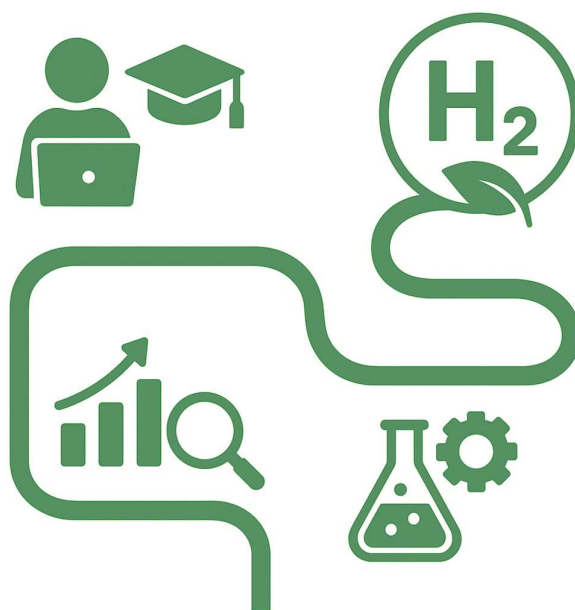


HyUruguay:

Desarrollo de una Hoja de Ruta de I+D sobre
Hidrógeno Verde para Uruguay



HyUruguay:

Desarrollo de una Hoja de Ruta de I+D sobre Hidrógeno Verde para Uruguay

Jochen Bard, Dayana Granford Ruiz (Fraunhofer IEE)

Jorge S. Gancheff, Carolina Pejo, Guillermo Valdomir (UdelaR)

Instituto Fraunhofer para la Gestión y Tecnología de Sistemas Energéticos (Fraunhofer IEE)
Universidad de la República (UdelaR)

Fecha: 31/10/2025

Socio del proyecto: Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.

Contenido

1	Introducción	5
2	Descripción de la metodología	6
3	Panorama actual del mercado del hidrógeno y PtX en Uruguay.....	7
3.1	Situación actual en Uruguay	7
3.1.1	Situación energética.....	7
3.1.2	Energías renovables	9
3.1.3	Recursos hídricos	10
3.1.4	Recursos de CO ₂	12
3.1.5	Infraestructuras (puertos, ferrocarriles, oleoductos)	13
3.1.6	Normativa vigente relevante (hidrógeno, medioambiental y social)	17
3.1.7	Oportunidades de financiación pública y privada.....	19
3.1.8	Cooperaciones internacionales.....	21
3.2	Análisis de mercado y comparativas específicas por país	23
3.2.1	Análisis del país: Uruguay	23
3.2.2	Mercados nacionales y de exportación para derivados específicos	23
3.2.3	Comparativa de recursos y costos en Uruguay con respecto a otros países ..	27
3.3	Inventario 1: proyectos previstos y actores en el país	298
3.3.1	Proyectos	298
3.3.2	Programas e iniciativas existentes	30
3.3.3	Actores y sus funciones (universidades, empresas, ministerios, ANII)	311
3.4	Inventario 2: desarrollo de capacidades e investigación.....	322
3.4.1	Análisis de la situación actual en materia de investigación y desarrollo	32
3.4.2	Análisis del desarrollo de capacidades actual	32
3.5	Objetivos de la estrategia nacional y sus prioridades.....	34
3.5.1	Objetivos a corto, medio y largo plazo	34
3.5.2	Priorización de las áreas de investigación.....	35
4	Análisis de las actividades actuales y los actores relevantes según la metodología: análisis FODA	37
4.1	Introducción al tema y al objetivo del análisis	37
4.2	Enfoque para realizar el análisis FODA (incluidas entrevistas)	38
4.3	Identificación de fortalezas internas	398
4.4	Identificación de debilidades internas.....	40
4.5	Identificación de oportunidades externas	41
4.6	Identificación de amenazas.....	41
4.7	Mapeo de las actividades actuales frente a la priorización de actividades en el contexto PtX	42
4.7.1	Resultados de las entrevistas	42
4.7.2	Actividades priorizadas en función de los resultados	43
4.8	Relevancia de los temas de investigación y desarrollo	44
4.8.1	Investigación sobre el CO ₂	44
4.8.2	Investigación sobre síntesis	46
5	Desarrollo de la hoja de ruta de I+D	48
5.1	Objetivo y finalidad de la hoja de ruta	48

5.2	Plan de implementación	48
5.2.1	Hoja de ruta	48
5.2.2	Partes interesadas clave	49
5.3	Seguimiento y evaluación	50
5.3.1	Proceso continuo de la hoja de ruta	51
5.3.2	Estrategias para garantizar la continuidad.....	51
5.3.3	Institucionalización de la hoja de ruta	52
5.4	Gestión de la aceptación en las instituciones de investigación	52
5.5	Participación y comunicación de las partes interesadas	53
5.6	Mejores prácticas y estudios de casos	54
5.6.1	Ejemplos de éxito de otros países o sectores	54
6	Conclusión y recomendaciones.....	57
6.1	Resumen de las principales conclusiones basadas en el análisis	57
6.2	Recomendaciones	58
7	Anexo.....	61
7.1	Resultados de las entrevistas	61
8	Bibliografía de publicaciones	63

Uruguay ha dado pasos importantes para consolidarse en el panorama mundial del hidrógeno y el Power-to-X (PtX). Aprovechando su sólida base de energía renovable, el país ha puesto en marcha proyectos piloto, ha iniciado acuerdos de cooperación internacional y ha comenzado a explorar posibles mercados de exportación. Un análisis del panorama actual del mercado del hidrógeno y el PtX revela tanto oportunidades como retos: aunque Uruguay se beneficia de abundantes recursos renovables y un entorno político favorable, será fundamental realizar más inversiones en infraestructura, desarrollo de la mano de obra y asociaciones internacionales para ampliar la escala.

Para ofrecer una visión general estructurada, la hoja de ruta incluye un análisis de las actividades en curso y las partes interesadas relevantes, complementado con una evaluación FODA y las valoraciones de los cuestionarios a las partes interesadas. Este análisis subraya las principales fortalezas de Uruguay, como la seguridad energética, la estabilidad política y la credibilidad internacional, al tiempo que señala las deficiencias en materia de capacidad de investigación, preparación industrial y desarrollo del mercado. La participación activa de los ministerios, organismos, el mundo académico y el sector privado pone de relieve la necesidad de coordinar los esfuerzos entre las partes interesadas.

Sobre esta base, el informe presenta una hoja de ruta específica de I+D que constituye un elemento clave de la estrategia nacional de hidrógeno de Uruguay. La hoja de ruta se estructura en tres fases: fundamentos y primeras medidas (2026-2028), ampliación y demostración (2029-2033) e integración y competitividad global (2034-2040). Cada fase especifica las actividades que se llevarán a cabo, incluyendo el desarrollo de infraestructuras de investigación, la formación de la mano de obra, el establecimiento del mercado y la estabilidad normativa. Esta iniciativa se sustenta en un marco de seguimiento y evaluación, que describe los métodos para realizar un seguimiento de los progresos mediante informes anuales, revisiones semestrales de las partes interesadas, evaluaciones independientes quinquenales y un panel de indicadores clave de rendimiento alineado con los parámetros de referencia internacionales.

El objetivo de este informe y de la hoja de ruta que lo acompaña es proporcionar un marco estratégico que guíe a Uruguay en el desarrollo de un panorama sostenible y competitivo de I+D en materia de hidrógeno verde y Power-to-X, y en el avance de la industria, facilitando la toma de decisiones informadas y fomentando la colaboración entre las partes interesadas para alcanzar los objetivos energéticos nacionales. Al alinear las prioridades estratégicas con un seguimiento sistemático, Uruguay se está dotando de las herramientas necesarias para la toma de decisiones basadas en datos, los ajustes de políticas y un papel más destacado en la economía mundial del hidrógeno. La participación de socios internacionales, como la Embajada de Alemania y las plataformas de cooperación con la UE, garantiza además que la hoja de ruta de I+D de Uruguay siga conectada con la innovación mundial y las tendencias del mercado.

Descripción de la metodología

Este estudio utiliza una metodología integral para examinar la dinámica del mercado del hidrógeno verde en Uruguay. El proceso comenzó con una amplia revisión de la literatura, que implicó la recopilación de información relevante de artículos académicos, informes gubernamentales y publicaciones de la industria. Esta revisión estableció una comprensión fundamental del panorama actual de las tecnologías, las políticas y las tendencias del mercado del hidrógeno verde.

Posteriormente, se llevó a cabo un mapeo de las principales partes interesadas en el mercado del hidrógeno verde para identificar a los actores esenciales, incluyendo entidades públicas, empresas privadas e instituciones de investigación. Este ejercicio de mapeo proporcionó información valiosa sobre las funciones y contribuciones de los distintos actores dentro del ecosistema, lo que facilitó una comprensión más clara de la dinámica de colaboración en juego.

Para recabar información cualitativa, se elaboraron y distribuyeron cuestionarios y se realizaron entrevistas a las partes interesadas. Los cuestionarios se diseñaron cuidadosamente para recabar opiniones sobre los retos y oportunidades existentes, así como sobre la dirección estratégica del sector del hidrógeno verde. También se llevaron a cabo entrevistas en profundidad con figuras clave, como representantes de la industria y expertos académicos, para recabar testimonios de primera mano sobre sus experiencias y expectativas con respecto a las iniciativas de hidrógeno verde.

Por último, se realizó un análisis FODA para evaluar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas asociadas al mercado del hidrógeno verde en Uruguay. Este análisis sintetiza los resultados de la revisión de la literatura, las entrevistas con las partes interesadas y el ejercicio de mapeo, ofreciendo una visión general completa del panorama actual. Los resultados de este análisis servirán de base para futuras recomendaciones estratégicas, guiando a las partes interesadas en la navegación por el ecosistema del hidrógeno verde en evolución y optimizando sus contribuciones al crecimiento del sector.

3.1 Situación actual en Uruguay

3.1.1 Situación energética

Este capítulo ofrece una visión general de la infraestructura del sistema energético en Uruguay, destacando la capacidad eléctrica instalada del país y las fuentes de generación de energía eléctrica. El suministro energético de Uruguay proviene principalmente de cuatro centrales hidroeléctricas situadas a lo largo del Río Uruguay y el Río Negro, complementadas por centrales térmicas que utilizan turbinas de vapor, turbinas de gas alimentadas con combustibles fósiles y biomasa, y una contribución cada vez mayor de los parques eólicos y solares. Esta combinación energética diversa no solo garantiza un suministro eléctrico fiable, sino que también se ajusta a los objetivos de Uruguay en materia de transición energética sostenible y reducción de las emisiones de carbono.

Infraestructura de líneas de transmisión: Con una red de 83.277 km, la electrificación alcanza el 99,8 % de los hogares del país. El sistema eléctrico nacional consta de dos grandes redes de transmisión de alta tensión, principalmente a 150 kV (Tabla 1) (Fundación Enel 2019). Uruguay también está conectado eléctricamente con Argentina, con una capacidad de 2000 MW, y con Brasil, con una capacidad de 570 MW. La distribución geográfica de los generadores de electricidad en Uruguay se indica en la Figura 1. Los generadores eléctricos están compuestos por 42 plantas de energía eólica, 4 plantas hidroeléctricas, 17 generadores solares fotovoltaicos, 12 plantas térmicas (biomasa) y 4 plantas térmicas (combustibles fósiles) (Balance Energético Nacional Uruguay 2024).

Tabla 1. Niveles de tensión en kV y extensiones de las líneas de transmisión en Uruguay (Fundación Enel 2019).

Nivel de tensión (kV)	Longitud total (km)
150	3.923
230	11
500	1.078

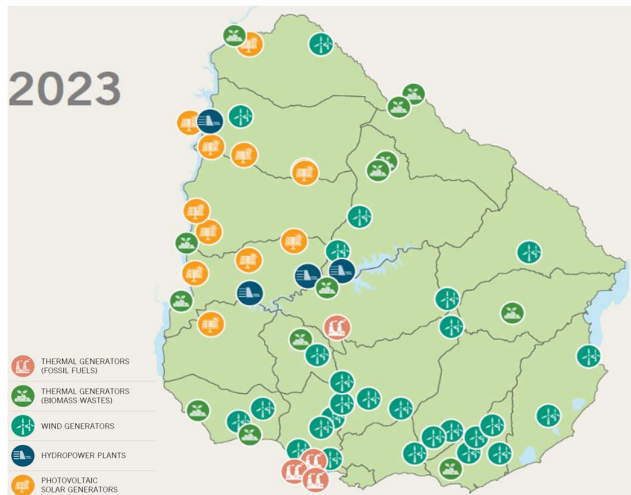


Figura 1. Distribución geográfica de los generadores de electricidad en Uruguay) (Balance Energético Nacional Uruguay 2024).

Capacidad eléctrica instalada: La capacidad eléctrica instalada de Uruguay proviene tanto de recursos renovables como no renovables. En 2023, la capacidad total instalada era de 5.263 MW, de los cuales el 78% procedía de fuentes renovables, como la energía hidroeléctrica, la biomasa, la energía eólica y la energía solar, y el 22% de fuentes no renovables, como el diésel, el fuel oil y el gas natural. La capacidad instalada total aumentó un 7% en 2023, debido principalmente a un aumento del 75% en la capacidad de biomasa y un aumento del 7% en las instalaciones solares fotovoltaicas. Aunque la capacidad de generación hidroeléctrica no ha cambiado, su participación en la capacidad instalada total ha disminuido del 60% en 1967 al 29% en 2023, debido principalmente al crecimiento de otras fuentes renovables, en particular la energía eólica. En cuanto a la energía térmica, la central de Punta del Tigre es esencial para satisfacer la demanda eléctrica nacional y también desempeña un papel en la exportación de energía a los países vecinos. Se prevé que esta central sirva de respaldo térmico durante los próximos 30 años) (Balance Energético Nacional Uruguay 2024) .

Generación de energía eléctrica: En 2023, la producción total de electricidad alcanzó los 12.877 GWh, de los cuales el 92% procedía de fuentes de energía renovables, mientras que el 8% restante se obtenía de combustibles fósiles. Las centrales eléctricas de servicio público contribuyeron con aproximadamente 10.817 GWh, lo que representa el 84% de la generación total, mientras que las instalaciones de autogeneración produjeron alrededor de 2.060 GWh, es decir, el 16%. La demanda interna de electricidad se cubrió en un 89% con la producción nacional, con importantes importaciones complementarias de aproximadamente 1.396 GWh procedentes de países vecinos. Además, el país exportó 244 GWh de electricidad, de los cuales más del 50% procedía de energía hidroeléctrica y el 2% de combustibles fósiles. De la electricidad exportada, el 94% se destinó a Argentina y el 6% a Brasil (Balance Energético Nacional Uruguay 2024).

Suministro de energía primaria:Figura 2 ilustra la matriz energética primaria de Uruguay para 2023, que comprende: 32.622 GWh procedentes de biomasa, 27.482 GWh procedentes de petróleo y derivados del petróleo, 4.768 GWh procedentes de energía eólica, 3.512 GWh procedentes de energía hidroeléctrica, 768 GWh procedentes de gas natural y 582 GWh procedentes de energía solar (tanto fotovoltaica como térmica). Además, las importaciones de electricidad ascendieron a 1.396 GWh, lo que dio lugar a un suministro energético total de 71.245 GWh (6.126 ktoe) para este año. En 2023, la matriz energética de Uruguay estaba compuesta por un 58% de fuentes renovables, un 40% de fuentes no renovables y un 2% de electricidad importada) (Balance Energético Nacional Uruguay 2024).

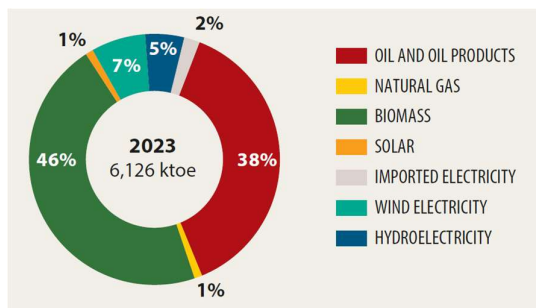


Figura 2. Matriz energética primaria en Uruguay) (Balance Energético Nacional Uruguay 2024).

Suministro de productos petrolíferos: La refinería (ANCAP) inició su parada de mantenimiento programada en septiembre de 2023. La producción de derivados del petróleo cayó un 31% en comparación con el año anterior, mientras que las importaciones aumentaron un 140%. La producción de derivados del petróleo ascendió a 17.084 GWh/a en este año. El producto principal fue el gasoil (8.106 GWh/a), seguido de la gasolina para automóviles (5.106 GWh/a) y el fuel oil (1.361 GWh/a). Como “consumo propio” en las refinerías, se produjeron 488 GWh/a de fuel oil y 233 GWh/a de coque de petróleo) (Balance Energético Nacional Uruguay 2024).

Demanda energética: En 2023, el consumo total de energía de Uruguay alcanzó un récord de 62.069 GWh. El sector industrial siguió siendo el mayor consumidor, con un 48% del consumo total de energía, una tendencia constante desde 2008. Le siguieron el sector del transporte, con un 26%, el uso residencial, con un 16%, los sectores comercial, de servicios y público, con un 6%, las actividades primarias, con un 3%, y el consumo no identificado, con un 1%. Según el (Balance Energético Nacional Uruguay 2024), el crecimiento del consumo final de energía registrado en 2023 se debió principalmente al aumento en el sector industrial (manufactura y construcción), ya que los sectores residencial, comercial/servicios/público y transporte registraron descensos.

3.1.2 Energías renovables

En cuanto a las energías renovables, Uruguay cuenta actualmente con capacidades en energía hidroeléctrica, eólica y solar. En 2023, el país alcanzó altos porcentajes de generación de energía renovable variable, con una cuota máxima diaria de energías renovables del 90% (REN21 2024), y se sitúa entre los países con mayor cuota de generación de electricidad renovable. A medio y largo plazo, Uruguay tiene potencial para instalar nuevas fuentes de generación de energía renovable.

La matriz de generación eléctrica de Uruguay está compuesta en un 92% por fuentes renovables. Como se muestra en la Figura 3, la generación eólica lidera con una cuota del 37%, seguida de la energía hidroeléctrica con un 27%, la biomasa con un 24% y la solar con un 4%. Por el contrario, la electricidad basada en combustibles fósiles representa el 8% del total (Balance Energético Nacional Uruguay 2024). Entre las observaciones clave para 2023 se incluyen una disminución de la contribución de la energía hidroeléctrica debido a las condiciones de sequía, una cantidad significativa de energía no utilizada procedente de fuentes hidroeléctricas, eólicas y solares debido a la baja demanda de electricidad, y un aumento de la generación térmica a partir de biomasa tras la puesta en marcha de la tercera planta de celulosa.

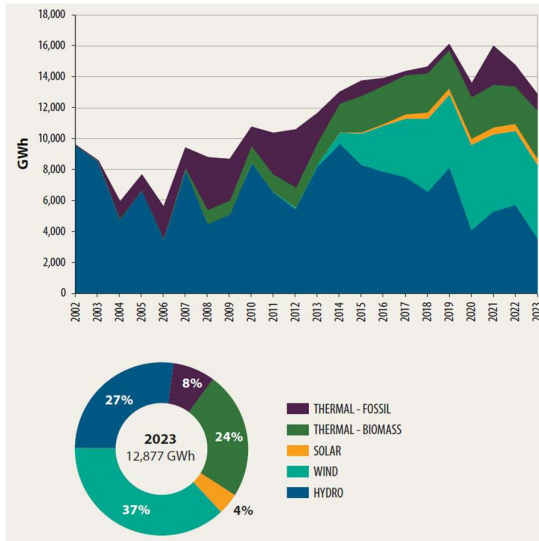


Figura 3. Generación eléctrica en 2023 por fuente (Balance Energético Nacional Uruguay 2024).

3.1.3 Recursos hídricos

En cuanto a los recursos hídricos (Figura 4), Uruguay cuenta con seis grandes cuencas fluviales: el Río Uruguay (113.608 km²), el Río de la Plata (34.016 km²), la Laguna Merín (28.777 km²), el Río Negro (68.216 km²), el Río Santa Lucía (13.487 km²) y el Océano Atlántico (Ministerio de Ambiente 2025). Las aguas superficiales constituyen la principal fuente de abastecimiento de agua, con un 87% destinado al riego, un 11% a usos domésticos y un 2% a actividades industriales. El riego es el uso predominante en la mayoría de las cuencas; sin embargo, en la cuenca del Río Santa Lucía es más común el uso doméstico, mientras que en el Río de la Plata predomina el uso industrial (Mapeko 2022).

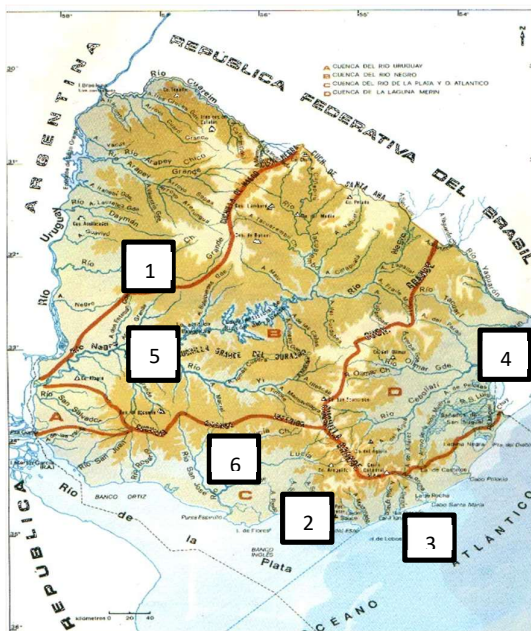


Figura 4. Mapa de las principales cuencas de Uruguay. 1) Río Uruguay, 2) Río de la Plata, 3) Océano Atlántico, 4) Laguna Merín, 5) Río Negro, 6) Río Santa Lucía (Ministerio de Ambiente 2021) (Mapeko 2022).

El Río Uruguay y el Río Negro tienen la mayor concentración de grandes presas del país, destinadas principalmente a la generación de energía hidroeléctrica, con una capacidad total de almacenamiento de 17,3 km³ (Mapeko 2022). Entre las principales presas se encuentran:

- La presa de Salto Grande, situada en el Río Uruguay, con una capacidad de generación eléctrica de 1.890 MW y una capacidad de almacenamiento de 5 km³
- La presa de Rincón del Bonete, situada en el Río Negro con una capacidad de generación de 160 MW y una capacidad de almacenamiento de 8,8 km³
- La presa de Baygorria, situada en el Río Negro, con una capacidad de generación eléctrica de 108 MW y una capacidad de almacenamiento de 0,6 km³
- Presa Palmar, situada en el Río Negro. Esta presa tiene una capacidad de generación eléctrica de 333 MW y una capacidad de almacenamiento de 2,85 km³.

También existen otras presas con fines industriales y de riego en el Río Santa Lucía y pequeños estanques privados, principalmente para riego, con una capacidad total estimada de 1,4 km³ (Mapeko 2022). En cuanto a los acuíferos, el Acuífero Guaraní representa una de las reservas de agua dulce subterránea más importantes y tiene un potencial hídrico de 40.000 km³. Como se indica en la Figura 5, este acuífero es compartido entre los territorios de Argentina, Brasil y Uruguay. En Uruguay, este acuífero ocupa una superficie de 43.000 km² (Portal Educativo).

Panorama actual del mercado del hidrógeno y PtX en Uruguay

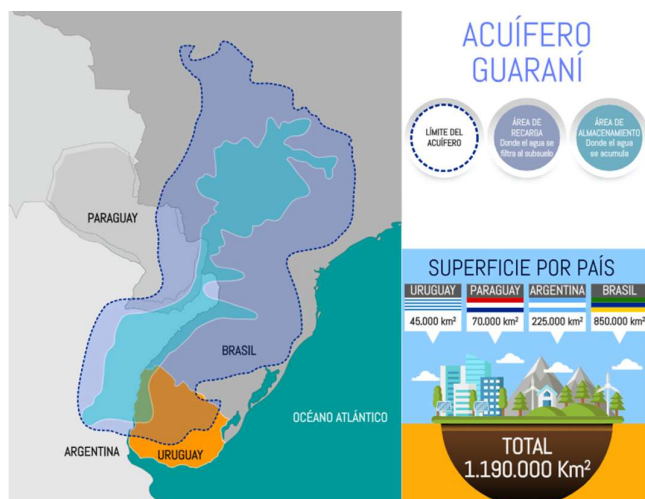


Figura 5. Características del acuífero Guaraní (Portal Educativo).

En total, Uruguay cuenta actualmente con aproximadamente 92.000 millones de m³/a de agua disponible (Brener 2024; Universidad Católica del Uruguay 2024). Los usos actuales autorizados por DINAGUA para todas las actividades a nivel nacional ascendieron a 4.400 millones de m³ en 2022, cuyo consumo representa menos del 5%. Según (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2023a), se estimó que las necesidades adicionales de agua para abastecer la producción de hidrógeno verde y sus derivados en Uruguay representarían una demanda adicional de agua inferior al 1%. Figura 6 indica el consumo potencial de agua identificado para la Hoja de Ruta Nacional para el hidrógeno verde y sus derivados en 2040.

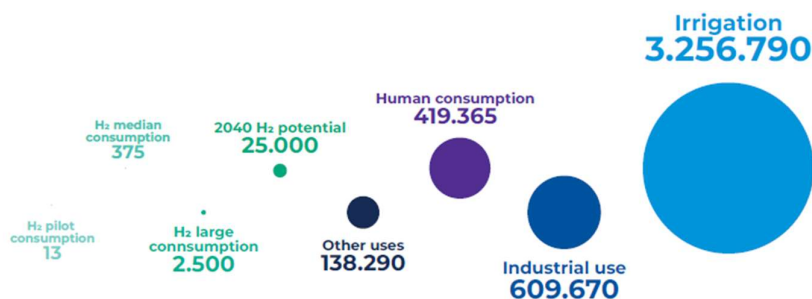


Figura 6. Consumo de agua autorizado por DINAGUA: comparación con proyectos de H₂ y potencial de la hoja de ruta (miles de m³/a) (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2023a).

3.1.4 CO₂-Recursos

En 2024, más de 11,36 Mt/a de emisiones de CO₂ fueron inevitables, vinculadas a las actividades industriales del país. Como se muestra en la Figura 7, la fuente principal de emisiones de CO₂ es biogénica, procedente de plantas de celulosa, que representan más de 9,3 Mt/a de emisiones, lo que supone el 82% del total de emisiones de CO₂. Estas fuentes biogénicas se encuentran principalmente en la región suroeste de Uruguay (Ministerio de Asuntos Económicos y Política Climática de los Países Bajos, 2024), (Vukasovic y Messina, 2024a). Además, la mayor parte del resto de las emisiones se distribuyen entre algunos conglomerados industriales, especialmente en las siguientes zonas (Vukasovic y Messina, 2024a):

- Conglomerado Norte (Tacuarembó y Rivera) con 0,6 Mt/a, lo que representa el 5% del total de emisiones de CO₂. Los sectores dentro de este conglomerado son aserraderos, generación de electricidad a partir de residuos de biomasa y plantas de refrigeración
- Conglomerado Litoral Norte (Paysandú y Artigas): 0,4 Mt/a (4% del total); Sectores: biocombustibles y cemento
- Conglomerado Oriental (Lavalleja y Treinta y Tres): 0,4 Mt/a (4% del total); Sectores: cemento, cal y producción de cerveza
- Resto: 0,6 Mt/a (5% del total); Sectores: molinos, plantas de envasado de carne y aserraderos.

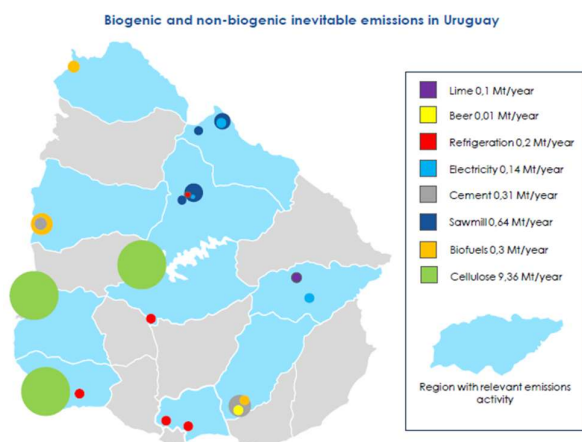


Figura 7. Fuentes de CO₂ en Uruguay (Ministerio de Asuntos Económicos y Política Climática de los Países Bajos, 2024).

3.1.5 Infraestructura (puertos, ferrocarriles, oleoductos)

Infraestructura portuaria: La infraestructura marítima de Uruguay cuenta con una combinación de centros de aguas profundas y una red de terminales regionales y privadas, lo que crea una base sólida para la futura logística relacionada con el hidrógeno verde. En 2022, el sistema portuario uruguayo alcanzó un volumen total de carga de aproximadamente 20 millones de toneladas, distribuidas entre los siete puertos del país (INEFOP), (Ámbito 2023).

- Puerto de Montevideo: Este puerto lideró las operaciones con un total de 17,4 millones de toneladas manejadas, incluyendo tanto carga a granel como contenedores. Además, alcanzó un hito histórico al manejar más de 1 millón de TEU (unidades equivalentes a veinte pies), consolidando su posición como uno de los principales puertos de América Latina y el Caribe en términos de actividad portuaria.
- Puerto de Nueva Palmira: Este puerto gestionó 2,1 millones de toneladas, distribuidas entre exportaciones (40%), importaciones (23%) y transbordos (37%), procedentes principalmente de la vía navegable Paraguay-Paraná.
- Otros puertos: Los puertos de Paysandú, Juan Lacaze, Colonia, Fray Bentos y La Paloma gestionaron en conjunto un total de 1,5 millones de toneladas, distribuidas entre exportaciones, importaciones y tránsito.

El puerto de Montevideo, principal punto de entrada de aguas profundas, está siendo objeto de una amplia modernización, respaldada por una inversión de alrededor de 460 millones de dólares estadounidenses (Katoen Natie 2021). Esta mejora incluye la instalación de nuevas grúas STS, la introducción de instalaciones de alimentación eléctrica en tierra ("*cold-ironing*") y la ampliación de un canal de acceso dragado de 14 metros, (Global Construction Review 2021). Estas mejoras permitirán al puerto acoger buques con una capacidad de hasta 578.000 m³ (aproximadamente 15.000 TEU) (Freight Amigo) y lo posicionarán, bajo la gestión de la empresa de logística Katoen Natie, como una plataforma de lanzamiento estratégica para las exportaciones de amoníaco y e-fuels. Además, el puerto de Nueva Palmira, situado a lo largo de la vía navegable Paraguay-Paraná, funciona como un centro de comercio libre de mercancías a granel, conectando eficazmente el interior del país con el Río de la Plata. Este puerto gestiona cada vez más transbordos de cereales y minerales, lo que refuerza su papel en la logística regional (Administración Nacional de Puertos 2024b), (Instituto Nacional de Logística 2016).

Además de estos puertos principales, la Administración Nacional de Puertos (ANP) supervisa una red de puertos fluviales y costeros que amplía aún más la capacidad de exportación de Uruguay (Administración Nacional de Puertos 2024a). Entre los puertos clave de esta red se encuentran Colonia del Sacramento, que presta servicios a transbordadores y carga marítima de corta distancia; Fray Bentos y Paysandú, que manejan carga a granel y barcas; Salto, que atiende a pasajeros y carga ligera (Administración Nacional de Puertos 2025) y Juan Lacaze y Carmelo, que se centran en el cabotaje y el turismo. Las zonas francas privadas, como las terminales Navíos y ONTUR en Nueva Palmira (especializadas en cereales y mineral de hierro), Montes del Plata y las instalaciones de UPM para pulpa y biomasa, así como el amarre único de ANCAP en José Ignacio para las importaciones de crudo, aumentan aún más la capacidad. Varios muelles industriales más pequeños también gestionan la manipulación de cemento, fertilizantes y combustibles (INEFOP), (INALOG y Uruguay XXI 2016).

Uruguay también está estudiando el desarrollo de puertos interiores en la cuenca de laguna Merín, una región históricamente infrautilizada en el noreste, fronteriza con Brasil. Un estudio de viabilidad realizado por CERES sugiere que el establecimiento de una vía navegable interior podría impulsar significativamente las exportaciones agrícolas (incluidos el arroz, el maíz y la piedra caliza), mejorar la conectividad regional con el sur de Brasil y estimular el desarrollo socioeconómico en una de las zonas más vulnerables del país. Aunque todavía se encuentra en una fase preliminar, esta iniciativa refleja el compromiso de Uruguay de

diversificar su infraestructura logística y utilizar los corredores fluviales para apoyar el comercio de hidrógeno a largo plazo (CERES 2021).

Panorama actual del mercado del hidrógeno y PtX en Uruguay

Esta red distribuida proporciona a Uruguay múltiples emplazamientos potenciales para el abastecimiento de hidrógeno, el almacenamiento de amoníaco y los astilleros de montaje de componentes, lo que reduce la dependencia exclusiva de Montevideo y mejora la resiliencia a lo largo de los corredores del Río de la Plata, el Río Uruguay y, potencialmente, la laguna Merín.

Otros desarrollos portuarios se atribuyen a la inversión de un consorcio uruguayo-argentino para la creación de un puerto multipropósito en La Paloma, Rocha, denominado “La Paloma Hub”. Este proyecto tiene como objetivo transformar la zona de La Paloma en un centro logístico internacional, centrado principalmente en la logística del hidrógeno verde y los combustibles sintéticos. El proyecto está siendo evaluado actualmente por las autoridades uruguayas y supone una inversión de 1.600 millones de dólares (Parks 2023), (InfoNegocios 2023), (CLM 2023).

La Figura 8 y Figura 9 presentan un mapa de los puertos del país, así como un mapa detallado del puerto de Montevideo.



Figura 8. Mapa de puertos en Uruguay (Ilustración propia).

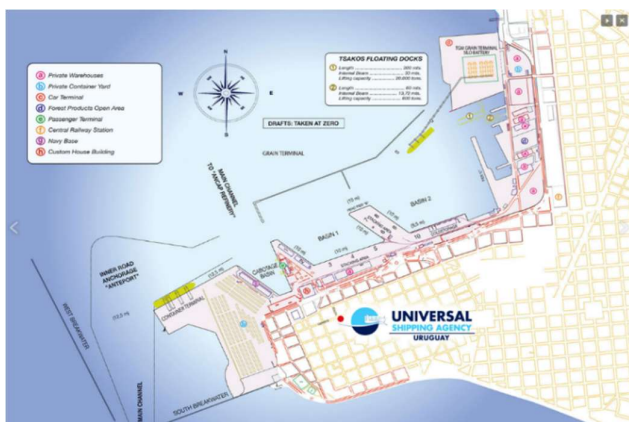


Figura 9. Puerto de Montevideo. TGM: Terminal Granelera Montevideo; TCP: Terminal Cuenca del Plata; ANP: Administración Nacional de Puertos (Universal Shipping Agency - Uruguay, 2025).

Infraestructura ferroviaria: La red ferroviaria de Uruguay (Figura 10) abarca unos 2.957 kilómetros(Ministerio de Transporte y Obras Públicas 2024), clasificados en:

Tabla 2. Longitud de la infraestructura ferroviaria en Uruguay (Ministerio de Transporte y Obras Públicas 2024).

Categoría	Longitud (km)
Ferrocarril Central	271
Red general activa	1.121
Red inactiva	1.465

El sector está evolucionando en respuesta a las políticas nacionales y las necesidades de la industria, especialmente en materia de energías renovables, silvicultura y agroexportación (Ministerio de Transporte y Obras Públicas 2024). Una iniciativa significativa es el Ferrocarril Central, una asociación público-privada de 1.200 millones de dólares que mejoró la ruta desde Paso de los Toros hasta el puerto de Montevideo. Desde que entró en funcionamiento en 2024, tiene capacidad para transportar 4 millones de toneladas de carga al año (BID Invest 2022), (Ministerio de Transporte y Obras Públicas 2020). Otras rutas incluyen:

- La línea Rivera (Paso de los Toros a Rivera) admite trenes de mercancías a 40 km/h con 18 toneladas por eje (Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) y Administración de Ferrocarriles del Estado)
- La línea Minas (Montevideo a Lavalleja) y la línea Río Branco (Toledo a Treinta y Tres) también están operativas, aunque con menor capacidad y con limitaciones de infraestructura (Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) y Administración de Ferrocarriles del Estado)
- Un tramo de la línea Litoral, desde Chamberlain hasta Queguay, sigue en uso, pero el resto está siendo reevaluado para su rehabilitación (Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) y Administración de Ferrocarriles del Estado).

La modernización ferroviaria respalda las mejoras portuarias de Uruguay y tiene como objetivo potenciar sectores como el del hidrógeno verde, facilitando el transporte de componentes pesados y sensibles (por ejemplo, electrolizadores, tanques criogénicos) desde los centros de producción del interior hasta las terminales marítimas. Con la reactivación de varias líneas ferroviarias para 2030, incluida la rehabilitación de la línea Río Branco y la finalización de la línea costera (Chamberlain-Salto), Uruguay puede posicionarse eficazmente en el mercado del hidrógeno verde y PtX. Las iniciativas de modernización y rehabilitación en curso incluyen la mejora de la conexión ferroviaria entre La Teja y la planta de ANCAP (Railway Gazette International 2025), (Ministerio de Transporte y Obras Públicas 2024). Estos proyectos podrían mejorar significativamente la cobertura y la flexibilidad de la red ferroviaria.



Panorama actual del mercado del hidrógeno y PtX en Uruguay

Figura 10. Infraestructura ferroviaria en Uruguay (Desarrollo & Inversión, 2025; Instituto Nacional de Logística, 2025).

Aunque Uruguay cuenta con conexiones ferroviarias internacionales reales (por ejemplo, Salto-Concordia y Rivera-Livramento), el uso regular de los ferrocarriles a nivel internacional es actualmente limitado y los acuerdos operativos activos son mínimos o inexistentes. Su rehabilitación y puesta en servicio se están evaluando en el marco de la estrategia de Uruguay para integrarse en los corredores logísticos y energéticos regionales (Banco Mundial), (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2023a), (Administración de Ferrocarriles de Estado).

Infraestructura de gasoductos: La infraestructura de gas natural existente en Uruguay (Figura 11), diseñada principalmente para el gas fósil, tiene un potencial significativo para la adaptación al hidrógeno verde. El país importa todo su gas natural a través de gasoductos desde Argentina. El gasoducto principal, el gasoducto Cruz del Sur (Figura 11), construido en 2002, tiene una longitud de 215 km y conecta Buenos Aires con Montevideo (a través de Colonia), con una capacidad de aproximadamente 1.800 millones de m³/a. Este gasoducto, gestionado en parte por ANCAP (la empresa energética estatal de Uruguay), suministra gas para la generación de electricidad y para uso industrial (Global Energy Monitor Wiki 2025a), (OCDE/AIE 2003).

Además, un gasoducto secundario llamado Gasoducto del Litoral recorre la frontera occidental y abastece a las zonas industriales cercanas a Colón y Paysandú. Aunque Uruguay no produce gas natural a nivel nacional, en 2013 existían planes para construir una terminal de regasificación de GNL (GNL del Plata) en Punta de Sayago, conectada al gasoducto Cruz del Sur (Global Energy Monitor Wiki 2025b), (bnamericas 2016), (Offshore Energy 2013). Este proyecto ha sido cancelado (Global Energy Monitor Wiki 2025b).



Panorama actual del mercado del hidrógeno y PtX en Uruguay

Figura 11. Gasoducto Cruz del Sur S.A. (GCDS) se extiende desde Punta Lara en Argentina hasta Montevideo y sus alrededores en Uruguay, atravesando los departamentos de Colonia, San José, Canelones y Montevideo (Gasoducto Cruz Del Sur, 2025).

3.1.6 Normativa vigente relevante (hidrógeno, medio ambiente y sociedad)

Fundamentos institucionales y jurídicos: Uruguay ha establecido un enfoque coordinado para desarrollar el hidrógeno a través del programa interinstitucional H2U. Una resolución presidencial de 2022 creó el H2U, que reúne a todos los organismos públicos pertinentes (por ejemplo, energía, medio ambiente, transporte y finanzas) para aplicar conjuntamente iniciativas de hidrógeno verde (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2024b). Esto garantiza que los ministerios, los reguladores y las empresas estatales trabajen juntos en la política y la normativa sobre hidrógeno. La legislación reciente también ha asignado funciones institucionales claras. Por ejemplo, la ley de presupuestos nacionales de 2021 amplió el mandato del Regulador de Servicios de Energía y Agua (URSEA) para incluir la supervisión de las actividades relacionadas con el hidrógeno (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2024b). Del mismo modo, la ley de presupuestos de 2022 autorizó a la empresa estatal de energía ANCAP a “producir, distribuir, comercializar, importar y exportar hidrógeno verde y sus derivados” en competencia abierta (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2024b). Estos cambios legales son una señal del fuerte apoyo del Gobierno, al empoderar a instituciones clave para que participen en el sector del hidrógeno.

Regulaciones para la producción, el uso y la exportación de hidrógeno

Producción de hidrógeno: Uruguay carece actualmente de una normativa específica para la producción de hidrógeno. Históricamente, el hidrógeno se producía en la refinería de La Teja de ANCAP para uso interno mediante el reformado de gas natural, siguiendo los protocolos de seguridad de ANCAP basados en las normas ASME. Para los nuevos proyectos de hidrógeno verde, como los que utilizan la electrólisis, no existe un marco de permisos específico más allá de la normativa industrial y energética general. Los promotores deben cumplir los códigos de seguridad industrial estándar y las normativas del sector eléctrico. Por ejemplo, las grandes plantas de electrólisis que se conectan a la red requieren un permiso de generación y una autorización de interconexión a la red. Actualmente, no existe una certificación de garantía de origen para el hidrógeno verde, pero el sistema de certificados de electricidad renovable (SCER) de Uruguay podría adaptarse para certificar el hidrógeno renovable en el futuro (Vukasovic y Messina 2024b).

Uso del hidrógeno (doméstico): Actualmente, el hidrógeno se regula por analogía con otros gases, sin códigos explícitos para su uso como combustible en el transporte. Si bien existen regulaciones para los vehículos de gas natural comprimido (GNC), estas nunca se han implementado en Uruguay. Además, no se han definido las normas relativas a la calidad del combustible de hidrógeno y la mezcla permitida con gas natural. Un proyecto piloto previsto que inyecta hidrógeno en la red de gas, por ejemplo, en Paysandú, requerirá el desarrollo de nuevas regulaciones (Vukasovic y Messina 2024a). Para aplicaciones industriales, como el uso

de hidrógeno como materia prima o en la generación de energía, se aplican controles generales sobre sustancias peligrosas. Los códigos de instalación de gas existentes (normativa de la URESA de 2014 para instalaciones fijas de gas) permiten el uso de normas internacionales (ASME, NFPA, ISO) para gases no cubiertos por la normativa actual, lo que sirve como medida temporal que permite a las instalaciones de hidrógeno seguir las mejores prácticas con la aprobación reglamentaria. En resumen, aunque no existen normas técnicas específicas para el hidrógeno, se aplican normas globales según cada caso concreto (Vukasovic y Messina 2024b).

Transporte y exportación de hidrógeno: Uruguay carece actualmente de una normativa específica para las infraestructuras de transporte de hidrógeno, incluidas las tuberías y las terminales de exportación. Para apoyar las futuras tuberías de hidrógeno, el artículo 237 de la Ley 20.075/2022 establece un marco jurídico para las servidumbres, que permite los derechos de paso para las tuberías y las instalaciones relacionadas. Sin embargo, aún no se han elaborado reglamentos detallados que regulen los materiales, la presión y la seguridad (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2024b).

Mientras tanto, el transporte por carretera de hidrógeno se rige por la normativa vigente sobre transporte de mercancías peligrosas. El hidrógeno comprimido o licuado en cilindros o camiones cisterna debe cumplir con el código nacional de transporte de materiales peligrosos (Decreto 560/003), que se ajusta a las normas del MERCOSUR y exige permisos de las autoridades de transporte y los cuerpos de bomberos, al igual que el GLP y los gases industriales (Vukasovic y Messina 2024b). Para la exportación marítima, Uruguay seguirá las normas internacionales de transporte marítimo (por ejemplo, los códigos de la OMI). La Administración Nacional de Puertos forma parte del grupo H2U y está evaluando la preparación de los puertos, pero aún se están elaborando normas nacionales específicas para la manipulación de las exportaciones de amoníaco, metanol o hidrógeno líquido.

Consideraciones normativas ambientales y sociales

Las leyes ambientales y los procesos de concesión de permisos de Uruguay desempeñarán un papel fundamental en el desarrollo de proyectos de hidrógeno. En el país se tienen en cuenta los siguientes aspectos normativos relativos a los criterios medioambientales y sociales:

- **Evaluación de impacto ambiental (EIA):** Desde 1994, los nuevos proyectos importantes, incluidas las grandes plantas de hidrógeno verde, deben someterse a una EIA y obtener una autorización ambiental previa (Decreto 349/005) (IMPO 2005). Los proyectos como las instalaciones de electrolizadores que superen determinadas capacidades o que requieran grandes líneas de transmisión darán lugar a una EIA.
- **Normativa sobre el uso del agua:** Los proyectos de hidrógeno que utilicen agua para la electrólisis o la refrigeración deben obtener los derechos de uso del agua de la Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA). Cualquier extracción superior a 500 litros/segundo o la creación de grandes embalses requiere una evaluación ambiental completa y un permiso, lo que garantiza una gestión responsable de los recursos hídricos de conformidad con el artículo 47 de la Constitución (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2023a), (IMPO 2009), (IMPO 1978).
- **Uso del suelo y salvaguardias sociales:** En virtud de la Ley 18.308 de Uso del Suelo y Desarrollo Sostenible (2008), los proyectos deben cumplir con los planes de zonificación locales. Los municipios gestionan la categorización del suelo, y las plantas de hidrógeno pueden requerir una rezonificación si se ubican en terrenos rurales no designados para uso industrial. Se fomenta la participación pública a través de audiencias de EIA y actualizaciones de los planes de uso del suelo, lo que permite a las comunidades expresar sus preocupaciones (IMPO 2008).

- Normas ambientales: La Ley de Protección Ambiental de Uruguay (Ley 17.283/2000) establece normas para los efluentes, los residuos y las emisiones atmosféricas relevantes para las instalaciones de producción de hidrógeno (IMPO 2000).
- Ministerio de Ambiente: Creado en 2020, este ministerio hace hincapié en una supervisión medioambiental rigurosa (IMPO 2022), (IMPO 2020).
- Participación de las partes interesadas: Aunque no existe una legislación específica sobre la “licencia social” para el hidrógeno, la sólida tradición de estado de derecho de Uruguay ofrece directrices claras para la participación de los inversores y la mitigación de los impactos ambientales o sociales (IMPO 2005), (IMPO 2000).

Panorama actual del mercado del hidrógeno y PtX en Uruguay

3.1.7 Oportunidades de financiación pública y privada

Uruguay está estableciendo una combinación de programas de financiación pública e incentivos a la inversión privada para estimular su sector del hidrógeno verde. Aunque aún se están desarrollando instrumentos de financiación específicos para el hidrógeno, el país está utilizando fondos más amplios para las energías renovables y sólidas asociaciones público-privadas para apoyar las iniciativas relacionadas con el hidrógeno. A continuación, se ofrece una visión general de los instrumentos de financiación existentes, los programas clave, las partes interesadas implicadas y las herramientas emergentes que se están considerando.

Programas de financiación pública e incentivos

Las autoridades uruguayas han puesto en marcha varias iniciativas para financiar directamente el desarrollo del hidrógeno verde y crear un clima favorable a la inversión:

- **Fondo Sectorial de Hidrógeno Verde (Green Hydrogen Sector Fund) (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2024a):** En 2022, el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) y el laboratorio tecnológico LATU crearon un fondo específico para financiar la investigación, la innovación y la formación en materia de hidrógeno verde y sus derivados. A través de este fondo, el Gobierno convocó un concurso para el primer proyecto piloto de hidrógeno verde de Uruguay, ofreciendo hasta 10 millones de dólares en subvenciones no reembolsables a la propuesta ganadora. El consorcio seleccionado (proyecto “H24U”) debe diseñar, financiar, construir y operar un proyecto piloto de producción y uso de hidrógeno, y la subvención se desembolsará a lo largo de un máximo de 10 años de funcionamiento. Esta subvención pública contribuyó a impulsar la primera planta de hidrógeno verde del país, que suministrará combustible para el transporte pesado.
- **Apoyo a la investigación y la innovación (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2023b):** Uruguay sigue apoyando la I+D en materia de hidrógeno a través de los fondos de innovación energética existentes. Por ejemplo, el Fondo Sectorial de Energía, administrado por la ANII, se ha utilizado para financiar proyectos de investigación relacionados con el hidrógeno y la formación de investigadores, lo que ha reforzado los conocimientos técnicos nacionales. Estos programas tienen por objeto desarrollar las capacidades científicas y técnicas locales en materia de tecnologías del hidrógeno, en coordinación con el Consejo Nacional de Innovación, Ciencia y Tecnología (CONICYT).
- **Incentivos fiscales en virtud de las leyes de promoción de inversiones:** Uruguay ofrece generosos beneficios fiscales a las inversiones en energías renovables y combustibles limpios. En virtud del Régimen de Promoción de Inversiones (Ley 16.906), los proyectos en sectores prioritarios pueden beneficiarse de exenciones del impuesto sobre la renta de las sociedades y otras ventajas fiscales. En la práctica, los productores de biocombustibles y electrocombustibles disfrutaban de una exención del 100% del impuesto sobre la renta durante 10 años, así como de exenciones del

impuesto sobre el patrimonio y del impuesto de importación para los activos pertinentes (Uruguay XXI 2025). Se espera que el hidrógeno verde y sus combustibles derivados puedan acogerse a estos marcos de incentivos como parte del impulso del país a las exportaciones verdes de valor agregado (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2023b). El Gobierno se ha comprometido a poner en marcha “un conjunto de incentivos atractivos” y a agilizar los permisos para fomentar las inversiones en hidrógeno.

- **Empresas estatales e inversión pública:** Las empresas públicas de energía de Uruguay están desempeñando un papel facilitador. La empresa estatal de electricidad UTE y la empresa petrolera nacional ANCAP están facultadas para participar en proyectos de hidrógeno; por ejemplo, ANCAP ha sido autorizada por el MIEM para buscar oportunidades de energía eólica marina para la producción de hidrógeno (IMPO 2024). Estas empresas pueden formar empresas conjuntas, proporcionar terrenos o infraestructuras y ayudar a reducir el riesgo de los proyectos (IMPO 2011). La UTE también ha recibido asistencia técnica (por ejemplo, una subvención de USD100.000 de CAF¹ banco de desarrollo) para estudiar modelos de producción y comercialización de hidrógeno verde, lo que ilustra cómo se utilizan los fondos públicos para preparar el terreno para futuros proyectos (CAF 2023a).
- **Subvenciones y cooperación internacionales:** Uruguay está aprovechando la financiación internacional para el clima para apoyar su hoja de ruta del hidrógeno. La Unión Europea (a través de su programa EUROCLIMA+) se comprometió a conceder 2 millones de euros en subvenciones a Uruguay en 2024 para reforzar el desarrollo del hidrógeno verde (GH2). Esta contribución no reembolsable apoya el desarrollo de capacidades, la mejora del marco regulatorio y la sensibilización pública sobre el hidrógeno. Del mismo modo, la cooperación técnica con Alemania (a través del BMFTR y el BMWF) y organismos multilaterales (BID, PNUD/ONUDI a través del Fondo Conjunto para los ODS) está aportando conocimientos especializados y financiación inicial para estudios, diseño de políticas e iniciativas piloto. Estas colaboraciones no financian directamente grandes proyectos, pero ayudan a Uruguay a crear un entorno propicio y una cartera de proyectos para el hidrógeno verde (Ministerio Federal de Economía y Energía 2023), (Banco Interamericano de Desarrollo 2023; ONUDI 2021), (Banco Interamericano de Desarrollo 2019).

Inversión privada y asociaciones público-privadas

Dado que la estrategia de Uruguay se basa en atraer capital privado, están surgiendo varias oportunidades de financiación y asociaciones en el ámbito privado, a menudo respaldadas por financiación combinada:

- **Financiación de proyectos piloto: “Kahirós” y H24U:** Las plantas piloto de hidrógeno verde del país son un ejemplo de financiación mixta: además de la subvención gubernamental de 10 millones de dólares para el proyecto H24U (Estratégica 2023), el consorcio Kahirós obtuvo un préstamo de 39 millones de dólares de entidades crediticias comerciales para cubrir los costos del proyecto. El éxito de la financiación del proyecto piloto pone de relieve que los bancos e inversores nacionales están dispuestos a respaldar proyectos de hidrógeno cuando se les incentiva con apoyo público y acuerdos de compra (Isabella Ankerson 2024).
- **Bancos nacionales e instrumentos de financiación combinada:** El sector bancario de Uruguay participa activamente en la financiación de la transición hacia la energía

¹ Corporación Andina de Fomento - Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe

limpia. Un mecanismo emblemático es el Fondo de Innovación en Energías Renovables (REIF), un fondo fiduciario respaldado por el Fondo Conjunto de los ODS de las Naciones Unidas y el Gobierno uruguayo que combina capital público y privado. El REIF concede préstamos en condiciones flexibles a proyectos de energía renovable y tecnología limpia, incluidas iniciativas Power-to-X para la producción de hidrógeno verde (Fondo Conjunto de los ODS 2023). Con una capitalización pública inicial de 7 millones de dólares, el REIF ha movilizó alrededor de 68 millones de dólares de bancos locales (como BROU, Santander, Itaú y HSBC) para cofinanciar proyectos a través de líneas de crédito específicas. Esta innovadora ventana de financiación se dirige a pequeñas y medianas empresas y proyectos piloto (préstamos que suelen oscilar entre 30.000 y 100.000 dólares) para impulsar casos de uso de hidrógeno en fase inicial, junto con soluciones de movilidad eléctrica y almacenamiento (Fondo Conjunto para los ODS 2023). De este modo, los bancos comerciales de Uruguay están adquiriendo experiencia en la financiación del hidrógeno verde a través de acuerdos de reparto de riesgos, lo que será crucial a medida que la industria crezca.

- **Inversión extranjera directa y empresas conjuntas:** La reputación de Uruguay como país estable y rico en energías renovables está atrayendo a inversores internacionales para proyectos a gran escala de hidrógeno y combustibles electrónicos. Por ejemplo, ANCAP se ha asociado con HIF Global (respaldada por Porsche) para evaluar una planta de hidrógeno verde y e-fuels de 4.000 millones de dólares en Paysandú. Si bien estas empresas se financiarán con capital privado, con empresas como HIF aportando capital y obteniendo financiación para el proyecto, el Gobierno las apoya mediante licitaciones competitivas, acceso a terrenos e iniciativas políticas (Lucinda Elliott 2023). Además, Uruguay ha firmado acuerdos de cooperación con puertos (como el de Róterdam) y gobiernos extranjeros para promover la inversión en cadenas de suministro de hidrógeno orientadas a la exportación (Djunisic 2023). Estos primeros compromisos de empresas internacionales indican que hay un capital privado sustancial listo para fluir hacia el sector del hidrógeno de Uruguay a medida que se amplían los proyectos piloto exitosos (Lucinda Elliott 2023).
- **Apoyo de los bancos multilaterales de desarrollo:** Si bien la mayor parte de la inversión en hidrógeno provendrá principalmente del sector privado, se prevé que los bancos de desarrollo desempeñen un papel crucial en la mitigación de los riesgos asociados a los grandes proyectos. El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la CAF ya están proporcionando asesoramiento financiero y podrían ofrecer préstamos en condiciones favorables o garantías para la infraestructura de hidrógeno en el futuro, al igual que su anterior apoyo a la expansión de las energías renovables en Uruguay (Ros 2024). La participación de Uruguay en iniciativas de financiación verde, como la emisión de un bono soberano vinculado al clima y el desarrollo de una taxonomía verde, también podría facilitar el acceso a capital de menor costo para proyectos de hidrógeno a través de bonos verdes o fondos climáticos (Montevideo Portal 2025). Aunque actualmente no existe un programa de préstamos específico para el hidrógeno, el sólido historial crediticio y de sostenibilidad de Uruguay permite a los promotores de proyectos acceder a la financiación climática internacional y a las agencias de crédito a la exportación cuando construyen grandes instalaciones de electrolizadores o terminales de exportación.

3.1.8 Cooperaciones internacionales

Basándose en su larga tradición de diplomacia colaborativa, Uruguay ha demostrado constantemente su compromiso con la cooperación internacional, buscando y fortaleciendo activamente alianzas globales para impulsar su prometedor sector del hidrógeno verde y las energías renovables. En noviembre de 2022, el MIEM firmó un memorando de entendimiento con el BMFTR de Alemania para mejorar la colaboración en materia de investigación

e innovación energética. Además, en marzo de 2023, Uruguay estableció una asociación energética con el BMW de Alemania, centrada en el hidrógeno verde, la eficiencia energética y el almacenamiento en baterías (GIZ 2024). Los Países Bajos también se han comprometido a colaborar, y ambos países emitieron una declaración conjunta en 2021 para desarrollar corredores de exportación e importación de hidrógeno verde (Gobierno de los Países Bajos 2025).

Panorama actual del mercado del
hidrógeno y PtX en Uruguay

En julio de 2023, Uruguay firmó un memorando de entendimiento con la Unión Europea para promover la cooperación en materia de energías renovables, incluido el hidrógeno verde, el intercambio de políticas y las inversiones industriales (EEAS 2025). Los bancos de desarrollo también están apoyando esta transición, y el Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe (CAF) ha proporcionado USD100.000 en asistencia técnica a la UTE para un proyecto piloto sobre la producción y comercialización de hidrógeno (CAF 2023b).

Uruguay ha participado activamente en foros mundiales, como la Cumbre Mundial del Hidrógeno 2024 celebrada en los Países Bajos, donde presentó oportunidades de inversión y proyectos en curso. Estos esfuerzos posicionan a Uruguay como futuro productor de hidrógeno verde, aprovechando las alianzas internacionales para impulsar su transición energética (Uruguay XXI 2024).

3.2 Análisis de mercado y comparativa específica por países

Panorama actual del mercado del hidrógeno y PtX en Uruguay

3.2.1 Análisis del país: Uruguay

Uruguay cuenta con buenos recursos solares y eólicos, lo que permite altos factores de capacidad en el electrolizador y bajos costos de producción de hidrógeno. Las regiones occidentales presentan las mejores características para la generación de energía solar, mientras que las zonas con las mejores características eólicas se encuentran en la frontera entre los departamentos de Rivera, Tacuarembó y Salto, y entre Lavalleja, Florida y Treinta y Tres. Figura 12 muestra el mapa eólico y solar de Uruguay creado por (Universidad Católica del Uruguay 2024).

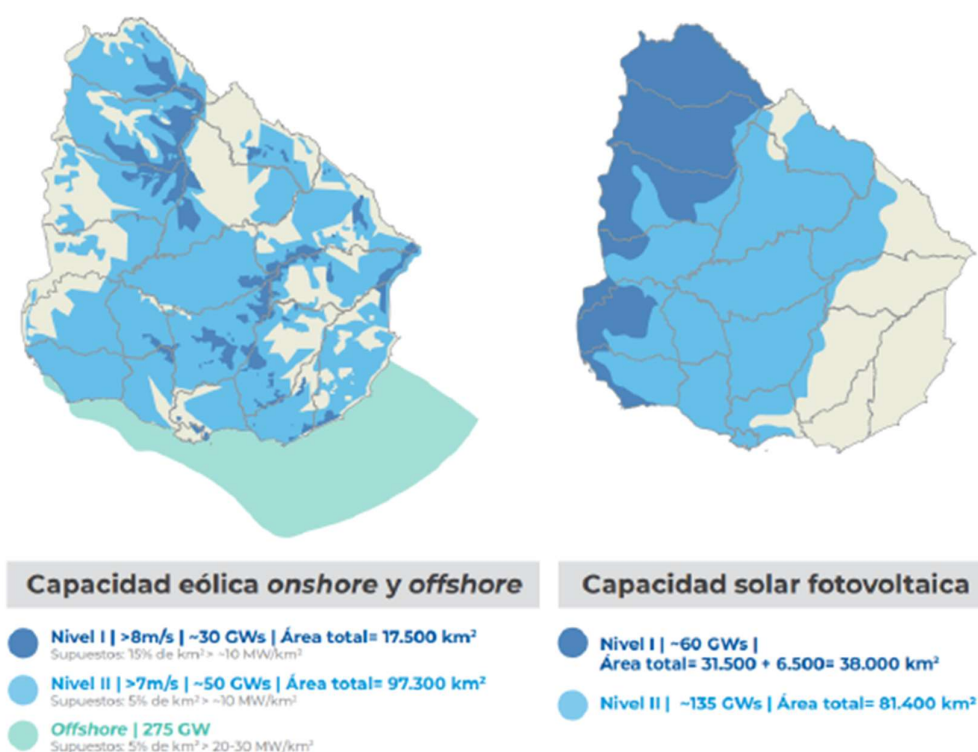


Figura 12. Capacidades solar y eólica de Uruguay (Universidad Católica del Uruguay 2024).

La capacidad eólica terrestre en Uruguay se clasifica en dos niveles de capacidad, cuyo valor varía en función de factores como la velocidad del viento (m/s) y el porcentaje del área permitida para el desarrollo de proyectos de hidrógeno (%/km²). Según este mapa, la capacidad eólica terrestre total en Uruguay se estima en 30 GW para el nivel 1 y 50 GW para el nivel 2. Además, la figura muestra que la capacidad eólica marina es de 275 GW. La capacidad solar del país se divide de manera similar en dos niveles. El primer nivel, situado en el noroeste, representa una capacidad solar de 60 GW, mientras que el segundo nivel, que abarca la zona desde el oeste hasta el centro del país, indica una capacidad total de 135 GW (Universidad Católica del Uruguay 2024), (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2023a).

3.2.2 Mercados nacionales y de exportación para derivados específicos

El mercado nacional del hidrógeno en Uruguay se encuentra aún en una fase inicial, siendo ANCAP el principal consumidor de hidrógeno a través de sus procesos de refinación de petróleo (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2021).

Amoníaco y fertilizantes:

El mercado del amoníaco en Uruguay se caracteriza por una importante dependencia de las importaciones. En 2023, Uruguay importó aproximadamente 7 GWh/a de amoníaco anhidro, siendo sus principales proveedores Brasil (85,9%) y Argentina (14,1%) (Veritrade 2025). Por otro lado, la urea es el fertilizante más utilizado en Uruguay. En 2021, Uruguay importó aproximadamente 838 GWh/a de urea, por un valor de USD152 millones (costo medio de 458 USD/tonelada) (El País 2023).

Metanol:

En Uruguay no existe ninguna planta industrial dedicada a la producción convencional de metanol. La producción nacional se limita a pequeñas cantidades utilizadas en laboratorios, investigación y determinadas aplicaciones industriales específicas. El consumo anual de metanol en Uruguay es de aproximadamente 19 GWh/a. Este volumen se destina principalmente a las industrias química, farmacéutica y de laboratorio. Dado que la producción nacional es insuficiente para satisfacer esta demanda, el país depende de las importaciones, principalmente de Argentina (Diario Cambio 2022).

Derivados del petróleo:

En 2023, Uruguay tuvo una producción total de 17.085 GWh/a (1.469 ktoe) de derivados del petróleo (Figura 13). En este año, el suministro de derivados del petróleo en Uruguay se vio afectado por la refinería de La Teja, que se sometió a una parada programada por mantenimiento en septiembre. Como resultado, la producción de derivados del petróleo fue un 31% inferior a la del año anterior y las importaciones aumentaron un 140%, según el Balance Energético Nacional. Esta refinería, propiedad de ANCAP, es la única del país (Balance Energético Nacional Uruguay 2024).

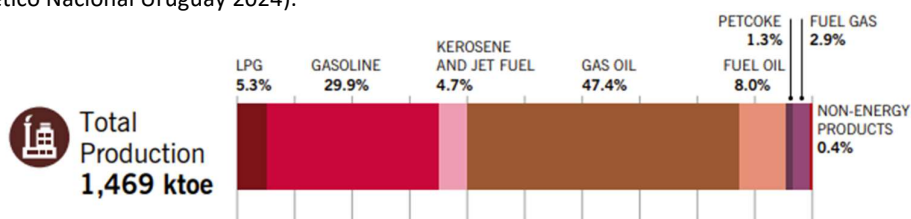


Figura 13. Producción de derivados del petróleo en Uruguay en 2023 (Balance Energético Nacional Uruguay 2024).

Producción prevista para el futuro mercado PtX en Uruguay:

El país tiene el potencial de aumentar su producción de hidrógeno para satisfacer las demandas del mercado interno. Los sectores que se prevé que utilicen hidrógeno verde incluyen (Industria, Energía y Minería 2023a):

- Transporte marítimo, que se espera que utilice e-metanol y amoníaco verde
- Fertilizantes, que se espera que utilicen amoníaco verde.
- Transporte terrestre, que se espera que utilice hidrógeno.

Las cantidades previstas que se producirán en el país para el mercado interno de amoníaco verde, e-metanol e hidrógeno verde se muestran en Tabla 3. Además, la producción prevista para la exportación de hidrógeno verde y sus derivados se presenta en Tabla 4:

Tabla 3. Producción prevista para uso doméstico de hidrógeno, amoníaco, combustibles sintéticos y fertilizantes en Uruguay en 2030 y 2040 (Universidad Católica del Uruguay 2024).

Producto	2030 (GWh/a)	2040 (GWh/a)
Hidrógeno verde	367	3.566
Amoníaco verde	165	2.785
Combustibles sintéticos (e-queroseno)	48	204
Fertilizantes (por ejemplo, urea)	133	598

Panorama actual del mercado del hidrógeno y PtX en Uruguay

Tabla 4. Producción prevista para la exportación de hidrógeno, amoníaco, combustibles sintéticos y fertilizantes en Uruguay en 2030 y 2040 (Universidad Católica del Uruguay 2024).

Producto	2030 (GWh/a)	2040 (GWh/a)
Hidrógeno verde	-	10.699
Amoníaco verde	-	522
Marítimo (e-metanol)	257	2.614
Combustible para aviones (e-queroseno)	611	7.483

Además, en (Universidad Católica del Uruguay 2024) se indica que se espera que la producción total de hidrógeno (tanto para uso doméstico como para exportación) alcance los 2.033 GWh/a en 2030 y los 32.563 GWh/a en 2040. Para 2040, se necesitará una capacidad de electrólisis prevista de 9 GW (IEA 2024).

Otras características del mercado PtX en Uruguay

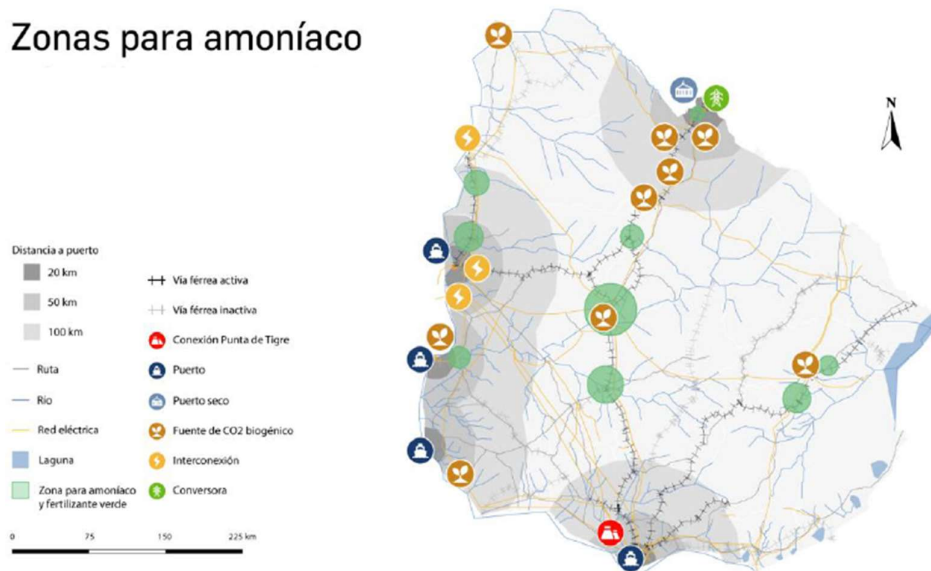
Amoníaco:

Actualmente, no existe infraestructura para el transporte de amoníaco en el país, lo que significa que los requisitos iniciales de CAPEX para la implementación de proyectos de amoníaco son elevados. Figura 14 indica las áreas potenciales donde podrían ubicarse proyectos de amoníaco (Universidad Católica del Uruguay 2024). Las principales áreas con potencial de desarrollo para 2030 son la costa oeste y la zona costera este. En la parte central del país también se observan áreas potenciales, con acceso a ferrocarriles activos. Estas dos últimas regiones requieren el desarrollo de nuevos puertos.

Metanol y combustibles sintéticos:

Debido al potencial de Uruguay en cuanto a CO₂ biogénico, el mercado del metanol verde y los combustibles sintéticos podría resultar especialmente atractivo para los mercados externos. Según laFigura 15, las áreas importantes con potencial de desarrollo de proyectos para 2030 son las ciudades de la parte occidental del país, como Paysandú, Fray Bentos y Nueva Palmira, junto con Pueblo Centenario y Tacuarembó, situadas en la región central. Para 2040, otras áreas destacadas incluyen la parte oriental del país, como Rivera, Lavalleja y Rocha (Universidad Católica del Uruguay 2024).

Zonas para amoníaco



Panorama actual del mercado del hidrógeno y PtX en Uruguay

Figura 14. Áreas potenciales para proyectos de amoníaco en Uruguay (Universidad Católica del Uruguay 2024).

Zonas para metanol y Combustibles Sintéticos

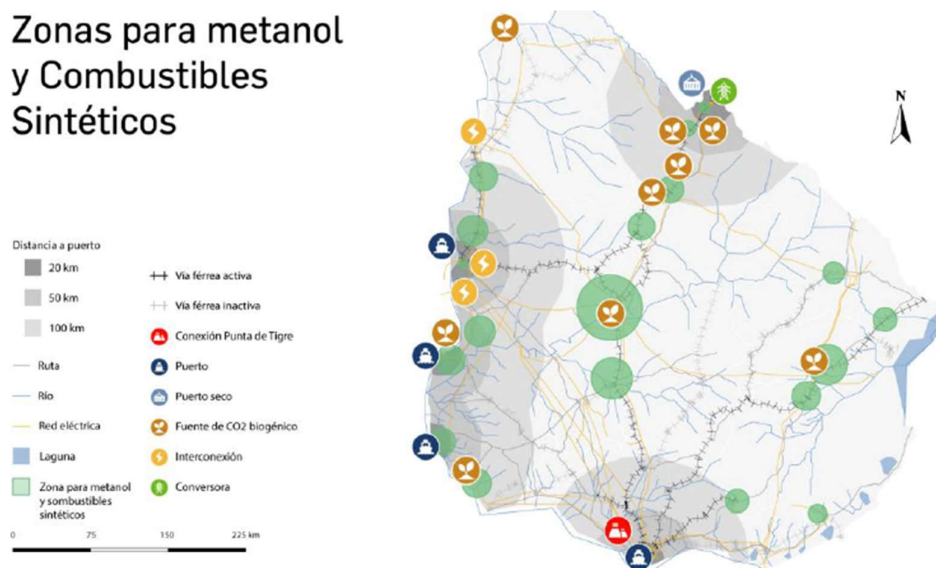


Figura 15. Áreas potenciales para proyectos de metanol y combustibles sintéticos en Uruguay (Universidad Católica del Uruguay 2024).

Países destinatarios de las exportaciones:

- **Países de la Unión Europea:** el paquete RePowerEU anuncia un acelerador del uso del hidrógeno para los países europeos. Según la Comisión Europea, se espera importar 333 TWh/a de hidrógeno para 2030 (GHIC 2025).
- **Alemania:** con la nueva estrategia de importación de hidrógeno verde de Alemania, una parte sustancial de la demanda de hidrógeno del país se cubrirá mediante

importaciones. Se prevé que la demanda estimada de hidrógeno y sus derivados en Alemania se sitúe entre 95 y 130 TWh/a en 2030, y que entre el 50% y el 70% (45 a 90 TWh/a) se importe. Esto sitúa a Alemania como uno de los mayores importadores de hidrógeno a nivel mundial (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 2024).

- **Japón:** La capacidad de Japón para la producción nacional de hidrógeno es muy limitada debido a la falta de terrenos adecuados, lo que ha llevado al país a convertirse en importador neto de hidrógeno limpio. Según su estrategia sobre el hidrógeno, Japón aspira a alcanzar una demanda de hidrógeno de 100 TWh/a (3 Mt/a) para 2030 y de 667 TWh/a para 2050 (Sieler *et al.* 2021). Según la Figura 16 en (Agencia Internacional de la Energía 2021), el 64% de esa demanda de hidrógeno deberá importarse. En los escenarios esbozados por la AIE, se prevé que Japón consuma 17 TWh/a de amoníaco como combustible para la co-combustión en centrales de carbón y transporte marítimo, junto con 23 TWh/a de hidrógeno como materia prima para la industria química para 2030.
- **Corea del Sur:** Corea del Sur tiene previsto importar aproximadamente 67 TWh/a de hidrógeno limpio para 2030 y alrededor de 767 TWh/a de hidrógeno limpio para 2050 (GHIC 2025).
- **China:** Se prevé que China sea el mayor importador mundial de hidrógeno limpio, con una demanda de 433 TWh/a de hidrógeno para 2030 (HydrogenCentral 2025).

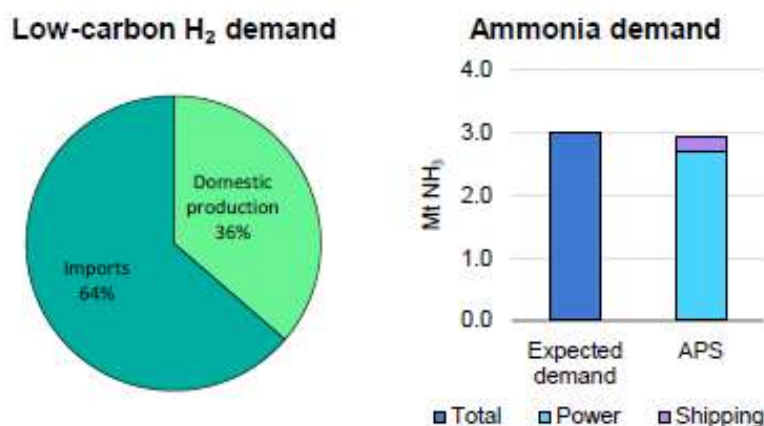


Figura 16. Demanda de hidrógeno bajo en carbono en Japón para 2030 (Agencia Internacional de la Energía 2021).

3.2.3 Comparación de recursos y costos en Uruguay con respecto a otros países

Uruguay se está posicionando como un actor competitivo en el panorama mundial de la producción de hidrógeno verde, aprovechando su sólida base en energías renovables. Se distingue entre los países líderes con un potencial sustancial para producir hidrógeno verde de bajo costo, junto con Chile, Australia, Argentina, Venezuela, Mauritania y Brasil. En este capítulo se realiza un análisis comparativo de Uruguay con respecto a otros países en términos de recursos y costos, basado en (Pfennig *et al.* 2020).

Figura 17 ilustra las ubicaciones costeras mundiales, destacando los costos de producción de hidrógeno verde clasificados de menor a mayor **para 2050**. Los costos más económicos se asocian a regiones que cuentan con condiciones eólicas y solares favorables. Por ejemplo, tanto Chile como Argentina se benefician de excelentes recursos eólicos, con costos de producción de hidrógeno verde líquido que oscilan entre 60 y 70 EUR/MWh y una capacidad de producción de 360 TWh/a a partir de fuentes eólicas. Chile también se beneficia de fuertes

recursos solares, con costos entre 80 y 90 EUR/MWh y una capacidad de producción máxima de 1.572 TWh/a.

Panorama actual del mercado del hidrógeno y PtX en Uruguay

Otros países, como Venezuela y Mauritania, ofrecen ubicaciones híbridas (fotovoltaica-eólica) favorables que facilitan costos de hidrógeno bajos, que oscilan entre 67 y 80 EUR/MWh, con capacidades de producción de 269 TWh/año para Venezuela y 986 TWh/año para Mauritania. Brasil y Australia también cuentan con emplazamientos híbridos favorables para la producción de hidrógeno de bajo costo, con valores entre 82 y 87 EUR/MWh y capacidades de producción de 227 TWh/a y 982 TWh/a, respectivamente.

En Uruguay, los costos del hidrógeno verde oscilan entre 87 y 92 EUR/MWh para los emplazamientos híbridos costeros, que tienen una capacidad de producción de 15 TWh/a, y entre 99 y 105 EUR/MWh para los emplazamientos eólicos costeros, con una capacidad de 4 TWh/a. Además, Uruguay ha sido reconocido como un líder potencial en la producción de hidrógeno verde de bajo costo en emplazamientos interiores, donde las ubicaciones híbridas podrían alcanzar una capacidad de producción máxima de 928 TWh/a, con unos costos estimados de 92 EUR/MWh, lo que consolida aún más las capacidades de Uruguay en la producción de hidrógeno verde de bajo costo (Pfennig *et al.* 2020).

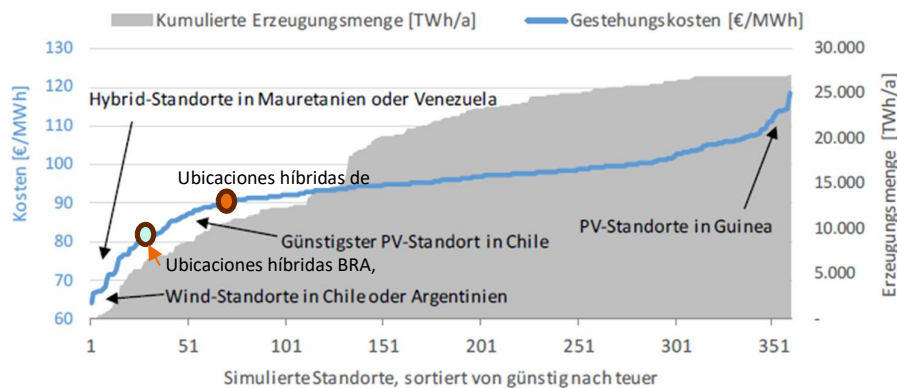


Figura 17. Costos de producción y cantidad de producción acumulada de las instalaciones costeras estudiadas a nivel mundial para producir hidrógeno líquido utilizando electrolizadores PEM de baja temperatura en 2050 (Pfennig *et al.* 2020).

3.3 Inventario 1: proyectos previstos y actores en el país

3.3.1 Proyectos

Kahirós

El Proyecto Kahirós es un desarrollo conjunto de las empresas *Ventus*, *Fraylog* y *Hyundai-Fidocar* para instalar la primera planta piloto en Uruguay que utiliza hidrógeno verde para el consumo de camiones pesados, prestando servicios a la cadena de suministro forestal, en particular para el cliente Montes del Plata. Se ubicará en Fray Bentos, una zona elegida por su proximidad al centro de demanda forestal y su uso logístico e industrial existente.

El proyecto cuenta con el apoyo de Montes del Plata debido a su importancia estratégica para el futuro del transporte con cero emisiones, lo que garantiza la demanda del proyecto durante los próximos 10 años y contribuye al desarrollo del conocimiento. Para la producción de hidrógeno, se ha previsto una planta modular compacta, compuesta por un electrolizador de 2 MW, con una producción anual estimada de 76.700 kg de H₂ (~2.556 MWh/a). El proceso de producción de H₂ verde se generará mediante la electrólisis de agua subterránea, utilizando la energía de un parque solar fotovoltaico de 3,9 MW que se instalará en el emplazamiento (Andrea Janics 2008).

Proyecto de hidrógeno verde de Paysandú:

ANCAP ha logrado avances significativos en proyectos dentro de la agenda estratégica de Uruguay, en particular en proyectos de transición energética. En este contexto, HIF, uno de los principales productores de combustibles verdes a nivel mundial, ha sido seleccionado para producir metanol verde, utilizando CO₂ biogénico capturado de la planta de biocombustibles ALUR en Paysandú. Se prevé la instalación de aproximadamente 2 GW de parques solares y eólicos y una capacidad de electrolizadores de 1 GW. Esta configuración producirá 100.000 t/a (~3,33 TWh/a) de hidrógeno, que se combinará con 710.000 t/a de CO₂ (145.000 toneladas capturadas de las fuentes de ALUR y el resto producido por HIF a partir de residuos de biomasa) para generar 480.000 t/a de metanol (~3 TWh/a). A continuación, el metanol se enviará a una planta de MtG (metanol a gasolina) para producir 180.000 t/a de gasolina (~2,3 TWh/a) (ANCAP 2023).

Proyecto del centro de hidrógeno verde de Tambor

El centro de hidrógeno verde de Tambor es un proyecto puesto en marcha por ENERTRAG, que inicialmente cuenta con instalaciones de energía renovable (eólica y solar fotovoltaica) con una capacidad de 350 MW y un electrolizador *in situ* capaz de producir 15.000 toneladas de hidrógeno (~500 GWh/a), que se convertirán en e-metanol. Este proyecto se está planificando y desarrollando en colaboración con la empresa uruguaya SEG Ingeniería (ENERTRAG 2025).

Hasta principios de 2025, el proyecto Tambor está siendo sometido a una evaluación ambiental por parte del Ministerio de Ambiente. Observadores técnicos como la Udelar han señalado deficiencias en la comunicación del proyecto, especialmente en aspectos hidrogeológicos y de uso del agua. El proyecto debe pasar por varias etapas (divulgación del estudio de impacto, audiencia pública, informe técnico final y resolución ministerial), de acuerdo con el procedimiento nacional de evaluación ambiental (Ministerio de Ambiente 2025), (Veroslavsky *et al.* 2024).

En el contexto del proyecto Tambor, las organizaciones ambientales han expresado su preocupación por los posibles impactos en el sistema Acuífero Guaraní y han pedido una mayor participación en el proceso de evaluación ambiental del proyecto. En dichas evaluaciones

ambientales también deben tenerse en cuenta marcos como el “Plan de Gestión Integrada del Sistema Acuífero Guaraní (PGISAG)” (Qassim 2025), (Ministerio de Ambiente 2023).

Panorama actual del mercado del
hidrógeno y PtX en Uruguay

H2U Offshore ANCAP

La iniciativa H2U Offshore es un programa estratégico liderado por ANCAP, cuyo objetivo es aprovechar el potencial eólico marino del país para la producción de hidrógeno verde a gran escala. Esta iniciativa forma parte del compromiso más amplio de Uruguay de alcanzar la neutralidad en carbono para 2050 (Administración de Comercio Internacional 2021). El programa H2U Offshore tiene como objetivo desarrollar parques eólicos marinos para producir hidrógeno verde y sus derivados, incluido el amoníaco, para la exportación. El programa se organiza en torno a licitaciones internacionales, conocidas como “rondas”, que permiten a las empresas privadas presentar ofertas para desarrollar estas zonas marinas por su cuenta y riesgo. La inversión total para el proyecto H2U Offshore se estima entre USD1.000 y USD3.000 millones (Administración de Comercio Internacional 2021).

Proyecto H24U

El proyecto H24U es una colaboración entre CIR y SACEEM, cuyo objetivo es establecer el primer sistema de producción y utilización de hidrógeno verde a escala comercial de Uruguay, dirigido específicamente a la descarbonización del sector del transporte pesado de mercancías. Se prevé una inversión de aproximadamente USD43,5 millones para el desarrollo y la construcción de dos plantas: una fotovoltaica y otra para la producción de hidrógeno verde, junto con una flota de camiones dedicados a la cadena de suministro forestal. Esto incluye USD10 millones de financiación no reembolsable proporcionados durante 10 años por el Fondo Sectorial de Hidrógeno Verde de Uruguay, gestionado por el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), el Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) y la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) (Estratégica 2023). Con el cambio de gobierno, el proyecto se encuentra actualmente en suspenso; se esperan novedades en las próximas semanas.

3.3.2 Programas e iniciativas existentes

H2U es un programa que describe las prioridades de trabajo actuales para el desarrollo del hidrógeno verde y sus derivados en un marco interinstitucional en Uruguay. El programa consta de seis áreas temáticas: H2U Innovación, H2U Inversión, H2U Infraestructura, H2U Regulación, H2U Offshore y H2U Comunicaciones y desarrollo de capacidades (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2022).

- **H2U Innovación:** se apoyará la innovación y la investigación en hidrógeno verde y sus derivados a través de diversos mecanismos, por ejemplo, el Fondo Sectorial del Hidrógeno para proyectos innovadores y de investigación. Tanto las empresas privadas como las públicas desempeñarán un papel clave en la generación de ideas y la ejecución de proyectos. Las instituciones coordinadoras serán el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII), el Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) y el sector académico (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2022).
- **Inversión en H2U:** el objetivo es facilitar las inversiones en proyectos de hidrógeno verde y derivados en Uruguay, abordando incentivos fiscales, permisos, diseño de la certificación de hidrógeno verde, tarifas eléctricas especiales y cooperación internacional. Responsables: Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), Ministerio de Medio Ambiente (MA), Ministerio de Relaciones Exteriores (MRREE), Oficina de Planificación y Presupuesto (OPP) y Uruguay XXI (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2022).

- **Infraestructura H2U:** tiene como objetivo evaluar el desarrollo futuro de la infraestructura, por ejemplo, gasoductos y líneas de transmisión. Responsables: MIEM, Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP), Administración Nacional de Puertos (ANP), Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland (ANCAP), Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas (UTE) (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2022).
- **Reglamento H2U:** tiene por objeto establecer nuevas normas relativas al hidrógeno (por ejemplo, producción, almacenamiento, normas de seguridad) y promover la normativa relacionada con el uso del suelo. Las instituciones responsables son el MIEM, la Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua (URSEA), el MVOT, el MTOP y el MA (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2022).
- **H2U Offshore:** este componente se centra en estudiar el potencial de la energía marina. Instituciones responsables: MIEM y ANCAP (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2022).
- **H2U Comunicaciones y Desarrollo de Capacidades:** tiene como objetivo implementar planes nacionales de comunicación y participación ciudadana, junto con la difusión regular y transparente de los avances (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2022).

Además, la ANII, en colaboración con el MIEM y el LATU, ha puesto en marcha mecanismos de financiación específicos para apoyar la I+D en materia de hidrógeno. Como se ha mencionado anteriormente, el Fondo Sectorial de Hidrógeno Verde ya ha financiado el primer proyecto piloto de Uruguay (“H24U”), que integra la I+D en tecnología de electrólisis, integración solar, logística y movilidad del hidrógeno (LATU 2022) (ANII 2023). Además, las propuestas relacionadas con el hidrógeno han recibido apoyo a través de instrumentos más amplios, como el Fondo Sectorial de Energía, lo que refuerza la investigación transversal en materia de energías renovables, ciencia de los materiales y optimización de procesos (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2024c).

A nivel internacional, Uruguay participa activamente en programas de cooperación con la Unión Europea, Alemania (BMFTR, BMWF) (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2024c), e instituciones multilaterales (por ejemplo, el BID, la ONUDI y la GIZ) (ONUDI 2021), (Ministerio de Economía y Acción Climática 2024), (Banco Interamericano de Desarrollo 2023). Estas iniciativas han contribuido a mejorar las capacidades de investigación mediante la formación, los estudios de viabilidad y los intercambios de expertos. Sin embargo, es necesaria una mayor integración en las redes de investigación mundiales para aumentar la visibilidad del país y el acceso a tecnologías de vanguardia en ámbitos como la producción de hidrógeno en alta mar, el almacenamiento de hidrógeno y la síntesis de combustibles sintéticos.

3.3.3 Actores y sus funciones (universidades, empresas, ministerios, ANII)

En el emergente mercado del hidrógeno verde de Uruguay, diversos actores desempeñan un papel fundamental en el impulso del desarrollo y la innovación. Entre estas partes interesadas se encuentran empresas energéticas públicas, inversores privados, instituciones de investigación y organismos gubernamentales, cada uno de los cuales aporta sus conocimientos y recursos específicos para promover iniciativas relacionadas con el hidrógeno. Entidades públicas como UTE y ANCAP facilitan el desarrollo de infraestructuras y la financiación de proyectos, mientras que las empresas privadas exploran los avances tecnológicos y las oportunidades de mercado. Los esfuerzos de colaboración entre estos diversos actores son esenciales para crear un ecosistema de hidrógeno verde sólido. En la tabla incluida como anexo de este informe se ofrece una visión general completa de estos actores clave y sus respectivas funciones.

3.4 Inventario 2: desarrollo de capacidades e investigación

3.4.1 Análisis de la situación actual de la investigación y el desarrollo

El panorama actual de la investigación y el desarrollo (I+D) en materia de hidrógeno verde en Uruguay se caracteriza por una participación institucional en fase inicial, instrumentos de financiación pública selectivos y una participación creciente en proyectos de cooperación internacional. Aunque algunos grupos del ámbito académico tienen una experiencia notable en la materia, en los últimos años se han producido avances clave que sientan las bases para ampliar las actividades de I+D en consonancia con la hoja de ruta nacional sobre el hidrógeno. A continuación, se enumeran las instituciones y universidades que participan en la investigación relacionada con el hidrógeno:

- **Universidad de la República (Udelar)**, que ha establecido líneas de investigación en tecnologías electroquímicas, catálisis, integración de energías renovables y valorización del carbono. Los grupos de investigación de la Facultad de Química, la Facultad de Ingeniería y el Centro Universitario Regional del Este (CURE) han iniciado estudios relacionados con la electrólisis del agua, las vías Power-to-X (PtX) y la captura y utilización de CO₂ procedente de fuentes de biomasa (Universidad de la República Uruguay 2025b).
- **El Instituto Tecnológico de la Energía (IET) y el Centro de Innovación en Ingeniería (CII)** están avanzando en la investigación aplicada en la integración de sistemas de energía renovable y tecnologías de producción de hidrógeno (Universidad de la República Uruguay 2025a).
- **Otras instituciones** también son actores importantes para el entorno de I+D, como la Universidad Tecnológica (UTEC) y el Instituto de Investigaciones Biológicas “Clemente Estable” (IIBCE), a través de la “RedH2Uy”; la Universidad de Montevideo (UM), en particular a través del “*Centro de Innovación en Organización Industrial (CINOI)*”, y la Universidad Católica del Uruguay (UCU), a través de su “*Observatorio de Energía y Desarrollo Sustentable*”, (Universidad de Montevideo) (UTEC 2025a) (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2024c).
- **UTE:** El CAF, banco de desarrollo para América Latina y el Caribe, firmó un acuerdo de cooperación técnica con UTE, en el que se asignan USD100.000 para estudios técnicos sobre cuestiones ambientales, tecnológicas, financieras y normativas relacionadas con la producción, el almacenamiento y el transporte de hidrógeno verde (CAF 2023b).

En el anexo del presente informe se incluye una lista detallada de los proyectos de I+D en Uruguay en el contexto del hidrógeno verde y PtX.

3.4.2 Análisis del desarrollo de capacidades actual

Desarrollo de capacidades

El desarrollo de capacidades en el sector del hidrógeno verde de Uruguay avanza de manera constante, y los esfuerzos se concentran principalmente en fortalecer la educación técnica, mejorar las capacidades institucionales y abordar las brechas de conocimiento en segmentos clave de la cadena de valor del hidrógeno. Si bien aún se encuentra en una fase formativa, se han puesto en marcha varias iniciativas para sentar las bases para el desarrollo de una fuerza laboral cualificada y promover el desarrollo del capital humano a largo plazo en consonancia con los objetivos de la hoja de ruta.

La Udelar y la UTEC están comenzando a incorporar contenidos relacionados con las energías renovables y el hidrógeno en los programas de ingeniería y ciencias existentes. Aunque

todavía no existe una titulación específica de grado o posgrado en tecnologías del hidrógeno, varias facultades —en particular, en química, física, ingeniería mecánica y ciencias ambientales— están integrando módulos relacionados con el hidrógeno en sus planes de estudios (Universidad de la República Uruguay 2025d, 2025c; Gallardo *et al.* 2017). En cuanto a la formación técnica, la UTEC ha puesto en marcha iniciativas en materia de sistemas de energía renovable e infraestructura eléctrica, que podrían ampliarse en el futuro para incluir competencias relacionadas con el hidrógeno (UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA 2025). Paralelamente, se han impartido varios cursos de corta duración para proporcionar a los profesionales y técnicos conocimientos básicos sobre el hidrógeno verde y las tecnologías PtX, incluyendo una visión general de toda la cadena de valor y los marcos normativos asociados (AHK Uruguay 2024). Sin embargo, aún se carece de programas estructurados para técnicos centrados específicamente en el funcionamiento de los electrolizadores, la logística del hidrógeno o la manipulación de PtX. Abordar esta brecha de habilidades es especialmente relevante para apoyar el despliegue y el funcionamiento de las próximas instalaciones piloto y a escala comercial de hidrógeno.

La cooperación internacional también ha desempeñado un papel clave en la transferencia de conocimientos y la mejora de las capacidades. Uruguay ha participado en programas de formación bilaterales con Alemania y la Unión Europea, que incluyen talleres sobre normas de seguridad del hidrógeno, marcos normativos y transferencia de tecnología. Las misiones técnicas y los seminarios conjuntos han facilitado el aprendizaje en las primeras etapas y la coordinación institucional, pero deberán evolucionar hacia programas de formación más estructurados y a largo plazo, idealmente desarrollados conjuntamente con socios industriales (Foro Económico Mundial 2024).

Programas educativos para técnicos

Uruguay ofrece programas educativos para técnicos centrados en las energías renovables y la gestión de sistemas eléctricos. Estos programas abarcan las siguientes áreas clave:

- Sistemas eléctricos e instalaciones eléctricas industriales: formación en el diseño y la gestión de sistemas eléctricos utilizados en entornos industriales.
- Formación en control y auditoría de emisiones medioambientales: instrucción sobre la supervisión y el control de las emisiones para cumplir con la normativa ambiental.
- Diseño, instalación y mantenimiento de infraestructuras eléctricas: habilidades para crear y mantener los sistemas eléctricos necesarios para la producción y distribución de energía.
- Mantenimiento y reparación de sistemas mecánico-eléctricos: formación en el mantenimiento de sistemas que combinan componentes mecánicos y eléctricos.
- Mantenimiento de sistemas fotovoltaicos y eólicos: cursos especializados para garantizar el funcionamiento eficiente de los sistemas de energía solar y eólica.
- Biotecnología aplicada: enfoque en el uso de la biotecnología en procesos industriales y aplicaciones energéticas.
- Química analítica, orgánica e industrial: instrucción en diversas disciplinas químicas relevantes para el desarrollo de materiales y procesos en sistemas energéticos.
- Diseño y mantenimiento mecánico: formación en el diseño y mantenimiento de sistemas mecánicos dentro del sector energético.

Sin embargo, actualmente no existe ningún programa específico centrado en el hidrógeno y sus derivados.

Programas de grado

Los programas de grado en Uruguay ofrecen una amplia gama de especializaciones centradas en las energías renovables y la sostenibilidad. Estos programas incluyen especializaciones en

energía solar y eólica, así como en biotecnología aplicada con fines industriales y energéticos. Los estudiantes reciben formación en áreas críticas como el control de las emisiones ambientales, la gestión del agua y el diseño y mantenimiento de infraestructuras eléctricas. Además, se hace especial hincapié en las habilidades prácticas, como la automatización, la instrumentación y el diseño de proyectos. El plan de estudios está diseñado para preparar a los graduados para desempeñar funciones clave en los campos en expansión de los sistemas de hidrógeno y la energía limpia, garantizando que estén bien preparados para afrontar los retos de la transición energética.

Panorama actual del mercado del
hidrógeno y PtX en Uruguay

3.5 Objetivos de la estrategia nacional y sus prioridades

Este capítulo aborda los objetivos y prioridades relacionados con el hidrógeno verde y PtX en Uruguay, tal y como se describen en la hoja de ruta nacional. La estrategia propuesta en la hoja de ruta tiene como objetivo posicionar a Uruguay como líder en el sector del hidrógeno verde, con un potencial de generar aproximadamente USD1.900 millones en ingresos anuales para 2040 (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2023a). Estos ingresos provendrán principalmente de la exportación de combustibles sintéticos e hidrógeno, lo que supondrá un importante impulso para la economía nacional. Además, se prevé que el desarrollo de la industria del hidrógeno cree más de 30.000 puestos de trabajo directos y cualificados en diversos sectores, lo que mejorará las oportunidades de empleo y las capacidades de la mano de obra (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2023a).

3.5.1 Objetivos a corto, medio y largo plazo

Esta hoja de ruta tiene como objetivo desarrollar un mercado nacional y de exportación para los años 2025 (corto plazo), 2030 (medio plazo) y 2040 (largo plazo), dando prioridad a la producción de e-metanol, e-combustibles, fertilizantes, utilización de H₂ en procesos de reducción directa de hierro (DRI) y transporte pesado. La Figura 18 describe los objetivos previstos mencionados en la Hoja de ruta nacional (Ministerio de Industria, Energía y Minería y H2U 2024):

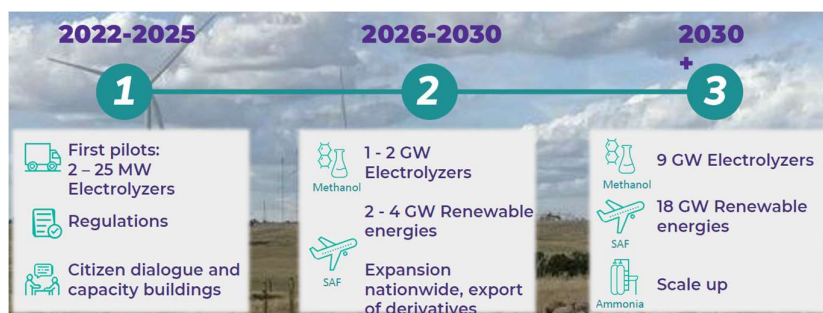


Figura 18. Fases de la hoja de ruta del hidrógeno verde en Uruguay según (Ministerio de Industria, Energía y Minería y H2U 2024).

La hoja de ruta nacional de Uruguay para la producción de hidrógeno verde describe los costos de producción estimados (Ministerio de Industria, Energía y Minería y H2U 2024), (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2023a). Figura 19 proyecta el costo nivelado del hidrógeno (LCOH) de 2025 a 2050, con estimaciones de 1,20-1,40 USD/kg (aproximadamente 41-47 EUR/MWh) en la región occidental y de 1,30-1,50 USD/kg (alrededor de 44-51 EUR/MWh) en la región oriental para proyectos de más de 500 MW. Para los proyectos marinos, se espera un LCOH de entre 1,70 y 1,90 USD/kg (entre 58 y 64 EUR/MWh) para 2030. La hoja de ruta también destaca un LCOH estimado de entre 1,50 y 2,40 USD/kg (aproximadamente entre 51 y 81 EUR/MWh) para 2025. En cuanto a los derivados, los costos de producción para 2030 del e-metanol verde y el e-combustible para aviones podrían alcanzar los 465 USD/t (~83 EUR/MWh) y los 1.205 USD/t (~113 EUR/MWh), respectivamente, teniendo en cuenta las fuentes de CO₂ biogénico (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2023a). En el contexto de los costos internacionales de producción de hidrógeno verde en la Figura 20, Uruguay se perfila como exportador neto y se prevé que ocupe el segundo lugar entre los exportadores con menor LCOH.

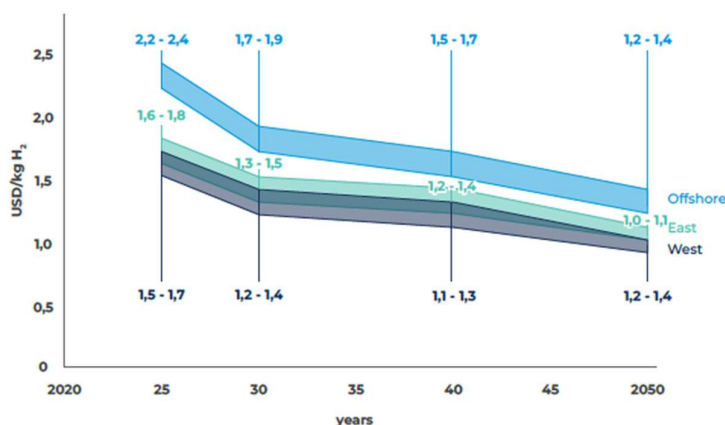


Figura 19. LCOH en Uruguay desde 2025 hasta 2050. Supuestos: una producción diaria mínima de 250 tH₂. Incluye CAPEX y OPEX de energía y electrolizadores, almacenamiento, transporte o transmisión, lo que agrega aproximadamente 0,3-0,5 USD/kgH₂ (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2023a).

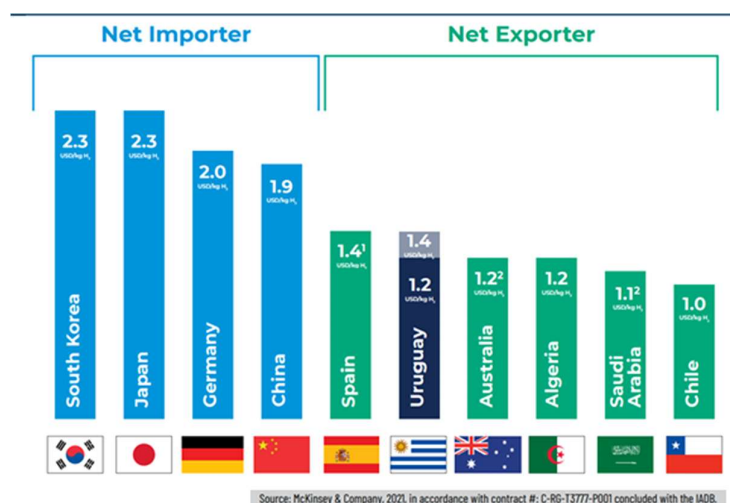


Figura 20. Comparación del LCOH. 1) Referencia tomada del anuncio de HyDeal, excluye los costos de transporte y distribución. 2) Referencia tomada del Consejo del Hidrógeno, excluye los costos de transporte y distribución (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2023a).

3.5.2 Priorización de las áreas de investigación

La hoja de ruta nacional de Uruguay para el hidrógeno verde hace hincapié en la investigación sobre la producción de hidrógeno verde y sus derivados. También aborda el desarrollo de la infraestructura portuaria y el establecimiento de nuevas regulaciones que rijan la producción, el almacenamiento y el transporte de hidrógeno verde. Además, la hoja de ruta incluye iniciativas para desarrollar programas de formación y educación que aborden las posibles carencias de mano de obra y conocimientos (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2023a, 2022).

- **Producción de hidrógeno verde y sus derivados:** especial atención a la investigación y el desarrollo de proyectos para producir e-metanol, combustibles sintéticos (e-fuels) y el uso de hidrógeno verde para el procesamiento del hierro (DRI).
- **Potencial eólico marino:** investigación a largo plazo destinada a evaluar la viabilidad del uso de la energía eólica marina para producir hidrógeno verde.
- **Regulaciones:** desarrollo de nuevas regulaciones para la producción, el almacenamiento y el transporte de hidrógeno verde, junto con un enfoque en el establecimiento de normas claras y de seguridad.
- **Desarrollo de capacidades y formación:** desarrollo de nuevos programas educativos y de formación centrados en temas relacionados con las energías renovables, concretamente en la tecnología relacionada con el hidrógeno y sus derivados.

Panorama actual del mercado del
hidrógeno y PtX en Uruguay

En esta sección se presenta un análisis estratégico del panorama actual de Uruguay en relación con la investigación, el desarrollo y la innovación en materia de hidrógeno verde. En base a los datos y el mapeo institucional realizados en capítulos anteriores, el análisis aplica un marco **FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas)** para evaluar el contexto nacional e identificar los principales facilitadores y obstáculos para la implementación de la hoja de ruta de I+D del hidrógeno verde. La evaluación se centra tanto en **factores internos** —como la capacidad institucional, la infraestructura de investigación, los mecanismos de financiación y la madurez normativa— como en **factores externos**, entre los que se incluyen las tendencias del mercado internacional, los avances tecnológicos, las oportunidades de cooperación y los riesgos geopolíticos.

El objetivo de este análisis es proporcionar una base empírica para la toma de decisiones, destacando las áreas prioritarias para la inversión, la coordinación y la reforma de políticas. También contribuye a identificar los actores y actividades fundamentales que pueden contribuir a mejorar el posicionamiento de Uruguay como actor competitivo y sostenible en el ámbito del hidrógeno verde a nivel regional y mundial. La metodología FODA integra aportaciones de entrevistas con las principales partes interesadas y una revisión de documentos nacionales e internacionales. En las siguientes subsecciones se describe el proceso analítico y se presentan las principales conclusiones del análisis FODA.

4.1 Introducción al tema y objetivo del análisis

Para desarrollar una hoja de ruta coherente y realista en materia de I+D para el hidrógeno verde en Uruguay, es esencial evaluar el panorama actual de las actividades, los actores y las condiciones sistémicas que influyen en el sector. Un análisis FODA —que identifica **las fortalezas y debilidades** internas, así como **las oportunidades y amenazas** externas— proporciona una metodología estructurada para examinar estas dimensiones y fundamentar las decisiones estratégicas. Este análisis se centra en el ecosistema institucional, técnico y normativo actual de Uruguay, evaluando cómo las capacidades existentes, las iniciativas en curso y las deficiencias identificadas pueden afectar al despliegue y la ampliación de las tecnologías del hidrógeno. El objetivo es doble:

1. **Mapear la preparación y las limitaciones** del ecosistema de investigación e innovación de Uruguay, incluyendo a los actores públicos y privados involucrados en actividades relacionadas con el hidrógeno.
2. **Identificar los puntos clave y los riesgos** que deben abordarse para garantizar la implementación efectiva de la hoja de ruta nacional del hidrógeno verde.

El análisis FODA incorpora los resultados de las entrevistas con las partes interesadas, la investigación documental y los conocimientos a nivel de proyecto proporcionados por socios nacionales e internacionales. Sirve como herramienta de diagnóstico para orientar la priorización de las áreas de investigación, las necesidades de creación de capacidad, los ajustes de políticas y las estrategias de cooperación que se alinean con los objetivos a corto, medio y largo plazo de Uruguay.

Mediante la evaluación sistemática de factores internos y externos, este análisis respalda la planificación basada en datos empíricos y refuerza la alineación entre las capacidades nacionales y la dinámica del mercado internacional en la economía del hidrógeno en evolución.

4.2 Enfoque para realizar el análisis FODA (incluidas las entrevistas)

Análisis de las actividades actuales
y los actores relevantes según la
metodología: análisis FODA

El análisis FODA que se presenta en esta sección se ha elaborado mediante un **enfoque multitimodo**, que combina aportes cualitativos y cuantitativos para obtener una visión global de la situación y las perspectivas del ecosistema de investigación e innovación en materia de hidrógeno verde de Uruguay. La metodología constaba de tres componentes principales:

- i. **Revisión de documentos y bibliografía:** Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de informes nacionales e internacionales, marcos jurídicos, documentos de políticas y estrategias sectoriales con el fin de identificar los mandatos institucionales, los programas de investigación, los instrumentos normativos y la dinámica de mercado existentes que son relevantes para el hidrógeno verde en Uruguay. Entre las fuentes principales se incluyen la Hoja de ruta nacional H2U (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2023a), estudios sectoriales e informes de evaluación comparativa internacional, tales como (AIE 2024; Ministerio de Asuntos Económicos y Política Climática de los Países Bajos 2024; Universidad Católica del Uruguay 2024; Vukasovic y Messina 2024b; Pfennig *et al.* 2020).
- ii. **Entrevistas a las partes interesadas:** Entre mayo y octubre de 2024 se llevó a cabo una serie de **entrevistas semiestructuradas** con las principales partes interesadas. Las entrevistas se centraron en las funciones institucionales, las capacidades técnicas, los retos normativos, los mecanismos de financiación y las prioridades estratégicas para la I+D relacionada con el hidrógeno. Entre los participantes se encontraban representantes de:
 - a. Organismos gubernamentales (MIEM, ANII, UTE, ANCAP)
 - b. Instituciones académicas y de investigación (UdelaR, UTEC, UM, UCU, IIBCE)
 - c. Actores del sector privado y cámaras empresariales (AHK)
 - d. Actores políticos (BROU, BCU)
- iii. **Comentarios de expertos y validación iterativa:** Los elementos preliminares del análisis FODA se debatieron en sesiones conjuntas con socios nacionales e internacionales del proyecto para perfeccionar el análisis. Este proceso iterativo garantizó la alineación tanto con las prioridades políticas nacionales como con las tendencias del mercado mundial del hidrógeno.

El marco FODA resultante refleja un diagnóstico transversal y participativo de las condiciones que determinan la capacidad de Uruguay para posicionarse como centro regional de conocimiento y desarrollador de tecnología en el emergente sector del hidrógeno verde. Este enfoque basado en datos empíricos permite identificar acciones estratégicas para fortalecer las capacidades internas y aprovechar las oportunidades externas en consonancia con los objetivos de la hoja de ruta.

4.3 Identificación de fortalezas internas

Con más del 92% de su matriz energética derivada de fuentes renovables, Uruguay está casi totalmente electrificado, lo que lo posiciona como un actor competitivo en el mercado mundial del hidrógeno verde. La fuerte sinergia entre la energía hidroeléctrica, la energía solar (con capacidades que oscilan entre 60 GW y 135 GW) y los recursos eólicos (con capacidades terrestres entre 30 GW y 50 GW y capacidades marítimas de hasta 275 GW) mejora su transición hacia el hidrógeno verde. Según la sección 3.2.3, se prevé que la capacidad de

producción estimada de hidrógeno verde de Uruguay para 2050 alcance los 15 TWh/a, con unos costos de producción que oscilan entre 87 y 92 EUR/MWh para las instalaciones híbridas costeras. Las proyecciones de la sección 3.2.2 indican que, para 2040, Uruguay podría generar un total de aproximadamente 32.563 GWh/a (o 977 kt/a de H₂), lo que incluye 2.614 GWh/a de producción de metanol, lo que destaca su potencial para una producción rentable junto con países como Chile, Argentina y Brasil, que también compiten en el mercado del hidrógeno con menores costos de producción. Los entrevistados reconocieron de manera unánime que la matriz energética basada en energías renovables es “la mayor tarjeta de presentación internacional de Uruguay”. Varios destacaron que esta alta penetración de las energías renovables le da a Uruguay credibilidad en cuanto a su reputación y reduce las barreras de entrada para los inversores en hidrógeno verde.

Además, como se señala en la sección 3.1.4, Uruguay se beneficia de una importante disponibilidad de CO₂ biogénico, que asciende a un total de 9,3 Mt/a. Este CO₂ representa el 82% de las emisiones totales de diversas industrias, incluidas la silvicultura y la agricultura, lo que permite al país producir los 2.614 GWh/a de metanol estimados para 2040. De cara al futuro, se espera que esta capacidad de producción total no solo satisfaga la demanda actual de hidrógeno de alrededor de 2.584 GWh/año (o 78 kt/a de H₂), sino que también posicione a Uruguay como un exportador potencial a mercados internacionales como la Unión Europea, Japón y Corea del Sur, donde la demanda de soluciones energéticas sostenibles está aumentando rápidamente. Las partes interesadas de la industria y el mundo académico destacaron el valor estratégico de combinar el hidrógeno con el CO₂ biogénico, y a menudo describieron el e-metanol como “el producto de exportación más realista a corto y medio plazo”. Otros señalaron que esta combinación ayuda a Uruguay a diferenciarse de sus competidores regionales que no tienen el mismo perfil de biomasa/CO₂.

El sistema portuario uruguayo refuerza aún más esta posición, ya que cuenta con una sólida capacidad logística y puede manejar aproximadamente 20 millones de toneladas de carga al año. El puerto de Montevideo desempeña un papel crucial, ya que gestiona alrededor de 17 millones de toneladas al año, lo que refuerza la posición de Uruguay como centro marítimo vital en el Cono Sur para las exportaciones. Esta eficiencia mejora la conectividad regional y la resiliencia operativa a la hora de abordar los retos logísticos.

Además, el sólido marco normativo y las leyes ambientales de Uruguay refuerzan significativamente su sector del hidrógeno verde. La exigencia de realizar evaluaciones de impacto ambiental (EIA) para grandes proyectos, incluidas las plantas de hidrógeno, garantiza una evaluación exhaustiva y la mitigación de los posibles impactos ambientales, lo que promueve prácticas sostenibles. Las estrictas normas sobre el uso del agua protegen los recursos hídricos esenciales; Uruguay cuenta actualmente con aproximadamente 92.000 millones de m³/a de agua disponible. En 2022, los usos autorizados del agua por la DINAGUA en todo el país ascendieron a 4.400 millones de m³, lo que representa menos del 5% de la disponibilidad total. Cabe destacar que se estima que las necesidades adicionales de agua para la producción de hidrógeno verde representan menos del 1% de la demanda total de agua, lo que permite que el sector crezca de forma sostenible sin sobreexplotar los recursos.

Los entrevistados del sector público destacaron repetidamente que la reputación de Uruguay en materia de gobernanza ambiental sólida es “una de sus ventajas competitivas más destacadas” para atraer socios europeos. Al mismo tiempo, los actores privados reconocieron que las estrictas evaluaciones de impacto ambiental (EIA) y los controles del agua crean previsibilidad y reducen los riesgos, aunque puedan retrasar ligeramente los plazos de los proyectos. El uso del suelo y las salvaguardias sociales fomentan la participación pública y el compromiso de la comunidad en la planificación de proyectos, mientras que la creación de un Ministerio de Ambiente específico subraya el compromiso de Uruguay con una supervisión ambiental rigurosa. En conjunto, estos factores crean un entorno normativo estable y

transparente que atrae la inversión y facilita el crecimiento responsable de la industria del hidrógeno verde.

Análisis de las actividades actuales
y los actores relevantes según la
metodología: análisis FODA

Por último, la considerable experiencia de Uruguay en la generación de energía renovable se ve reforzada por el firme compromiso del Gobierno de avanzar en el sector del hidrógeno verde. Iniciativas como el programa H2U, junto con el memorando de entendimiento firmado con la Unión Europea, fomentan la gobernanza coordinada entre los distintos organismos gubernamentales. Estos esfuerzos agilizan los procesos de toma de decisiones y ofrecen una orientación normativa clara, lo que refuerza aún más la posición de Uruguay en el panorama del hidrógeno verde. Varios entrevistados, especialmente del ámbito académico y gubernamental, destacaron que el programa H2U ha sido eficaz para alinear a los actores en torno a la estrategia del hidrógeno. Lo describieron como “un símbolo de continuidad y seriedad en materia de políticas”, algo poco común en el contexto latinoamericano y atractivo para los inversores extranjeros.

4.4 Identificación de debilidades internas

A pesar de sus fortalezas, Uruguay se enfrenta a varias debilidades internas que podrían obstaculizar el desarrollo de su sector del hidrógeno verde. Un reto importante es la disponibilidad limitada de trabajadores calificados y de programas de capacitación en materia de tecnologías y mercado del hidrógeno. Existe una notable brecha en materia de conocimientos especializados, especialmente en áreas clave como el funcionamiento de electrolizadores, la gestión de la logística del hidrógeno y el manejo de combustibles sintéticos. Esta escasez de personal especializado puede dar lugar a retrasos operativos e ineficiencias. Según la sección 3.5, para satisfacer la demanda prevista de la industria del hidrógeno verde para 2040, Uruguay necesitará una mano de obra técnica y profesional calificada de entre 30.000 y 35.000 personas. Esta importante demanda de mano de obra calificada pone de relieve una posible vulnerabilidad del sector, ya que la mano de obra actual podría no ser suficiente para soportar un crecimiento tan rápido. Sin el personal necesario, el desarrollo y la ampliación de los proyectos de hidrógeno podrían sufrir importantes contratiempos, lo que limitaría la capacidad de Uruguay para aprovechar plenamente sus oportunidades en materia de hidrógeno verde. En las entrevistas, las partes interesadas señalaron sistemáticamente que las oportunidades de formación actuales son fragmentadas y demasiado teóricas; varios propusieron programas de formación temprana de la mano de obra, formación específica para el sector e incluso la incorporación de plantas piloto en las universidades para proporcionar un aprendizaje práctico. Sin ello, la ampliación de los proyectos de hidrógeno se enfrentará a obstáculos.

Además, Uruguay carece de una infraestructura de investigación adecuada específica para la tecnología del hidrógeno. En la actualidad, no existen instalaciones a gran escala para probar electrolizadores o demostrar nuevas tecnologías de hidrógeno, que son esenciales para el avance del sector. Esta brecha en la infraestructura se ve agravada por la escasez de instituciones de investigación y laboratorios dedicados a estudios y formación relacionados con el hidrógeno. En consecuencia, el país tiene dificultades para desarrollar una mano de obra calificada que cuente con los conocimientos necesarios para operar e innovar en este campo emergente. Sin estos recursos cruciales, Uruguay puede tener dificultades para seguir el ritmo de los avances mundiales en tecnología del hidrógeno, lo que en última instancia obstaculizará su capacidad para aprovechar las oportunidades del mercado del hidrógeno verde. Además, los entrevistados destacaron la ausencia de instalaciones de ensayo compartidas y sugirieron la creación de laboratorios de demostración nacionales o plantas piloto universitarias-industriales para validar el rendimiento de los electrolizadores y los combustibles sintéticos en condiciones locales.

Otra debilidad importante es la ausencia de una normativa exhaustiva adaptada a la producción, el almacenamiento y el transporte de hidrógeno. La falta de marcos normativos claros

puede desalentar la inversión privada, ya que los posibles inversores pueden sentir incertidumbre sobre el entorno jurídico. La mayoría de los entrevistados consideraron muy relevantes la claridad normativa, los códigos de seguridad y los sistemas de certificación. Varios pidieron que se alinearan con las normas de la UE e internacionales desde el principio. Actualmente, la producción de hidrógeno se basa en códigos generales de seguridad industrial, que no se han adaptado a aplicaciones específicas del hidrógeno. Esta dependencia puede introducir riesgos de seguridad y confusión operativa, especialmente para los nuevos proyectos de hidrógeno verde que utilizan la electrólisis. Además, la infraestructura de transporte de hidrógeno de Uruguay está poco desarrollada. Si bien el artículo 237 de la Ley 20.075/2022 establece un marco jurídico para el uso de tuberías, aún se necesitan reglamentos detallados sobre materiales, presión y normas de seguridad.

La red ferroviaria, que incluye 271 km de ferrocarril central y 1.121 km de ferrocarril activo, también cuenta con 1.465 km de red inactiva que podría revitalizarse para el transporte de hidrógeno. Aunque existen conexiones ferroviarias internacionales con Argentina y Brasil, como Salto-Concordia y Rivera-Livramento, actualmente no hay acuerdos activos para utilizar estas rutas. La evaluación de estos enlaces es esencial para mejorar las capacidades logísticas de Uruguay.

4.5 Identificación de oportunidades externas

Uruguay se encuentra en una posición estratégica para aprovechar importantes oportunidades en el sector del hidrógeno verde, impulsado por condiciones favorables y una dinámica de mercado en constante evolución. El país tiene el potencial de producir aproximadamente 32.563 GWh/año (o 977 kt/a de hidrógeno) para 2040, lo que le permitiría consolidarse como un actor clave tanto en el mercado local como en el internacional. Esta capacidad de producción no solo satisfará la demanda interna, sino que también facilitará las exportaciones a los mercados internacionales.

Es importante destacar que Uruguay puede producir metanol tanto para uso nacional como para exportación, ya que cumple con los requisitos de sostenibilidad establecidos en la RED III, en particular en lo que respecta a la elegibilidad de las fuentes de CO₂. Actualmente, las abundantes fuentes de CO₂ biogénico de Uruguay se ajustan bien a estos estrictos criterios, lo que aumenta su potencial de exportación. La mayoría de los entrevistados consideraron que los proyectos piloto de metanol constituyen una ventaja por ser los primeros en actuar, especialmente cuando se asocian con fuentes de CO₂ biogénico. Recomendaron que los proyectos piloto iniciales de PtX se centren también en el metanol y los e-fuels. Además, se prevé que el sector del hidrógeno verde genere aproximadamente USD1.900 millones en ingresos anuales para 2040, lo que subraya el importante impacto económico que esta industria podría tener en la economía nacional.

Una ventaja notable para este sector son los amplios recursos hídricos de Uruguay, que ascienden a unos 92.000 millones de m³/a. Actualmente, se utiliza menos del 5% de este recurso, lo que indica un suministro sostenible que puede satisfacer adecuadamente las necesidades adicionales de agua para la producción de hidrógeno, que se estima que representan menos del 1% de la demanda total de agua. Esto garantiza que el sector del hidrógeno pueda expandirse sin agotar los recursos hídricos esenciales, fomentando así un crecimiento sostenible.

Además, el desarrollo continuo de la infraestructura de transporte de hidrógeno presenta una oportunidad crucial. El marco jurídico establecido para el uso de tuberías en virtud del artículo 237 de la Ley 20.075/2022 sienta las bases para futuros proyectos de transporte de hidrógeno, lo que fomenta la inversión en este ámbito. La posible revitalización de las redes ferroviarias inactivas, combinada con las conexiones ferroviarias internacionales existentes

con Argentina y Brasil, podría mejorar las capacidades logísticas de Uruguay. Esta integración en los corredores logísticos y energéticos regionales facilitará el transporte y la distribución eficientes de hidrógeno verde, ampliando el acceso al mercado y fomentando la colaboración en la región del Cono Sur.

Análisis de las actividades actuales
y los actores relevantes según la
metodología: análisis FODA

4.6 Identificación de amenazas

Aunque las condiciones del mercado externo son favorables, Uruguay se enfrenta a varios retos importantes que deben abordarse para aprovechar plenamente su potencial en materia de hidrógeno. El país se enfrenta a una intensa competencia internacional, en particular de países como Chile, Argentina y Brasil, todos ellos con abundantes recursos renovables y que están avanzando rápidamente en sus sectores del hidrógeno. Por ejemplo, se prevé que Chile y Argentina produzcan hidrógeno a un costo tan bajo como 60-70 EUR/MWh a largo plazo, mientras que Brasil tiene unos costos que oscilan entre 82 y 87 EUR/MWh. Este panorama de precios competitivos subraya la urgencia de que Uruguay mejore su propia eficiencia productiva, donde los costos futuros oscilan entre 87 y 92 EUR/MWh para las instalaciones híbridas costeras, según 3.2.3. Aunque las instalaciones híbridas de Uruguay podrían alcanzar teóricamente una capacidad máxima de producción de 928 TWh/a con unos costos estimados de 92 EUR/MWh, estas cifras siguen estando por debajo de los costos más bajos alcanzados por sus competidores, lo que supone un reto importante.

Además de enfrentarse a la competencia internacional, Uruguay debe abordar los retos logísticos relacionados con el transporte y el almacenamiento del hidrógeno y sus derivados. Las limitaciones existentes en la infraestructura de transporte, incluidos los ferrocarriles y los gasoductos, suponen un obstáculo importante. Aunque se están llevando a cabo mejoras en las instalaciones portuarias y los sistemas ferroviarios, se necesitan inversiones adicionales sustanciales, como los USD460 millones asignados al Puerto de Montevideo, para satisfacer los requisitos logísticos de las exportaciones de hidrógeno a gran escala. Concretamente, es necesario desarrollar la infraestructura de transporte de hidrógeno para que se adapte a los niveles de producción previstos de 32.563 GWh/año (o 977 kt/a) para 2040, lo que requerirá una logística eficiente para apoyar eficazmente los mercados de exportación.

Si bien DINAGUA indica que las necesidades adicionales de agua para la producción de hidrógeno se estiman en menos del 1% de la demanda total de agua, existe una gran preocupación por la creciente controversia sobre el uso de los recursos hídricos subterráneos para este fin. Uno de los proyectos propuestos que se mencionan en 3.3.1 tiene como objetivo extraer entre 500 y 700 m³/día (hasta 21.000 m³/mes) del Acuífero Guaraní, de importancia estratégica y limitada, para producir hidrógeno verde y metanol. Este plan ha suscitado dudas entre las organizaciones sociales, los científicos y los residentes, que abogan por la realización de estudios independientes para evaluar la sostenibilidad del uso del agua. Además, el proyecto ha sido criticado por la falta de participación de la comunidad. Algunos entrevistados advirtieron que la aceptación social podría convertirse en un obstáculo crítico: las encuestas ya muestran un bajo nivel de concientización en las comunidades locales, y los conflictos pasados en torno al uso del agua ilustran los riesgos que conlleva una participación que no sea transparente y participativa. Una encuesta realizada por la Universidad de la República reveló que la mayoría de la población local desconoce (45,2%) o solo conoce en parte (34,6%) la iniciativa, y solo el 20,2% tiene una comprensión clara del proyecto, que aún está siendo revisado por el Ministerio de Medio Ambiente (Díaz 2024) (Sede Tacuarembó *et al.* 2024).

Por lo tanto, es fundamental lograr la aceptación social generalizada de los proyectos de hidrógeno a gran escala. Será esencial abordar los posibles impactos ambientales, como el aumento del consumo de agua y los cambios en el uso del suelo, al tiempo que se garantiza una sólida participación de la comunidad y unos procesos de evaluación ambiental transparentes. Para mitigar la posible resistencia y fomentar un clima propicio para la inversión, es

importante establecer procedimientos normativos y de concesión de permisos claros, participativos y transparentes.

Análisis de las actividades actuales
y los actores relevantes según la
metodología: análisis FODA

4.7 Comparación de las actividades actuales con la priorización de actividades en el contexto PtX

4.7.1 Resultados de las entrevistas

Para comprender mejor los retos y oportunidades de la cadena de valor del hidrógeno verde y Power-to-X (PtX) en Uruguay, se pidió a las partes interesadas que completaran un cuestionario. El objetivo de este cuestionario era identificar posibles obstáculos en diversos aspectos de la cadena de valor, como la distancia entre los sitios de generación de energía renovable y las instalaciones de producción de hidrógeno verde. Los participantes abordaron cuestiones relacionadas con el transporte de gases como el CO₂, el desarrollo de infraestructuras de hidrógeno para productos derivados y las competencias necesarias para el PtX, incluida la disponibilidad de mano de obra calificada, instalaciones de formación a escala de laboratorio y experiencia en el campo. Además, la encuesta buscaba obtener información sobre las condiciones del marco político y normativo para el PtX en Uruguay.

Las partes interesadas calificaron la relevancia de cada pregunta en una escala del 1 (no relevante) al 5 (muy relevante), lo que permitió realizar una evaluación cuantitativa de estas preguntas. También se les pidió que proporcionaran información sobre sus actividades actuales dentro de la cadena de valor de la PtX y que compartieran sus perspectivas sobre el potencial de producción de hidrógeno verde y productos PtX en el país. Las respuestas se clasificaron en tres grupos (Figura 21): las consideradas más **relevantes** y prioritarias para Uruguay, con puntuaciones entre 80 y 95 puntos; **las de relevancia intermedia**, con puntuaciones entre 63 y 79 puntos; y las consideradas **no relevantes**, con puntuaciones entre 38 y 62 puntos. Esta clasificación facilitó la identificación de las áreas que requieren mayor atención y acción en el desarrollo del sector del hidrógeno en el país. Según los resultados, los encuestados identificaron varias áreas clave que deben revisarse en Uruguay:

Relevant (80-95 points)	Intermediate (63 - 79 points)	Not relevant (38 - 62 points)	Análisis de las actividades actuales y los actores relevantes según la metodología: análisis FODA
<ul style="list-style-type: none"> • In-Person and On-Site Capacity Building & Training Services • Business development support • Lack of comprehensive knowledge in PtX • Project development assistance • Collaborative R&D programs and infrastructure • Export infrastructure for PtX products at ports is missing 	<ul style="list-style-type: none"> • Assistance in developing policies, regulations, and certification schemes for green hydrogen production • High costs associated with CO2 purification from industrial off-gases and direct air capture • Shortage of skilled workforce in general • Transport and Logistics Issues 	<ul style="list-style-type: none"> • Political Support and Integration Challenges • High costs in seawater purification • Transport Challenges through pipeline transport of purified seawater is both difficult and expensive • Competing Water Needs: There is significant competition for water resources from drinking water, agriculture • Energy Demand Competition with residential and industrial sector 	

Figura 21. Priorización de actividades según las entrevistas.

4.7.2 Actividades priorizadas en función de los resultados

En este capítulo se priorizarán las actividades clave en Uruguay. Esta priorización se basa en las conclusiones del capítulo 4.7.1 y debe considerarse como medidas esenciales para mejorar el panorama de la I+D en el país y desarrollar el mercado PtX.

- i. **Desarrollo de capacidades:** El desarrollo de capacidades en Uruguay se enfrenta a retos estructurales, como la escasez de profesionales con experiencia en tecnologías de hidrógeno, el acceso limitado a equipos de formación especializados y la coordinación inadecuada entre el mundo académico y la industria. Sin inversión en educación técnica y planificación de la mano de obra, el sector del hidrógeno puede tener dificultades con la experiencia operativa y la ejecución de proyectos. El desarrollo del capital humano es esencial para el crecimiento sostenible del sector del hidrógeno verde. Esto también implica abordar las necesidades de mano de obra para apoyar el panorama de I+D y el futuro desarrollo del mercado PtX.
- ii. **Programas e infraestructura de I+D colaborativos:** La actividad investigadora sigue concentrada en un pequeño número de grupos académicos, con una participación limitada del sector privado. Centrándose en las siguientes prioridades, Uruguay puede construir un ecosistema de I+D más sólido y un conocimiento integral en PtX que apoye el crecimiento de esta industria:
 - a. Ampliación de la infraestructura de investigación y desarrollo (I+D): Establecer laboratorios especializados para la realización de pruebas con electrolizadores, la síntesis de combustibles sintéticos y la evaluación de la seguridad, con el fin de mejorar las capacidades de investigación.
 - b. Aumento de la participación del sector privado: Fomentar una mayor participación del sector privado en las actividades de I+D para diversificar los

conocimientos especializados y la inversión en tecnologías de hidrógeno y Power-to-X (PtX).

Análisis de las actividades actuales
y los actores relevantes según la
metodología: análisis FODA

- c. Creación de bancos de pruebas y demostradores: Desarrollar bancos de pruebas precomerciales o proyectos de demostración para la producción de PtX con el fin de validar los resultados de la investigación en condiciones relevantes para la industria.

- iii. **Apoyo al desarrollo empresarial, asistencia técnica para el desarrollo de proyectos y ayuda financiera:** Uruguay debería iniciar un estudio exhaustivo sobre la asignación de PtX con el objetivo de descarbonizar completamente la industria. Este estudio desarrollará varios escenarios y llevará a cabo un análisis sectorial exhaustivo, en el que se esbozarán las medidas necesarias para los próximos cinco años y más allá. Identificará los emplazamientos óptimos para la producción de hidrógeno y combustibles sintéticos, al tiempo que evaluará la disponibilidad de recursos a lo largo de los años, las consideraciones logísticas y las oportunidades de integración dentro de la infraestructura existente. Además, es fundamental dar prioridad a las iniciativas que ayuden a las empresas locales a identificar y aprovechar las oportunidades relacionadas con el PtX. Esto podría implicar la creación de nuevos mecanismos de financiación en los que participen los sectores público y privado, y la formación de asociaciones con empresas internacionales para explorar los posibles mercados de exportación del hidrógeno y sus derivados.
- iv. **Desarrollo de un marco regulatorio:** Uruguay aún no cuenta con una normativa específica para la producción, el transporte y el almacenamiento de hidrógeno. Tampoco existen normas técnicas o reglamentos específicos que regulen su uso en Uruguay. El establecimiento de un entorno regulatorio sólido y claro es fundamental para el crecimiento del sector del hidrógeno verde.
- v. **Desarrollo de un marco regulatorio ambiental y social (A&S) sólido:** El establecimiento de una normativa A&S sólida garantiza que los proyectos de hidrógeno verde se desarrollen de forma sostenible, minimizando el impacto ambiental y promoviendo los beneficios sociales. Esto es esencial para mantener el apoyo público y fomentar la viabilidad a largo plazo.
- vi. **Evaluar las deficiencias en la infraestructura de exportación de productos PtX en los puertos:** Para apoyar al sector del hidrógeno, Uruguay necesita desarrollar la infraestructura esencial para una gestión eficaz de la cadena de suministro. Se deben abordar las siguientes investigaciones y estudios:
 - a. Soluciones de almacenamiento para gestionar la oferta y la demanda de hidrógeno.
 - b. Estudio sobre la reintegración de las tuberías y redes de distribución para el suministro de hidrógeno
 - c. Mejoras necesarias en los puertos para gestionar las exportaciones e importaciones de hidrógeno.

4.8 Relevancia de los temas de investigación y desarrollo

4.8.1 Investigación sobre el CO₂

Para posicionar a Uruguay como productor líder de hidrógeno verde y PtX, es esencial tener en cuenta que el estudio de las tecnologías de CO₂ y todos los análisis tecnoeconómicos relacionados deben realizarse en paralelo para lograr el crecimiento del mercado PtX. La importancia de la investigación sobre el CO₂ en Uruguay radica en varias condiciones favorables que posee el país:

- Como se mencionó anteriormente, es atractivo para la producción de hidrógeno verde debido a que su matriz energética es casi 100% renovable.
- Existen sinergias en la industria local, donde Uruguay cuenta con una cantidad significativa de CO₂ proveniente de fábricas de pasta de celulosa y papel, producción de etanol y algunos proyectos de biogás, lo que le brinda la posibilidad de disponer de recursos de CO₂ biogénico de aproximadamente 9 Mt/a.
- Disponer de recursos de CO₂ biogénico lo convierte en un pionero y lo hace atractivo para la producción de combustibles sintéticos, lo que se traduce en menores costos; depender únicamente de la captura y almacenamiento de carbono (DAC) puede resultar demasiado caro inicialmente; la diversificación entre fuentes de CO₂ biogénicas e industriales podría ayudar a reducir los costos al tiempo que se amplía la escala.

Análisis de las actividades actuales
y los actores relevantes según la
metodología: análisis FODA

Los temas importantes para las tecnologías de CO₂ en esta hoja de ruta de I+D deben incluir:

Tabla 5. Áreas de investigación en CO₂. Recopilación propia, basada en (Pingping et al. 2024) , (PtX Hub y DECHEMA 2024) , (R. Detz et al. 2023) , (International PTX Hub 2022).

Tema	Actividad de I+D
Tecnologías de captura de CO₂	<p>Enfoque en proyectos piloto de DAC de bajo costo que aprovechan el excedente renovable de Uruguay (cuando hay sobreproducción eólica/solar)</p> <p>Explorar la captura de CO₂ en plantas de etanol, fábricas de pulpa de celulosa y papel y biogás como opciones escalables a corto plazo</p> <p>Sistemas híbridos de captura (por ejemplo, acoplando la captura industrial con DAC para equilibrar la variación estacional)</p>
Fuentes biogénicas y atmosféricas de CO₂	<p>Comparar los impactos del ciclo de vida de las corrientes de CO₂ biogénicas frente a las atmosféricas</p> <p>Dinámica estacional: la producción de pulpa y etanol varía según la estación; ¿cómo afecta eso al funcionamiento de las plantas de hidrógeno?</p>
Purificación y acondicionamiento del CO₂	<p>Estudiar las impurezas del CO₂ derivado del biogás y su efecto en los catalizadores PtX</p> <p>Desarrollar procesos de purificación de bajo consumo energético (fundamentales para mantener la competitividad de los combustibles electrónicos)</p>
Análisis tecnoeconómico	<p>Comparaciones de costos específicas de Uruguay entre DAC y captura biogénica: influencias en el LCOF (costo nivelado del combustible)</p>
Evaluaciones y políticas de sostenibilidad	<p>Influencia de los requisitos de sostenibilidad impuestos por la RED III (por ejemplo,</p>

	la elegibilidad del CO ₂) y otros marcos normativos y sistemas de certificación internacionales en el LCOF
	Aceptación pública de la DAC y las tuberías de CO ₂ : anticipar los aspectos sociales y normativos con antelación
Infraestructura y logística	Viabilidad de las redes regionales de transporte de CO ₂ desde los centros de producción de pulpa/etanol hasta las plantas costeras de combustibles electrónicos
	Potencial de los centros de transporte de CO ₂ (Montevideo, Nueva Palmira) como parte de la logística de exportación
Acoplamiento de fuentes de CO₂ con sistemas de hidrógeno y PtX	Optimización en tiempo real de los flujos de CO ₂ + H ₂ para plantas de combustible sintético
	Conceptos híbridos: equilibrio entre el CO ₂ de las fábricas de celulosa y la captura y almacenamiento de carbono (DAC) para un suministro constante

 Análisis de las actividades actuales y los actores relevantes según la metodología: análisis FODA

4.8.2 Investigación sobre productos de síntesis

Los productos Power-to-X (PtX), como el metanol, están ganando importancia en Uruguay, gracias a los abundantes recursos de energía renovable y a las corrientes de CO₂ biogénico accesibles. Dada la fuerte orientación exportadora del país, la investigación sobre la síntesis de metanol se convierte en una prioridad clave para garantizar la competitividad, la sostenibilidad y la alineación con las normas de certificación internacionales.

En este capítulo se describen las áreas de investigación más relevantes para avanzar en la síntesis de metanol en el contexto de la hoja de ruta del hidrógeno verde de Uruguay, que abarca desde la captura de CO₂ y la innovación catalítica hasta la integración de procesos, la optimización a nivel de sistemas y las tecnologías emergentes. El objetivo es destacar en qué ámbitos los esfuerzos de investigación pueden generar el mayor impacto para Uruguay, tanto en términos de creación de valor interno como de posicionamiento global.

Tabla 6. Áreas de investigación en metanol. Recopilación propia, basada en (Pakdel y Eslamloueyan 2024), (Guil-López et al. 2019), (Sipheihle Mbatha et al. 2024), (Ausfelder et al. 2023), (Sipheihle Mbatha et al. 2021)

Tema	Actividad de I+D
Tecnologías de captura y utilización de CO₂ (CCU)	Captura directa del aire (DAC) frente a fuentes puntuales de CO ₂ (por ejemplo, cementeras, acerías)
Innovación en catalizadores y procesos	Desarrollo de catalizadores de baja temperatura/baja presión (por ejemplo, basados en Cu/ZnO, In ₂ O ₃)
	Durabilidad y regeneración de catalizadores
	Monitorización <i>in situ</i> de catalizadores mediante espectroscopia

Análisis tecnoeconómico	Análisis tecnoeconómico de la purificación de CO ₂ para la síntesis de metanol
Integración del H₂ renovable con la síntesis de metanol	<p>Funcionamiento dinámico de las plantas PtX bajo la variabilidad renovable del mundo real</p> <p>Funcionamiento híbrido: acoplamiento del CO₂ de biomasa en estado estacionario con la electrólisis fluctuante</p>
Metanol: rutas descendentes para la exportación y la industria local	<p>SAF (metanol a queroseno): para la descarbonización del sector de la aviación y, además, para la exportación a los mercados internacionales de SAF</p> <p>MTO/MTA: para la industria química local</p> <p>Combustibles <i>drop-in</i>: para la descarbonización del sector naviero local</p>
	<p>Integración de procesos con las redes locales: la red de Uruguay es pequeña y tiene un alto porcentaje de energías renovables, por lo que la flexibilidad de PtX puede ayudar a equilibrar la estabilidad del sistema</p> <p>Almacenamiento y logística: infraestructura y estrategia para la exportación a través de los puertos (Montevideo, Nueva Palmira)</p>
Gestión del agua	Desarrollo de estrategias de gestión del agua para PtX en Uruguay, incluyendo el abastecimiento a partir de corrientes de agua no dulce, la purificación hasta alcanzar una calidad apta para la síntesis y el reciclaje en circuito cerrado para minimizar el uso de agua dulce

Análisis de las actividades actuales y los actores relevantes según la metodología: análisis FODA

Desarrollo de la hoja de ruta de I+D

5.1 Objetivo y finalidad de la hoja de ruta.

La hoja de ruta de I+D para Uruguay está diseñada para esbozar las fases esenciales necesarias para evaluar y mejorar las iniciativas de I+D del país, promoviendo los avances en proyectos de hidrógeno verde y PtX. Su objetivo es identificar y priorizar áreas de investigación que tengan en cuenta las características y necesidades únicas del país. Además, pretende esbozar otras actividades necesarias para establecer una industria sólida de hidrógeno y PtX en Uruguay. Esta hoja de ruta propuesta pretende ser un componente crucial de la estrategia nacional. Los resultados iniciales deben considerarse un paso fundamental para alinearse con la estrategia nacional, al tiempo que se reconocen las limitaciones de recursos y tiempo que implica su desarrollo. Las revisiones y actualizaciones periódicas de la hoja de ruta nacional son esenciales para incorporar nuevos avances, adaptarse a las circunstancias cambiantes e integrar los nuevos conocimientos. Esta mejora continua garantizará que la hoja de ruta siga siendo relevante y oriente eficazmente los esfuerzos del país en el sector del hidrógeno, alineándose con los objetivos nacionales más amplios y respondiendo al panorama energético en constante evolución.

5.2 Plan de implementación

5.2.1 Hoja de ruta

Basada en las actividades de priorización del capítulo 4.7, la hoja de ruta se divide en tres períodos distintos (Figura 22): la fase de acciones fundamentales e iniciales, de 2026 a 2028; la fase de ampliación y demostración, de 2029 a 2033, y la fase de integración y competitividad global, de 2034 a 2040. Cada fase especifica las acciones y los objetivos diseñados para cultivar un entorno de I+D que favorezca la industria del hidrógeno en Uruguay, mejorar las

capacidades de investigación y, en última instancia, posicionar al país como líder en tecnologías de hidrógeno verde y PtX.

Desarrollo de la hoja de ruta de I+D

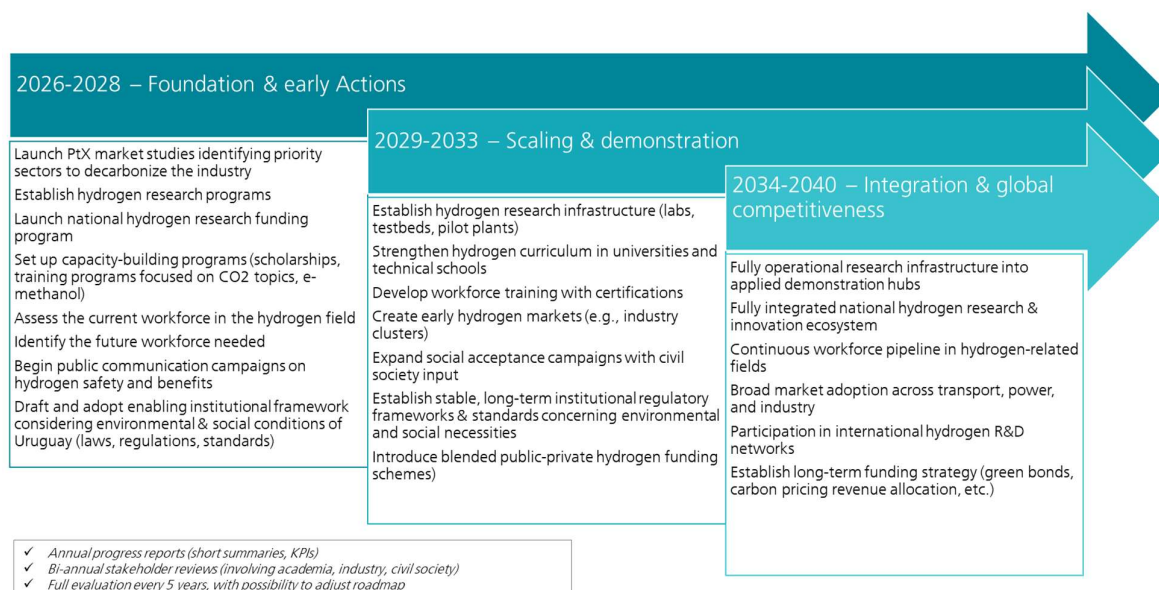


Figura 22. HyUruguay: desarrollo de una hoja de ruta de I+D para el hidrógeno verde en Uruguay. Ilustración propia.

5.2.2 Partes interesadas clave

El objetivo de este capítulo es identificar a las posibles partes interesadas responsables de implementar las actividades descritas en la hoja de ruta. La lista no es exhaustiva, sino que representa una parte del mapeo de partes interesadas realizado para este proyecto.

Además de estas partes interesadas identificadas, es importante tener en cuenta el papel de diversos grupos, como las comunidades locales, las instituciones educativas y los socios internacionales, que también pueden contribuir al éxito de la ejecución de las actividades de la hoja de ruta. La participación de una amplia gama de partes interesadas garantizará un enfoque integral y fomentará la colaboración entre diferentes sectores, lo que en última instancia mejorará la eficacia de la iniciativa.

2026-2028: Fundamentos y primeras medidas

Actividad	Parte interesada
Lanzamiento de estudios de mercado PtX	MIEM, MEF, OPP, Embajada de Alemania/AHK (enlace a estudios sobre la demanda de la industria alemana, por ejemplo, H2Global)
Establecimiento de programas de investigación sobre hidrógeno	ANII, CONICYT, MEC, UIH, ONUDI, Embajada de Alemania (conexiones con instituciones alemanas de I+D, Fraunhofer, universidades)
Programa nacional de financiación de la investigación sobre hidrógeno	MEF, ANII, OPP, Embajada de Alemania (cofinanciación bilateral de I+D)
Programas de desarrollo de capacidades (becas, temas relacionados con el CO ₂ , e-metanol)	MEC, CONICYT, ANII, IICA, Embajada de Alemania/AHK (becas DAAD, intercambio académico)

Evaluación de la mano de obra actual/futura	MEC, MVOT, MIEM, Uruguay XXI	Desarrollo de la hoja de ruta de I+D
Campañas de comunicación pública sobre seguridad/beneficios	MIEM, MEC, MRREE (divulgación nacional e internacional)	
Redactar un marco institucional habilitador (leyes, normas)	MIEM, URSEA, MEF, MRREE, LATU (normas), Embajada de Alemania (intercambio de conocimientos sobre la normativa alemana/de la UE)	

2029-2033: ampliación y demostración

Actividad	Partes interesadas
Infraestructura de hidrógeno (laboratorios, bancos de pruebas, proyectos piloto)	Universidades, por ejemplo, UdelaR/UTEC, ANII, MIEM, ONUDI, AHK, Embajada de Alemania/AHK (apoyo a la transferencia de tecnología)
Fortalecimiento del plan de estudios sobre hidrógeno (universidades, escuelas técnicas)	MEC, CONICYT, ANII, universidades, embajada alemana (vínculo con universidades técnicas alemanas, modelos de formación dual)
Desarrollar la formación de la mano de obra con certificaciones	MEC, LATU, ANII
Crear mercados tempranos de hidrógeno (clústeres industriales)	MIEM, MTOP, ANP, Uruguay XXI, MVOT, Embajada de Alemania (conectar compradores y empresas alemanas)
Ampliar las campañas de aceptación social	MIEM, MEC, sociedad civil, MRREE (la embajada puede facilitar plataformas de diálogo internacional)
Marcos institucionales y normas estables	MIEM, URSEA, MEF, MRREE, LATU (con el apoyo de Alemania/UE para la armonización)
Planes de financiación público-privados para el hidrógeno	MEF, MIEM, OPP, Uruguay XXI, Embajada de Alemania (facilitar la financiación del KfW, la UE y Alemania)

2030-2040: integración y competitividad global

Actividad	Partes interesadas
Infraestructura de investigación operativa	Universidades, por ejemplo, UdelaR / UTEC, ANII, LATU, MIEM, Embajada de Alemania/AHK (programas conjuntos de innovación)
Ecosistema integrado de I+D+i en hidrógeno	Universidades, por ejemplo, UdelaR / UTEC, ANII, CONICYT, UIH, MEC, Embajada de Alemania/AHK (colaboración bilateral a largo plazo en materia de investigación)
Suministro continuo de mano de obra	MEC, universidades, ANII, Embajada Alemana/AHK (programas de intercambio, doctorados conjuntos, formación técnica con cámaras alemanas)
Amplia adopción en el mercado en todos los sectores	MIEM, MTOP, ANP, MVOT, Uruguay XXI, Embajada de Alemania/AHK (asociaciones de exportación con la industria alemana)
Redes internacionales de I+D en hidrógeno	MRREE, MIEM, ANII, ONUDI

5.3 Seguimiento y evaluación

Un marco de seguimiento y evaluación (M&E) define cómo se medirán a lo largo del tiempo los avances, el rendimiento y el impacto de una hoja de ruta o un programa. Sirve como guía práctica para evaluar si se están alcanzando los hitos y si las acciones estratégicas están dando los resultados esperados. En el caso de las hojas de ruta nacionales sobre el hidrógeno, este marco es esencial para garantizar que las actividades sigan estando alineadas con los objetivos generales, al tiempo que proporciona a las partes interesadas pruebas para ajustar las estrategias cuando sea necesario. Al incorporar un marco de seguimiento y evaluación en la hoja de ruta del hidrógeno de Uruguay, las partes interesadas pueden supervisar sistemáticamente la implementación, reforzar la toma de decisiones y mejorar la eficacia general, lo que en última instancia aumenta las probabilidades de éxito a largo plazo (Fation Luli 2024).

Elementos fundamentales del marco de seguimiento y evaluación:

- Informes anuales de progreso (Product Masterclass 2024): Dirigidos por el MIEM, con contribuciones de la OPP y la ANII, para proporcionar resúmenes concisos de los logros y los retos.
- Revisiones semestrales de las partes interesadas (Hoferer 2025b), (Product Masterclass 2024): Coordinadas por el MIEM y la OPP, reúnen al mundo académico, la industria y la sociedad civil; con la participación de la Embajada de Alemania como observadora y socia.
- Evaluaciones quinquenales (Hoferer 2025b): Evaluaciones independientes, facilitadas por el MRREE para incorporar referencias internacionales, con comparaciones adicionales con los estándares alemanes/de la UE proporcionadas por la Embajada.
- Panel de indicadores clave de rendimiento (sistema de semáforo) (Trantor 2023): Gestionado por el MIEM, la OPP, la URSEA, la ANP, el MTOP y la ANII, ofrece un seguimiento en tiempo real de los indicadores clave, complementado con una evaluación comparativa con las normas alemanas y de la UE.

5.3.1 Proceso continuo de la hoja de ruta

Establecer un ciclo de revisión

Para garantizar la eficacia de la hoja de ruta de I+D para el hidrógeno verde, se deben realizar evaluaciones periódicas para valorar su pertinencia y su adecuación a los objetivos establecidos. Programar revisiones periódicas es esencial para mantener la adaptabilidad y aprovechar nuevas oportunidades en un entorno que cambia rápidamente. La participación de las principales partes interesadas en estas evaluaciones facilitará la obtención de información valiosa y garantizará que todas las partes sigan alineadas con los objetivos de la hoja de ruta. Además, los estudios continuos de asignación de PtX son cruciales para supervisar el panorama, lo que permite identificar posibles oportunidades y amenazas. Al integrar estas prácticas, la hoja de ruta puede evolucionar en respuesta a las tendencias y retos emergentes, impulsando en última instancia el desarrollo exitoso del sector del hidrógeno verde (Bastow 2025; Miro 2025).

Para evaluar eficazmente el éxito de la hoja de ruta de la estrategia nacional para el hidrógeno verde, es esencial establecer indicadores clave de rendimiento (KPI) y criterios de medición claros. Estas métricas permitirán realizar un seguimiento de los progresos, identificar las áreas de mejora y tomar decisiones basadas en datos (Trantor 2023). Además, es fundamental incorporar los comentarios de las partes interesadas, ya que sus opiniones influyen significativamente en los objetivos de la hoja de ruta. Priorizar estos objetivos basándose en la retroalimentación directa garantiza que la estrategia siga siendo relevante y esté alineada con las necesidades de las partes interesadas (Hoferer 2025a). Además, la hoja de ruta debe ser flexible y estar abierta a ajustes en respuesta a la dinámica cambiante del mercado del hidrógeno y a las experiencias de los desarrolladores de proyectos. Esta adaptabilidad permite que la hoja de ruta aborde retos imprevistos y aproveche nuevas oportunidades, lo que garantiza su eficacia y éxito a largo plazo (Trantor 2023).

5.3.2 Estrategias para garantizar la continuidad

En este capítulo se describen las estrategias clave que deben tenerse en cuenta a la hora de definir las medidas y actividades que facilitan la aplicación acelerada y continua de la hoja de ruta. Estas medidas promoverán el desarrollo general del mercado del hidrógeno mediante el establecimiento de nuevos programas de I+D, políticas, normas y reglamentos, así como abordando factores más intangibles, como la cooperación y la aceptación pública del hidrógeno verde (IRENA 2022). Se pueden encontrar más estrategias en la Figura 23:



Figura 23. Estrategias para garantizar la continuidad de una hoja de ruta, tal y como se menciona en (IRENA 2024).

5.3.3 Institucionalización de la hoja de ruta

El hidrógeno verde se encuentra todavía en una fase inicial en la mayoría de sus aplicaciones y requiere un sólido apoyo político para integrarse eficazmente en la transición energética. Este apoyo es fundamental para desarrollar la infraestructura necesaria, incentivar la investigación y la innovación, y garantizar que el marco regulatorio facilite la inversión y el despliegue. Mediante la aplicación de políticas de apoyo, los gobiernos pueden contribuir a crear un entorno favorable para el desarrollo de las tecnologías de hidrógeno verde, lo que contribuirá a los esfuerzos de descarbonización y al establecimiento de un sistema energético sostenible.

Para institucionalizar una hoja de ruta del hidrógeno verde en Uruguay, es esencial crear una estrategia integral que se alinee con los objetivos energéticos nacionales, establezca marcos políticos bien definidos y promueva la colaboración entre las partes interesadas, incluidos los organismos gubernamentales, los actores del sector privado, las instituciones académicas y las ONG. Este proceso implica establecer objetivos específicos, aplicar medidas de apoyo y garantizar la presencia de una infraestructura de I+D de alta calidad. Figura 24 presenta una lista de medidas que deben tenerse en cuenta para la institucionalización de una hoja de ruta (Interreg Europe 2024; Emanuele Bianco *et al.* 2022; FONA 2022).

Establish a coordinating body	Establish a dedicated entity such as an "Hydrogen Innovation Agency"
	Coordinate with different stakeholders and ensure alignment and efficient resource allocation
Develop a comprehensive policy framework	Integration of existing energy, industrial and environmental policies, which provide cohesion approach to hydrogen development
Secure Sustainable funding mechanisms	Implementation of diverse funding sources, including public R&D grants, private investments and international partnerships e.g., implementation of Carbon Contracts for Differences and tax incentives
Foster Public-Private Partnerships	Collaborations between government entities and private companies to leverage expertise and share risks in the development of the PtX market

*Figura 24. Acciones importantes para la institucionalización de una hoja de ruta del hidrógeno verde (Interreg Europe 2024; Emanuele Bianco *et al.* 2022; FONA 2022).*

5.4 Gestión de la aceptación en las instituciones de investigación

La implementación exitosa de la hoja de ruta de I+D del hidrógeno verde de Uruguay requiere la participación activa y el respaldo de la comunidad académica y de investigación nacional. Como pilar fundamental de la innovación, las instituciones de investigación no solo deben apoyar la dirección estratégica de la hoja de ruta, sino también participar activamente en su desarrollo, validación y evolución a largo plazo.

En Uruguay, la Universidad de la República (Udelar) y otras instituciones académicas, como UTEC, IIBCE, UCU y UM, han mostrado una implicación inicial en la investigación relacionada con el hidrógeno, centrándose en áreas como la electrólisis, los sistemas Power-to-X y la valorización del CO₂ (UTEC 2025a), (UTEC 2025b), (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2024c), (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2024d), (Agencia Nacional de Investigación e Innovación 2024). Sin embargo, para que estas instituciones se alineen de manera más eficaz con la estrategia nacional del hidrógeno, es esencial implementar iniciativas específicas destinadas a aumentar la concienciación interna, fomentar la colaboración entre las instituciones y promover un compromiso compartido con los objetivos descritos en la hoja de ruta del hidrógeno en diversas facultades y departamentos. Para gestionar y reforzar la aceptación dentro de las instituciones de investigación, se recomiendan las siguientes acciones:

- **Comunicación interna y alineación estratégica:** Los ministerios y organismos principales deben entablar un diálogo regular con las partes interesadas del ámbito académico para explicar los objetivos de la hoja de ruta, las contribuciones previstas y su relevancia estratégica para el desarrollo nacional. La apropiación de la hoja de ruta puede fomentarse mediante talleres, conferencias públicas y la integración en los procesos de planificación institucional (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2023a).
- **Oportunidades de reconocimiento y financiación:** Ofrecer planes de financiación específicos, mecanismos de reconocimiento y vías claras para el desarrollo de la carrera investigadora en tecnologías del hidrógeno puede aumentar la motivación institucional. Esto incluye convocatorias específicas de propuestas, becas posdoctorales e inversiones en infraestructura de laboratorio alineadas con las prioridades de la hoja de ruta (Agencia Nacional de Investigación e Innovación 2024), (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2023a), (ANII, 2022; LATU, 2023), (ANII *et al.* s.f.), (LATU 2022).
- **Colaboración interdisciplinaria e interinstitucional:** Fomentar la investigación colaborativa entre la ingeniería, las ciencias ambientales, la economía y las ciencias sociales, tanto dentro de las instituciones como entre ellas, puede mejorar la comprensión de todo el sistema y ampliar la aceptación. El establecimiento de consorcios o agrupaciones formales de investigación sobre el hidrógeno puede contribuir a este objetivo (Hydrogen TCP 2024), (IRENA 2024).
- **Desarrollo de capacidades y redes internacionales:** La aceptación se refuerza cuando los investigadores se incluyen en las redes mundiales de conocimiento sobre el hidrógeno. Los programas de intercambio, los proyectos conjuntos con Fraunhofer IEE y socios europeos, y la participación en plataformas internacionales de hidrógeno (por ejemplo, IPHE, Clean Hydrogen Partnership) ayudarán a las instituciones uruguayas a mantenerse a la vanguardia del conocimiento y a aumentar la legitimidad de las iniciativas de investigación nacionales (Unión Europea 2025), (IEA 2024), (IRENA 2023).
- **Consideraciones sobre la libertad y la autonomía académicas:** Gestionar la aceptación también requiere respetar la autonomía institucional y promover procesos de diseño conjunto. La hoja de ruta debe presentarse como un reto nacional compartido, en el que los investigadores no sean meros ejecutores, sino cocreadores activos del futuro del hidrógeno en Uruguay.

5.5 Participación y comunicación de las partes interesadas

La participación de las partes interesadas es un pilar fundamental para el desarrollo y la implementación efectivos de la hoja de ruta de I+D del hidrógeno verde de Uruguay. Dada la naturaleza intersectorial del hidrógeno, el éxito de los resultados depende no solo de la viabilidad técnica, sino también de la creación de confianza, transparencia y alineación entre los actores públicos, privados, académicos y de la sociedad civil.

Uruguay ha sentado las bases para una gobernanza participativa a través de su Programa H2U interinstitucional, que promueve el diálogo entre ministerios, organismos reguladores, instituciones de investigación e inversores estratégicos (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2023a). Sin embargo, las estrategias de participación más amplias deben garantizar que se consulte e informe a los diversos grupos de partes interesadas, como las comunidades locales, las organizaciones medioambientales, los sindicatos y los consumidores industriales, a lo largo de todo el ciclo de vida de la hoja de ruta.

Con ese fin, se recomiendan las siguientes estrategias de participación y comunicación:

- **Plataformas/organizaciones estructuradas con múltiples partes interesadas:** Deben establecerse mecanismos formales de diálogo con las partes interesadas a nivel nacional y regional. Estas plataformas pueden adoptar la forma de consejos consultivos, grupos de trabajo técnicos o mesas redondas periódicas en las que participen promotores de proyectos, el mundo académico, los municipios, las organizaciones sociales y las cámaras sectoriales (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2023a).
- **Canales de comunicación transparentes:** Se debe garantizar el acceso público a la información sobre el avance de los proyectos, las evaluaciones ambientales y los cambios normativos a través de portales de datos abiertos, audiencias públicas y herramientas de difusión multilingües, especialmente en regiones donde los proyectos pueden afectar a comunidades vulnerables (IRENA 2024), (Ministerio de Industria, Energía y Minería 2023a), (IRENA 2023).
- **Planificación participativa y diseño conjunto:** La implementación de la hoja de ruta debe integrar herramientas participativas, como consultas comunitarias, talleres de elaboración de escenarios y ejercicios de mapeo de las partes interesadas, especialmente para proyectos con implicaciones territoriales (IMPO 2008). Las experiencias de otros países demuestran que los procesos de diseño conjunto reducen la oposición y aceleran los plazos de los proyectos (IRENA 2024), (IRENA 2023).
- **Desarrollo de capacidades para la participación de la sociedad civil:** A fin de garantizar una participación informada, se deben desarrollar campañas de formación y sensibilización adaptadas a las partes interesadas no expertas, en particular en ámbitos como los impactos ambientales, el uso del agua, la seguridad del hidrógeno y las oportunidades de empleo (IRENA 2024), (IRENA 2023).
- **Mensajes estratégicos y percepción pública:** La comunicación pública debe destacar el potencial del hidrógeno verde como motor del desarrollo inclusivo y sostenible, haciendo hincapié en los beneficios nacionales (diversificación económica, creación de empleo, capacidad de exportación) y en las garantías medioambientales (acción climática, protección de la biodiversidad). Los mensajes deben adaptarse a los diferentes públicos (urbano frente a rural, técnico frente a e o público en general) y plataformas mediáticas (Unión Europea 2025), (IRENA 2024), (AIE 2024).

La sólida credibilidad institucional de Uruguay y su experiencia en la planificación energética participativa (por ejemplo, en proyectos eólicos y de biomasa) proporcionan una base sólida para una estrategia de hidrógeno transparente e inclusiva. Será esencial mantener un compromiso y una comunicación constantes para construir una legitimidad a largo plazo, evitar conflictos sociales y garantizar que la transición energética sea equitativa y democrática.

5.6 Mejores prácticas y estudios de casos

5.6.1 Ejemplos de éxito de otros países o sectores

Estrategia de la UE para el hidrógeno

La estrategia de la UE tiene por objeto ofrecer una perspectiva global de la cadena de valor del hidrógeno mediante el establecimiento de un sistema de gobernanza y un marco político de apoyo que facilite el despliegue del hidrógeno. Los responsables políticos de la UE aspiran

a posicionar a la industria europea como líder mundial tanto en tecnología de hidrógeno verde como en industria pesada sin emisiones de carbono. En consecuencia, la estrategia destaca el hidrógeno verde como la única forma de hidrógeno compatible con un sistema de emisiones netas cero. Los aspectos e instrumentos clave más importantes a los que se hace referencia en la estrategia de la UE sobre el hidrógeno se ilustran en la Figura 25 (IRENA 2021).

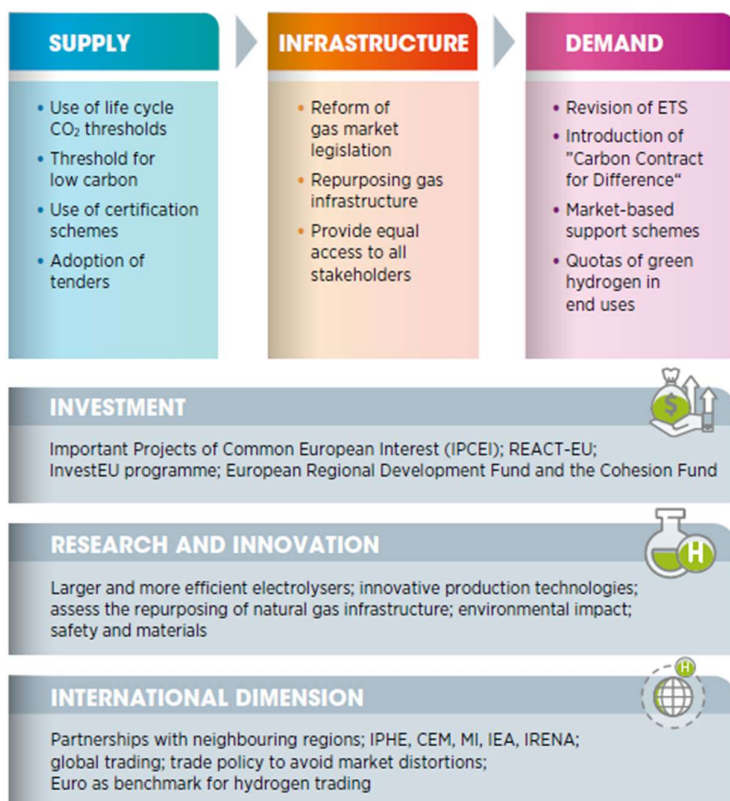


Figura 25. Aspectos clave e instrumentos presentados en la estrategia de hidrógeno de la UE (IRENA 2021).

Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023-2030 en Chile

El Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023-2030 del Gobierno de Chile describe una estrategia integral para posicionar a Chile como líder mundial en la producción y exportación de hidrógeno verde. El plan abarca medidas específicas en áreas estratégicas, con el objetivo de desarrollar un mercado sostenible de hidrógeno verde y PtX. Algunas de las acciones y estrategias clave que dieron forma al plan se encuentran en la Figura 26 (IRENA 2024), (Gobierno de Chile 2024):

Strategic planning

- Action Plan Development (2022-2023) was developed through participatory process with industries representatives and civil society organizations

Stakeholder engagement

- Measures such as citizen participation were considered for the development of the action plan. The government launched a dedicated website to facilitate public involvement
- An Strategic Advisory Council and a Strategic Advisory Committee were established to provide expert guidance

Regulatory adjustments

- Government proposed the Framework Law on Sectoral Authorizations aiming to reduce permit approval times by 30% and establish a unified permit information system
- The Chilean Environmental Impact Assessment Service introduced uniform criteria for assessing the environmental impact of green hydrogen projects
- There are also plans to develop a sustainability certification system aligned with international standards

Financial Instruments and Incentives

- H2V Facility: government established a financial facility with USD 1 Billion through CORFO to support private investment
- Tax incentives: government proposed tax reforms which include reducing the income tax rate for companies developing decarbonization technologies and enhancing tax credits for R&D activities

Infrastructure Development and Regional Focus

- Strategies such as allocation of state-owned lands and enhance of infrastructure of ports and energy transmission systems are considered
- Integration of electrolyser equipment into technical-professional high schools was considered

Figura 26. Aspectos clave y medidas presentadas en el Plan de Acción para el Hidrógeno Verde en Chile (Gobierno de Chile 2024).

Conclusión y recomendaciones

6.1 Resumen de las principales conclusiones basadas en el análisis

El análisis indica que Uruguay posee una combinación única de abundantes recursos naturales y estabilidad institucional; sin embargo, se enfrenta a importantes retos en áreas como las infraestructuras, el desarrollo de la mano de obra y la aceptación social. Esta dualidad desempeña un papel fundamental en la configuración del potencial del país para convertirse en un importante centro de tecnologías de hidrógeno verde y Power-to-X (PtX) en América Latina.

Aunque Uruguay se ha fijado objetivos ambiciosos para el desarrollo del mercado, su progreso real ha sido más lento de lo necesario para alcanzar dichos objetivos. Esta brecha plantea importantes interrogantes sobre las barreras específicas que impiden el crecimiento de la industria del hidrógeno y PtX. Es necesario identificar y abordar los retos normativos, de investigación y desarrollo, y económicos para facilitar el progreso.

Un panorama sólido de I+D es esencial para el crecimiento de los sectores del hidrógeno y PtX, ya que fomenta la innovación, impulsa los avances tecnológicos y mejora la competitividad general de la industria. Dado el lento ritmo de desarrollo del mercado, esta hoja de ruta identifica áreas clave para el avance de la industria del hidrógeno verde y PtX en Uruguay, entre las que se incluyen:

- Investigación y desarrollo: El fortalecimiento de los esfuerzos de I+D para explorar nuevas tecnologías y temas relacionados con el hidrógeno mejorará la eficiencia y la rentabilidad de los proyectos PtX.
- Desarrollo de capacidades: La inversión en educación y formación es fundamental para dotar a la mano de obra de las habilidades necesarias para destacar en una industria en constante evolución.
- Apoyo al desarrollo del mercado PtX: Es esencial realizar estudios de mercado PtX para desarrollar escenarios de descarbonización, incluyendo un análisis detallado de los recursos y la infraestructura.
- Desarrollo empresarial: Fomentar el espíritu emprendedor y apoyar la creación de nuevas empresas en los sectores del hidrógeno y PtX será vital para estimular la actividad económica y fomentar la innovación.
- Asistencia técnica: Ofrecer orientación y recursos a las empresas, incluidas las mejores prácticas para la implementación de tecnología y la gestión de proyectos, mejorará las capacidades operativas y garantizará la ejecución satisfactoria de los proyectos.
- Marcos normativos y mecanismos de financiación: El establecimiento de marcos normativos y mecanismos financieros favorables facilitará la entrada en el mercado, atraerá inversiones y promoverá el crecimiento sostenible.

El fortalecimiento de las asociaciones internacionales también podría desempeñar un papel fundamental a la hora de facilitar el intercambio de conocimientos y recursos, acelerando así el desarrollo del mercado. Además, una perspectiva a largo plazo es crucial para atraer inversiones y permitir un crecimiento sostenible, lo que requiere el establecimiento de marcos normativos claros y estables. Es fundamental involucrar a las comunidades locales y abordar

las consideraciones medioambientales en los procesos de planificación, ya que factores como el uso del agua, la disponibilidad de suelo y la licencia social influyen significativamente en la viabilidad de los proyectos.

6.2 Recomendaciones

Esta hoja de ruta también ofrece recomendaciones prácticas y medidas específicas para fortalecer la investigación y el desarrollo en los sectores del hidrógeno verde y PtX de Uruguay, abordando el contexto y las necesidades particulares del país.

Recomendación 1: Infraestructura y programas de investigación

Centro de investigación especializado: Evaluar la viabilidad de un centro de investigación especializado en PtX en ubicaciones estratégicas como Montevideo o las regiones costeras, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

Aspecto	Consideraciones
Ubicación estratégica	- Proximidad a industrias marítimas y puertos.
	- Acceso a fuentes de energía renovables (por ejemplo, eólica, solar).
Oportunidades de colaboración	- Colaboración con universidades e instituciones de investigación locales.
	- Fomentar las asociaciones con empresas marítimas para proyectos conjuntos.
Financiación y recursos	- Explorar las subvenciones gubernamentales y las oportunidades de financiación internacional.
	- Evaluar la inversión potencial del sector privado.
Necesidades de infraestructura	- Evaluar las instalaciones y la infraestructura existentes para la investigación.
	- Considerar la disponibilidad de laboratorios y centros de pruebas.

Apoyo específico a temas de I+D:

Para apoyar eficazmente los programas de I+D, es esencial identificar las áreas prioritarias clave en las que deben centrarse el gobierno y las instituciones. Esto debería incluir el respaldo a iniciativas de investigación destinadas a la utilización del CO₂ y la producción de combustibles sintéticos. Al proporcionar financiación, recursos e incentivos en estas áreas, Uruguay puede estimular la innovación y mejorar su posición dentro del sector de la investigación PtX.

Recomendación 2: Desarrollo de capacidades

Programas de formación a medida

Para hacer frente a la creciente demanda en el sector PtX (Power-to-X), se deben desarrollar programas de formación a medida. Estos programas deben proporcionar las habilidades específicas que se requieren en esta industria. Es esencial involucrar a las universidades y escuelas técnicas locales para garantizar que la formación sea práctica y relevante. Mediante

una estrecha colaboración con las instituciones educativas, podemos garantizar que los futuros profesionales estén bien preparados para las demandas del mercado.

Colaboración global

Además, es fundamental asociarse con redes internacionales de investigación. El intercambio de conocimientos y tecnologías en la producción de hidrógeno en alta mar y combustibles sintéticos puede aportar métodos avanzados e innovaciones a Uruguay. Esta colaboración global no solo impulsará la investigación, sino que también mejorará la competitividad de la industria uruguaya en el ámbito internacional.

Concienciación de la comunidad

Para fomentar la aceptación y la comprensión de las tecnologías del hidrógeno en la comunidad, se deben lanzar campañas de sensibilización. Estas campañas pueden destacar la seguridad, los beneficios y las oportunidades económicas asociadas a las tecnologías del hidrógeno. Al sensibilizar a las comunidades locales, creamos una comprensión de las posibilidades que ofrece el sector PtX y animamos a más personas a participar en este desarrollo con visión de futuro.

Recomendación 3: Mano de obra y educación

Evaluación de la mano de obra

Para cumplir eficazmente los objetivos de Uruguay en materia de hidrógeno, es esencial realizar una evaluación exhaustiva de la mano de obra actual. Esta evaluación debe identificar el número de profesionales cualificados que se necesitan en los distintos sectores implicados en la producción y utilización del hidrógeno. Al comprender las carencias de competencias existentes, podemos planificar mejor iniciativas de contratación y formación específicas que se ajusten a las estrategias nacionales en materia de hidrógeno.

Estrategia educativa integrada

Una estrategia educativa integrada es clave para desarrollar una mano de obra calificada para el sector PtX. Este enfoque debe combinar la formación profesional, los programas universitarios y las asociaciones industriales para crear un marco educativo integral. Al alinear la oferta educativa con las necesidades de la industria, podemos garantizar que los estudiantes reciban una educación completa que les dote de las habilidades y los conocimientos necesarios para prosperar en la economía del hidrógeno.

Evaluación continua

Para mantenerse a la vanguardia en una industria en rápida evolución, es fundamental revisar y actualizar periódicamente los programas de formación. La evaluación continua ayudará a garantizar que estos programas sigan siendo pertinentes y respondan eficazmente a los cambios tecnológicos y a los requisitos de la industria. Al fomentar una cultura de adaptabilidad y capacidad de respuesta en la educación, podemos preparar mejor a la mano de obra para los retos y oportunidades futuros del sector del hidrógeno.

Recomendación 4: Desarrollo del mercado y descarbonización de la industria

Estudio de asignación de PtX

Para facilitar eficazmente el crecimiento del mercado PtX y el desarrollo empresarial a gran escala en Uruguay, es esencial realizar un estudio detallado de asignación de PtX. El estudio de asignación se centraría en identificar la distribución óptima de los recursos, los sectores industriales prioritarios, las prioridades de inversión y las necesidades de infraestructura en las fases clave del desarrollo, incluyendo:

- Estudios de mercado y estudios de viabilidad: evaluar los posibles emplazamientos, los recursos para la producción de hidrógeno y las industrias objetivo para los sectores prioritarios para la descarbonización.
- Proyectos piloto para la producción de hidrógeno: determinar los proyectos piloto más eficaces que se pueden implementar en función de la asignación de recursos.
- Desarrollo de infraestructuras: identificación de los requisitos de infraestructura y las ubicaciones potenciales para el desarrollo.
- Producción y distribución a escala comercial: asignación de recursos para ampliar la producción y establecer redes de distribución.
- Integración total en el mercado y oportunidades de exportación: evaluar los pasos necesarios para la integración en el mercado más amplio y explorar las posibilidades de exportación.

Perspectivas del mercado local

La colaboración con universidades y centros de investigación es fundamental para obtener información sobre el panorama económico de Uruguay y el potencial de las tecnologías PtX. Mediante la realización de estudios que examinen los recursos locales, las condiciones del mercado y las necesidades de diversas industrias, las partes interesadas pueden desarrollar estrategias que se adapten a las características únicas de Uruguay. Este enfoque basado en datos garantizará que la trayectoria de crecimiento del mercado PtX se ajuste a los objetivos nacionales y maximice las oportunidades económicas.

Recomendación 5: Aceptación social y comunicación

Se recomienda desarrollar un plan nacional de comunicación y participación ciudadana en torno al hidrógeno verde. Este plan debe incluir consultas públicas, campañas de sensibilización y mecanismos transparentes sobre los impactos ambientales y sociales. La aceptación de la comunidad será un factor crítico para hacer posibles los proyectos a gran escala.

Recomendación 6: Marco institucional estable

Es esencial que la hoja de ruta cuente con el respaldo de un marco institucional estable capaz de trascender los ciclos gubernamentales. La creación de un organismo interinstitucional permanente o una ley nacional sobre el hidrógeno proporcionaría previsibilidad y seguridad jurídica a los inversores.

Recomendación 7: Estrategia de financiación

Se recomienda diseñar una estrategia de financiación que combine instrumentos nacionales e internacionales, incluidos bonos verdes soberanos, fondos multilaterales y mecanismos de financiación combinada. Estas herramientas pueden acelerar la movilización de capital privado y reducir los riesgos asociados a las inversiones iniciales en hidrógeno verde.

7.1 Resultados de las entrevistas

Descripción de la actividad	Putuación
Servicios de capacitación y formación presenciales/in situ	95
Apoyo para identificar oportunidades de negocio relacionadas con PtX	93
Servicios de desarrollo de capacidades en línea	87
Falta de conocimientos holísticos en el ámbito de PtX	86
Servicios de información, como análisis del mercado PtX	86
Apoyo en el desarrollo de proyectos PtX (identificación de emplazamientos, análisis tecnoeconómico, entre otros)	84
Falta infraestructura de exportación para productos PtX en los puertos	83
Falta de perspectiva a largo plazo debido a las condiciones normativas internacionales cambiantes.	83
Falta de instalaciones de formación a escala piloto y a escala de laboratorio.	82
Servicios de intermediación para las industrias nacionales y las asociaciones internacionales de I+D.	82
Falta de claridad en cuanto a la certificación y las garantías de origen.	77
La purificación de CO ₂ a partir de gases residuales industriales y la captura de CO ₂ del aire son costosas.	73-72
Escasez de mano de obra cualificada en general.	74
Normativa internacional poco clara sobre la exportación de hidrógeno, amoníaco y metanol.	70
El transporte de gases y productos licuados (H ₂ , CO ₂ , N ₂ , NH ₃ , metanol) es difícil/costoso.	68
Las tarifas reguladas para las energías renovables y los impuestos sobre el consumo de electricidad reducen la competitividad económica de la producción de hidrógeno verde.	68
La integración de tecnologías individuales en una cadena de valor de síntesis PtX es difícil.	63
Las leyes y normativas nacionales constituyen una barrera.	55
El apoyo político al desarrollo de PtX es insuficiente.	53
Los altos costos de la purificación de agua de mar a gran escala.	48
El transporte por tuberías del agua de mar purificada es difícil/costoso.	46
Competencia por los recursos hídricos (agua potable, agricultura, uso industrial)	46
Distancia entre los centros de generación de energía renovable y los grandes núcleos industriales.	46
Competencia de la generación con la demanda energética residencial y otras demandas industriales.	38
Escasez de agua en las regiones con mayor potencial de energía solar.	38

- **Establecimiento de regulaciones específicas para la producción de hidrógeno:** Desarrollar regulaciones específicas adaptadas a la producción de hidrógeno, en particular para los nuevos proyectos de hidrógeno verde, con el fin de crear un marco normativo claro que vaya más allá de las regulaciones industriales y energéticas generales.
- **Creación de normas técnicas:** Desarrollar normativas y normas técnicas específicas para el hidrógeno, incluidas normas de calidad y directrices para la mezcla de hidrógeno en gasoductos de gas natural. Esto será esencial para los próximos proyectos piloto.
- **Desarrollo de normativas detalladas:** Es necesario establecer normativas exhaustivas para la construcción y el funcionamiento de la infraestructura de transporte de hidrógeno, concretamente para las tuberías, que incluyan directrices sobre materiales, presión y distancias de seguridad.
- **Normativa para las exportaciones marítimas:** Uruguay debería centrarse en crear una normativa nacional específica para gestionar la exportación de hidrógeno, amoníaco y metanol, ya que la normativa actual se encuentra aún en una fase inicial de desarrollo.
- **Integración de las normativas existentes:** Aunque el transporte de hidrógeno por carretera se rige actualmente por las normativas existentes para mercancías peligrosas, es importante garantizar que estas normativas se integren y actualicen de manera eficaz para adaptarse al transporte de hidrógeno.
- **Aplicación de marcos eficaces:** Si bien los marcos existentes para otros gases, como el gas natural comprimido (GNC), pueden servir de analogía, es fundamental aplicar estos marcos de manera eficaz para el hidrógeno.
- **Integración de normas internacionales:** Aplicar normas internacionales para la producción y el uso del hidrógeno a mayor escala a fin de garantizar que se sigan las mejores prácticas al elaborar la normativa local.
- **Desarrollo de una certificación de garantía de origen:** Crear un sistema de certificación para el hidrógeno verde, ampliando potencialmente el sistema de certificados de electricidad renovable (SCER) de Uruguay para incluir el hidrógeno renovable.
- **Desarrollo de un marco regulatorio ambiental y social (E&S) sólido:** El establecimiento de regulaciones E&S sólidas garantiza que los proyectos de hidrógeno verde se desarrollen de manera sostenible, minimizando los impactos ambientales y promoviendo los beneficios sociales. Esto es esencial para mantener el apoyo público y fomentar la viabilidad a largo plazo.

Bibliografía de la publicación

Administración de Ferrocarriles de Estado: AFE AVANZA EN PROYECTO DE TREN DE PASAJEROS BINACIONAL ENTRE SALTO GRANDE Y CONCORDIA. Disponible en línea en <https://www.afe.com.uy/afe-avanza-en-proyecto-de-tren-de-pasajeros-binacional-entre-salto-grande-y-concordia/>, consultado el 26/10/2025.

Administración Nacional de Puertos (2024a): Memoria Anual 2023. Montevideo, Uruguay. Disponible en línea en https://anp.com.uy/sites/default/files/archivos/parrafo-colapsable/2024-05/MEMORIA%20ANUAL%202023_web_c.pdf, consultado el 26/10/2025.

Administración Nacional de Puertos (2024b): Puerto de Nueva Palmira. ANP. Disponible en línea en <https://anp.com.uy/en/home/ports/commercial/port-nueva-palmira>.

Administración Nacional de Puertos (2025): Puerto de Salto. Disponible en línea en <https://anp.com.uy/en/home/ports/commercial/port-salto>, consultado el 26/10/2025.

Agencia Nacional de Investigación e Innovación (2024): PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN HIDRÓGENO VERDE. Disponible en línea en <https://www.anii.org.uy/apoyos/investigacion/390/proyectos-de-investigacion-en-hidrogeno-verde/>, consultado el 27/10/2025.

AHK Uruguay (2024): Desarrollo Sostenible en Proyectos de Hidrógeno y sus Derivados. Disponible en línea en <https://www.ahkacademy.uy/slides/desarrollo-sostenible-en-proyectos-de-hidrogeno-y-sus-derivados-20>, consultado el 24/10/2025.

Ámbito (2023): El Puerto de Montevideo movilizó más de 1 M de contenedores en 2022. Disponible en línea en <https://www.ambito.com/uruguay/el-puerto-montevideo-movilizo-mas-1-m-contenedores-2022-n5693008>.

ANCAP (2023): MEMORIA 2023. Disponible en línea en <https://www.ancap.com.uy/innova-portal/file/19370/1/11-memoria-2023.pdf>, consultado el 2/6/2025.

Andrea Janics (2008): Auslegung und Inbetriebnahme einer Versuchsanlage zur Methanisierung von Synthesegas aus der Kohlevergasung. Diplomarbeit. Technische Universität Graz, Graz. Wärmetechnik. Disponible en línea en <https://diglib.tugraz.at/download.php?id=576a8da792a93&location=browse>, consultado el 16/11/2022.

ANII (2023): Uruguay da importante paso hacia el desarrollo del hidrógeno verde con la concreción del primer proyecto piloto. Disponible en línea en <https://www.anii.org.uy/noticias/288/uruguay-da-importante-paso-hacia-el-desarrollo-del-hidrogeno-verde-con-la-concrecion-del-primer-proyecto-piloto/>, consultado el 24/10/2025.

ANII; LATU; MIEM; H2 Uruguay (s. f.): FONDO SECTORIAL DE HIDRÓGENO VERDE. CONVOCATORIA A PROYECTOS DE HIDRÓGENO VERDE. Disponible en línea en <https://www.anii.org.uy/upcms/files/llamados/documentos/bases-fondo-sectorial-hidrogeno-verde-vf-08042022.pdf>, consultado el 27/10/2025.

Ausfelder, Florian; Blaumeiser, Dominik; Boumrifak, Chokri; Frank, Daniel; Kotzur, Maximilian; Lucht Uribe, Andrés; Track, Thomas (2023): Water-for-X. Water for sustainable hydrogen production and follow-up PtX processes. Disponible en línea en https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/2023+Water_for_X+Roadmap-p-20010034.pdf.

Balance Energético Nacional Uruguay (2024): Balance Energético 2023. Disponible en línea en <https://ben.miem.gub.uy/descargas/1balance/1-1-Libro-BEN2023.pdf>, consultado el 26/5/2025.

Bastow, Janna (2025): Product Roadmap Best Practices - 11 Do's & Don't to Instantly Improve Your Roadmap. In *ProdPad*, 2025. Disponible en línea en <https://www.prodpad.com/blog/product-roadmap-best-practice-things-to-avoid/>, consultado el 3/6/2025.

BID Invest (2022): Uruguay – Resumen del proyecto de APP Ferrocarril

bnamericas (2016): Uruguay busca socio para terminal de GNL. Disponible en línea en <https://www.bnamericas.com/en/news/uruguay-seeks-Ing-terminal-partner#:~:text=%22Due%20to%20its%20location%20and,com.uy%20for%20more%20information.&text=Gas%20Sayago%20extendió%20el%20plazo,industrias%20jurídica%2C%20financiera%20y%20de%20seguros.,> consultado el 26/10/2025.

Brener, Tatiana Scherz (2024): Estudio minimiza el impacto del uso de agua en la producción de hidrógeno verde en Uruguay. En *EL PAIS*, 24/4/2024. Disponible en línea en <https://www.elpais.com.uy/sostenible/estudio-minimiza-el-impacto-del-uso-de-agua-en-la-produccion-de-hidrogeno-verde-en-uruguay>, consultado el 26/5/2025.

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2024): Importstrategie für Wasserstoff und Wasserstoffderivate. Berlín. Disponible en línea en https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/importstrategie-wasserstoff.pdf?__blob=publication-file&v=18, consultado el 2/12/2024.

CAF (2023a): La CAF ayuda a expandir el mercado del hidrógeno verde en Uruguay. La CAF firmó un acuerdo de cooperación técnica no reembolsable con la UTE para expandir el mercado del hidrógeno verde en Uruguay. CAF Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe. Disponible en línea en <https://www.caf.com/en/currently/news/caf-helps-expand-green-hydrogen-market-in-uruguay/>, consultado el 26/10/2025.

CAF (2023b): CAF ayuda a expandir el mercado del hidrógeno verde en Uruguay. En *CAF*, 23/10/2023. Disponible en línea en <https://www.caf.com/en/currently/news/caf-helps-expand-green-hydrogen-market-in-uruguay/>, consultado el 27/05/2025.

CERES (2021): La Cuenca de la Laguna Merín como Polo de Desarrollo. Disponible en línea en https://ceres.uy/admin/uploads/slides/archivo_1668794921.pdf, consultado el 26/10/2025.

CLM (2023): La Paloma Hub: primer puerto latinoamericano diseñado para el almacenamiento y la exportación de hidrógeno verde, amoníaco y combustibles sintéticos. Editado por C. Uruguay.L.M. Sitio web corporativo. Disponible en línea en <https://clmulti.com/en/la-paloma-hub/>, consultado el 26/10/2025.

Diario Cambio (2022): Proyecto de producción de metanol se extendería por distintos departamentos del país. En *Diario Cambio Salto*, 13/11/2022. Disponible en línea en <https://diariocambio.com.uy/2022/11/13/proyecto-de-produccion-de-metanol-se-extendiera-por-distintos-departamentos-del-pais/>, consultado el 27/05/2025.

Díaz, Pamela (2024): El 80 % de los posibles afectados por la planta de hidrógeno verde en Tacuarembó no conoce o sabe poco del proyecto. La Universidad de la República concluyó que la población que vive en la zona de influencia de la iniciativa «no tiene información sobre sus implicaciones y no ha tenido instancias de participación ‘efectiva y real’». Disponible en línea en <https://www.elpais.com.uy/informacion/sociedad/el-80-de-posibles-afectados-por-planta-de-hidrogeno-verde-en-tacuaremb-o-conoce-poco-el-proyecto>, consultado el 26/10/2025.

Djunisic, Sladjana (2023): Uruguay y el puerto de Róterdam firman un memorando de entendimiento sobre hidrógeno verde. Renewables Now. Disponible en línea en <https://renewablesnow.com/news/uruguay-port-of-rotterdam-ink-green-hydrogen-mou-822885/>, consultado el 24/10/2025.

EEAS (2025): Proyectos de la UE con Uruguay. Disponible en línea en https://www.eeas.europa.eu/uruguay/eu-projects-uruguay_en, actualizado el 27/5/2025, consultado el 27/5/2025.

Anexo

El País (2023): El potencial de Uruguay para producir fertilizantes verdes. En *EL PAÍS*, 3/7/2023. Disponible en línea en <https://www.elpais.com.uy/economia-y-mercado/el-potencial-de-uruguay-para-producir-fertilizantes-verdes>, consultado el 27/5/2025.

Emanuele Bianco; Manuel Albaladejo; Smeeta Fokeer; Nele Wenck; Petra Schwager (2022): Industrial and innovation policy can speed up the Green Hydrogen transition | Industrial Analytics Platform. Disponible en línea en <https://iap.unido.org/articles/industrial-and-innovation-policy-can-speed-green-hydrogen-transition>, actualizado el 3/6/2025, consultado el 3/6/2025.

Fundación Enel (2019): Informe inicial. Despliegue de fuentes de energía renovables variables (VRES) y papel de las líneas de interconexión para su explotación óptima: el caso de Argentina, Brasil y Uruguay. Disponible en línea en https://www.enelfoundation.org/content/dam/enel-foundation/topics/2019/05/vres-and-grid-interconnection-in-south-america--argentina%2C-brazil-and-uruguay/Inception_report_Cluster_2.pdf, consultado el 26/5/2025.

ENERTRAG (2025): Tambor: E-metanol a partir de hidrógeno verde. Disponible en línea en <https://enertrag.com/projects-show-cases/hydrogen-projects/tambor-e-methanol-from-green-hydrogen>, actualizado el 2/6/2025, consultado el 2/6/2025.

Estratégica, Energía (2023): Uruguay avanza en el primer Proyecto de Hidrógeno Verde desarrollado por las empresas CIR y SACEEM. En *Energía Estratégica*, 8/6/2023. Disponible en línea en <https://www.energiaestrategica.com/uruguay-avanza-en-el-primer-proyecto-de-hidrogeno-verde-desarrollado-por-las-empresas-cir-y-saceem/#>, consultado el 3/6/2025.

Unión Europea (2025): EUROCLIMA: Construyendo una transición verde y justa con América Latina y el Caribe. Disponible en línea en https://capacity4dev.europa.eu/projects/euro-clima_en, consultado el 27/10/2025.

Fation Luli (2024): Desmitificando el marco de seguimiento y evaluación: una guía para una evaluación eficaz. Disponible en línea en <https://www.evalcommunity.com/career-center/me-framework/>, actualizado el 16/3/2025, consultado el 3/6/2025.

Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (2024): Climate and energy partnerships and energy dialogues. Disponible en línea en <https://www.giz.de/de/downloads/bmwk2024-en-climate-and-energy-partnerships-and-energy-dialogues.pdf>, consultado el 24/10/2025.

Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (2023): German-Uruguayan Energy Partnership. Available online at <https://climateandenergypartnerships.org/partner/german-uruguayan-energy-partnership>, checked on 10/26/2025.

FONA, Investigación para la sostenibilidad (2022): Acción 2: Establecimiento del hidrógeno verde en Alemania. Disponible en línea en <https://www.fona.de/en/fona-strategy/actions/action-2.php>, actualizado el 3/6/2025, consultado el 3/6/2025.

Freight Amigo: Entender el TEU: la unidad estándar para medir la capacidad de los contenedores de transporte. Disponible en línea en <https://www.freightamigo.com/blog/understanding-teu-the-standard-unit-for-measuring-shipping-container-capacity>.

Gallardo, Felipe Ignacio; Monforti Ferrario, Andrea; Lamagna, Mario; Bocci, Enrico; Astiaso García, Davide; Baeza-Jeria, Tomás E. (2017): Análisis técnico-económico de la producción de hidrógeno solar mediante electrólisis en el norte de Chile y el caso de la exportación desde el desierto de Atacama a Japón (26). Disponible en línea en

<https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/2023-08/Hidr%C3%B3geno%20Verde%20Producci%C3%B3n%20y%20Usos%202023%29.pdf>, consultado el 3 de junio de 2025.

Anexo

GH2: Uruguay - Portal del país GH2 - Uruguay. Organización. Disponible en línea en <https://gh2.org/countries/uruguay>, consultado el 26/10/2025.

GHIC (2025): GH Import. Disponible en línea en <https://isa-ghic.org/gh-import>, actualizado el 27/5/2025, consultado el 27/5/2025.

GIZ (2024): Asociación Climática y Energética Uruguay-Alemania. Disponible en línea en <https://www.giz.de/en/worldwide/201028.html>, actualizado en octubre de 2024, consultado el 27/05/2025.

Global Construction Review (2021): Empresa belga invertirá 455 millones de dólares para crear «el puerto más moderno de Sudamérica». Disponible en línea en <https://www.global-constructionreview.com/belgian-company-spend-455m-create-south-americas-m/>, consultado el 31/10/2025.

Global Energy Monitor Wiki (2025a): Gasoducto Southern Cross. Disponible en línea en https://www.gem.wiki/Southern_Cross_Gas_Pipeline, consultado el 26/10/2025.

Global Energy Monitor Wiki (2025b): GNL Del Plata FSRU. Disponible en línea en https://www.gem.wiki/GNL_Del_Plata_FSRU, consultado el 26/10/2025.

Gobierno de Chile (2024): Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023-2030. Disponible en línea en https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/green-hydrogen_action-plan.pdf, consultado el 24/10/2025.

Gobierno de los Países Bajos (2025): Declaración conjunta de Uruguay y los Países Bajos sobre la colaboración en el ámbito de la importación y exportación de hidrógeno verde. Disponible en línea en <https://www.government.nl/documents/diplomatic-statements/2021/11/10/joint-statement-of-uruguay-and-the-netherlands-on-collaboration-in-the-field-of-green-hydrogen-import-and-export>, actualizado el 27/05/2025, consultado el 27/05/2025.

Guil-López, R.; Mota, N.; Llorente, J.; Millán, E.; Pawelec, B.; Fierro, J. L.G.; Navarro, R. M. (2019): Methanol Synthesis from CO₂: A Review of the Latest Developments in Heterogeneous Catalysis. Disponible en línea en <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6926878/>.

Hoferer, Sophia (2025a): Product Roadmap Creation: The 4 Essential Steps, 3/31/2025. Disponible en línea en <https://www.itonics-innovation.com/blog/steps-to-create-your-product-roadmap>, consultado el 3/6/2025.

Hoferer, Sophia (2025b): Creación de una hoja de ruta de productos: los 4 pasos esenciales. Disponible en línea en <https://www.itonics-innovation.com/blog/steps-to-create-your-product-roadmap#typical-structure-and-key-elements-of-a-product-roadmap>, consultado el 25/10/2025.

Hydrogen TCP (2024): COLABORACIÓN GLOBAL PARA LA INVESTIGACIÓN Y LA INNOVACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE HIDRÓGENO. América Latina. Disponible en línea en https://www.ieahydrogen.org/wp-content/uploads/2024/10/Workshop_H2_collaboration_2024_IEA-Hydrogen-TCP.pdf, consultado el 27/10/2025.

HydrogenCentral (2025): Se espera que China sea el mayor importador mundial de hidrógeno limpio, según Deloitte, que insta al mundo a aumentar la capacidad de producción para 2050_FuelCellChina, el principal centro de información de la industria del hidrógeno y las pilas de combustible en todo el mundo. Disponible en línea en https://www.fuelcell-china.com/Industry_information_details/932.html, actualizado el 27/05/2025, consultado el 27/05/2025.

AIE (2024): Global Hydrogen Review 2024. AIE. Disponible en línea en <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024>, consultado el 24/10/2025.

- IMPO (1978): Código de Aguas N° 14859. Disponible en línea en <https://www.impo.com.uy/bases/codigo-aguas/14859-1978>, consultado el 26/10/2025.
- IMPO (2000): Ley N° 17283 - LEY DE PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE. Disponible en línea en <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/17283-2000>, consultado el 26/10/2025.
- IMPO (2005): Decreto N.º 349/005: Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental y Autorizaciones Ambientales. Disponible en línea en <https://www.impo.com.uy/bases/decretos-originales/349-2005>, consultado el 26/10/2025.
- IMPO (2008): Ley N° 18308 - LEY DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Disponible en línea en <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/18308-2008>, consultado el 26/10/2025.
- IMPO (2009): Ley N° 18610. LEY DE POLÍTICA NACIONAL DE AGUAS. PRINCIPIOS RECTORES. Disponible en línea en <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/18610-2009>, consultado el 26/10/2025.
- IMPO (2011): Ley N° 18786 - LEY DE PARTICIPACIÓN PÚBLICO PRIVADA. Disponible en línea en <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/18786-2011>, consultado el 26/10/2025.
- IMPO (2020): Ley N° 19889 - APROBACIÓN DE LA LEY DE URGENTE CONSIDERACIÓN. LUC. LEY DE URGENCIA. Disponible en línea en <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/19889-2020>, consultado el 26/10/2025.
- IMPO (2022): En Uruguay existe una ley que garantiza la protección del medio ambiente. Ley N° 17.283 del 28 de noviembre de 2000 – Ley General de Medio Ambiente. Disponible en línea en <https://www.impo.com.uy/medioambiente/>, consultado el 26/10/2025.
- IMPO (2024): Decreto N° 351/024 - REGLAMENTACIÓN DEL ART. 5 DE LA LEY 17.033, AUTORIZANDO A ANCAP EL USO DE LAS ÁREAS OFFSHORE, EN LA ZONA CONTIGUA Y ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA DE LA REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY, EN LA DEFINICIÓN DE ÁREAS VIABLES PARA LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO VERDE Y/O DERIVADOS. Disponible en línea en <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/351-2024>, consultado el 26/10/2025.
- INALOG; Uruguay XXI (2016): Informe del Sector Logístico en Uruguay: Oportunidades de Inversión. Montevideo, Uruguay. (pp. 15–17, 21–22.).
- INEFOP: El sector portuario en Uruguay. Disponible en línea en https://www.inefop.org.uy/docs/Sector_portuario.pdf, consultado el 31/10/2025.
- InfoNegocios (2023): Alesteando el sueño del hub portuario: inversión de US\$ 1.600 millones para convertir a La Paloma en un polo logístico internacional. Disponible en línea en <https://infonegocios.biz/nota-principal/alesteando-el-sueno-del-hub-portuario-inversion-de-us-1-600-millones-para-convertir-a-la-paloma>, consultado el 26/10/2025.
- Instituto Nacional de Logística (2016): INFRAESTRUCTURA PORTUARIA. INALOG. Disponible en línea en [https://www.inalog.org.uy/es/infraestructura-puertos-libres/#:~:text=Est%C3%A1%20ubicado%20en%20la%20ciudad,Terminales%20Graneleras%20Uruguayas%20\(TGU\).&text=El%20Puerto%20de%20Nueva%20Pal-mira%20cuenta%20con%20dos%20importantes%20ventajas,Li-bre%20o%20de%20Zona%20Franca.&text=Argentina%2C%20Bolivia%2C%20Bra-sil%2C%20Paraguay,%2C%20cereales%2C%20fertilizantes%20y%20combustibles](https://www.inalog.org.uy/es/infraestructura-puertos-libres/#:~:text=Est%C3%A1%20ubicado%20en%20la%20ciudad,Terminales%20Graneleras%20Uruguayas%20(TGU).&text=El%20Puerto%20de%20Nueva%20Pal-mira%20cuenta%20con%20dos%20importantes%20ventajas,Li-bre%20o%20de%20Zona%20Franca.&text=Argentina%2C%20Bolivia%2C%20Bra-sil%2C%20Paraguay,%2C%20cereales%2C%20fertilizantes%20y%20combustibles).
- Banco Interamericano de Desarrollo (2019): Cooperación Técnica UR-T1328: Apoyo al ecosistema de hidrógeno verde de Uruguay. BID. Disponible en línea en <https://www.iadb.org/en/project/UR-T1223>, consultado el 26/10/2025.
- Banco Internacional de Desarrollo (2023): Hacia la segunda transición energética sostenible de Uruguay mediante la electrificación eficiente y el hidrógeno verde. Disponible en línea en <https://www.iadb.org/en/project/UR-T1286>, consultado el 24/10/2025.

International Energy Agency (2021): Global Hydrogen Review 2021. Disponible en línea en <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>.

Anexo

International PTX Hub (2022): Dimensiones y preocupaciones de la sostenibilidad de PtX. Berlín. Disponible en línea en <https://ptx-hub.org/wp-content/uploads/2022/05/PtX-Hub-PtX.Sustainability-Dimensions-and-Concerns-Scoping-Paper.pdf>, consultado el 23/5/2023.

International Trade Administration (2021): Proyecto de hidrógeno verde en alta mar de Uruguay. susan.lusi@trade.gov. Disponible en línea en <https://www.trade.gov/market-intelligence/uruguay-offshore-green-hydrogen-project>, actualizado el 2/6/2025, consultado el 3/6/2025.

Interreg Europe (2024): Colaboración público-privada para desarrollar un amplio ecosistema de hidrógeno verde y una hoja de ruta en Mallorca. Disponible en línea en <https://www.interregeurope.eu/good-practices/public-private-collaboration-to-develop-a-broad-green-hydrogen-ecosystem-and-roadmap-in-mallorca-0>, actualizado el 3/6/2025, consultado el 3/6/2025.

IRENA (2021): MAKING THE BREAKTHROUGH. Políticas de hidrógeno verde y costes tecnológicos. Disponible en línea en ISBN 978-92-9260-314-4, consultado el 24/10/2025.

IRENA (2022): Hoja de ruta de medidas habilitadoras para el hidrógeno verde. Disponible en línea en https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Collaborative-Frameworks/IRENA_Enabling_Measures_Roadmap_for_Green_H2_Jan22.pdf, consultado el 3 de junio de 2025.

IRENA (2023): HIDRÓGENO VERDE PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL SOSTENIBLE. UN CONJUNTO DE HERRAMIENTAS POLÍTICAS PARA LOS PAÍSES EN DESARROLLO. Disponible en línea en https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Feb/IRENA_UNIDO_IDOS_Green_hydrogen_industrial_development_2024.pdf, consultado el 27/10/2025.

IRENA (2024): Estrategia de hidrógeno verde. Una guía para el diseño. Disponible en línea en https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Jul/IRENA_Green_hydrogen_strategy_design_2024.pdf, consultado el 24/10/2025.

Isabella Ankerson (2024): Uruguay's first green hydrogen plant gets funds for forestry project, 2024. Disponible en línea en <https://latinlawyer.com/article/uruguays-first-green-hydrogen-plant-gets-funds-forestry-project-0>, consultado el 27/5/2025.

Fondo Conjunto para los ODS (2023): Financiación innovadora para soluciones de tecnología limpia en Uruguay, 2023. Disponible en línea en <https://www.jointsdgfund.org/article/innovative-finance-clean-tech-solutions-uruguay>, consultado el 27/05/2025.

Katoen Natie (2021): Katoen Natie invertirá aproximadamente 455 millones de dólares estadounidenses en la ampliación de la terminal de contenedores (TCP) de Montevideo. Disponible en línea en <https://www.katoennatie.com/news/katoen-natie-will-invest-approximately-455-million-usd-expansion-container-terminal-tcp-montevideo/>.

LATU (2022): Lanzamiento del Fondo Sectorial de Hidrógeno Verde. Disponible en línea en <https://www.latu.org.uy/noticias/lanzamiento-del-fondo-sectorial-de-hidrogeno-verde>, consultado el 24/10/2025.

Lucinda Elliott (2023): Uruguay planea invertir 4000 millones de dólares en una planta de hidrógeno verde. En *Reuters Media*, 9/6/2023. Disponible en línea en <https://www.reuters.com/article/business/environment/uruguay-plans-4-billion-green-hydrogen-facility-investment-idUSKBN2XU1P3/>, consultado el 27/5/2025.

Mapeko (2022): EL AGUA EN URUGUAY. En *Mapeko*, 8/2/2022. Disponible en línea en <https://mapeko.org/recursos/agua-uruguay/>, consultado el 5/26/2025.

Ministerio de Ambiente (2021): 03_Datos Hidrológicos. Disponible en línea en https://www.ambiente.gub.uy/informacion_hidrica/download/Web%20Cat%C3%A1logo%20de%20Estaciones%202021/03_Datos%20Hidrol%C3%B3gicos.pdf, consultado el 26/5/2025.

Ministerio de Ambiente (2025): Regiones hidrográficas. Disponible en línea en <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/politicas-y-gestion/regiones-hidrograficas-1>, actualizado el 26/5/2025, consultado el 26/5/2025.

Ministerio de Industria, Energía y Minería (2021): Uruguay delinea una estrategia para exportar y crear un mercado local de hidrógeno verde. Disponible en línea en <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/comunicacion/noticias/uruguay-delinea-estrategia-para-exportar-crear-mercado-local-hidrogeno-verde>, actualizado el 27/5/2025, consultado el 27/5/2025.

Ministerio de Industria, Energía y Minería (2022): Programa H2U. Disponible en línea en <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/politicas-y-gestion/h2u-program>, actualizado el 3/6/2025, consultado el 3/6/2025.

Ministerio de Industria, Energía y Minería (2023a): Hoja de ruta del hidrógeno verde y derivados en Uruguay. Disponible en línea en https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/noticias/Hoja%20de%20ruta%20H2%20Uruguay_final.pdf, consultado el 26/5/2025.

Ministerio de Industria, Energía y Minería (2023b): Hoja de ruta del hidrógeno verde y derivados en Uruguay. Disponible en línea en https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/noticias/H2_final-ingl%C3%A9s2020.pdf#:~:text=develop%20the%20first%20pilot%20projects,and%20innovation%20in%20this%20area,checked%20on%205/26/2025.

Ministerio de Industria, Energía y Minería (2024a): Hidrógeno y derivados Fondo sectorial del hidrógeno verde. Disponible en línea en <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/comunicacion/publicaciones/fondo-sectorial-del-hidrogeno-verde>, actualizado el 26/5/2025, consultado el 26/5/2025.

Ministerio de Industria, Energía y Minería (2024b): Hidrógeno y derivados Regulación. Disponible en línea en <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/politicas-y-gestion/regulacion>, actualizado el 26/5/2025, consultado el 26/5/2025.

Ministerio de Industria, Energía y Minería (2024c): Academia e investigación. Iniciativas existentes que vinculan la academia y la investigación con el desarrollo del hidrógeno y derivados. MIEM. Disponible en línea en <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/politicas-y-gestion/academia-investigacion>, consultado el 24/10/2025.

Ministerio de Industria, Energía y Minería (2024d): I Jornada Académica en Hidrógeno Verde en Uruguay. Disponible en línea en <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/comunicacion/noticias/i-jornada-academica-hidrogeno-verde-uruguay>, consultado el 27/10/2025.

Ministerio de Industria, Energía y Minería; H2U (2024): Transición energética en Uruguay, consultado el 24/10/2025.

Ministerio de Medio Ambiente (2023): Plan de Gestión Integrada del Sistema Acuífero Guaraní (PGISAG). Disponible en línea en <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/comunicacion/publicaciones/plan-gestion-integrada-del-sistema-acuifero-guarani-pgisag>, consultado el 27/10/2025.

Ministerio de Medio Ambiente (2025): ÁREA EVALUACIÓN AMBIENTAL - División Licencias Ambientales. Ref.: Belasay S.A., Planta de producción de e-Metanol a partir de hidrógeno verde – Proyecto Tambor - Tacuarembó. Disponible en línea en

<https://www.ambiente.gub.uy/oan/wp-content/uploads/2025/03/9.-Informe-observacion-SAAP-presentada.pdf>, consultado el 27/10/2025.

Anexo

Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2020): PROYECTO «FERROCARRIL CENTRAL». Informes. Disponible en línea en <https://www.gub.uy/ministerio-transporte-obras-publicas/comunicacion/publicaciones/proyecto-ferrocarril-central>, consultado el 26/10/2025.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2024): DECLARACIÓN DE LA RED FERROVIARIA. Año 2024. Editado por la Dirección Nacional de Transporte Ferroviario (pág. 5). Disponible en línea en <https://www.gub.uy/ministerio-transporte-obras-publicas/sites/ministerio-transporte-obras-publicas/files/documentos/publicaciones/Declaraci%C3%B3n%20de%20Red%202024.pdf>, consultado el 26/10/2025.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) y Administración de Ferrocarriles del Estado: Declaración de Red Ferroviaria Nacional (p. 20, Tabla 3). Disponible en línea en <https://www.gub.uy/ministerio-transporte-obras-publicas/sites/ministerio-transporte-obras-publicas/files/documentos/publicaciones/Declaraci%C3%B3n%20de%20red%202020%20%281%29.pdf>, checked on 10/26/2025.

Ministerio de Asuntos Económicos y Política Climática de los Países Bajos (2024): Análisis de conformidad RFNBO de productos fabricados a partir de hidrógeno renovable y diferentes fuentes de CO₂ en Uruguay y Chile con la Directiva de Energías Renovables de la UE. Informe final. HINICIO. Disponible en línea en <https://hinicio.com/publications/>, consultado el 23/10/2025.

Miro (2025): Pasos clave para crear una hoja de ruta ágil: una guía completa. Disponible en línea en <https://miro.com/agile/agile-roadmap/>, actualizado el 3/6/2025, consultado el 3/6/2025.

Portal de Montevideo (2025): Uruguay impulsa las finanzas sostenibles y trabaja en nuevos bonos verdes y azules. El país presentó en la ONU sus avances en bonos climáticos, biodiversidad y cooperación Sur-Sur. Disponible en línea en <https://www.montevideo.com.uy/Noticias/Uruguay-impulsa-finanzas-sostenibles-y-trabaja-en-nuevos-bonos-verdes-y-azules-uc937717>, consultado el 24/10/2025.

OCDE/AIE (2003): El gasatreverse a explotar la riqueza. Disponible en línea en <https://archive.org/details/southamericangas0000unse/page/60/mode/2up>, consultado el 26/10/2025.

Offshore Energy (2013): GDF SUEZ construirá una terminal de GNL en Uruguay. Disponible en línea en <https://www.offshore-energy.biz/gdf-suez-to-build-uruguay-lng-terminal/>, consultado el 26/10/2025.

Pakdel, Ali; Eslamloueyan, Reza (2024): Evaluación tecnoeconómica y de sostenibilidad de los procesos de conversión de energía en metanol: perspectiva actual y futura. Disponible en línea en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024158914>, consultado el 27/10/2025.

Parks, Ken (2023): Uruguay busca inversores para un puerto en la costa atlántica por valor de 1600 millones de dólares. Bloomberg a través de EnergiesNet. Disponible en línea en <https://energiesnet.com/uruguay-developer-courts-energy-firms-for-1-6-billion-atlantic-coast-port-bloomberg/>, consultado el 26/10/2025.

Pfennig, Maximilian; Bonin, Michael von; Gerhardt, Norman; :unav (2020): PtX-ATLAS: Potencial mundial para la producción de hidrógeno verde y combustibles sintéticos climáticamente neutros.

Pingping, Wang; Robinson, Ada Josefina; Papadokonstantakis, Stavros (2024): Evaluación prospectiva tecnoeconómica y del ciclo de vida: una revisión de las tecnologías establecidas y emergentes de captura, almacenamiento y utilización de carbono (CCS/CCU). *Frontiers*.

Disponible en línea en <https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/fenrg.2024.1412770/full>, consultado el 27/10/2025.

Anexo

Portal Educativo: Acuífero Guaraní. Disponible en línea en <http://www.ose.com.uy/portal-educativo/acuiferos>, consultado el 26/05/2025.

Product Masterclass (2024): Dominar la hoja de ruta del producto: consejos y técnicas esenciales. Disponible en línea en <https://www.product-masterclass.com/blog/product-road-map#:~:text=Regularly%20revisiting%20and%20refining%20the,stay%20ahead%20in%20the%20market>, consultado el 27/10/2025.

PtX Hub; DECHEMA (2024): Carbono para Power-to-X: fuentes de CO₂ adecuadas e integración en las cadenas de valor PtX. Disponible en línea en <https://ptx-hub.org/publication/carbon-for-power-to-x-suitable-co2-sources-and-integration-in-ptx-value-chains>, consultado el 31/10/2025.

Qassim, Ali (2025): Los planes de hidrógeno verde de Uruguay suscitan preocupaciones ecológicas en Argentina y en el propio país. Editado por Mongabay. Disponible en línea en <https://news.mongabay.com/2025/09/uruguays-green-hydrogen-plans-raise-ecological-concerns-in-argentina-at-home/>, consultado el 27/10/2025.

Railway Gazette International (2025): Infraestructura Uruguay establece un plan quinquenal de inversión ferroviaria. Disponible en línea en <https://www.railwaygazette.com/infrastructure/uruguay-sets-out-five-year-rail-investment-plan/69751.article>, consultado el 26/10/2025.

REN21 (2024): Colección de informes sobre la situación mundial de las energías renovables en 2024. SISTEMAS ENERGÉTICOS E INFRAESTRUCTURAS. Disponible en línea en https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr2024_SYSTEMS_module.pdf, consultado el 26/5/2025.

Ros, Luiz (2024): El compromiso de Uruguay con la acción climática: una historia de éxito, 4/12/2024. Disponible en línea en <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/en/uruguays-commitment-to-climate-action-a-story-of-success/>, consultado el 27/5/2025.

Sede Tacuarembó; CENUR Noreste; Unesco; Universidad de la República Uruguay (2024): Resumen ejecutivo: Encuesta «Hidrógeno verde y Proyecto Tambor, percepción e información de los habitantes de la zona de influencia». Disponible en línea en <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/2024-11/Anexo%205.pdf>, consultado el 26/10/2025.

Sieler, Roman Eric; Cames, Lisa; Schuster, Bianca; Borghardt, Sören; La Trobe, Benjamin (2021): Hoja informativa sobre el hidrógeno: Japón. Editado por PtX Hub. Adelphi, consultado el 24/10/2025.

Siphesihle Mbatha; Raymond C. Everson; Nicholas M. Musyoka; Henrietta W. Langmi; Andrea Lanzini; Wim Brilman (2021): Proceso de conversión de electricidad en metanol: revisión de la electrólisis, los catalizadores de metanol, la cinética, los diseños y modelos de reactores, la integración de procesos, la optimización y la tecnoeconomía. Editado por Sustainable Energy Fuels. Disponible en línea en <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2021/se/d1se00635e>.

Siphesihle Mbatha; Xiaoti Cui; Payam G. Panah; Sebastien Thomas; Ksenia Parkhomenko; Anne-Cecile Roger et al. (2024): Evaluación comparativa de las configuraciones del proceso de conversión de electricidad en metanol

Trantor (2023): Cómo crear una hoja de ruta de productos: 6 elementos esenciales. Disponible en línea en <https://www.trantorinc.com/blog/how-to-create-a-product-roadmap/>, actualizado el 19/12/2023, consultado el 3/6/2025.

ONUDI (2021): El Fondo Conjunto para los ODS aprueba un mecanismo financiero innovador para apoyar la transición energética de Uruguay. ONUDI. Disponible en línea en

<https://www.unido.org/news/innovative-finance-mechanism-support-uruguays-energy-transition-approved-joint-sdg-fund>, consultado el 24/10/2025.

Anexo

Universidad Católica del Uruguay (2024): Factores habilitantes para el desarrollo del hidrógeno verde en Uruguay. Infraestructura, recurso hídrico y marco normativo. Disponible en línea en https://sitio.ccu.com.uy/wp-content/uploads/2024/06/Factores-habilitantes-para-el-desarrollo-del-hidrogeno-en-UY_20240307-1.pdf, consultado el 26/05/2025.

Universidad de la República Uruguay (2025a): Centro de Innovación en Ingeniería (CII): Proyectos de Innovación. Facultad de Ingeniería - Universidad de la República Uruguay. Disponible en línea en <https://www.fing.edu.uy/es/noticias/area-de-comunicacion/centro-de-innovacion-en-ingenieria-cii-proyectos-de-innovacion>, consultado el 27/10/2025.

Universidad de la República Uruguay (2025b): Facultad de Ingeniería. Disponible en línea en <https://www.fing.edu.uy/>, consultado el 27/10/2025.

Universidad de la República Uruguay (2025c): Hidrógeno: vector energético del presente y futuro | Facultad de Ingeniería. Disponible en línea en <https://www.fing.edu.uy/index.php/es/node/45642>, actualizado el 6/3/2025, consultado el 31/10/2025.

Universidad de la República Uruguay (2025d): Hidrógeno como fuente de energía: tecnologías para su producción y uso. Disponible en línea en <https://www.fq.edu.uy/?q=es/node/1334>, actualizado el 3/6/2025, consultado el 3/6/2025.

Universidad de Montevideo: Centro de Innovación en Organización Industrial. Universidad de Montevideo (UM). Disponible en línea en <https://www.um.edu.uy/cinoi>, consultado el 27/10/2025.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA (2025): Ingeniería de Energías Renovables :: UTEC. Disponible en línea en <https://utec.edu.uy/en/education/undergraduate-study/renewable-energies-engineering/>, actualizado el 3 de junio de 2025, consultado el 3 de junio de 2025.

Uruguay XXI (2024): Uruguay toma protagonismo en el hidrógeno verde en la Cumbre Mundial del Hidrógeno 2024. Disponible en línea en <https://www.uruguayxxi.gub.uy/en/news/article/uruguay-takes-center-stage-in-green-hydrogen-at-world-hydrogen-summit-2024/>, consultado el 24/10/2025.

Uruguay XXI (2025): Hidrógeno verde. Uruguay, líderenergía

UTEC (2025a): Unidad de Tecnología de Energías Renovables. Acerca de la unidad. Disponible en línea en <https://utec.edu.uy/en/research/technology-unit/renewable-energies-technology-unit>, consultado el 27/10/2025.

UTEC (2025b): Grupo de Investigación e Innovación en Hidrógeno Verde y Electromovilidad. Disponible en línea en <https://utec.edu.uy/en/research/research-group/research-and-innovation-group-in-green-hydrogen-and-electromobility>, consultado el 27/10/2025.

Veritrade (2025): IMPORTACIONES 281410: amoníaco anhidro. URUGUAY. Disponible en línea en <https://www.veritrade.com/es/Uruguay/importaciones-y-exportaciones/amoniac-anhidro/281410>, actualizado el 27/05/2025, consultado el 27/05/2025.

Veroslavsky; Gerardo; Manganelli, Alberto; Carrión, Roberto (2024): HIDROGENO VERDE: ENERGIA RENOVABLE y AGUA. Facultad de Ciencias de la Universidad de la República. Disponible en línea en <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/2024-11/Anexo%206.pdf>, consultado el 27/10/2025.

Vukasovic, Verónica; Messina, Diego (2024a): Análisis de la disponibilidad de CO2 para la producción de derivados de H2V en Uruguay. Editado por PtX Hub. GIZ, consultado el 23/10/2025.

Vukasovic, Verónica; Messina, Diego (2024b): ANÁLISIS DE LAS NECESIDADES REGULATORIAS PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO VERDE Y

DERIVADOS EN URUGUAY. International PtX Hub (Messina, Diego). Disponible en línea en <https://h2lac.org/wp-content/uploads/2024/03/Proyectos-h2v-y-derivados-UY.pdf#:~:text=2,generalmente%20basados>, consultado el 26/5/2025.

Anexo

Banco Mundial: Uruguay. Opciones de política para mejorar la eficiencia del sector ferroviario de Uruguay. Número de informe: 41884 -UY. Disponible en línea en <https://documents1.worldbank.org/curated/en/675371468317093156/pdf/418840ENGLISH01eport1English1Final.pdf>, consultado el 26/10/2025.

Foro Económico Mundial (2024): Acelerar la economía del hidrógeno limpio en América Latina. Disponible en línea en https://www3.weforum.org/docs/WEF_Accelerating_the_Clean_Hydrogen_Economy_in_Latin_America_2024.pdf, consultado el 3/6/2025..