

Hidrógeno Verde: un paso natural para Uruguay hacia la descarbonización

Noelia Medina
Martín Scarone
Wilson Sierra
Martijn Coopman
Cecilia Correa
María José Gonzalez
Gonzalo Irrazabal

División de Energía/
Sector de Infraestructura
y Energía

NOTA TÉCNICA N°
IDB-TN-02319

Hidrógeno Verde: un paso natural para Uruguay hacia la descarbonización

Noelia Medina
Martín Scarone
Wilson Sierra
Martijn Coopman
Cecilia Correa
María José Gonzalez
Gonzalo Irrazabal

Ministerio de Industria, Energía y Minería de Uruguay (MIEM); Puerto de Róterdam; Banco Interamericano de Desarrollo

Noviembre 2021

Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo
Hidrógeno verde: un paso natural para Uruguay hacia la descarbonización / Noelia Medina, Martín Scarone, Wilson Sierra, Martijn Coopman, Cecilia Correa, María José Gonzalez, Gonzalo Irrazabal.
p. cm. — (Nota técnica del BID ; 2319)
Incluye referencias bibliográficas.
1. Hydrogen as fuel-Uruguay. 2. Carbon dioxide mitigation-Uruguay. 3. Renewable energy sources-Uruguay. I. Medina Noelia. II. Scarone Martín. III. Sierra Wilson. IV. Coopman, Martijn. V. Correa, Cecilia. VI. González, María José. VII. Irrazabal Gonzalo. VIII. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Energía. IX. Serie. IDB-TN-2319

Códigos JEL: O13, O20, O40, O54, Q40

Palabras clave: hidrógeno verde, descarbonización, energía renovable, mercado de hidrógeno, nuevas tecnologías.

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2021 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



HIDRÓGENO VERDE:

UN PASO NATURAL PARA URUGUAY
HACIA LA DESCARBONIZACIÓN



HIDRÓGENO VERDE:

UN PASO NATURAL PARA URUGUAY HACIA LA DESCARBONIZACIÓN

Este artículo realiza un análisis de los principales hallazgos, conclusiones y perspectivas del estudio de pre-factibilidad de exportación de hidrógeno verde realizado por el Gobierno de Uruguay en conjunto con el Puerto de Róterdam.

Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM)

Medina Noelia; Scarone Martín; Sierra Wilson

Puerto de Róterdam

Coopman Martijn

Banco Interamericano de Desarrollo (BID)

Correa Cecilia

Consultores:

Gonzalez María José; Irrazabal Gonzalo



NOTAS:

1) El estudio de pre-factibilidad de exportación de hidrógeno verde del Gobierno de Uruguay y el Puerto de Róterdam fue elaborado por: Irene Vooijs y Reyer Will del Puerto de Róterdam; Martín Scarone y Wilson Sierra del Ministerio de Industria, Energía y Minería; y María José Gonzales y Gonzalo Irrazabal. Contó con la colaboración de: ANCAP (Juan Tomasini y Jorge Ferreiro); UTE (Pablo Mosto y Fernando Fontana); ANP (Capitán Daniel Loureiro, Darien Martínez y Álvaro García) y el Cónsul Honorario de los Países Bajos: Rene Sonneveld.

2) La información de costos de las tecnologías corresponden a información del año 2019, en base a indicadores de las tecnologías instaladas a ese momento en Uruguay. Por tanto, los valores obtenidos de LCOE y LCOH son conservadores.

ÍNDICE

Resumen ejecutivo	5
1. ¿Por qué hidrógeno verde y por qué ahora?	7
1.1. El hidrógeno verde como una nueva oportunidad de inversión	9
1.2. Hidrógeno verde en el mundo	12
2. Uruguay y sus ventajas competitivas como productor de hidrógeno verde	15
3. Estimaciones del potencial de Uruguay como exportador de hidrógeno verde	19
3.1. Estimación del recurso natural disponible (energía renovable y agua)	21
3.2. Escenarios analizados de demanda potencial de hidrógeno verde	23
3.3. Proyecciones de Costo Nivelado de la Energía (LCOE) y Costo Nivelado de Hidrógeno (LCOH)	25
3.4. Proyección del Costo del Hidrógeno en Uruguay y en el Puerto de Róterdam	26
3.5. Inversiones requeridas	27
3.6. Los desafíos de la localización	29
3.7. Análisis preliminar de riesgos	30
4. Usos locales de hidrógeno verde y sus derivados en Uruguay- Piloto H2U	31
5. La economía del hidrógeno para la reactivación económica	36
6. Estrategia de largo plazo - Hoja de Ruta de Hidrógeno para Uruguay	40
7. Conclusiones	42
Bibliografía	45

ACRÓNIMOS

ANCAP	Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland
ANP	Administración Nacional de Puertos
BEN	Balance Energético Nacional
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
DBT	Dibencil Tolueno
FONPLATA	Fondo Financiero para el Desarrollo de los Países de la Cuenca del Plata
GIZ	Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (por sus siglas en alemán)
H₂	Hidrógeno
HVO	Aceite Vegetal Hidrotratado (por sus siglas en inglés)
IEA	Agencia Internacional de Energía (por sus siglas en inglés)
IRENA	Agencia Nacional de Energía Renovable (por sus siglas en inglés)
LCOE	Costo Nivelado de Electricidad (por sus siglas en inglés)
LCOH	Costo Nivelado de Hidrógeno (por sus siglas en inglés)
MCH	Metil Ciclohexano
MIEM	Ministerio de Industria Energía y Minería
PoR	Puerto de Róterdam
REIF	Fondo de Innovación en Energías Renovables (por sus siglas en inglés)
UTE	Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas



RESUMEN EJECUTIVO

De acuerdo al último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático publicado en 2021, se están produciendo cambios climáticos sin precedentes. El informe establece que para limitar el calentamiento global de 1,5°C ó 2°C será necesaria la reducción inmediata, rápida y a gran escala de las emisiones de gases de efecto invernadero. Se requerirá, por lo tanto, mayores compromisos por parte de los países. Varios países se han comprometido a alcanzar emisiones netas cero para el 2050. Particularmente, el sector energético es uno de los que producen más emisiones de efecto invernadero. Por lo tanto, es de principal interés su descarbonización. El hidrógeno verde se perfila como un potencial vector energético que permitirá contribuir a alcanzar dicha meta. Varios países ya han avanzado en el desarrollo de estrategias y hojas de ruta de hidrógeno y han anunciado varios proyectos.

El hidrógeno verde se presenta como una oportunidad para Uruguay, tanto para la descarbonización de su economía como en lo referente a las posibilidades de exportación. La matriz eléctrica del país es altamente renovable, cuenta con un alto potencial de generación con energías renovables no convencionales aún sin utilizar, y la disponibilidad del recurso eólico y solar permite que estas energías sean altamente complementarias. Asimismo, el país tiene atributos de interés para el desarrollo de inversiones, ha tenido grandes avances en digitalización y cuenta con una buena ubicación geográfica con acceso a puertos y rutas que interconectan el país. Uruguay ya se encuentra impulsando el hidrógeno verde mediante dos líneas principales: la promoción de un proyecto piloto para transporte pesado que permitirá la prueba de la tecnología y la generación de capacidades y conocimiento; y el desarrollo de su estrategia nacional de hidrógeno verde.

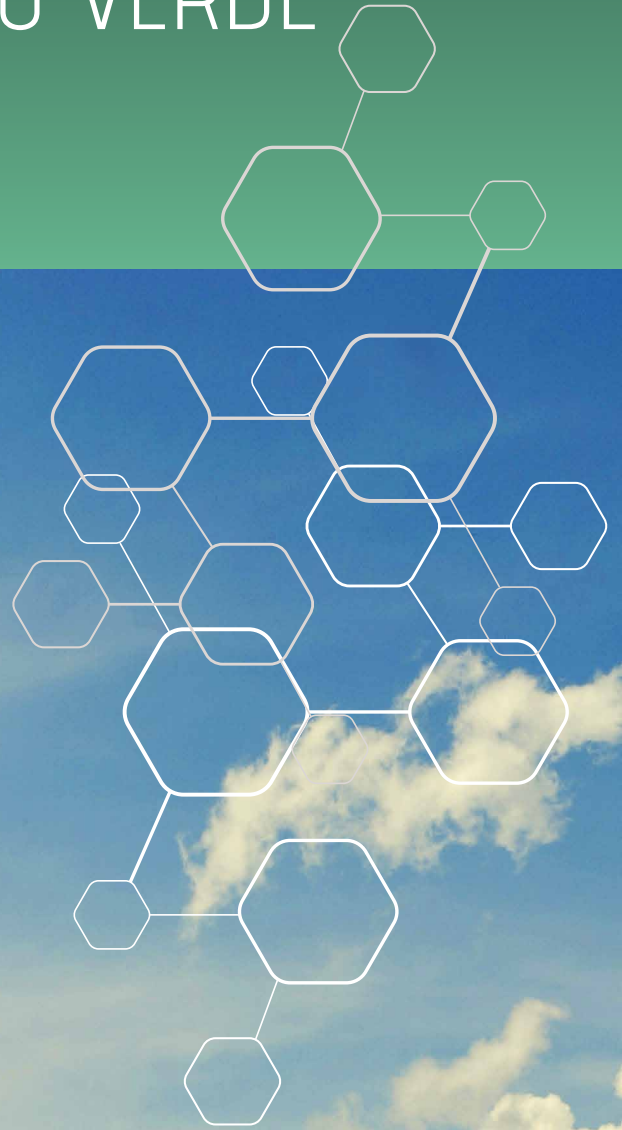
En 2020 el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) de Uruguay y el Puerto de Róterdam (PoR) desarrollaron un estudio de prefactibilidad de exportación de hidrógeno verde en el país. El estudio incluyó la estimación del recurso natural disponible (energía renovable y agua), análisis de distintos escenarios de demanda potencial de hidrógeno verde, proyecciones de costo nivelado de energía, proyección del costo de hidrógeno en Uruguay y en el PoR, inversiones requeridas, desafíos de localización y análisis preliminar de riesgos. El análisis concluyó que, de acuerdo a los supuestos realizados, la demanda de hidrógeno podría variar entre 0,4 y 3 millones de toneladas de hidrógeno por año, alcanzando un costo nivelado de 1,5 €/Kg de hidrógeno en Uruguay.



Asimismo, se estimaron costos del vector energético puesto en Róterdam considerando distintos carriers, siendo el Amoníaco el que lograría menor costo (2,55 €/kg de hidrógeno en destino), seguido por el líquido orgánico Metilciclohexano (MCH 2,80 €/kg de hidrógeno en destino). Además, según el estudio, la distancia al puerto destino no tiene gran impacto en el costo para el amoníaco ni el MCH. Las inversiones requeridas para estos niveles de producción varían entre totales acumulados de € 5.780 millones y € 45.000 millones al 2050.

La presente Nota Técnica realiza una breve revisión del estado del desarrollo de hidrógeno verde a nivel mundial, analiza las ventajas competitivas de Uruguay como productor y exportador de hidrógeno verde; presenta los principales hallazgos del estudio de prefactibilidad de exportación realizado por MIEM y PoR; analiza los potenciales usos locales de hidrógeno verde y sus derivados y los potenciales beneficios en términos de la reactivación económica; y presenta las principales iniciativas que está desarrollando el gobierno en el marco de la promoción del desarrollo del ecosistema de hidrógeno verde a nivel nacional.

¿POR QUÉ HIDRÓGENO VERDE Y POR QUÉ AHORA?





¿POR QUÉ HIDRÓGENO VERDE Y POR QUÉ AHORA?

De acuerdo al Panel Intergubernamental del Cambio Climático, limitar el calentamiento global a menos de 1,5°C implicaría un compromiso a nivel mundial de alcanzar la carbono-neutralidad para el año 2050 (Rogelij, et al., 2018). Actualmente, 80,2 % de la energía consumida a nivel mundial proviene de combustibles fósiles, valor que es un 0,1 % menor al verificado una década atrás (Murdock, 2021). A futuro se espera que la demanda de energía aumente debido a un incremento considerable de la población a nivel mundial (9.700 millones de habitantes para 2050 y 11.200 millones de habitantes a 2070) y al continuo crecimiento de las economías de los países. Por tanto, lograr ser carbono neutral a nivel mundial al año 2050 constituye uno de los desafíos globales más importantes a afrontar y requerirá, entre otras acciones, una transición energética que incluya el abastecimiento a partir de fuentes renovables de energía y la extensión de la cultura de la eficiencia energética en todas las áreas de actividad.

Respondiendo a esta preocupación, varios países han asumido compromisos de emisiones netas cero al año 2050 (Naciones Unidas - Acción por el Clima, 2021); (Climate Change News, 2019). En línea con estos compromisos, las industrias también están realizando acciones específicas hacia la descarbonización. Por ejemplo, las principales marcas de la industria automotriz han comenzado a anunciar que sus vehículos serán cero emisiones al año 2050 y algunas de ellas incluso antes de dicho año (ej: General Motors en 2035). Otras industrias energéticas también han anunciado que serán cero emisiones al año 2050, incluso empresas que presentan su giro principal de actividad en la venta de hidrocarburos, tal el caso de Shell, BP, etc. (World Energy Trade, 2021); (IP, Bakhshi, & Van Stijn, 2020).

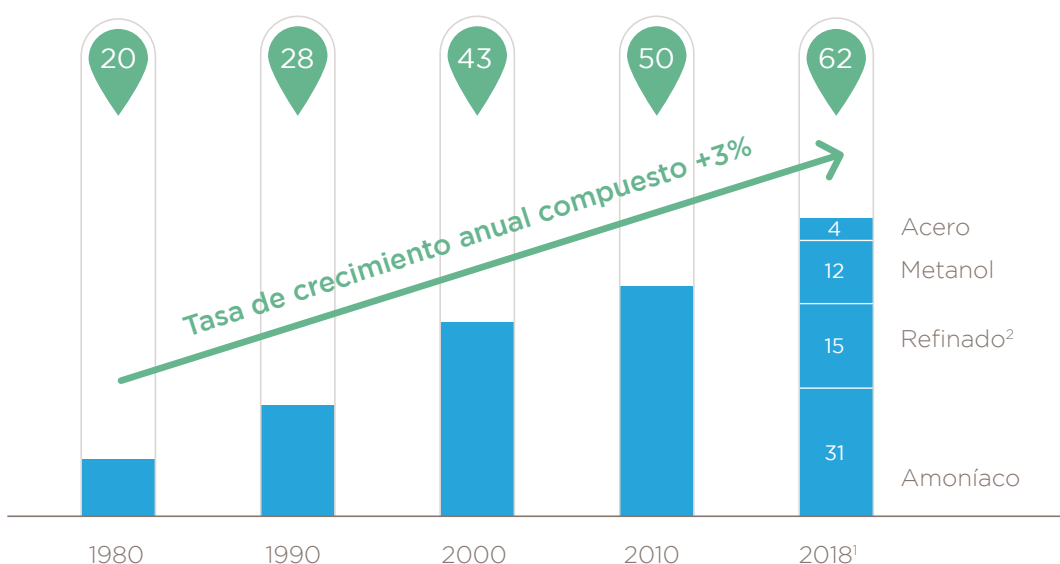
Al día de hoy, la mejora en la competitividad de las energías renovables, de forma directa e indirecta será un componente clave al momento de avanzar en la descarbonización de muchos de los sectores de la actividad económica (IRENA, 2019). Asimismo, los avances tecnológicos y la reducción de los costos de las energías renovables han contribuido a reducir los precios de producción de hidrógeno verde y sus derivados. Consecuentemente, existe consenso a nivel mundial de que el Hidrógeno Verde será un componente clave

en la descarbonización de los sectores energético e industrial, permitiendo, por ejemplo, la descarbonización de materias primas en diversos procesos (IRENA, 2020); (World Energy Council, s.f.); (IEA, 2019).

1.1. El hidrógeno verde como una nueva oportunidad de inversión

El uso del hidrógeno como insumo en distintas industrias no es algo nuevo. Tal como lo demuestra la Figura 1, la demanda de hidrógeno en el mundo ha venido creciendo sostenidamente a lo largo de las últimas décadas. La demanda de hidrógeno ha aumentado en promedio un 33 % por década a partir de la década de los 80.

La demanda de hidrógeno está aumentando sostenidamente



¹ Combustible para transporte, calor y energía fueron 0,2 millones de toneladas en 2018

² Estrategia y estimado

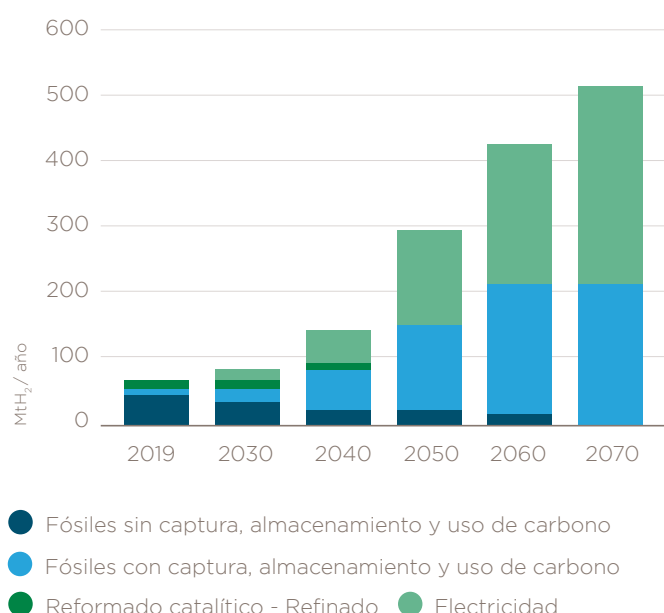
Fuente: 2018 figuras de la International Energy Agency. "The Future of Hydrogen: Seizing today's opportunities." Junio 2019. (<http://www.iea.org/the-future-of-hydrogen>); Strategy & analysis

Figura 1. Demanda de hidrógeno (millones de toneladas). Fuente: (Anouti, Elborai, Kombargi, & Hage, 2020)



El hidrógeno utilizado en la actualidad es producido casi en su totalidad mediante combustibles fósiles, conocido como hidrógeno gris (ver Figura 2). Sin embargo, se prevé que la producción de hidrógeno tendrá un crecimiento acentuado en los próximos años. Este crecimiento estaría liderado principalmente por la producción de hidrógeno verde, el cual implica la utilización de energía de origen renovable para la electrólisis -separación- de las moléculas de hidrógeno, e hidrógeno azul, el cual implica la utilización de energía de fuentes fósiles pero considera la aplicación de tecnologías de captura, utilización y almacenamiento del carbono emitido (CCUS por sus siglas en inglés). Tal como se muestra en la Figura 2, de acuerdo con estimaciones de la Agencia Internacional de Energía (IEA), se espera que para el 2050 la demanda de hidrógeno sea aproximadamente cuatro veces superior a la demanda actual, y la mitad resulte correspondiente a hidrógeno verde. (IEA, 2020).

Producción de hidrógeno



Uso de hidrógeno

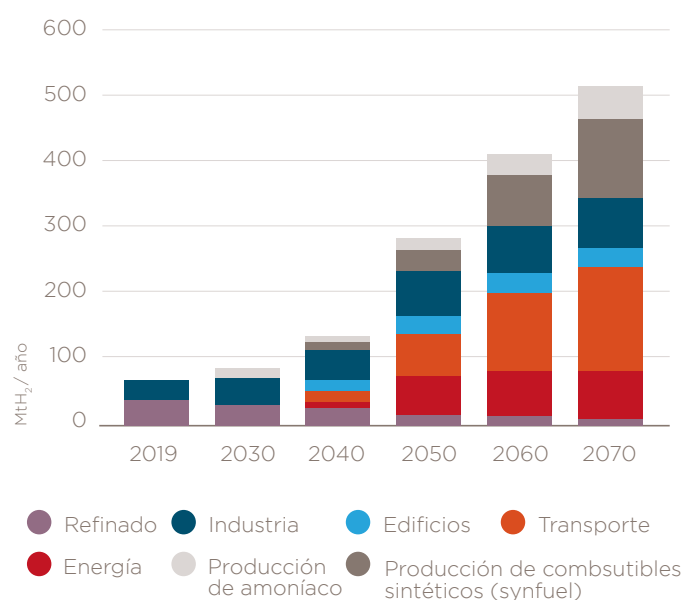


Figura 2. Previsión del crecimiento de la demanda de hidrógeno al 2070. Fuente: Global hydrogen production by fuel and hydrogen demand by sector 2019-2070 Under the Sustainable Development Scenario (Source IEA, Energy Technology Perspectives, 2020) obtenido de BID (2020) (García, J.; Gischler, C.; Hallack, M., 2021)



El aumento esperado de la producción y demanda de hidrógeno, principalmente hidrógeno verde, se da por varios factores interrelacionados entre los que se destacan:

- › La necesidad de disponer de tecnologías que permitan electrificar sectores difíciles de descarbonizar para cometer con el compromiso e interés de los países de cumplir con lo pactado bajo el Acuerdo de París de limitar el calentamiento global a 1,5°C por encima de los niveles preindustriales.
- › El aumento del valor de los servicios de almacenamiento de energía, que resultan cada vez más necesarios para equilibrar la oferta y demanda de electricidad, considerando el aumento de la competitividad de las energías renovables variables y su mayor participación en los sistemas eléctricos.
- › El interés de varios países de generar, a partir de la disponibilidad de recursos naturales económicamente explotables, una nueva corriente exportadora de energía recurriendo al hidrógeno verde como vector.
- › La reducción de costos de producción de hidrógeno verde debido a la baja de costos de la energía renovable y de otros componentes relevantes como los electrolizadores. El costo de la energía, el cual puede representar hasta el 80% del costo de producción del producto final, ha sufrido importantes reducciones en las últimas décadas. A manera de ejemplo, los costos de las plantas solares fotovoltaicas tuvieron una reducción del 82 % entre 2010 y 2019 y la eólica un 40 % (IRENA, 2020). Por su parte, los electrolizadores han reducido su costo un 60 % en los últimos diez años y se espera que mantengan esta tendencia al lograr mayor escala de producción (BloombergNEF, 2020); (European Comisión, 2020). Estudios muestran que, si bien la producción del hidrógeno verde en la actualidad es más costosa que la del hidrógeno azul, esta situación se revertiría a partir de 2030 (BloombergNEF, 2021). Incluso, el hidrógeno verde sería más barato de producir que el hidrógeno gris en 2030 en mercados importadores claves (BloombergNEF, 2021); (Hydrogen Council, McKinsey & Company, 2021). Se estima que los costos de producción podrían reducirse un 62 % entre 2020 y 2030 (Hydrogen Council, McKinsey & Company, 2021).



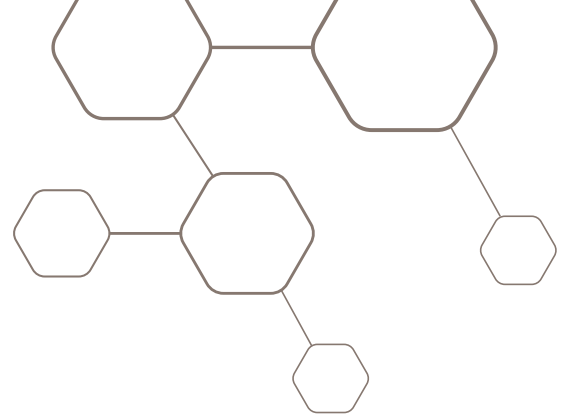
1.2. Hidrógeno verde en el mundo

A inicios de 2021, más de 30 países habían presentado hojas de ruta de hidrógeno verde, se habían anunciado más de 200 nuevos proyectos de hidrógeno y planes de inversión, y gobiernos se habían comprometido al financiamiento de un total de US\$ 70 mil millones de este tipo de iniciativas (Hydrogen Council, McKinsey & Company, 2021). El 85 % de los proyectos anunciados, que de concretarse requerirían una inversión de más de US\$ 300 mil millones, se encuentran en Europa, Asia y Australia. A la vez, América del Norte, América Latina, Medio Oriente y el Norte de África han realizado avances en el tema (Hydrogen Council, McKinsey & Company, 2021).

En Europa, más de 12 países han presentado estrategias, objetivos y programas de financiamiento de hidrógeno. Australia y Nueva Zelanda aprobaron sus respectivas estrategias de hidrógeno en 2019. En Asia, Japón publicó una hoja de ruta para implementar su estrategia de hidrógeno, China ha establecido apoyos y subsidios para tecnologías de hidrógeno, Corea del Sur anunció su hoja de ruta con ambiciosos objetivos para 2022, 2025 y 2040, Rusia está trabajando en la suya e India anunció el lanzamiento de una misión nacional de hidrógeno.

En África, en tanto, Egipto está estudiando introducir hidrógeno en su estrategia al 2035, Marruecos lanzó el grupo nacional de hidrógeno verde y Sudáfrica promueve el uso de combustibles a celdas de hidrógeno en su estrategia de transporte verde. Por otra parte, en América del Norte, Canadá publicó su primera estrategia de hidrógeno en 2020 y Estados Unidos recientemente aprobó una actualización de su programa “DOE Hydrogen Program” cuya misión es investigar, desarrollar y validar la transformación del hidrógeno y tecnologías relacionadas incluyendo celdas de combustibles y turbinas, para poder atacar las barreras institucionales o de mercado y que en definitiva permita la adopción de múltiples acciones en el sector (H2Bulletin, 2020) (U.S. Department of Energy, 2020).

Como hito relevante puede mencionarse que la Comisión Europea emitió su informe “*A hydrogen strategy for climate neutral Europe*” en agosto de 2020, donde identificó que el desarrollo del hidrógeno, particularmente del hidrógeno verde, será clave para la descarbonización de determinados sectores energéticos y un hito necesario para cumplir con los compromisos asumidos



(U.S. Department of Energy, 2020). El informe identifica la necesidad de desarrollar políticas que incentiven la inversión, el scaling-up de producción de hidrógeno verde, así como políticas para promover su demanda (por ejemplo, estableciendo cuotas mínimas de hidrógeno verde en ciertas industrias o transporte). Entre las medidas que en ese marco se encuentran a estudio se identifican:

- Un objetivo común de hidrógeno verde;
- Certificación de energías renovables e hidrógeno bajo en carbono;
- Definición de terminología y criterios comunes para Europa;
- Contratos de carbón por diferencia, contratos a largo plazo con una contraparte estatal, donde el Estado remunera al inversor mediante el pago de la diferencia entre el precio acordado para el CO₂ y el precio del CO₂ en un momento dado;
- Apoyos directos y transparentes en el mercado para hidrógeno verde, que tengan su base en procesos competitivos;
- Mezcla con gasoductos, aunque sea de forma transitoria.

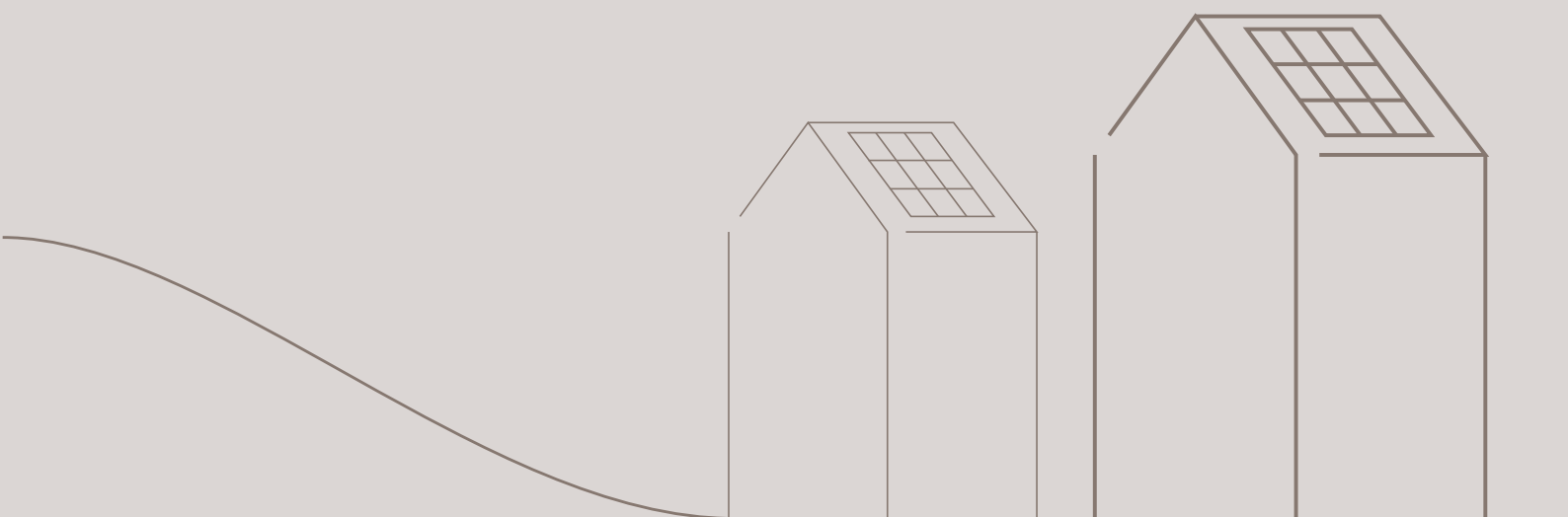
La estrategia fue recientemente aprobada por el Parlamento Europeo, incluyendo el apoyo al desarrollo del hidrógeno rosa o púrpura (aquel que se produce para alimentar plantas de generación de energía nuclear) (Euractiv, 2020).

América Latina se destaca por contar con una alta participación de energías renovables en su matriz eléctrica, lo que posiciona positivamente a varios de sus países para la generación de hidrógeno verde. Diferentes países se encuentran avanzando en el tema. Chile ha puesto en consulta pública su estrategia nacional para la producción y posible exportación de hidrógeno verde cuyos pilares son: i) el fomento al mercado y a la exportación; ii) normativa, seguridad y pilotajes; iii) desarrollo social y territorial y iv) formación de capacidades e innovación. Asimismo, Chile diseñó un plan maestro para el desarrollo de la industria del hidrógeno verde y abrió una convocatoria para desarrollar proyectos de más de 10 MW para lo que aportará hasta US\$30 millones (Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2020) (Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2021). Costa Rica cuenta con el primer proyecto piloto de producción y uso de hidrógeno verde de la región, que es utilizado para impulsar vehículos



a celdas de combustibles y ha desarrollado un plan de acción interinstitucional para propiciar el uso de hidrógeno en el transporte (Comisión de Hidrógeno, 2018). Trinidad y Tobago se encuentra efectuando estudios de prefactibilidad para un piloto de hidrógeno verde. Otros países como Colombia, Brasil y Paraguay se encuentran también avanzando en el tema.

En lo que respecta a proyectos específicos, Europa lidera con respecto a la cantidad de iniciativas de hidrógeno verde anunciadas (126 proyectos). En segunda posición se encuentra Asia (24 proyectos con gran participación de Japón, Corea del Sur y China) y en tercer lugar Oceanía (24 proyectos principalmente en Australia). Luego se encuentran Norteamérica (19 proyectos), Medio Oriente y África (8 proyectos) y América Latina (5 proyectos) (Hydrogen Council, McKinsey & Company, 2021).



URUGUAY Y SUS VENTAJAS COMPETITIVAS COMO PRODUCTOR DE HIDRÓGENO VERDE



URUGUAY Y SUS VENTAJAS COMPETITIVAS COMO PRODUCTOR DE HIDRÓGENO VERDE

Desde hace ya unos años, Uruguay ha descarbonizado su matriz eléctrica, complementando la tradicional participación de la energía hidroeléctrica con la incorporación de energía eólica, solar y generación a partir de biomasa. En virtud de esta incorporación, el 97% de la energía eléctrica generada en los últimos cuatro años (2017-2020) ha sido obtenida a partir de fuentes renovables como se muestra en la Figura 3 (MIEM, 2020).

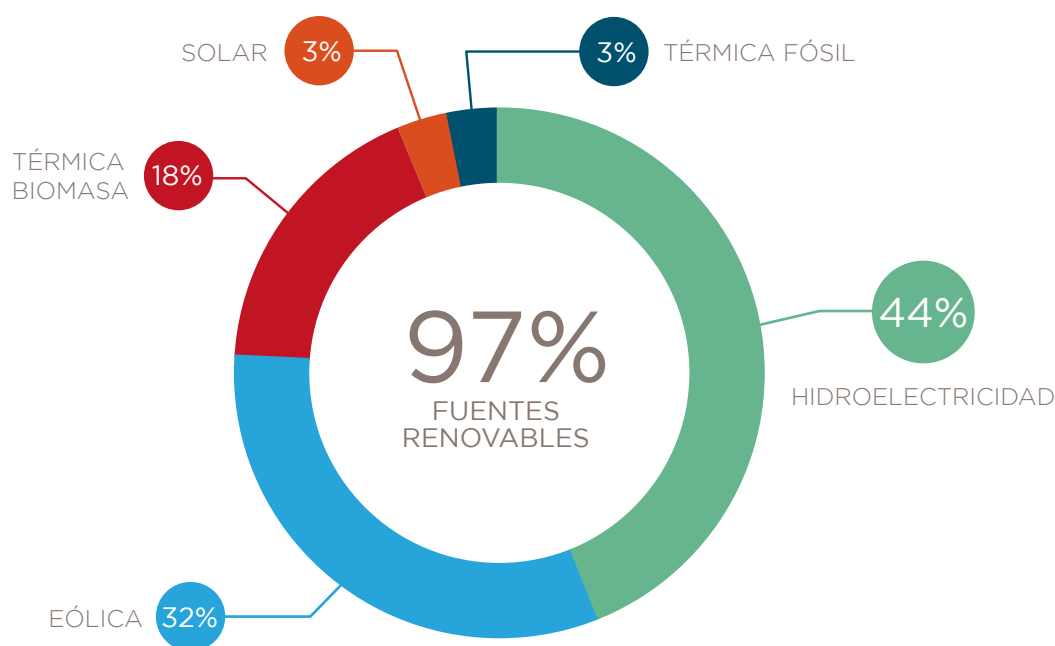



Figura 3. Uruguay: generación de energía eléctrica 2017-2020. Fuente: (MIEM 2020)

La alta participación de las energías renovables en la matriz eléctrica ha permitido posicionar a Uruguay como un jugador clave y de clase mundial en la transición energética (Bertram, 2020). En ese sentido, el país se ubica en el puesto número 13 en el ranking Índice de Transición Energética (World Economic Forum, 2021), siendo líder de la región.



En virtud de haber logrado el primer objetivo de descarbonización de la matriz eléctrica, Uruguay se encuentra avanzando en la segunda etapa de la transición energética, vinculada al transporte y otros sectores de consumo de energía (principalmente en lo que respecta las industrias intensivas en uso de energía).

El hidrógeno verde se presenta como una oportunidad para descarbonizar el sector del transporte pesado, que representa el 4 % de la flota, es responsable del 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero del transporte carretero; y es de los consumos energéticos difíciles de electrificar.

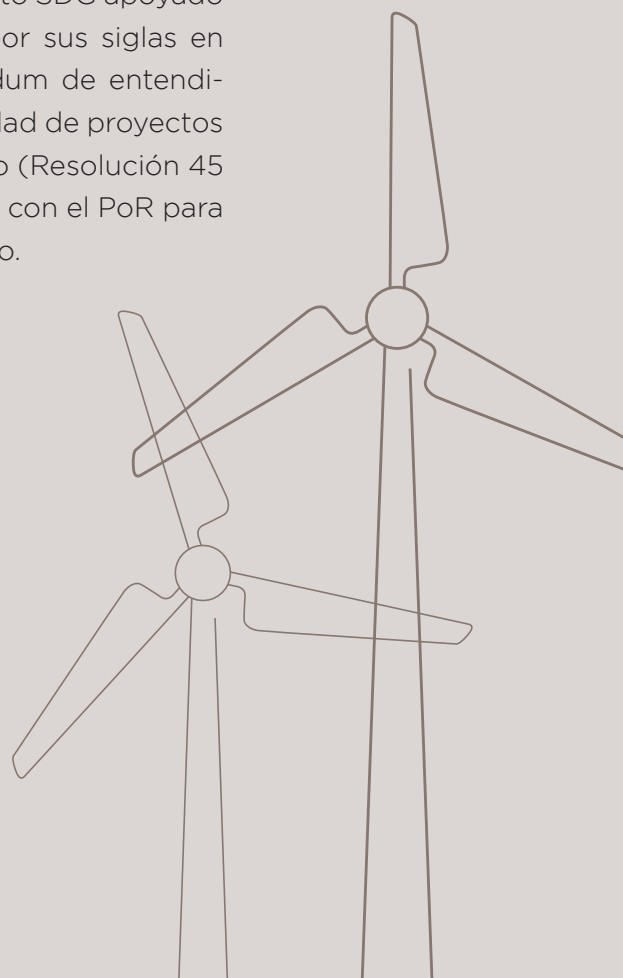
Uruguay cuenta con varios atributos que lo posicionan positivamente como productor de hidrógeno verde. El primero es la disponibilidad de energía eléctrica renovable y un alto potencial de generación de energías renovables no convencionales, tanto on-shore como off-shore. Además, tiene la ventaja de tener alta complementariedad entre la energía eólica y solar. En otro orden, el país presenta un conjunto de atributos que lo hacen atractivo para el desarrollo de inversiones, a manera de ejemplo puede citarse que cuenta con una democracia plena y una buena estabilidad sociopolítica (Economist Intelligence Unit, 2021). Asimismo, se encuentra posicionado en sexto lugar en el mundo en cuanto a las libertades civiles y políticas de su población, (Freedom House, s.f.) y lidera en la región en cuanto a la baja percepción de corrupción (Transparency International, 2021) y al índice de estado de derecho (World Justice Project - Rule of Law Index, 2020). Además, ha avanzado considerablemente en la digitalización del sector público, encontrándose en el puesto 26 del ranking de e-Government Development Index y primero en la región (United Nations - Data Center, 2021). Adicionalmente, Uruguay cuenta con grado inversor (Unidad de Gestión de Deuda Pública, Ministerio de Economía y Finanzas, Uruguay, 2021) y tiene una buena ubicación geográfica, con puertos de acceso al Océano Atlántico y rutas que interconectan todo el país.

En el año 2018, se conformó un grupo interinstitucional integrado por el MIEM, la Administración Nacional de Combustibles Alcohol y Portland (ANCAP), empresa estatal del sector petróleo y gas y la Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE), empresa eléctrica estatal, con el propósito de analizar el posible desarrollo del hidrógeno verde en Uruguay. En ese marco, se realizaron estudios de pre-factibilidad para llevar



adelante un proyecto piloto de producción de hidrógeno verde para abastecer la demanda asociada a transporte pesado (camiones) y/o buses de larga distancia.

El país ha recibido apoyo por parte de varios organismos multilaterales. El BID organizó junto con ANCAP un primer evento de difusión de la tecnología en 2019. Al mismo tiempo, se encuentra apoyando el proyecto piloto H2U mediante estudios específicos y en su estructuración, y la elaboración de la estrategia de hidrógeno verde del país. También se ha recibido apoyos de la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ por sus siglas en alemán) e interés de varios organismos como Naciones Unidas y Fonplata. El hidrógeno también es un eje de trabajo en proyectos internacionales tales como el nuevo proyecto con financiamiento GEF 7 y el proyecto SDG apoyado con el Fondo de Innovación de Energía Renovable (REIF por sus siglas en inglés). En la misma línea, Uruguay concretó un memorándum de entendimiento con Japón para colaborar conjuntamente en la viabilidad de proyectos de tecnologías limpias, particularmente respecto al hidrógeno (Resolución 45 Ministerio de Economía y Finanzas, 2020) y otro memorando con el PoR para analizar la factibilidad de ser un país exportador de hidrógeno.



ESTIMACIONES DEL POTENCIAL DE URUGUAY COMO EXPORTADOR HIDRÓGENO VERDE





ESTIMACIONES DEL POTENCIAL DE URUGUAY COMO EXPORTADOR DE HIDRÓGENO VERDE

Uruguay, a través del MIEM, avanzó en un estudio de pre-factibilidad de exportación de hidrógeno verde con el Puerto de Róterdam (2020). El estudio co-desarrollado por el MIEM y el Puerto de Róterdam (MIEM & PoR) analizó la futura demanda y las posibilidades de exportación desde Uruguay hacia Europa utilizando como vía de entrada la infraestructura existente en Países Bajos. El estudio de pre-factibilidad analizó toda la cadena de abastecimiento desde Uruguay hacia los Países Bajos, atendiendo particularmente la existencia de recursos disponibles, los precios de producción de hidrógeno y los puertos uruguayos por los que podría partir la producción hacia Europa, además de los posibles consumos domésticos que pudieran acompañar este desarrollo.

El estudio se enmarca en el interés del PoR, considerado como el principal puerto de Europa, de posicionarse como líder en la importación de hidrógeno en ese continente. Ese interés se conjuga con el trabajo que Uruguay realiza desde 2018 para apostar al desarrollo de una Economía del Hidrógeno, teniendo en cuenta, como se menciona anteriormente en este documento, que el país posee diversas potencialidades para la promoción de esa industria. De acuerdo con análisis previos, Europa será el principal demandante de hidrógeno en una proyección de 10 a 30 años a partir de la constatación de que el crecimiento de la demanda no será acompañado de la posibilidad de abastecerse localmente de H_2 . Por otra parte, contar con un puerto de la importancia que tiene el de Róterdam como contraparte permitiría a Uruguay posicionarse en un futuro, como exportador de ese componente clave para la descarbonización de las actividades productivas.

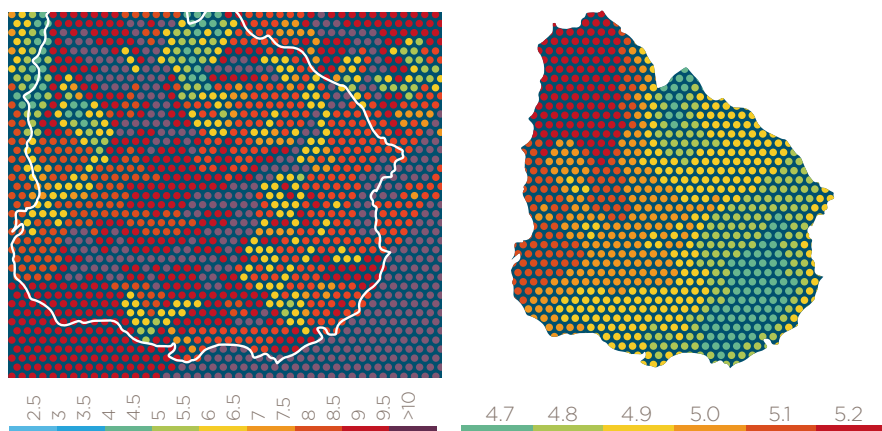
3.1. Estimación del recurso natural disponible (energía renovable y agua)

Considerando las características geo-demográficas del país, Uruguay tiene un gran potencial para generar energía eléctrica a partir de energías renovables, especialmente solar y eólica (on shore y off-shore). A saber, Uruguay:

- i) es un país con baja densidad de población, cuenta con aproximadamente 3,5 millones de habitantes en un área de 176.215 km² (20 hab/km²).
- ii) no tiene accidentes geográficos de importancia y es suavemente ondulado. Además cuenta con un sistema de carreteras que permite acceder a la mayor parte de las áreas del territorio.
- iii) cuenta con 208.057 km² de superficie marítima, potencialmente aprovechables para la instalación de generación eólica offshore.

El recurso solar y eólico ha sido analizado en detalle en el pasado por la Universidad de la República con la ayuda de las mediciones realizadas tanto por la empresa eléctrica estatal UTE, como por las empresas de generación de energía eléctrica privadas que se encuentran hoy aportando energía al Sistema Interconectado Nacional (Alonso, 2017) (Gurin et al., 2016). Ver figura 4.

ONSHORE



OFFSHORE

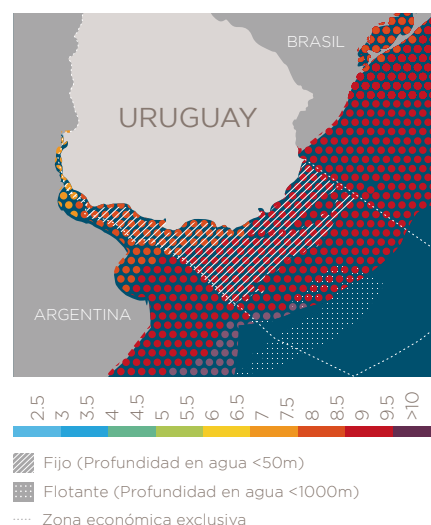


Figura 4. Relevamiento de recursos naturales posibles de ser orientados a la producción de hidrógeno verde.



El potencial de generación para instalar solar y eólica on shore en el 5% del área del país se ha estimado en 450 GW (con un factor de capacidad de 20%) para el caso de Solar Fotovoltáico y en 30 GW (con un factor de capacidad potencial que superaría el 41%) para eólica on shore (MIEM, s.f.). A lo anterior debe agregarse el potencial de instalar capacidad de origen eólico en el off-shore, que considerando únicamente la fracción más favorable del área marítima disponible, asciende a casi 280 GW (con un factor de capacidad potencial que superaría el 55%) (World Bank, 2020).

Consecuentemente, se concluye que se dispone de un muy buen recurso solar y eólico tanto onshore como off-shore pasible de ser utilizado con este propósito (Gurin, et al., 2016); (World Bank, 2020).

Adicionalmente, se ha evaluado en el pasado la complementariedad de los recursos y, tal como se puede observar en la Figura 5, se concluye que tanto la complementariedad diaria como la estacional es muy buena en el territorio, lo que permitiría altos factores de capacidad de los electrolizadores (Ministerio de Industria, Energía y Minería, s.f.).

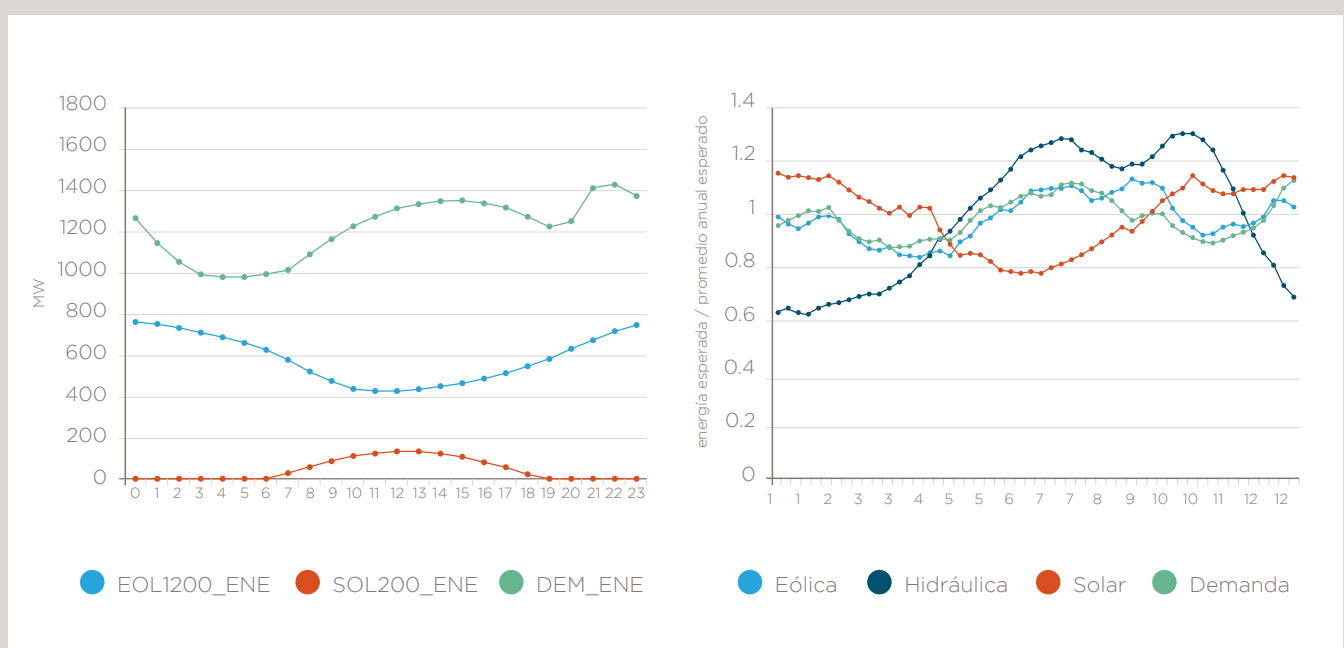


Figura 5. Producción media de energía eléctrica por tecnología. Figura de la izquierda: Producción diaria; Figura de la derecha: Producción por mes. Fuente: (Gurin et al., 2016)

Paralelamente, a nivel nacional se cuenta con abundante disponibilidad de agua en todo el territorio nacional con posibilidad de ser utilizada en el funcionamiento de los electrolizadores (ver figura 6).

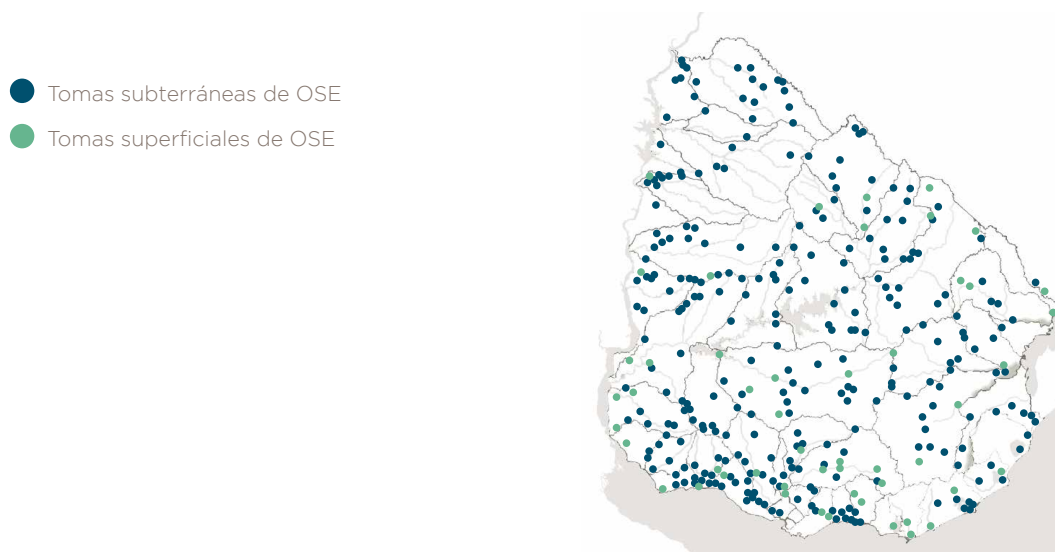


Figura 6. Tomas superficiales y subterráneas de agua con destino a potabilización a nivel nacional.
Fuente: Ministerio de Ambiente

3.2. Escenarios analizados de demanda potencial de hidrógeno verde

A los efectos de ejecutar el análisis se construyen tres escenarios que cubren el período entre 2030 y 2050 (MIEM & Port of Rotterdam, 2020) los cuales permiten obtener resultados suficientemente diferenciados a efectos de extraer conclusiones a ser consideradas por los tomadores de decisión a futuro, atendiendo a las siguientes descripciones:

- El **escenario conservador** considera un consumo local de hidrógeno bajo y que la mayor parte del hidrógeno producido tendría como destino la exportación.
- El **escenario medio** considera un uso considerable de hidrógeno a nivel nacional, aunque la exportación superaría la demanda interna.
- El **escenario ambicioso** considera que Uruguay lograría condiciones para liderar la economía del hidrógeno en Sudamérica, con un alto consumo local, así como exportaciones hacia Europa y Asia.



La Figura 7 resume la demanda estimada de energía eléctrica y la producción estimada de hidrógeno de acuerdo con el estudio de MIEM y PoR (2020) para cada uno de los escenarios considerados. Como referencia se incluyen las estimaciones de consumo local eléctrico para el mismo período.

Electricidad para demanda local y producción de hidrógeno

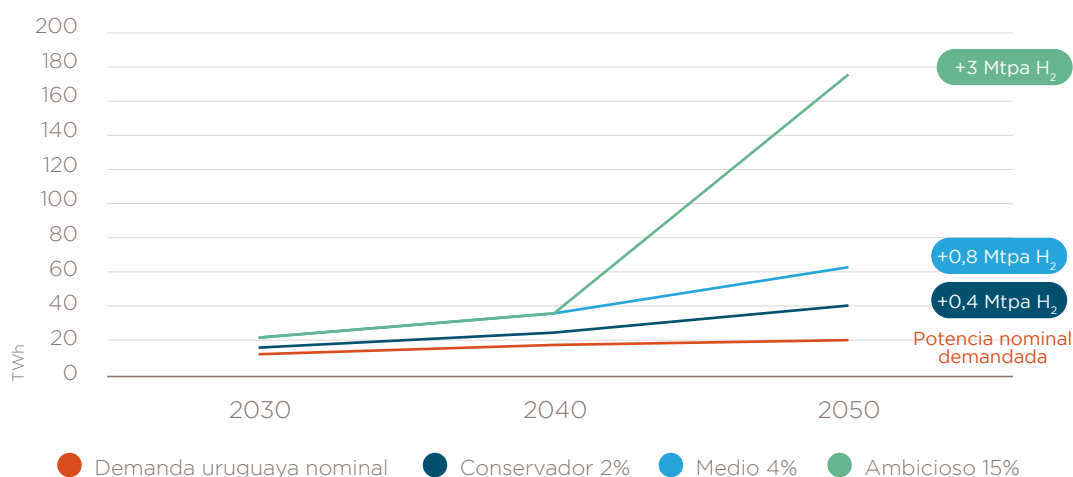
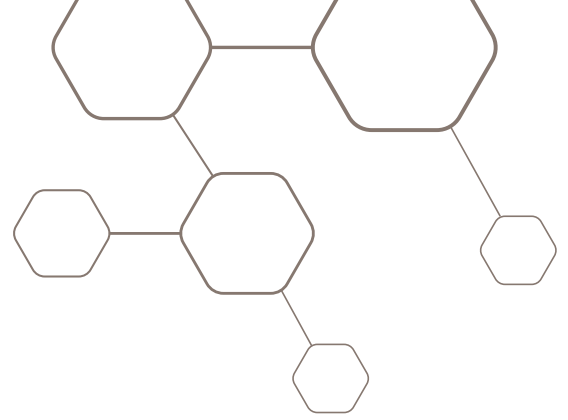


Figura 7. Demanda estimada de electricidad por escenario sumando la demanda de H₂
Fuente: (MIEM & PoR, 2020)

Tal como se muestra en la Figura 7, el escenario conservador implicaría duplicar la demanda nacional nominal proyectada para producir 0,4 millones de toneladas por año de hidrógeno verde, el escenario medio triplicaría la demanda de energía e implicaría producir 0,8 millones de toneladas por año de hidrógeno verde y en el escenario ambicioso la demanda de energía se multiplicaría por más de 8 veces produciéndose del orden de 3,0 millones de toneladas por año de hidrógeno verde.

²Estos excedentes surgen por contar con una matriz de generación de energía eléctrica prácticamente 100% renovable con una participación importante de generación hidroeléctrica con gran variabilidad interanual y una participación creciente de solar y eólica con determinadas estacionalidades.



3.3. Proyecciones de Costo Nivelado de la Energía (LCOE) y Costo Nivelado de Hidrógeno (LCOH)

La mejor combinación para la producción de hidrógeno verde en Uruguay es la instalación de parques híbridos eólicos y solares fotovoltaicos, donde se pueden lograr factores de capacidad de aproximadamente el 60 %, debido a la muy buena complementariedad existente entre esas fuentes (Gurin et al., 2016).

Adicionalmente, en los primeros proyectos de producción de hidrógeno verde podría resultar conveniente conectarlos a la red para tomar energía eléctrica aprovechando los excedentes estructurales de energía eléctrica renovable que presenta el país y ascienden a aproximadamente 2 TWh por año en valor esperado.² Asimismo, sería posible aportar energía eléctrica desde la instalación de generación híbrida hacia el sistema interconectado nacional.

En el estudio de prefactibilidad ejecutado con el PoR se simuló la producción de 200 kTon H_2 /año a partir de la instalación de parques híbridos solares y eólicos on-shore. Las potencias a instalar para producir esta cantidad de hidrógeno se ubican en los 2 GW de solar fotovoltaico más 2 GW de eólica acopladas a 2 GW de electrolizadores.

El costo nivelado de la energía eléctrica (LCOE) que abastece el electrolizador se estimó para el año 2020 en 29 €/MWh. A este valor se llega con un supuesto de CAPEX para solar de 675 €/kW logrando un LCOE de 26,8 €/MWh y un CAPEX para eólica de 1012 €/kW logrando un LCOE de 30,5 €/MWh. Los factores de capacidad utilizados para la simulación son los que actualmente se obtienen a partir de plantas solares fotovoltaicas fijas y eólicas instaladas en Uruguay (20 % y 41 % respectivamente, según se detalla anteriormente). El factor de capacidad para eólica es conservador, ya que son los obtenidos a partir del parque de aerogeneradores existente siendo esperable que la evolución tecnológica permita superar ese desempeño.

Para el año 2030, se estimó una reducción del CAPEX del 45 % y por tanto se estimó un LCOE combinado de eólica y solar visto por el electrolizador de 16 €/MWh.

A partir de esta información, se obtiene un Costo Nivelado de la producción del Hidrógeno (LCOH) en Uruguay de 1,5 €/Kg de hidrógeno.

²Otra alternativa logística que se vio viable es transportar la energía eléctrica hasta el complejo portuario industrial y ahí producir el hidrógeno y el carrier. Los costos de las dos alternativas son muy similares.



3.4. Proyección del Costo del Hidrógeno en Uruguay y en el Puerto de Róterdam

La logística fue modelada asumiendo que la producción del hidrógeno se da al pie de los parques híbridos eólicos y solares funcionando en isla, transportándose por gasoducto hasta el complejo portuario industrial donde se produce el carrier que es exportado en buques hacia el PoR.¹

La distancia entre el parque generador y el complejo industrial portuario se asume de 300 km.

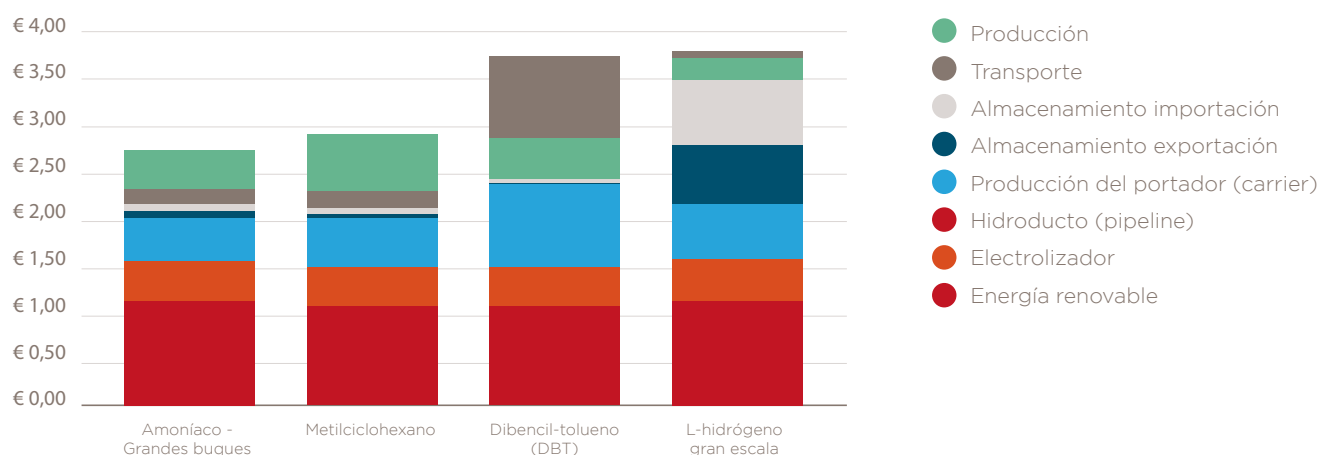


Figura 8. Costo nivelado de hidrógeno en destino por carrier con escenario medio al 2030. Fuente: (MIEM & PoR, 2020)

Se realizó una simulación de la utilización de diferentes carriers en cuanto a la producción, transporte y recuperación del hidrógeno en destino. Esta evaluación abarcó al hidrógeno licuado, al amoníaco y los líquidos orgánicos carrier de hidrógeno MCH (metilciclohexano) y DBT (dibenzil tolueno).

En la Figura 9 se presentan los costos del hidrógeno producido en Uruguay y puesto en el Puerto de Róterdam para los diferentes carriers utilizados, donde se puede ver que el Amoníaco es el que logra un LCOH más bajo, estimado en 2,55 €/kg en destino, seguido por el líquido orgánico MCH, que asciende a aproximadamente los 2,80 €/kg.

Si bien se considera que no están dadas las condiciones para definir aún el vector o los vectores que vayan a prevalecer a futuro con la información disponible, sí se observa una preferencia inicial, que determina que en un principio se profundice en investigaciones futuras el amoníaco y el MCH.

Adicionalmente, se analizó el impacto que tiene la distancia del transporte marítimo en el LCOH para cada carrier. Como se observa a continuación en el gráfico 9, la incidencia de la distancia del transporte no es homogénea, dependiendo del carrier que se seleccione, presentando sensibilidades mayores para el hidrógeno criogénico y el líquido orgánico DBT. Por otra parte, para los carriers que mejor desempeño económico presentan (amoníaco y MCH) la incidencia de la distancia es notoriamente menor.

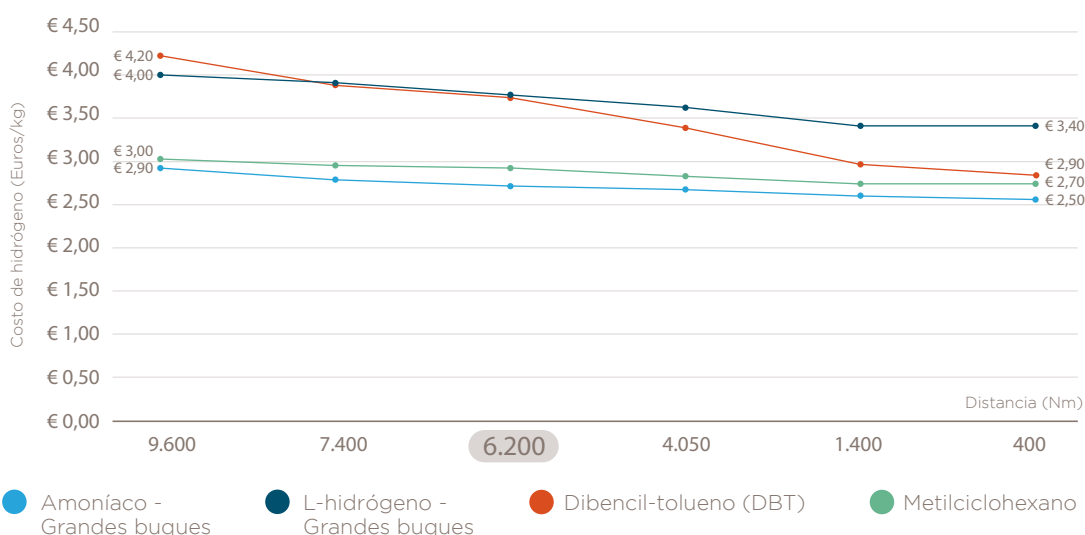


Figura 9. Análisis de sensibilidad - Influencia de la distancia en el precio del hidrógeno en destino para cada carrier evaluado. Fuente: (MIEM & PoR, 2020)

3.5. Inversiones requeridas

El estudio realizó un análisis preliminar de las inversiones requeridas para cada uno de los escenarios, teniendo en cuenta la información disponible en el momento y considerando la disponibilidad y costos de recursos energéticos, el costo de los electrolizadores e inversiones en tuberías con compresión para hidrógeno. Las inversiones en almacenamiento de hidrógeno, producción y almacenamiento del vector energético, así como las asociadas a obras portuarias (las que estarán fuertemente determinadas por el vector energético que se seleccione) no se incluyen en el alcance del análisis desarrollado. La Figura 10 muestra el acumulado de las inversiones incluidas en el alcance para el período de tiempo considerado.

Inversiones acumuladas-exportación de hidrógeno (Uruguay)

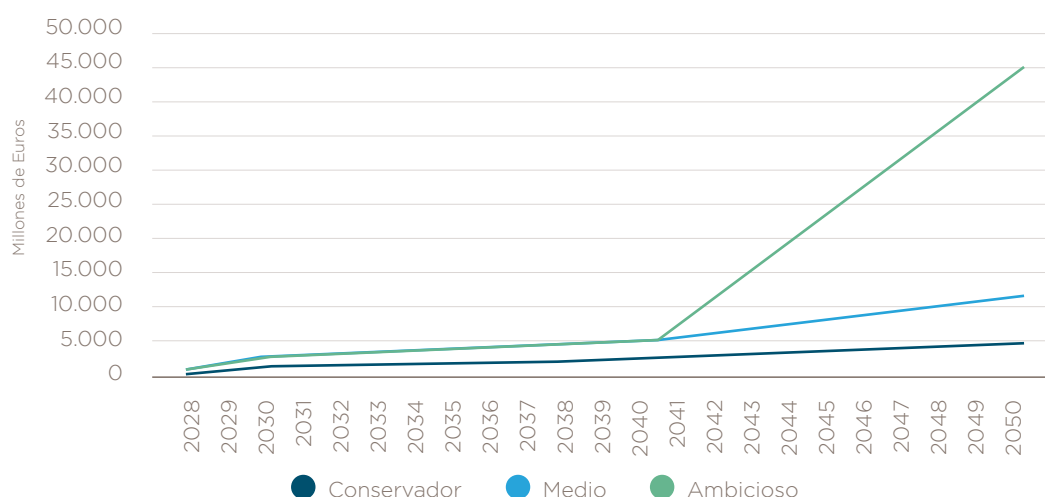


Figura 10. Inversiones requeridas estimadas para desarrollar el ecosistema de hidrógeno en Uruguay. Fuente: (MIEM & PoR, 2020)

De acuerdo con el análisis realizado por (MIEM & PoR, 2020) en un escenario conservador se requerirían inversiones en el país de un total acumulado de € 5.780 millones al 2050, de los cuales un 30 % deberían ser realizados en la presente década, un 25 % en la década de los 30 y el restante 45 % en la de los 40. Estas inversiones corresponden a las infraestructuras para la generación de energía renovable, electrolizadores y poliducto con compresión para hidrógeno. Se deberán sumar inversiones vinculadas al almacenamiento del hidrógeno, la producción y almacenamiento del carrier y los requisitos a nivel portuario. Estas inversiones dependerán del tipo de carrier elegido, de la localización de la o las plantas así como de las infraestructuras a nivel portuario. Por su parte para el escenario medio, las inversiones requeridas ascenderían a € 12.300 millones al 2050, correspondientes un 27 % a la década del 20, un 24 % en el transcurso de la próxima década y un 49 % a la del 40. Finalmente, si se considera el escenario ambicioso, la inversión en el país sería de unos € 45.000 millones al 2050, con un 86 % de este valor concentrado en la década del 40. Las inversiones en las dos primeras décadas en este escenario coinciden en monto con las previstas para el escenario medio.

3.6. Los desafíos de la localización

En cuanto a la posible ubicación física de un complejo portuario industrial para la exportación de hidrógeno, el estudio de prefactibilidad identificó dos posibles locaciones. Para el desarrollo de un piloto, el estudio identificó como posible área la Refinería de la Teja, tal como surge de la siguiente imagen en la Figura 11.

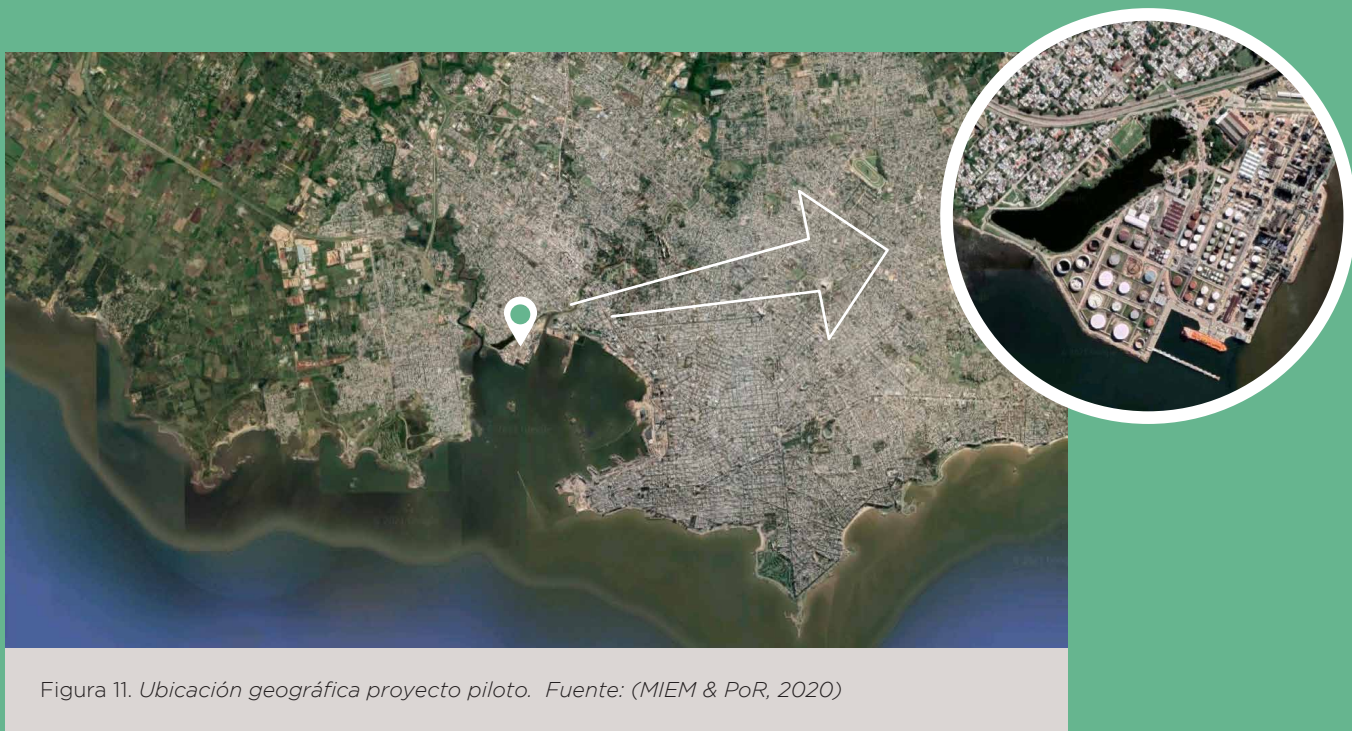


Figura 11. Ubicación geográfica proyecto piloto. Fuente: (MIEM & PoR, 2020)

Existe una serie de ventajas para recomendar esta locación, que se pueden resumir en:

- i) ubicación estratégica,
- ii) posible utilización de infraestructura de petróleo y gas,
- iii) utilización de la infraestructura portuaria.

Por su parte, para el desarrollo de la exportación del hidrógeno, el estudio plantea el desafío de ejecutar la actividad recurriendo a un puerto urbano y recomienda analizar otras posibilidades que permitan el ingreso de barcos de mayor calado.



El nuevo puerto, infraestructura crítica para la adecuada ejecución del proyecto, debería ubicarse en un área remota o en una zona escasamente poblada, que permita, a su vez, la construcción de un complejo industrial para el desarrollo de la industria del hidrógeno y las actividades relacionadas con la misma.

3.7. Análisis preliminar de riesgos

El análisis también realizó una identificación de riesgos y sus posibles mitigaciones. A continuación, se resumen los riesgos más relevantes presentados.

RIESGOS	MITIGACIONES
Madurez de la tecnología.	Considerar a Uruguay como un Hub o Centro de conocimiento para desarrollar pilotos y aprender de esas experiencias. Colaborar con los líderes de la tecnología.
Escala de los proyectos.	Comenzar con pilotos de poca escala. Tener una hoja de ruta detallada y apoyos financieros del gobierno.
Impacto social y medioambiental.	Comunicación clara y precisa y planificación adecuada. Considerar involucrar a los Gobiernos departamentales.
Logística relativa a la infraestructura de exportación.	Planificación adecuada. Considerar acuerdos de cooperación estratégicos.
Riesgo político relacionado a futuros gobiernos y cambios de prioridades.	Considerar la posibilidad de aprobar un acuerdo multi-partidario relacionado al clima y a objetivos de energía. Incluso promover una ley con objetivos mínimos, similar al caso de otros países como Holanda.
Riesgo de no hacer nada.	Pensar en grande, planificar adecuadamente, ejecutar diligentemente y de forma segura el plan.

Tabla 1. Principales riesgo identificados por el MIEM y PoR (2020) Fuente: elaboración propia en base a (MIEM & PoR, 2020)

USOS LOCALES DE HIDRÓGENO VERDE Y SUS DERIVADOS EN URUGUAY – PILOTO H2U



USOS LOCALES DE HIDRÓGENO VERDE Y SUS DERIVADOS EN URUGUAY – PILOTO H2U

Como se ha señalado previamente, Uruguay ha avanzado significativamente en la descarbonización de su matriz eléctrica. Sin embargo, la matriz de transporte sigue siendo principalmente fósil, siendo el transporte pesado el mayor responsable de las emisiones. Asimismo, los vehículos de carga pesada y buses representan el 4 % de la flota total vehicular del país pero son responsables del 36 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (Ver Figura 12). Estos vehículos, por sus patrones de uso, son difíciles de electrificar.

FLOTA VEHICULAR 2017:
1.421.476 UNIDADES

EMISIONES GEI TRANSPORTE
CARRETERO: 3710GG CO2 E

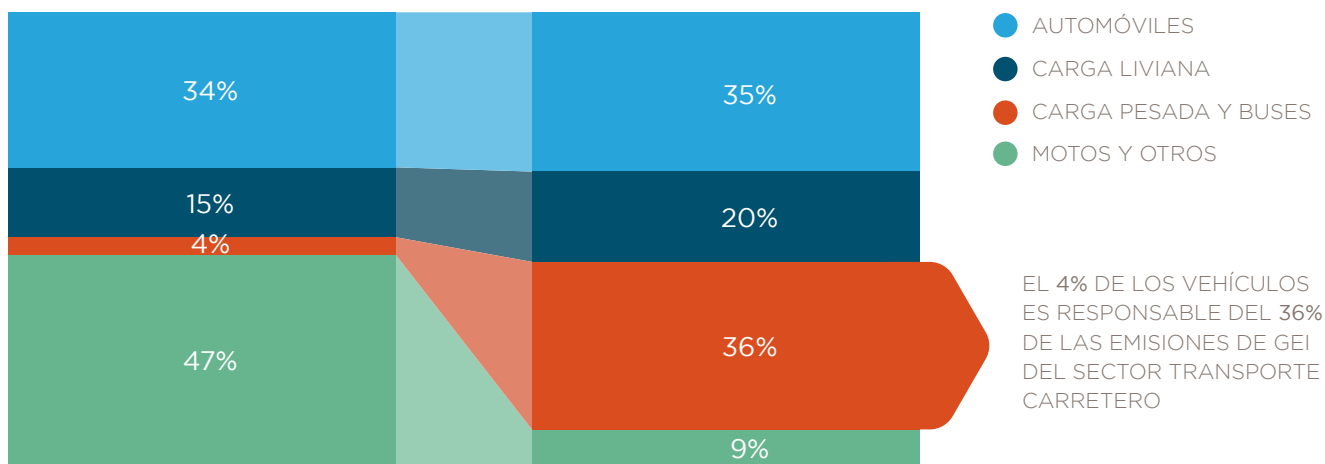


Figura 12. Composición de la flota vehicular de Uruguay y sus emisiones de GEI (2017) Fuente: Elaboración de Planificación, Estadística y Balance DNE- MIEM. Elaborada en base a información del Banco Central del Uruguay, Sistema Único de Cobro de Ingresos Vehiculares, Sistema Único de Cobro de Ingresos Vehiculares, BEN2017, Instituto Nacional de Estadística, etc.

Por lo tanto, el potencial uso local de hidrógeno verde asociado a una demanda del sector transporte de carga pesada y buses fue el principal driver para los estudios ejecutados tempranamente por parte del equipo interinstitucional. De acuerdo con las estimaciones desarrolladas, la demanda potencial de hidrógeno para abastecer a buses de larga distancia o camiones ascendería a 150.000 ton de H₂ por año en 2025. Considerando que Uruguay es un país agro-exportador, un segundo uso local que se ha evaluado por considerarlo

interesante a futuro está asociado a la producción de amoníaco verde (insumo para la producción de fertilizantes con baja huella ambiental) a partir de hidrógeno, elemento que también presenta ese atributo. En forma preliminar se ha estimado que aproximadamente 100.000 toneladas de hidrógeno por año serían las necesarias para reemplazar el fertilizante que se demandará en el corto plazo. Adicionalmente, también se identifica que el amoníaco verde y el metanol a partir del hidrógeno comienzan a posicionarse como una alternativa robusta de reemplazo de combustible de uso naval de origen fósil (sustituyendo mayoritariamente al fuel oil). Otras aplicaciones tales como la síntesis de metanol recurriendo a captura y uso de dióxido de carbono, la demanda asociada a la producción de combustibles líquidos renovables (por ejemplo, recurriendo al hidrotratamiento de aceites vegetales o HVO) o la inyección de este gas a la red de gasoductos de gas natural son también identificadas como alternativas de uso (Ver Figura 13).

		
PROYECTO DE TRANSPORTE DE URUGUAY H2U	AMONÍACO PARA FERTILIZANTE	OTROS USOS LOCALES POTENCIALES PARA EL H ₂
<p>Licitación de Proyecto piloto en 2021 para:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Producción de hidrógeno verde mediante electrolizador comenando con diez vehículos pesados: camiones y autobuses de larga distancia con una autonomía de 400 km ➤ Demanda potencial de gasoil de 670.000 m³/año para el transporte pesado para 2025 (equivalente a 150 kTon de hidrógeno al año) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ El sector agrícola de Uruguay produce alimentos para 28 millones de personas (el país cuenta con 3,4 millones de habitantes) ➤ 100 kTon de hidrógeno al año como sustitución del consumo local de fertilizantes 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Amoníaco como combustible marino ➤ Acero verde <p>En el futuro:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Enlace del tren de hidrógeno desde la planta de celulosa ➤ Producción de metanol verde ➤ Diesel verde (HVO) ➤ Combustibles sintéticos ➤ Comustibles marinos

Figura 13. Posibles aplicaciones de uso de hidrógeno. Fuente: (MIEM & PoR, 2020)

En este contexto de identificación y evaluación de potenciales usos locales es que se resuelve avanzar en la concreción de un piloto asociado a transporte pesado de carga (camiones) y pasajeros de larga distancia (ómnibus). Como antecedente corresponde mencionar que en el marco del trabajo del grupo interinstitucional integrado con este fin, ANCAP avanzó en la realización de estudios de pre-factibilidad para llevar adelante un proyecto piloto de producción de hidrógeno para abastecer buses y camiones (proyecto Verne). Tomando en cuenta esos antecedentes, el proyecto ha sido reformulado y actualmente el MIEM, en colaboración con ANCAP y UTE, se encuentra avanzando en el desarrollo de un proyecto piloto de hidrógeno verde (H₂U) a través de una alianza público-privada (Ver Figura 14).

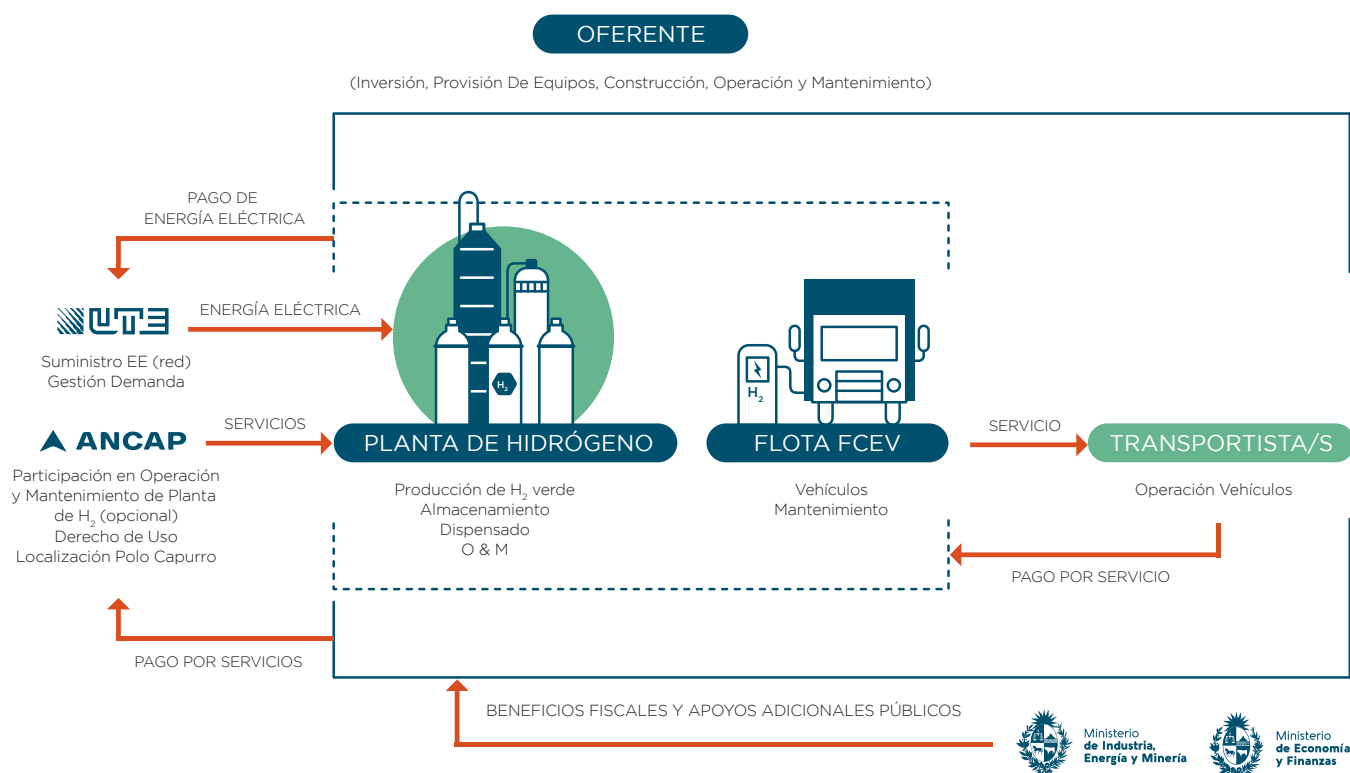


Figura 14. Modelo de negocio proyecto H2U. Fuente: Apertura de Data Room Virtual, Proyecto Piloto H2U, MIEM, MEF, UTE, ANCAP (MIEM & PoR, 2021).



En él se conjugan el aporte de beneficios por parte del sector público en tres niveles:

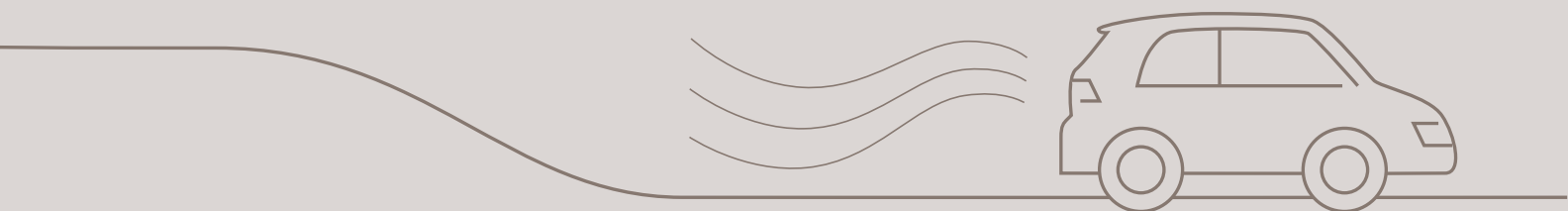
- i) Condiciones preferenciales para la contratación de energía eléctrica.
- ii) Aplicación de beneficios fiscales (a partir de la aplicación de la ley de promoción de inversiones vigente en el país).
- iii) Beneficio específico focalizado que permita asegurar la sustentabilidad del proyecto.

Adicionalmente, se plantea como posibilidad la utilización de capacidades e infraestructuras existentes de ANCAP para actividades de mantenimiento, con el fin de reducir costos.

Por su parte, el privado aporta en este piloto:

- i) El tecnólogo que se hará cargo de la instalación de producción de hidrógeno, su acumulación y dispensado.
- ii) La demanda que utilizará el hidrógeno producido (las empresas deberán contar con una flota vehicular de ómnibus y camiones a hidrógeno y mantener los acuerdos comerciales asociados a la demanda de los servicios de transporte que garanticen la sostenibilidad del proyecto de producción y uso de hidrógeno).

Se apunta a una flota de al menos diez ómnibus de diez metros de largo o camiones de 17 toneladas, lo que se adecúa a los requerimientos del mercado nacional. Se estima que la distancia mínima que recorrerá esta flota es de 3.500 kilómetros por día. La capacidad mínima se estima se ubique en el entorno de los 1,5 MW de potencia nominal y el máximo admisible en las propuesta se ubica en los 5 MW. Atendiendo a la necesidad de avanzar sobre base firme se ha previsto un proceso competitivo con una clara definición de las condiciones del proyecto.



LA ECONOMÍA DEL HIDRÓGENO PARA LA REACTIVACIÓN ECONÓMICA





LA ECONOMÍA DEL HIDRÓGENO PARA LA REACTIVACIÓN ECONÓMICA

Si bien el impulso que el tema del hidrógeno ha tenido en los últimos años se ha traducido en una prolífica producción bibliográfica, resultan escasos los antecedentes que profundizan en la vinculación de este vector energético y su producción con la creación de empleo o la demanda de capacidades que para afrontar su expansión será necesario desarrollar (Bezdek, 2019).

No obstante, es posible identificar que el tema es considerado en forma unánime como relevante, al momento de impulsar el desarrollo de este energético. En ese sentido, al relevar los antecedentes surge que el U.S. Department of Energy ha mantenido una preocupación desde hace algo más de una década en relación a las oportunidades que una economía del hidrógeno, y específicamente el desarrollo de las celdas de combustible, abrirían en el campo laboral. (US Department of Energy, 2008) (US Department of Energy, s.f.) (US Department of Energy, 2017). Estos estudios han sido complementados por la “American Solar Energy Association and Management Information Services, Inc. (ASEA/MISI)” que arribaba hace una década atrás a la previsión de que el desarrollo de tecnología de hidrógeno y de la celda de combustible específicamente permitiría la creación de aproximadamente 1 millón de empleos en US al 2030 (American Solar Energy Association and Management Information Services, Inc) (Management Information Services, Inc.). En todos los casos, estas previsiones se basaban en el aumento de demanda de mano de obra fuertemente calificada y experimentada, atendiendo al tipo de actividades involucradas fuertemente asociadas a actividades de investigación e innovación.

Más recientemente la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), con una visión que busca considerar no solo los empleos asociados directamente al sector energético sino también el impacto que en otras áreas de la economía puede presentar su desarrollo, menciona que: *“Las nuevas actividades de producción de hidrógeno renovable pueden convertirse en un importante contribuyente a la economía de un país, creando puestos de trabajo y potencialmente teniendo un efecto multiplicador cuando el hidrógeno se puede usar junto con otros recursos (por ejemplo, mineral de hierro) para exportar productos de mayor valor agregado (por ejemplo, hierro en lugar de mineral de hierro e hidrógeno por separado)”* (IRENA, 2018).

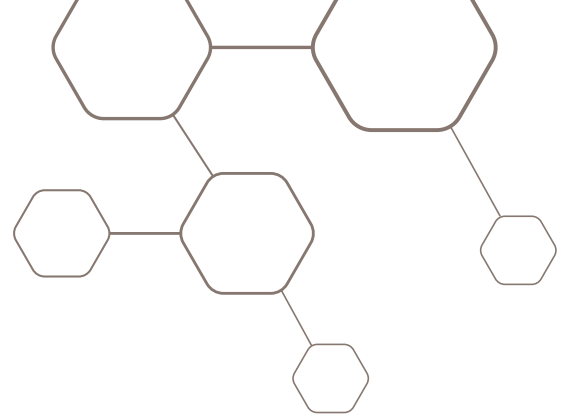


Por su parte, la IEA establece en su reporte que: *“La producción, la transmisión y el uso de hidrógeno pueden requerir tecnologías químicas, como disolventes de captura de carbono o membranas de celdas de combustible, y nuevos productos de ingeniería de precisión, como tanques de almacenamiento o materiales y quemadores de tuberías. Hay margen para que los países desarrollen liderazgo, experiencia técnica y nuevos puestos de trabajo en estas áreas, particularmente cuando refuerzan las habilidades y capacidades existentes”* (IEA, 2019).

Finalmente el World Energy Council (WEC) identifica en su reciente publicación como área para profundizar futuros análisis que: *“La economía del hidrógeno podría estimular la creación de empleo y el crecimiento económico, lo que podría ayudar a cumplir las ambiciones de “avanzar juntos” en la etapa de recuperación post COVID-19. Varias estrategias nacionales de hidrógeno destacan el empleo como un importante impulsor del desarrollo del hidrógeno, con oportunidades para volver a capacitar a la fuerza laboral existente y mejorar las habilidades de una nueva fuerza laboral”* (World Energy Council, 2021).

En relación a la inclusión del componente empleo en las estrategias nacionales (o regionales) es posible mencionar que la Comunicación de la Estrategia de Hidrógeno aprobada por la Unión Europea incluye a la par del driver principal (la carbono neutralidad) a la creación de empleo, el crecimiento económico y el liderazgo tecnológico (especialmente en el área de desarrollo de electrolizadores) (Comisión Europea, 2020).

Es posible observar la importancia asignada al tema en una reciente resolución del parlamento europeo que expresa: *“Considerando que una economía del hidrógeno sostenible y competitiva constituye una oportunidad para que la Unión refuerce su economía, especialmente tras la recesión económica provocada por la COVID-19, ya que podría crear hasta un millón de puestos de trabajo directos de alta calidad de aquí a 2030 y 5,4 millones de aquí a 2050, y que esto podría ser una oportunidad para las regiones que actualmente dependen en gran medida de fuentes de energía tradicionales y que estarán en riesgo de pobreza una vez que se eliminen progresivamente los combustibles fósiles; que el potencial de creación de empleo en el ámbito del hidrógeno renovable se estima en 10.300 puestos de trabajo por cada 1.000.000.000 EUR invertidos, cantidad que podría completarse con los puestos de trabajo generados (en) el sector de la electricidad renovable”* (Parlamento Europeo, 2020).



A efectos de estimar cómo la transición energética puede impactar en el mercado de trabajo de Uruguay, es posible considerar el antecedente inmediato más reciente, la descarbonización del sector eléctrico. La IRENA en su publicación “Energías renovables y empleo: balance anual 2020” estima que en el mundo existen a la fecha 11,5 millones de empleos con esta condición, lo que representa un crecimiento del 4,6 % respecto a la cifra del año inmediato anterior (IRENA, 2020).

Con esta información es posible calcular la relación entre empleos verdes asociados al sector energético global y la población mundial arribando a un ratio de 0,15 %. Aplicando el mismo cálculo a nivel local, se llega a un ratio de 0,39 %, el que resulta aproximadamente 2,5 veces superior a la media global³ (Parri-lla, S (2017); (SEG Ingeniería & KPMG, 2015).

Lo anterior es demostrativo de cómo la apuesta temprana y agresiva por la transformación energética permite impactar positivamente en el sector empleo, lo cual podría llegar a ser replicado en el caso de la segunda etapa de la transición energética en la que el hidrógeno tendrá un papel relevante.

Otro aspecto no menor refiere a la mayor participación (45 % más) de las mujeres en la fuerza de trabajo de las renovables (donde representan un 32 % del total), cuando se las compara con el conjunto del sector energético (donde solo el 22 % de las posiciones son ocupadas por mujeres) (IRENA, 2019).

En síntesis, existe un consenso entre los actores relevantes del sector respecto al impacto positivo que la transformación energética tendría en el campo del trabajo, lo cual es consistente con experiencias exitosas verificadas localmente.

Otro aspecto no menor refiere a la mayor participación (45 % más) de las mujeres en la fuerza de trabajo de las renovables (donde representan un 32 % del total), cuando se las compara con el conjunto del sector energético (donde solo el 22 % de las posiciones son ocupadas por mujeres) (IRENA, 2019).

En síntesis, existe un consenso entre los actores relevantes del sector respecto al impacto positivo que la transformación energética tendría en el campo del trabajo, lo cual es consistente con experiencias exitosas verificadas localmente.

³A efectos de la comparación se considera la totalidad del sector energético y no exclusivamente el subsector eléctrico.

ESTRATEGIA A LARGO PLAZO

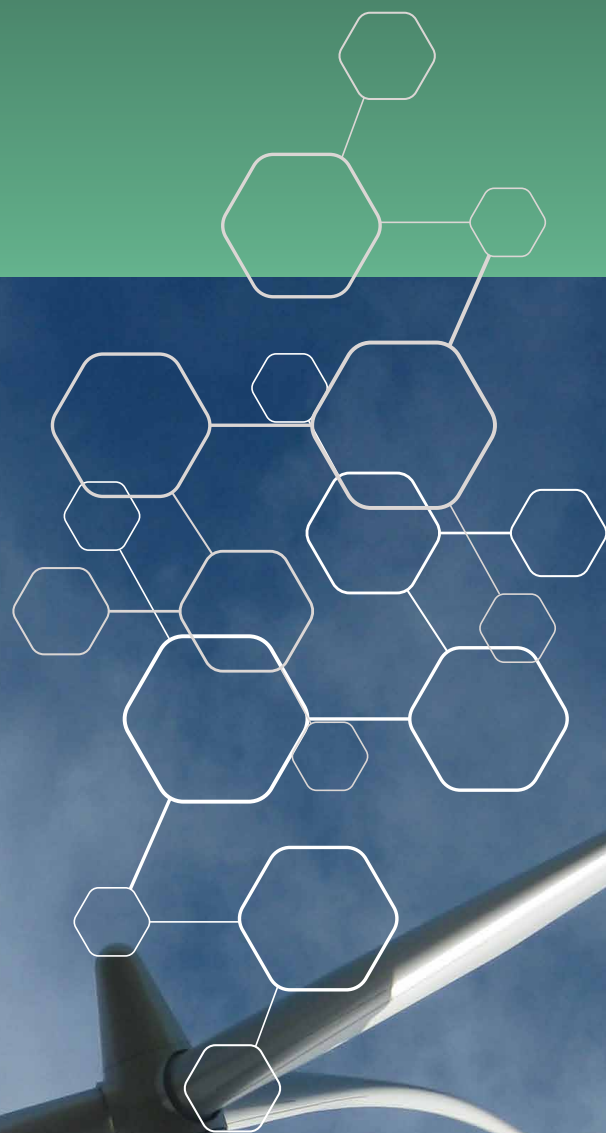




ESTRATEGIA A LARGO PLAZO

Uruguay, con el apoyo de la cooperación técnica del BID, se encuentra trabajando en el establecimiento de una estrategia de largo plazo en relación al hidrógeno verde, a la vez que busca desarrollar análisis específicos adicionales en áreas identificadas como relevantes y poco exploradas al momento (por ejemplo, amoníaco y fertilizantes verdes). La ejecución de esta herramienta aportará insumos técnicos, económicos y sociales respecto a la cadena de valor de hidrógeno verde en Uruguay, ya sea con destino a su uso doméstico, como en relación a su potencial exportación. Permitirá, adicionalmente, establecer una estrategia para el desarrollo del ecosistema de forma sostenible, que proporcione claridad y contribuya a generar un ambiente de consistencia y confianza para todos los involucrados. La estrategia se prevé ejecutar con la incorporación de un proceso participativo que involucre a todos los actores vinculados con la temática. Si bien a lo largo del proceso se realizarán presentaciones parciales, se prevé que la presentación final de la estrategia se desarrolle entre fines del 2021 e inicios del 2022.

CONCLUSIONES





CONCLUSIONES

Uruguay cuenta con varias ventajas competitivas para el desarrollo del ecosistema de hidrógeno verde. El país cuenta con una buena estabilidad sociopolítica y un grado inversor, que favorecen el interés de participación del sector privado y de alcanzar menores costos de capital. Por ejemplo, la transformación de la matriz energética que experimentó Uruguay en esta última década fue posible, ya que se desarrollaron diversos esquemas de financiamiento con el sector privado (respaldados por la firma de contratos con la empresa pública del sector eléctrico) para la construcción, operación y mantenimiento de los proyectos de energías renovables. Por otro lado, casi la totalidad de su energía eléctrica es producida mediante energías renovables (97 %) y existe un alto potencial para instalar nuevos proyectos eólicos y solares. Un aspecto a ser destacado del país es que la energía eólica y solar presentan una muy buena complementariedad tanto intradiaria como estacional.

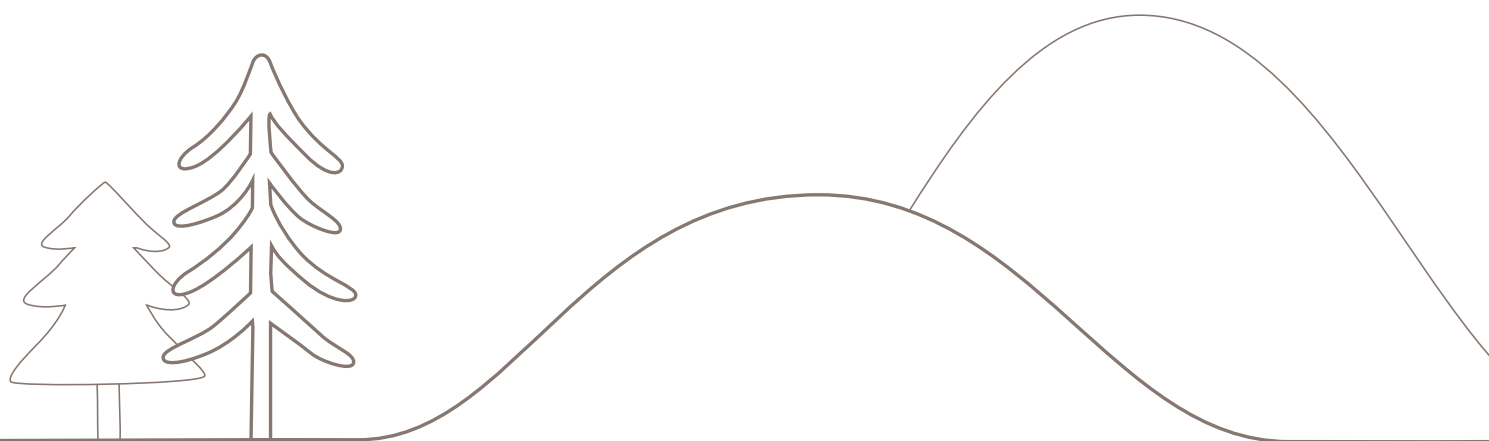
El estudio de prefactibilidad realizado por MIEM & PoR (2020) concluye que bajo las hipótesis consideradas y con la información disponible, el hidrógeno podría ser producido en el país a un precio de unos € 1,5 por kg de H_2 y puesto en Róterdam a unos € 2,5 por kg de H_2 , lo que se considera como resultados más que promisorios.⁴ Para que se desarrolle el ecosistema de hidrógeno verde en Uruguay serán necesarias grandes inversiones y se deberán impulsar acciones que fomenten la transformación y la atracción de capitales. El estudio de MIEM & PoR (2020) concluye que cualquiera de los tres escenarios de demanda de hidrógeno verde considerados (conservador, medio y ambicioso) incrementará considerablemente la demanda de energía eléctrica. En el escenario conservador la demanda actual se duplicaría al 2050, en el medio se triplicaría y en el ambicioso se multiplicaría por ocho. En cualquiera de los tres casos se requerirán inversiones importantes ascendiendo a € 5.780 millones al 2050 para el escenario conservador, € 12.300 millones en el medio y € 45.000 millones en el ambicioso.

Uruguay ya se encuentra avanzando en la promoción de su ecosistema de hidrógeno verde mediante el desarrollo de su estrategia nacional de hidrógeno verde y el lanzamiento de proyectos piloto. Estas actividades contribuirán con establecer un marco de trabajo, formalizar el interés del país, atraer la

⁴Debe señalarse que desde enero del 2021, momento en que se presentaron los principales resultados a la fecha mucho de los supuestos considerados han sido corregidos. En todos los casos sin excepción las correcciones han sido en dirección que permite concluir que los valores reportados en el presente trabajo son más que conservadores.



participación de actores privados, generar entendimiento técnico del funcionamiento de la tecnología, su producción y logística y con el desarrollo de capacidades locales entre otros. Asimismo, el país se encuentra realizando intercambios con actores estratégicos, tal como es el PoR, lo que contribuirá con el posicionamiento y la consolidación del potencial de Uruguay en hidrógeno verde. El desarrollo del hidrógeno verde en Uruguay contribuiría con la recuperación económica y con la generación de nuevos puestos de trabajo. De acuerdo con las estimaciones realizadas, el desarrollo de esta industria podría crear un número significativo de empleos directos e indirectos.



BIBLIOGRAFÍA

- Administración del Mercado Eléctrico. (2021). Datos abiertos. Obtenido de <https://adme-com.uy/datosabiertos.html>
- Alonso, R. (2017). *Estimación del recurso solar en Uruguay mediante imágenes satelitales*. Obtenido de http://les.edu.uy/tesis/PhD_ralonsosuares.pdf.
- American Solar Energy Association and Management Information Services, Inc. (s.f.). *Defining, estimating, and forecasting the renewable energy and energy efficiency industries in the USA and in Colorado*, America Solar Energy Society, 12, 2008.
- Anouti, Y., Elborai, S., Kombargi, R., & Hage, R. (2020). *The dawn of green hydrogen. Maintaining the GCC's edge in a decarbonized world*. PwC. Obtenido de <https://www.strategyand.pwc.com/m1/en/reports/2020/-the-dawn-of-green-hydrogen/the-dawn-of-green-hydrogen.pdf>
- Bertram, R. (2020). *Uruguay, Latin America's Renewable Champion*. Obtenido de Energy Transition, The Global Energiewende: <https://energytransition.org/2020/01/uruguay-latin-america-renewable-champion/>
- Bezdek, R. H. (2019). *The hydrogen economy and jobs of the future*. *Renewable Energy and Environmental Sustainability*, 4,1.
- BloombergNEF. (2020). *Hydrogen Economy Outlook, Key Messages*. Bloomberg Finance LP. Obtenido de <https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BNEF-Hydrogen-Economy-Outlook-Key-Messages-30-Mar-2020.pdf>
- BloombergNEF. (2021). *'Green' Hydrogen to Outcompete 'Blue' Everywhere by 2030*. Obtenido de BloombergNEF: <https://about.bnef.com/blog/green-hydrogen-to-outcompete-blue-everywhere-by-2030/>
- Climate Change News. (2019). *Which countries have a net zero carbon goal?* Obtenido de Climate Home News: <https://www.climatechangenews.com/2019/06/14/countries-net-zero-climate-goal/>
- Comisión de Hidrógeno. (2018). *Plan de acción interinstitucional para propiciar el uso del hidrógeno en el sector transporte*, Costa Rica. Obtenido de https://sepse.go.cr/documentos/Plan_de_accion_institucional_para_hidrogeno.pdf
- Comisión Europea. (2020). *Una estrategia del hidrógeno para una Europa climáticamente neutra. Comunicación de la Comisión al parlamento Europeo*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0301&from=ES>



- Economist Intelligence Unit. (2021). *Democracy Index 2020: In sickness and in health?* Obtenido de <https://www.eiu.com/n/campaigns/democracy-index-2020>
- Euractiv. (2020). *Hydrogen produced from nuclear will be considered 'low-carbon', EU official says*. Obtenido de Euractive: <https://www.euractiv.com/section/energy/news/hydrogen-produced-from-nuclear-will-be-considered-low-carbon-eu-official-says/>
- European Comision. (2020). *A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe*. Brussels. Obtenido de https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf
- Facultad de Ingeniería - UDELAR. (s.f.). Obtenido de www.fing.edu.uy
- Freedom House. (s.f.). *Global Freedom Scores*. Obtenido de <https://freedomhouse.org/countries/freedom-world/scores?sort=asc&order=Total%20Score%20and%20Status>
- Garcia, J.; Gischler, C.; Hallack, M. (2021). *Will hydrogen development in Latin America and the Caribbean be color blind?* Obtenido de IDB Blog-Energía para el futuro: <https://blogs.idb.org/energia/en/will-hydrogen-development-in-latin-america-and-the-caribbean-be-color-blind/>
- Gurin, M., Cornalino, E., Guggeri, A., Alonso-Suárez, R., Giacosa, G., Abal, G., . . . Chaer, R. (2016). *Complementariedad de los recursos renovables (solar -eólico) y su correlación con la demanda de energía eléctrica*. Obtenido de Investigación solar fotovoltaica: <https://www.energiasolar.gub.uy/images/Fotovoltaica/Informe%20final%203era%20parte%20Complementariedad.pdf>
- H2Bulletin. (2020). *Which countries are backing the hydrogen economy?* Obtenido de H2 Bulletin: <https://www.h2bulletin.com/countries-hydrogen-economy-goals-policies/>
- Hydrogen Council, McKinsey & Company. (2021). *Hydrogen Insights. A perspective on hydrogen investment, market development and cost competitiveness*. Hydrogen Council. Obtenido de <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2021/02/Hydrogen-Insights-2021-Report.pdf>
- IBID. (s.f.).
- IEA. (2019). *The Future of Hydrogen*. Obtenido de IEA: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
- IEA. (2019). *The Future of Hydrogen Seizing today's opportunities*. Report prepared by the IEA for the G20, Japan. IEA.

- IEA. (2020). *Energy Technology Perspectives 2020*. Obtenido de IEA: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>
- Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, UDELAR. (s.f.). Obtenido de www.fing.edu.uy/imfia/
- IP, D., Bakhshi, V., & Van Stijn, P. (2020). *BP se compromete a ser cero neto para 2050*. Obtenido de Estrategias de Inversión: <https://www.estrategiasdeinversion.com/analisis/bolsa-y-mercados/el-experto-opina/bp-se-compromete-a-ser-cero-neto-para-2050-n-44311>
- IRENA. (2020). *Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2020*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- IRENA. (2018). *Hydrogen: A renewable energy perspective*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency .
- IRENA. (2019). *Innovation landscape for a renewable-powered future: Solutions to integrate variable renewables. Preview for policy makers*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. Obtenido de https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/IRENA_Innovation_Landscape_preview_2019.pdf?la=en&hash=10221885865D12F47747356D9F6290283B205210
- IRENA. (2019). *Renewable Energy: A Gender Perspective*. Abu Dhabi: IRENA.
- IRENA. (2020). *Green Hydrogen: A guide to policy making*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. Obtenido de <https://irena.org/publications/2020/Nov/Green-hydrogen>
- IRENA. (2020). *Renewable Power Costs in 2019*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. Obtenido de <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019#:~:text=Solar%20and%20wind%20power%20costs,and%20offshore%20wind%20at%2029%25>.
- Laboratorio de Energía Solar. (s.f.). Obtenido de <http://les.edu.uy/>
- Management Information Services, Inc. (s.f.). *Green collar jobs: economic drivers for the 21st century*. Presented at the US Department of Energy, Washington, DC, 2, 2009.
- Ministerio de Ambiente - Regionalización de Caudales 2019. (s.f.). Obtenido de https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/Regionaliza_2019_07.pdf.
- Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. (2020). *Estrategia Nacional Hidrógeno Verde*. Santiago de Chile: Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. Obtenido de https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf



- Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. (2021). *Gobierno abre convocatoria para desarrollar proyectos de hidrógeno verde en Chile*. Obtenido de Ministerio de Energía, Gobierno de Chile: <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/gobierno-abre-convocatoria-para-desarrollar-proyectos-de-hidrogeno-verde-en-chile#:~:text=Gobierno%20abre%20convocatoria%20para%20desarrollar%20proyectos%20de%20hidr%C3%B3geno%20verde%20en%20Chile,->
- MIEM & PoR. (2020). Uruguay-Puerto de Róterdam. *Hydrogen Supply Chain*. Obtenido de <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/noticias/Hydrogen%20-%20Uruguay%20%26%20Port%20of%20Róterdam.pdf>
- MIEM. (s.f.). Obtenido de <http://www.miem.gub.uy>
- MIEM. (s.f.). *Investigación Solar Fotovoltaica*. Obtenido de Energía Solar: <https://www.energiasolar.gub.uy/index.php/investigacion-e-innovacion/investigacion-fotovoltaica/investigacion-fotovoltaica-proyectos-de-investigacion>,
- MIEM. (2021). *Hidrógeno verde, Sobre el proyecto H2U*. Obtenido de MIEM: <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/comunicacion/noticias/sobre-proyecto-piloto-h2u>
- Murdock, H. E. (2021). *Renewables 2021-Global status report*. Obtenido de https://www.ren21.net/gsr-2021/chapters/chapter_01/chapter_01/
- Naciones Unidas - *Acción por el Clima*. (2021). *Llegar a las emisiones netas cero: el mundo se compromete a tomar medidas*. Obtenido de Llegar a las emisiones netas cero: el mundo se compromete a tomar medidas: <https://www.un.org/es/climatechange/net-zero-coalition>
- OLADE - “Análisis de sustitución de combustibles del sistema de transporte fluvial de la Hidrovía Paraguay - Paraná.” 2019. (s.f.). Obtenido de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0451.pdf>.
- Parlamento Europeo. (2020). *Informe sobre una estrategia europea para el hidrógeno*. Obtenido de Parlamento Europeo: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116_ES.html
- Parrilla, S. (2017). *Uruguay: Empleos verdes en el sector de las energías renovables*. Santiago: Organización Internacional del Trabajo.
- Resolución 45 Ministerio de Economía y Finanzas. (2020). Obtenido de https://medios.presidencia.gub.uy/legal/2020/resoluciones/04/mef_45.pdf
- Rogelij, J., Shindell, D., Jiang, k., Fifita, S., Forster, P., Ginzburg, V., . . . Vilariño, M. V. (2018). *Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable*. IPCC Special Report.

- SEG Ingeniería & KPMG. (2015). *Análisis de componente nacional e impacto económico y social que surge de la generación de energía eléctrica a partir de las siguientes fuentes: solar fotovoltaica, biomasa, eólica y gas natural en centrales de ciclo combinado.*
- Transparency International. (2021). *Corruption perception index 2020.* Obtenido de <https://www.transparency.org/en/cpi/2020/index/>
- U.S. Department of Energy. (2020). *U.S. Department of Energy Hydrogen Program Plan.* Obtenido de <https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/hydrogen-program-plan-2020.pdf>
- Unidad de Gestión de Deuda Pública, Ministerio de Economía y Finanzas, Uruguay. (2021). *Fitch ratifica calificación de grado inversor de Uruguay, y mantiene perspectiva negativa.* Obtenido de <http://deuda.mef.gub.uy/30180/14/areas/fitch-ratifica-calificacion-de-grado-inversor-de-uruguay-y-mantiene-perspectiva-negativa.html>
- United Nations - Data Center. (2021). United Nations - Data Center. Obtenido de <https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us/Data-Center>
- URUGUAY XXI - Uruguay-encabeza-la-transicion-energetica-en-america. (s.f.). Obtenido de <https://www.uruguayxxi.gub.uy/en/news/article/uruguay-encabeza-la-transicion-energetica-en-america/>
- US Department of Energy. (2008). *Effects of a transition to a hydrogen economy on employment in the United States. Report to Congress.* Obtenido de <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/downloads/effects-transition-hydrogen-economy-employment-united-states-report>
- US Department of Energy. (2017). U.S. Energy and Employment Report.
- US Department of Energy. (s.f.). hydrogenandfuelcells. Obtenido de https://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/green_jobs_factsheet.pdf
- World Bank - Technical-Potential-for-Offshore-Wind-in-Uruguay-Map 2020. (s.f.). Obtenido de <https://documents1.worldbank.org/curated/en/191101586844753616/pdf/Technical-Potential-for-Offshore-Wind-in-Uruguay-Map.pdf>
- World Bank. (2020). *Off shore wind technical potential in Uruguay.* Obtenido de <https://documents1.worldbank.org/curated/en/191101586844753616/pdf/Technical-Potential-for-Offshore-Wind-in-Uruguay-Map.pdf>
- World Economic Forum. (2021). *Fostering Effective Energy Transition, 2021 edition. World Economic Forum.* Obtenido de <https://www.weforum.org/reports/fostering-effective-energy-transition-2021>

World Energy Council. (2021). *Hydrogen on the horizon: Ready, almost set, go?* World Energy Council.

World Energy Council. (s.f.). HydrogenGlobal_Charter_introduction. Obtenido de https://www.worldenergy.org/assets/downloads/HydrogenGlobal_Charter_introduction.pdf

World Energy Trade. (2021). Shell actualiza su estrategia y profundizará en sus objetivos de cero emisiones para 2050. Obtenido de World Energy Trade: <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/general/shell-actualiza-su-estrategia-y-profundizara-en-sus-objetivos-de-cero-emisiones-para-2050>

World Justice Project - Rule of Law Index. (2020). World Justice Project - Rule of Law Index, Uruguay. Obtenido de <https://www.worldjusticeproject.org/rule-of-law-index/country/Uruguay>

