterales para promover el despliegue de pilotos y el desarrollo de I+D.</li> <li>4 Lanzar hoja de ruta de hidrógeno con clara señal al sector de transporte y synguels.</li> <li>4 Crear conciencia nacional y <i>branding</i> alrededor del potencial de la industria del hidrógeno verde y derivados.</li> <li>5 Coordinar y diseñar programas de desarrollo de talento con el sector privado y académico.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Servidumbres para despliegue de infraestructuras en fase 3.</li> <li>2 Implementar incentivos enfocados en atracción de inversión, competitividad de costos y estimulación de la demanda interna.</li> <li>2 Asegurar la coordinación a lo largo de la cadena de valor y el apoyo al desarrollo de proyectos a escala.</li> <li>4 Crear conciencia nacional y <i>branding</i> alrededor del potencial de la industria del hidrógeno verde y derivados.</li> <li>5 Implementar programas de desarrollo de talento con el sector privado y académico.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>2 Considerar incentivos adicionales para aplicaciones domésticas específicas (ej. cuota de mezcla de synguels) y atraer inversión extranjera.</li> </ol>

Figura 12: Fases y actividades de la hoja de ruta del sector H2 en Uruguay.

Fuente: (McKinsey & Company, 2021) de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.





El mercado doméstico y las exportaciones de hidrógeno verde y productos derivados representan una oportunidad de facturación

anual<sup>4</sup> de 300 millones de dólares por año a 2030 y de 2100 millones de dólares para Uruguay a 2040 (ver figura 13).

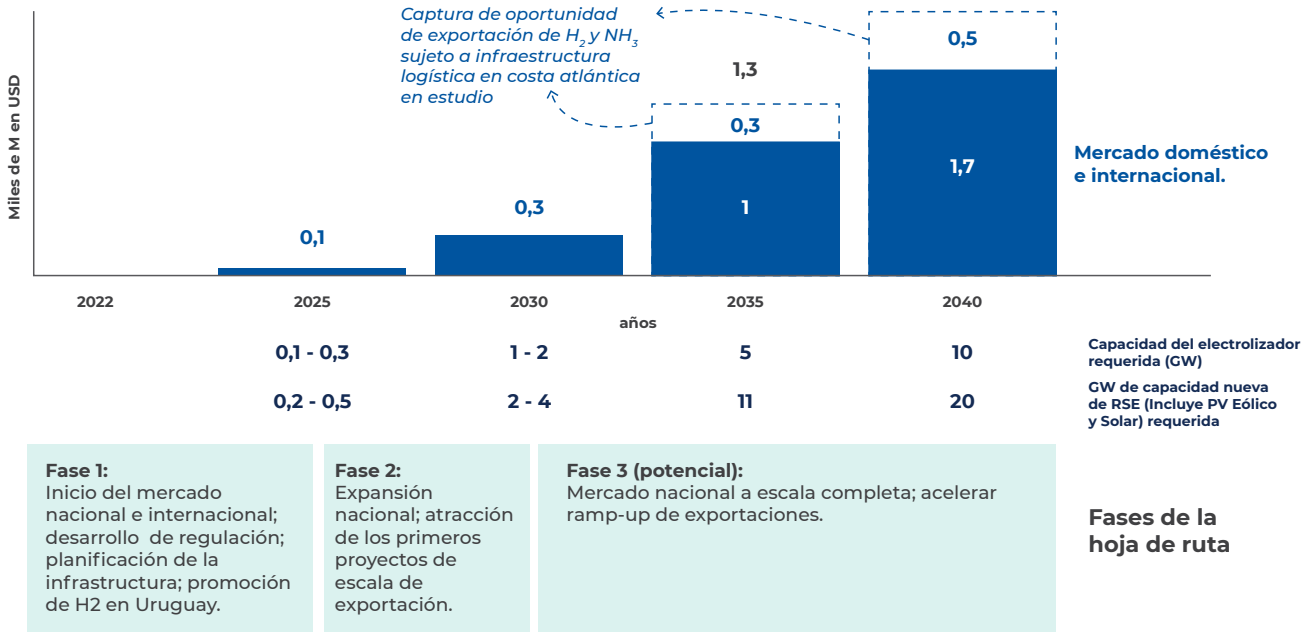


Figura 13: Metas y proyecciones del mercado uruguayo de hidrógeno y derivados: 2025-2040.

Fuente: McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID

<sup>4</sup> Sin incluir la oportunidad del DRI

Estas fases y las metas asociadas pueden verse reflejadas en el siguiente cronograma de crecimiento:

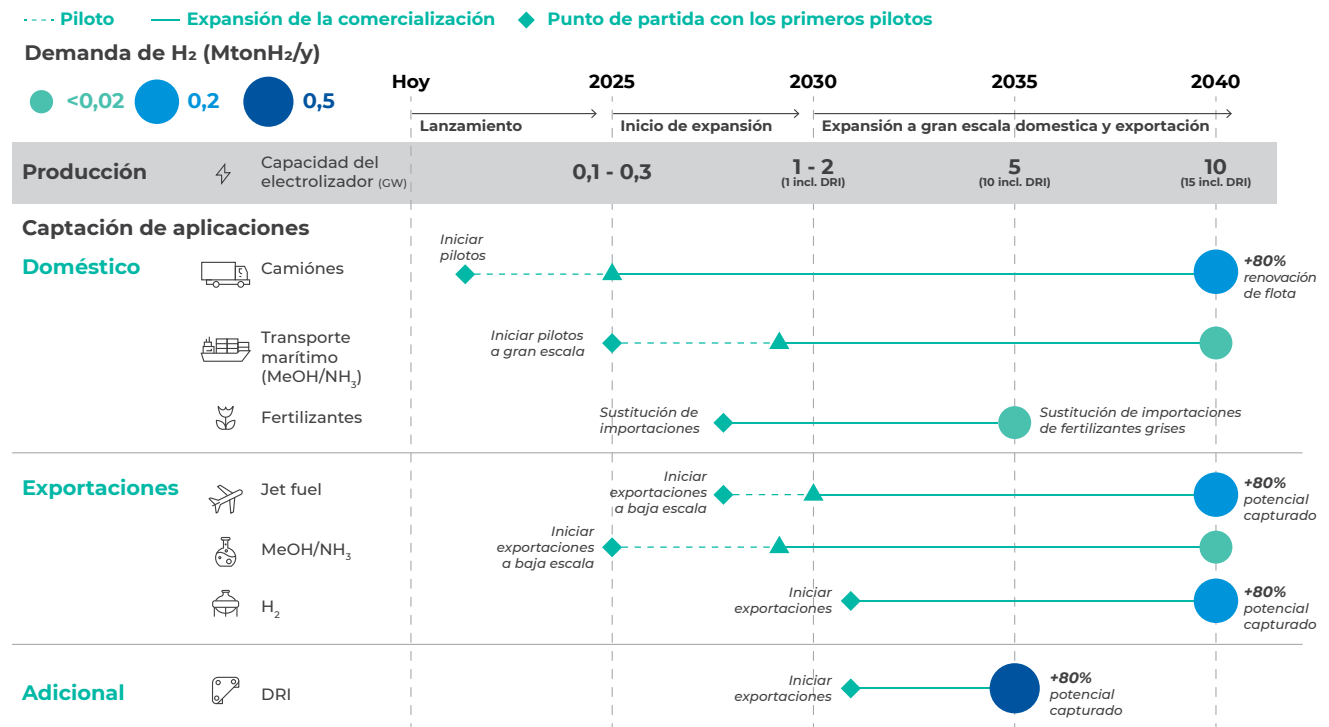


Figura 14: Cronograma de desarrollo.

Fuente: Adaptado de McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.

La captura de la oportunidad mencionada de 2100 millones de dólares por año implica a su vez impactos socioeconómicos relevantes para Uruguay. En lo económico, la facturación

anual de esta industria se ubicará en el orden del 2% de PIB proyectado, generará más de 34 000 empleos directos y evitará 7 MtCO<sub>2</sub> de emisiones a 2040 (ver figura 15).

		2030	2040
<p><b>Construir la base para el crecimiento del país a largo plazo</b></p>	Facturación anual en miles de M USD	0,3	2
	Facturación potencial sobre PIB futuro proyectado	+0,5%	+2%
<p><b>Crear +34K trabajos calificados:</b> técnicos especializados, operadores e ingenieros</p>	Empleos creados en miles	+6	+34
	Inversión total acumulada en miles de M USD	2,5	19
<p><b>Eliminar el equivalente de las emisiones netas de Uruguay para 2040</b></p>	MtonCO <sub>2</sub> emisiones anuales reducidas	0,6	7

Fig 15: Impactos socioeconómicos y ambientales del desarrollo del sector hidrógeno verde en Uruguay (sin incluir oportunidad DRI).


Fuente: Adaptado de McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.

Esta oportunidad permitirá diversificar la matriz productiva nacional, al aumentar el valor agregado a través de la incorporación de un nuevo eslabón industrial. Permitirá diversificar la oferta exportadora del Uruguay,

abriendo posibilidades a nuevos mercados a nivel mundial. Asimismo, se obtendrá una disminución de la dependencia de combustibles fósiles importados y se fortalecerá el posicionamiento como país sostenible.







8.  
**Identificación  
de riesgos** para  
el desarrollo  
del sector

## 8. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS PARA EL DESARROLLO DEL SECTOR

Se identificaron algunos elementos a tener en cuenta y atender debidamente, de modo de no obstaculizar el desarrollo de la industria de hidrógeno verde. Se han detectado 13 riesgos principales, agrupados en cuatro categorías.





	Métrica de evaluación clave
 <h3>Riesgos tecnológicos</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>01 Los costos de los electrolizadores y renovables disminuyen más lentamente de lo esperado.</li> <li>02 Aparecen tecnologías innovadoras / alternativas (ej. baterías eléctricas).</li> </ul>	<p>Precios de electrolizadores y renovables de fabricantes.</p> <p>Informes tecnológicos de foros públicos internacionales.</p>
 <h3>Riesgos de mercado</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>03 Adopción más lenta de lo esperado de productos de hidrógeno descarbonizado / verde por industria y países.</li> <li>04 Menores impuestos al carbono de lo esperado en EE. UU. y UE.</li> <li>05 Menores precios del petróleo / gas natural.</li> <li>06 Mayor capacidad de producción local en mercados clave o de competidores.</li> </ul>	<p>Anuncios regulatorios y de la industria / cumplimiento para mercados objetivo.</p> <p>Precios y proyecciones de petróleo y gas natural.</p> <p>Proyectos relacionados con H<sub>2</sub> / anuncios de capacidades de producción por región.</p>
 <h3>Riesgos políticos / sociales</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>07 Baja aceptación de infraestructuras logísticas en zona este.</li> <li>08 Baja aceptación de proximidad de H<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> en áreas urbanas.</li> <li>09 Limitación de la aplicación de incentivos a la demanda (p. ej., impuesto al carbono, mandatos).</li> </ul>	<p>Retrasos versus plan de implementación.</p> <p>Encuestas de opinión pública.</p>
 <h3>Riesgos de ejecución / competitividad local</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>10 Riesgo país más alto de lo previsto para inversiones.</li> <li>11 Menor competitividad de renovables de lo esperado (factores de capacidad, complementariedad).</li> <li>12 Ejecución de infraestructura más lenta de lo esperado.</li> <li>13 Desarrollo más lento del ecosistema de transporte doméstico.</li> </ul>	<p>Prima de riesgo del país.</p> <p>Indicadores operacionales (factores de capacidad, utilización y costos) de los pilotos.</p> <p>Penetración/participación de vehículos de celda de combustible.</p>

Fig 16: Identificación de 13 riesgos agrupados en cuatro aspectos: tecnológicos, de mercado, político-sociales y de ejecución/competitividad.

Fuente: Adaptado de McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.

A continuación se presentan seis riesgos con mayor probabilidad de ocurrencia e impacto a nivel nacional, y se plantean estrategias de mitigación:

El mercado y la evolución de la industria vinculados al desarrollo del hidrógeno verde son muy dinámicos y pueden impactar sobre algunos proyectos. Es preciso generar procesos de monitoreo sobre la evolución de las tecnologías y sus costos.

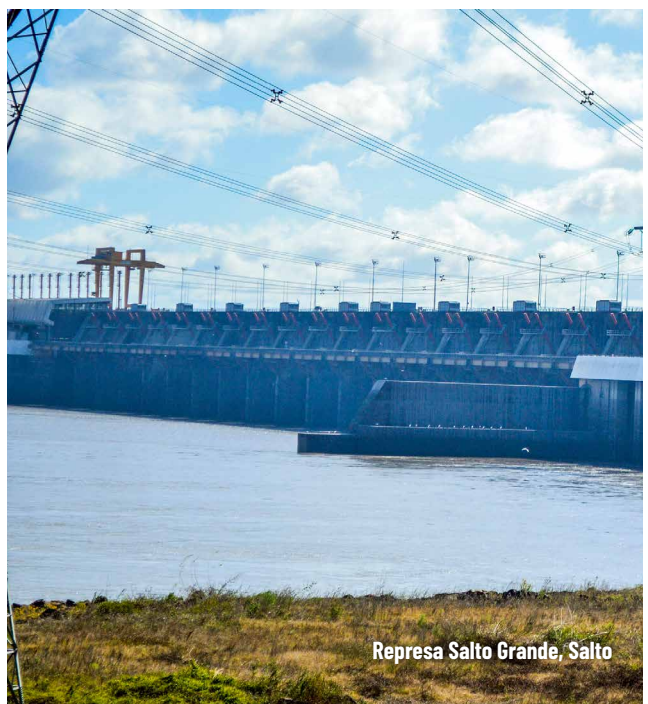
Otro riesgo identificado se vincula con el posicionamiento de nuevos competidores en mercados claves, que ejercen presión desde la oferta. En este sentido, es fundamental establecer relaciones tempranas de oferta y demanda para el largo plazo. Además, un aspecto que podría llegar a impactar sobre el desarrollo de la industria es la dificultad de generar la infraestructura necesaria a tiempo. Se avanzará en el análisis y propuesta de un plan de desarrollo de infraestructura, articulando con los distintos actores del sector político.

En lo que refiere a barreras de tipo sociales que se pudieran presentar, es deseable generar conciencia nacional alrededor del potencial de la industria del hidrógeno y de los beneficios que esta volcaría en la sociedad uruguaya en distintas áreas. También se generarán instancias de participación temprana de los distintos actores relevantes. Como aspecto transversal a los mencionados en los párrafos anteriores, se buscará asegurar una buena coordinación a lo largo de toda la cadena de valor.



Figura 17: Estrategias de mitigación de los principales seis riesgos identificados, con base en su probabilidad e impacto.

Fuente: Adaptado de McKinsey & Company, 2021, de acuerdo con contrato # :C-RG-T3777-P001 concluido con el BID.





9.  
Construcción  
de una **política**  
**de Estado**

## 9. CONSTRUCCIÓN DE UNA POLÍTICA DE ESTADO

Para impulsar la economía del hidrógeno verde a nivel nacional, es necesario planificar con una mirada de largo plazo e ir avanzando en acciones concretas hoy. Será necesario ir desarrollando las regulaciones e incentivos, analizar los aspectos logísticos, ir generando capacidades así como promover la participación ciudadana. A través del Programa H2U se buscará implementar las acciones propuestas en este documento, articuladamente con distintos organismos del Estado, el sector privado, la academia y la sociedad civil

### 9.1 - Desarrollo de aspectos regulatorios e incentivos

El país, a partir de la experiencia generada en el proceso de incorporación de energías renovables y otros proyectos de gran porte, desarrollará las capacidades y mecanismos para optimizar los procesos de solicitud de permisos y autorizaciones requeridas para el desarrollo de proyectos relativos al hidrógeno verde y sus derivados. Se pondrá énfasis en temas claves para el desarrollo del hidrógeno verde y derivados, tanto para consumo local como con destino a la exportación, en particular aquellos vinculados con el diseño de la certificación de hidrógeno verde, la creación de incentivos, el tratamiento impositivo y otros mecanismos. Actualmente ya se encuentran implementados incentivos específicos en el marco de la Ley n.º 16 906 de Inversiones y Promoción Industrial y exoneraciones arancelarias para la adquisición de vehículos a celda de combustible.

Durante 2022, se destaca la creación del Fondo Sectorial de Hidrógeno Verde, una iniciativa del MIEM junto a LATU y ANII. En el marco de este fondo, que apunta a promover la innovación e investigación en hidrógeno verde a nivel nacional, se ha impulsado una primera línea de acción para financiar la implementación de los primeros proyectos de producción. Se han dis-

puesto 10 millones de dólares que se otorgarán mediante una convocatoria abierta dirigida al sector privado.

En línea con las potestades otorgadas a la Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua (URSEA), en el artículo 150 de la Ley de Rendición de Cuentas n.º 19 996 del año 2021, se emitirá la regulación relativa a la producción, almacenamiento y transporte de hidrógeno. De este modo se establecerán estándares técnicos y de seguridad claros en lo que refiere a este vector energético y a sus derivados.

Por otra parte, se avanzará en aspectos vinculados a agilizar la gestión de servidumbres para redes de transmisión eléctrica y gasoductos. Será necesario evaluar esquemas atractivos en lo que refiere a los peajes por el uso de las redes de distribución de energía (teniendo en cuenta el potencial que presenta su alto porcentaje de energía renovable). El desarrollo de las infraestructuras vinculadas con el H<sub>2</sub> implica la descentralización de actividades con características industriales en zonas rurales, que podrán implicar la recategorización de suelos.

A medida que se vaya avanzando, se irán identificando las barreras existentes y la necesidad de impulsar nuevos incentivos o restricciones, que se irán ajustando a las oportunidades y desafíos del sector.

## 9.2 - Impulso a la participación ciudadana y generación de capacidades

Se impulsará una comunicación transparente y activa hacia la ciudadanía, en la que se utilizarán los mecanismos ya existentes a nivel nacional, en busca de generar una apropiación del concepto de sostenibilidad y del posicionamiento país a nivel global. Además, se procurará desarrollar contenidos y formas de comunicación que permitan un mejor entendimiento de la tecnología y sus beneficios, así como del aporte hacia los desafíos de descarbonización que se tienen a nivel global. Se deberá mantener informada a la población sobre los avances que se vayan realizando, con especial cuidado en aquellos actores particularmente involucrados en cada caso.

La generación de capacidades locales es un elemento clave para potenciar el desarrollo del hidrógeno verde y evitar posibles brechas

entre oferta y demanda a nivel a nivel de personal para las áreas operativas, técnicas y de ingeniería. Se deberán reforzar las capacitaciones en energías renovables, y en particular en las tecnologías vinculadas al hidrógeno. Las mayores necesidades relacionadas con las capacidades locales existentes y potencialmente demandadas se identifican en los aspectos vinculados a los electrolizadores y la producción de derivados; en este caso, resulta necesaria, particularmente, una mayor formación de expertos en la materia.

Se tendrán en cuenta los aspectos de género de forma de brindar igualdad de oportunidades y disminuir posibles brechas existentes.

La formación profesional y la especialización se potenciarán hacia una educación terciaria enfocada en el hidrógeno y sus derivados. En articulación con el Consejo Nacional de Innovación Ciencia y Tecnología (CONICYT) se buscará desarrollar un programa que permita generar las capacidades a nivel científico-técnico.



### 9.3 - Apoyo para desarrollo de infraestructura

Uruguay cuenta con infraestructura ya preparada para que los proyectos de hidrógeno verde y derivados comiencen a operar. En este sentido, el puerto de Montevideo tiene la oportunidad de desarrollar de forma temprana la exportación de combustibles sintéticos. Por otra parte, la vía del Ferrocarril Central permite conectar la zona de mayor potencial de energías renovables con el puerto de Montevideo, brindando muy buenas oportunidades para el transporte de los derivados de hidrógeno y facilitando sus posibilidades de exportación. Asimismo, para el transporte local se cuenta con vías fluviales y carreteras con acceso a todo el país que también conectan con el puerto de la capital.

Parte de las infraestructuras que deben desarrollarse se vinculan con la instalación de nuevas redes de transmisión eléctrica, gasoductos y eventualmente obras portuarias. Estos aspectos serán evaluados y articulados con los distintos actores vinculados al sector, para definir los distintos pasos a seguir.

La ejecución de un nuevo puerto de exportaciones con mayor profundidad para calado de buques o la búsqueda de otras soluciones logísticas offshore se analizarán en una primera fase de desarrollo de la hoja de ruta, con el objetivo de evaluar la forma más conveniente de capturar la oportunidad de exportaciones de hidrógeno, amoníaco y eventualmente DRI, en el largo plazo.

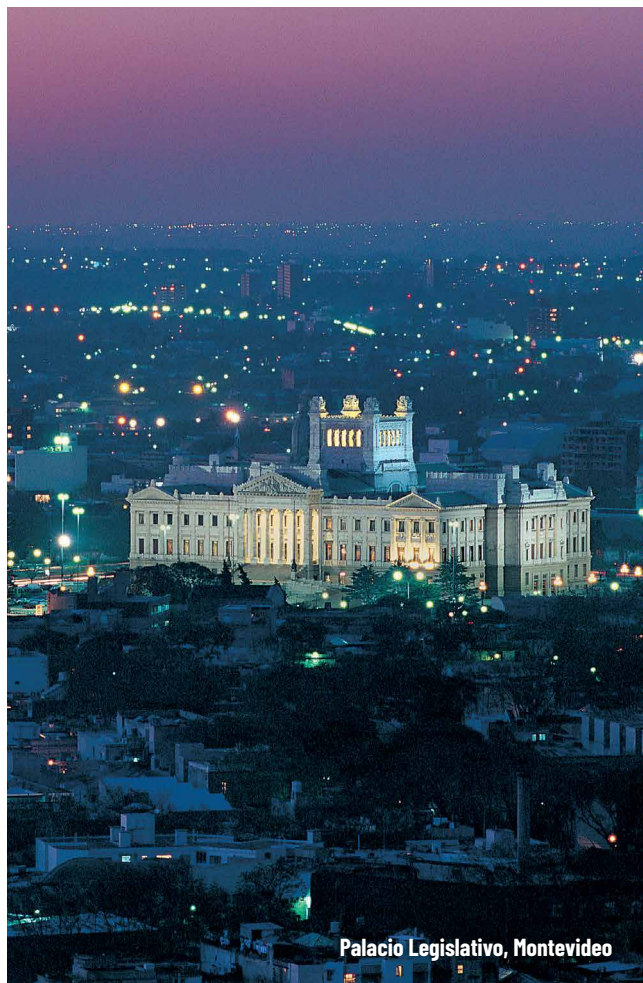
Se analizarán vías de colaboración con países de la región, para hacer viable la exportación de hidrógeno y derivados producidos en sus territorios, mediante la utilización de infraestructura local, particularmente los ríos y puertos existentes.

La producción de hidrógeno offshore se encuentra en fase de desarrollo por parte de distintas empresas a nivel global. Dado el potencial de energía eólica en el Atlántico, y con una mirada en el largo plazo, se estudiará el potencial de este recurso en la plataforma marina, articulando acciones junto con ANCAP.

### 9.4 - Fortalecimiento de la cooperación internacional

El impulso del hidrógeno, tanto a nivel nacional como para exportación, requiere de la mayor articulación y cooperación entre países. Por un lado, la alianza con aquellos que presentan necesidades de importación (Unión Europea, Reino Unido, Japón y Corea, entre otros) será necesaria para acelerar los procesos para el desarrollo de la economía del hidrógeno. Estos países podrán apoyar en los aspectos regulatorios y la generación de talento, así como en la facilitación de las primeras inversiones.

Por otra parte, se considera de relevancia buscar cooperación regional que impulse sinergias entre países y armonice los requisitos que surjan a nivel internacional. Algunos países ya han presentado sus hojas de ruta, como Chile y Colombia, y otros avanzan en proyectos, como Costa Rica, Argentina o Brasil.



## 9.5 - Implementación de la hoja de ruta: Programa H2U

Para impulsar la hoja de ruta propuesta, el país se encuentra desarrollando el Programa H2U, que apunta a ir generando una gobernanza

y seguimiento de la implementación de las sugerencias incluidas en el presente documento.

El programa contará con los siguientes componentes que serán articuladas con organizaciones públicas, privadas, academia y sociedad civil:

Componente	Responsables y posibles alianzas	Actividades
 <b>INNOVACIÓN</b>	MIEM, ANII, LATU, sector académico, CONYCIT	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Fondo Sectorial de Hidrógeno, convocatoria a proyectos con apoyo del Estado y a proyectos de investigación e innovación.</li> </ul>
 <b>INVERSIONES</b>	MIEM, MEF, MA, MRREE, OPP, Uruguay XXI	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Incentivos fiscales, apoyo en la gestión de permisos y posicionamiento a nivel internacional.</li> </ul>
 <b>INFRAESTRUCTURA</b>	MIEM, MTOP, ANP, ANCAP, UTE	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Aspectos portuarios, redes de transmisión eléctrica, gasoductos, uso de vía férrea.</li> </ul>
 <b>REGULACIÓN</b>	MIEM, URSEA, MVOT, MTOP, MA	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Regulaciones de calidad y almacenamiento. Aspectos de seguridad.</li> <li>· Aspectos vinculados al sistema eléctrico nacional.</li> <li>· Directrices para uso de suelo y servidumbre para gasoductos y transmisión eléctrica.</li> </ul>
 <b>OFFSHORE</b>	MIEM, ANCAP	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Proceso competitivo para la prospección y evaluación de producción de hidrógeno verde para eventual desarrollo futuro.</li> </ul>
 <b>COMUNICACIÓN Y GENERACIÓN DE CAPACIDADES</b>	MIEM, academia nacional: universidades, UTU, CONYCIT, entre otros. MRREE y AUCI. Sociedad civil.	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Diseño e implementación de un plan nacional de comunicación de aspectos de descarbonización y H2.</li> <li>· Formación profesional y técnica.</li> <li>· Alianzas con la cooperación internacional para la generación de capacidades y aspectos de comunicación internacional.</li> </ul>





# 10. **Referencias**

## 10. REFERENCIAS

- Airbus. (2022).** ZEROe Towards the world's first zero-emission commercial aircraft. Obtenido en <http://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe>.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2021).** Hidrógeno Verde: un paso natural para Uruguay hacia la descarbonización. Montevideo.
- Banco Mundial. (2020).** Off shore wind technical potential in Uruguay. Washington.
- Boeing. (2022).** Boeing Buys Two Million Gallons of Sustainable Aviation Fuel for its Commercial Operations. Obtenido en <https://boeing.mediaroom.com/2022-02-07-Boeing-Buys-Two-Million-Gallons-of-Sustainable-Aviation-Fuel-for-its-Commercial-Operations>.
- British Petroleum. (2022).** BP sets ambition for net zero by 2050, fundamentally changing organisation to deliver. Obtenido en <http://www.bp.com/en/global/corporate/news-and-insights/press-releases/bernard-looney-announces-new-ambition-for-bp.html>.
- Comisión Europea – Acción Climática. (2022).** European Climate Law. Obtenido en [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/european-climate-law\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/european-climate-law_en).
- Foro Económico Mundial. (2021).** Fostering Effective Energy Transition 2021, World Economic Forum. En prensa.
- Freedom House. (2022).** Expansión de la libertad y la democracia. Obtenido en <https://freedomhouse.org>.
- General Motors. (2022).** Reducing Carbon Emissions. Obtenido en <https://www.gmsustainability.com/priorities/reducing-carbon-emissions>.
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2019).** Manejo del Riego y Productividad del Agua en el cultivo de arroz en el Uruguay. Serie técnica INIA Arroz, 49-52.
- International Renewable Energy Agency. (2020).** Green Hydrogen: A guide to policy making. Abu Dhabi.
- IPCC. (2018).** Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of clim. En prensa.
- Maersk. (2022).** A.P. Moller - Maersk accelerates fleet decarbonisation with 8 large ocean-going vessels to operate on carbon neutral methanol. Obtenido en <http://www.maersk.com/news/articles/2021/08/24/maersk-accelerates-fleet-decarbonisation>.
- McKinsey & Company. (2021).** Insumos para la Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde del Uruguay. Montevideo: Banco Interamericano de Desarrollo.
- McKinsey & Company. (2022).** The net-zero transition: What it would cost, what it could bring by McKinsey. McKinsey & Company.
- Ministerio de Ambiente Uruguay. (2021).** Estrategia Climática de Largo Plazo, 2021 Uruguay. Montevideo.
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (2021).** Encuesta de arroz, zafra 2020-2021. Montevideo: Serie encuestas N.º 367.
- Ministerio de Industria, Energía y Minería Uruguay. (2021).** Balance Energético Nacional. Montevideo.
- Naciones Unidas, Cambio Climático. (2022).** Obtenido en <http://www.unfccc.int>.
- Naciones Unidas, índice de Desarrollo de e-gobierno. (2022).** e-Government Development Index. Obtenido en <https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us/Data/Country-Information/id/185-Uruguay>.
- Presidencia de la República, Uruguay. (2021).** Objetivo de Desarrollo Sostenible, Informe Nacional Voluntario 2021. Montevideo.
- Proyecto de Justicia Mundial. (2021).** World Justice Project (WJP) Rule of Law Index® 2021 report. Washington.



**Renewables - REN 21. (2021).** Renewables 2021 Global Status Report. Paris.

**Shell. (2022).** Our climate goals. Obtenido en <http://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/our-climate-target.html#iframe=L3dlYmFwcHMvY2xpbWF0ZV9hbWJpdGlubi8>.

**Sociedad de Productores Forestales del Uruguay. (2022).** Uruguay tiene un 100% de su producción forestal sostenible. Obtenido en <https://www.spf.com.uy/category/pefc>.

**Transparencia Internacional. (2022).** Country Data. Obtenido en <https://www.transparency.org>.

**Unidad de Inteligencia de The Economist. (2021).** Índice de Democracia. The Economist Intelligence Unit. Londres.

**World Energy Council 2021. (2021).** Decarbonised hydrogen imports into the European Union: challenges and opportunities. Evento virtual.

Hoja de ruta del  
**hidrógeno verde**  
en Uruguay



Hoja de ruta del **hidrógeno verde** en Uruguay



Junio 2022