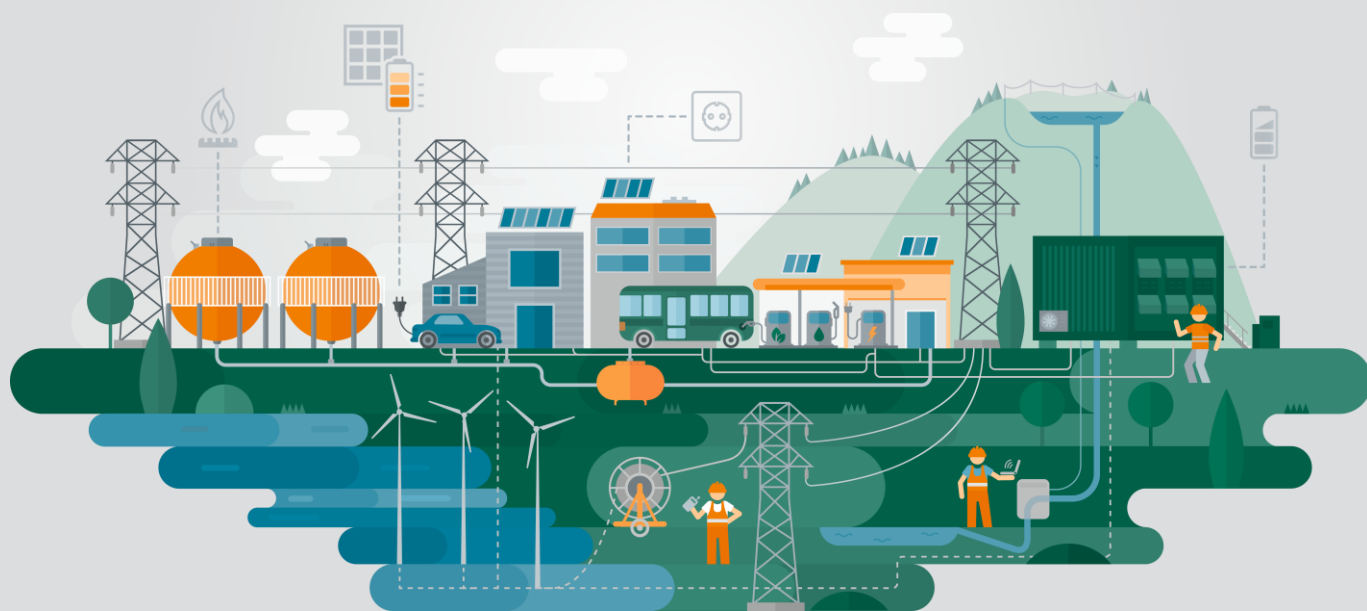




ENERGY PARTNERSHIP
URUGUAY-ALEMANIA

Producción del Hidrógeno Verde y sus derivados en Uruguay

Recomendaciones para el fomento de capacidades



Información legal

Publicado por:

Energy Partnership Uruguay-Alemania

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GIZ

Marchant Pereira 150, Providencia, Santiago de Chile

E-mail / Website: energyuyde@giz.de / <https://climateandenergypartnerships.org/partner/german-uruguayan-energy-partnership/>

Autores:

Daniel Meerhoff, Horacio Lorenzo, Mateo Cattivelli, Ulises Travieso (Universidad de la Republica de Uruguay)

Asesores Académicos:

Roberto Kreimerman, Cristina Dartayete

Coordinación:

Energy Partnership Uruguay- Alemania (GIZ/MIEM)

Diego Messina, Federico Reherrmann, Damián Pirrocco, Gastón Ellis

Diseño y formato:

Energy Partnership Uruguay-Alemania (GIZ),

basado en dena 2024. "Internationale Kommunikation der Energiewende in der bilateralen Zusammenarbeit. Gestaltungsrichtlinien"

Imágenes e ilustraciones:

©Autores

Ultima versión:

Agosto 2025

Todos los derechos reservados. Todo uso de esta publicación está sujeto a la aprobación de GIZ

Por favor citar esta publicación como a continuación:

Energy Partnership Uruguay- Alemania. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GIZ (GIZ, 2025) "Producción del Hidrógeno Verde y sus derivados en Uruguay".

Socios:



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Energy



Ministerio
de Industria,
Energía y Minería



ENERGY PARTNERSHIP
URUGUAY-ALEMANIA

Organización implementadora:

giz

Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Socios colaboradores:



Ministerio de Trabajo
y Seguridad Social

Dirección Nacional
de Empleo

Contenido

Resumen Ejecutivo.....	4
Executive Summary.....	5
1 Introducción.....	6
2 Hidrógeno verde.....	7
2.1 Metodología.....	7
2.1.1 Definición de la cadena de valor.....	7
2.1.2 Relevamiento de información.....	7
2.1.3 Entrevistas.....	7
2.2 Hoja de Ruta.....	7
2.3 Cadena de Valor.....	8
2.3.1 Diseño.....	9
2.3.2 Construcción.....	9
2.3.3 Energía.....	9
2.3.4 Producción Primaria.....	9
2.3.5 Producción Industrial.....	10
2.3.6 Logística.....	10
2.3.7 Usuario o aplicación final.....	10
2.4 Conclusiones sobre la cadena de valor del H2V.....	10
3 Insumos y propuestas.....	11
3.1 La gobernanza de H2V.....	11
3.2 La estrategia de formación de recursos humanos en H2V.....	14
3.3 Perfiles y competencias laborales requeridas.....	16
3.3.1 Perfiles y Competencias en las etapas de la cadena de valor.....	19
I. Diseño.....	19
II. Construcción.....	20
III. Energía.....	21
IV. Producción Primaria.....	22
V. Producción Industrial.....	23
VI. Logística.....	24
3.4 Formación curricular requerida no existente en Uruguay en la actualidad.....	25
4 Aspectos críticos.....	27
4.1 Estabilidad de grupos científicos y de técnicos.....	27
4.2 Formación de masa crítica en ciertas disciplinas.....	27
4.3 Impulso a programas de transferencia de tecnología.....	28
4.4 Promoción para el desarrollo de agendas en el ámbito territorial.....	28
5 Conclusión.....	29
6 Bibliografía.....	30
7 Apéndices.....	33
Apéndice 1 - Cadena de valor del hidrógeno verde en Uruguay.....	33
Apéndice 2 - Desarrollo de capacidades en hidrógeno verde.....	43
Apéndice 3 - Formaciones técnicas, terciarias y universitarias de grado y posgrado existente en Uruguay.....	53
Apéndice 4 - Perfiles y competencias en las etapas de la cadena de valor.....	59
Apéndice 5 - Perfil de los entrevistados.....	59
Lista de figuras.....	61
Lista de tablas.....	62

Resumen Ejecutivo

El presente informe detalla los perfiles ocupacionales y competencias requeridos para el desarrollo de la cadena de valor del hidrógeno verde y sus derivados en Uruguay, alineados con los objetivos de la Hoja de Ruta elaborada por el Ministerio de Industria, Energía y Minería y con el horizonte 2040.

Para realizar este detalle se identificaron los componentes principales de la cadena de valor del hidrógeno verde, se realizó un análisis comparado de la literatura y se realizaron entrevistas a actores, incluyendo los segmentos de producción, distribución y consumo, tomando en cuenta las condiciones específicas que se presentan en Uruguay.

Se realizó un relevamiento de la oferta de formación que existe en el país y se vinculó con el detalle de formación necesaria para cada perfil y sus competencias, determinando así las necesidades no cubiertas a la fecha.

En base al estudio de perfiles ocupacionales y competencias requeridas, descrito anteriormente se procedió a:

1. El relevamiento y comparación de la literatura internacional sobre la cadena de hidrógeno verde, las políticas educativas y de desarrollo productivo
2. Los antecedentes del hidrógeno verde en Uruguay y en particular la Hoja de Ruta del Hidrógeno verde y Derivados
3. Entrevistas realizadas a expertos en distintos aspectos de la cadena de producción de las cadenas del hidrógeno verde

Esto se hizo para elaborar la parte del informe que presenta insumos y propuestas para el diseño de una estrategia de formación y capacidades humanas que permita aprovechar las oportunidades del sector, maximizando el valor agregado nacional y fomentando la sostenibilidad.

El informe detalla insumos y propuestas sobre desarrollo de capacidades educativas, certificación de competencias, gobernanza e inversión en capital humano.

Asimismo, se estudiaron aspectos críticos para el éxito del desarrollo de capacidades tales como estabilidad de grupos científicos y técnicos, formación de masa crítica, transferencia de tecnología y desarrollo territorial.

Executive Summary

This report presents an analysis of the occupational profiles and skill requirements necessary for the development of the green hydrogen value chain and its derivatives in Uruguay. The study is aligned with the objectives established in the Green Hydrogen Roadmap prepared by the Ministry of Industry, Energy and Mining, with a strategic outlook toward 2040.

The analysis was structured around the identification of the main components of the green hydrogen value chain. A comparative review of international literature was conducted, complemented by interviews with key stakeholders across the production, distribution, and consumption segments, taking into account Uruguay's specific context.

In parallel, a survey of existing training programs in the country was undertaken and cross-referenced with the competencies required for each occupational profile. This enabled the identification of gaps in the current educational and training offer.

Based on the study of occupational profiles and competency requirements, the research comprised:

1. A review and comparative analysis of international literature on the green hydrogen value chain, education policies, and productive development
2. An examination of the development of green hydrogen in Uruguay, with particular attention to the Green Hydrogen and Derivatives Roadmap
3. Semi-structured interviews with experts on different aspects of the production, distribution, and consumption stages of the value chain

Building on these inputs, the report formulates recommendations for the design of a training and human capital development strategy. This strategy seeks to maximize national added value, leverage sectoral opportunities, and promote sustainability.

The report further provides proposals concerning educational capacity-building, skills certification mechanisms, governance structures, and investment in human capital. In addition, it examines critical success factors for capacity development, including the consolidation of scientific and technical teams, the formation of critical mass, technology transfer, and territorial development.

Introducción

En el marco de la transición energética global hacia un futuro bajo en emisiones de carbono, el hidrógeno verde ha emergido como un vector energético clave, especialmente para sectores difíciles de descarbonizar como el transporte pesado, la aviación, y ciertas industrias intensivas en energía. Uruguay, que ha logrado una matriz eléctrica con más del 90% de fuentes renovables, se encuentra en una posición privilegiada para liderar en la producción y exportación de hidrógeno verde y sus derivados.

Con la ambición de alcanzar la neutralidad en emisiones de carbono para el 2050, el país presentó su Estrategia Climática de Largo Plazo en 2021, la cual establece al hidrógeno verde como un componente central para descarbonizar aquellos sectores donde la electrificación directa es limitada. La “Hoja de Ruta del Hidrógeno Verde y Derivados en Uruguay 2023” (HdR), elaborada por un grupo interinstitucional bajo la coordinación del Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) y con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), define las metas y estrategias necesarias para desarrollar esta industria, contribuyendo a la reducción de emisiones locales y a la creación de un sector exportador competitivo a nivel mundial.

Uruguay cuenta con ventajas naturales y de infraestructura que lo posicionan de manera única para el desarrollo de la economía del hidrógeno verde. La abundancia de agua disponible, junto con un uso planificado y controlado, permite que la producción de hidrógeno verde se realice sin comprometer otros sectores esenciales como la agricultura, la industria o el consumo humano. Además, el país posee una considerable fuente de CO₂ biogénico, derivado de procesos industriales que emplean biomasa sostenible, como el sector forestal y el agroindustrial. Este CO₂ biogénico es esencial para la producción de derivados del hidrógeno verde, tales como combustibles sintéticos y fertilizantes, contribuyendo a una economía circular que aprovecha subproductos nacionales para la producción de energéticos verdes. La proximidad de estas fuentes de CO₂ a las áreas de producción de hidrógeno también favorece la logística y reduce los costos, consolidando a Uruguay como un posible líder en la exportación de derivados sostenibles de hidrógeno.

Este plan a largo plazo proyecta que para 2040 Uruguay producirá cerca de un millón de toneladas de hidrógeno verde anualmente, generando alrededor de 30,000 empleos directos en áreas como la construcción de plantas, operación y mantenimiento, logística y formación técnica. No obstante, para que este sector pueda alcanzar su potencial, será imprescindible desarrollar una fuerza laboral capacitada que posea competencias específicas en diversas áreas, tales como la operación de tecnologías de electrólisis, la integración de energías renovables y la gestión de infraestructuras avanzadas para la exportación de derivados del hidrógeno. Además, será necesario el establecimiento de marcos educativos y de certificación de competencias alineados con las demandas tecnológicas y de sostenibilidad que este sector exige.

Hidrógeno verde

2.1 Metodología

1.1.1 Definición de la cadena de valor

Se identificaron los componentes principales de la cadena de valor del hidrógeno verde, incluyendo los segmentos de producción, distribución y consumo, tomando en cuenta las condiciones específicas que se presentan en Uruguay, como lo son la alta capacidad de generación de energía de fuentes renovables y la disponibilidad de CO₂ biogénico.

La metodología para su construcción está basada en un enfoque estructurado que identifica y organiza los principales componentes necesarios para el desarrollo integral de esta industria, que por otra parte, debe considerarse una industria emergente en el país. Esta metodología se apoya en los siguientes aspectos:

- Esta metodología integrada permite que la cadena de valor del hidrógeno verde en Uruguay esté alineada con los recursos naturales disponibles
- La infraestructura energética existente
- Las proyecciones de demanda de acuerdo con la HdR del H2V y sus derivados

Dado que se trata de una industria emergente en el país, también se revisaron estudios similares de Chile, Namibia, Australia y Europa para comparar el desarrollo alcanzado en otros países que se encuentran en etapas de avance similares o superiores a la nuestra, con el fin de enriquecer nuestra perspectiva.

1.1.2 Relevamiento de información

En función del material analizado se definieron las ocupaciones clave en cada segmento de la cadena de valor, utilizando la Clasificación Internacional Uniforme de Ocupaciones (CIUO) de la OIT o clasificaciones análogas como el código ESCO europeo.

También se tuvo en consideración la oferta educativa en nuestro país tanto pública como privada en todos sus niveles, estudios terciarios, licenciaturas, ingeniería, posgrado, maestrías, y doctorados.

1.1.3 Entrevistas

Se llevaron a cabo entrevistas con personas en posiciones relevantes dentro de la industria del hidrógeno y sus derivados, así como del ámbito académico. Estas entrevistas tuvieron como propósito identificar los perfiles ocupacionales actuales y emergentes requeridos en el sector del hidrógeno, basándose en los comentarios y aportes de los entrevistados. Además, se utilizaron como método de validación de los perfiles extraídos a partir del análisis bibliográfico. Los entrevistados también compartieron su visión sobre el futuro de la industria, aportando perspectivas valiosas sobre las habilidades, competencias y necesidades educativas relacionadas (Ver Apéndice 5).

1.2 Hoja de Ruta

La Hoja de Ruta del Hidrógeno Verde y Derivados en Uruguay presenta un plan para apoyar la descarbonización global hacia 2050 y aprovechar las ventajas competitivas de Uruguay para producir y exportar hidrógeno verde y derivados. Este plan fue un insumo clave para orientar la consultoría de acuerdo a la estrategia y proyecciones establecidas en la Hoja de Ruta para el 2040. El documento fue desarrollado con la colaboración de diversos ministerios, el sector privado, la sociedad civil y la academia, y con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo.

En la Hoja de Ruta, se proyecta producir 1 millón de toneladas de hidrógeno verde anuales para 2040 generando ingresos por 1,900 millones de dólares anuales y estima la creación de 30,000 empleos calificados directos. Para lograr estos objetivos, la Hoja de Ruta propone un enfoque por fases. Entre 2022 y 2025, se priorizará el desarrollo de regulaciones, la capacitación de recursos humanos, la promoción de inversiones y la ejecución de proyectos piloto. Entre 2025 y 2030,

se implementarán proyectos de escala mediana y grande, con miras a iniciar exportaciones durante 2028. A partir de 2030, se espera la consolidación de la industria con proyectos de gran escala y condiciones internacionales más estables. Como se destaca en la Hoja de Ruta, Uruguay cuenta con ventajas competitivas significativas: su abundancia de recursos renovables, entre ellos energía eólica y solar, además de la disponibilidad de CO₂ biogénico. También es relevante su infraestructura logística, con acceso al océano Atlántico y al puerto de Montevideo, lo que facilita la exportación de derivados del hidrógeno verde hacia mercados clave como Europa y Asia. Sin embargo, se subrayan algunos desafíos, en particular, el vinculado a la generación de capacidades y más específicamente a los aspectos asociados a la formación profesional y técnica. Estos, en conjunto son los aspectos sobre los que la presente consultoría busca profundizar.

1.3 Cadena de Valor

Descripción de la cadena de valor del hidrógeno: desde la generación de energías renovables hasta la exportación de productos derivados.

La cadena de valor del hidrógeno verde (H₂V) en proceso de construcción en Uruguay representa un ecosistema estructurado desde la producción de energía renovable hasta la distribución y el consumo final de productos derivados. Aprovechando su matriz energética renovable, que supera un 90% de participación, y un entorno regulatorio favorable, Uruguay se posiciona como un actor competitivo en este sector.

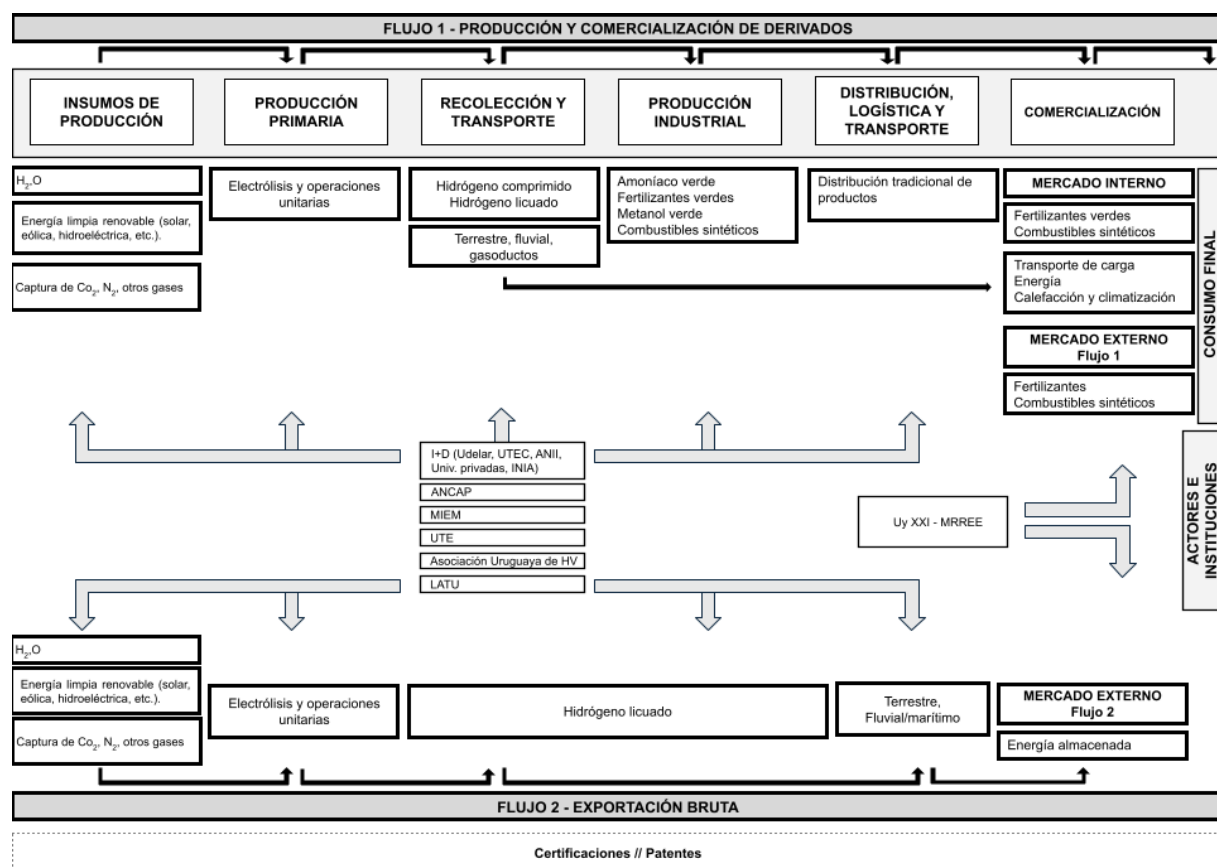


Figura 1: Flujo de producción y comercialización de derivados

Fuente: Elaboración propia

Este modelo no solo apunta a la autosuficiencia energética y la descarbonización nacional, sino que también impulsa a Uruguay como un potencial exportador a mercados como Europa y Asia. Estas regiones demandan cada vez más hidrógeno verde y sus derivados como parte de sus estrategias de transición energética. Así, la cadena de valor del H₂V en Uruguay es un puente hacia una economía más limpia y una integración estratégica en mercados internacionales clave.

Para la determinación de perfiles, competencias y la formación requerida, se consideró la cadena de valor del diagrama, dividiendo la misma en fases relevantes.

A estas fases se sumó la planificación y la construcción de la infraestructura necesaria para la operativa de la cadena. Las fases consideradas con su vínculo con el esquema son:

- Diseño y construcción de la infraestructura
 - Diseño de la infraestructura necesaria (Diseño)
 - Manufactura y construcción de la infraestructura (Construcción), que engloba la concreción de la obra civil necesaria, la adquisición del equipamiento en plaza o importada, tanto de la planta de producción de H₂V, como de la planta de derivados y la producción de energía.
- Operación en régimen
 - Generación de Energía (Energía): implica la generación de energías renovables presente en INSUMOS DE PRODUCCIÓN en el esquema.
 - Producción de H₂V (Producción Primaria): implica la PRODUCCIÓN PRIMARIA del esquema. Esta fase incluye la producción de agua.
 - Producción de derivados (Producción Industrial): implica la captura de CO₂, N, y otros gases de INSUMOS DE PRODUCCIÓN del esquema y la producción de derivados que en el esquema figura como PRODUCCIÓN INDUSTRIAL.
 - Logística (Logística): engloba los eslabones del esquema: RECOLECCIÓN y TRANSPORTE de H₂V, DISTRIBUCIÓN, LOGÍSTICA, Y TRANSPORTE de derivados y la COMERCIALIZACIÓN.

1.3.1 Diseño

Esta etapa inicial incluye la planificación estratégica, estudios de factibilidad, diseño de ingeniería, logística, definición de modelo de negocios, adquisición de terrenos, y la obtención de permisos, incluidos los estudios de impacto ambiental. Es crucial porque establece las bases técnicas, legales y financieras para el desarrollo de proyectos de H₂V, asegurando su viabilidad y sostenibilidad.

1.3.2 Construcción

En esta etapa se materializan los componentes técnicos del proyecto, desde la fabricación de piezas específicas como electrolizadores y aerogeneradores hasta su transporte e instalación. Incluye actividades como la preparación del terreno, el montaje de infraestructura y la conexión de sistemas. Su importancia radica en crear la infraestructura operativa que habilite la producción y garantice la integración con sistemas energéticos y logísticos existentes, promoviendo eficiencia y sostenibilidad.

1.3.3 Energía

Esta etapa asegura un flujo constante de energía limpia y complementaria. La generación eléctrica renovable no solo reduce costos de producción de hidrógeno, sino que también refuerza la estabilidad del sistema eléctrico nacional, esencial para el desarrollo a gran escala del hidrógeno verde.

Un aspecto crucial es la complementariedad entre las fuentes renovables. La energía eólica y solar, aunque intermitentes, se complementan entre sí, lo que permite una producción constante de energía a lo largo del año. Uruguay ha diseñado su matriz de manera que, en momentos de sobreproducción de energía eólica o solar, esta energía pueda ser almacenada o utilizada para producir hidrógeno verde mediante electrólisis.

Producción Primaria

Este proceso se lleva a cabo en plantas químicas e incluye etapas de desionización y otros tratamientos de depuración del agua, necesarios para garantizar la pureza requerida en la electrólisis. Durante este procedimiento, la energía eléctrica generada exclusivamente a partir de fuentes renovables se utiliza para dividir las moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno. Este enfoque asegura la neutralidad en carbono del hidrógeno producido. Uruguay, con su matriz energética basada en fuentes limpias como la eólica, solar, biomasa e hidroeléctrica, ofrece un entorno ideal para escalar esta tecnología. Además, se prioriza la gestión sostenible del agua como recurso crítico.

Producción Industrial

El hidrógeno verde es la base para producir derivados de alto valor como el amoníaco verde, el e-Jet Fuel y el e-metanol. Estos productos son fundamentales para descarbonizar sectores que presentan desafíos para la electrificación, como la agricultura, el transporte marítimo, la aviación y la industria química. La producción de amoníaco verde reemplaza procesos con alta intensidad de carbono y, en particular, la mayor parte del amoníaco producido actualmente se utiliza en la fabricación de fertilizantes. La captura de CO₂ biogénico es una opción para lograr un balance de carbono negativo en la producción de e-Jet Fuel y e-metanol. Uruguay destaca en este aspecto gracias a su abundancia de CO₂ biogénico derivado de la biomasa sostenible, una ventaja competitiva frente a otros países. Estas tecnologías posicionan a Uruguay como un exportador competitivo de productos derivados del hidrógeno verde, fortaleciendo su impacto en mercados internacionales comprometidos con la transición energética.

Logística

Considera soluciones técnicas para superar la baja densidad energética del hidrógeno y los desafíos asociados a su manejo. Los métodos van desde almacenamiento y despacho a alta presión o criogénico hasta su integración en materiales sólidos. En cuanto al transporte, se utilizan tuberías dedicadas, cisternas o barcos especializados, transporte por vía férrea y transporte por carretera según el alcance y destino. Esta etapa es fundamental para garantizar la viabilidad económica y técnica de los proyectos, asegurando que el hidrógeno y sus derivados lleguen a usuarios finales y mercados internacionales de manera eficiente y segura.

1.3.4 Usuario o aplicación final

El hidrógeno verde encuentra usos diversos en sectores estratégicos. En la industria pesada, reemplaza combustibles fósiles en la producción de cemento y fertilizantes. En el transporte, alimenta vehículos pesados y barcos mediante celdas de combustible o derivados como amoníaco y e-Jet Fuel. En la generación eléctrica, actúa como solución de almacenamiento y respaldo. El hidrógeno verde tiene una amplia gama de aplicaciones que lo convierten en una pieza clave para la descarbonización de sectores que son difíciles de electrificar. Estas aplicaciones consolidan su rol en la transición energética global, posicionando a Uruguay como un proveedor clave para mercados internacionales y un líder regional en descarbonización.

1.4 Conclusiones sobre la cadena de valor del H2V

La cadena de valor del hidrógeno verde en Uruguay se apoya en una matriz eléctrica renovable superior al 90%, con costos proyectados de producción competitivos (1,2 - 1,4 USD/kg). Su ubicación estratégica para exportaciones, recursos sostenibles y un marco regulatorio favorable destacan como ventajas esenciales. Además, se enfoca en derivados como amoníaco verde y e-metanol, alineándose con la demanda global.

Uruguay cuenta con una sólida experiencia en procesos industriales avanzados de petróleo, relacionados con la transformación y aprovechamiento de recursos energéticos, adquirida a lo largo de décadas gracias a la operación de complejas plantas de refinación en ANCAP y producción de combustibles alternativos.

Las instalaciones de Alur han demostrado capacidades técnicas y logísticas para gestionar procesos de alta exigencia, como la producción de biocombustibles a partir de recursos agrícolas, destacando la integración eficiente entre la industria y el sector agropecuario. Además, la disponibilidad de CO₂ biogénico abre oportunidades significativas para el desarrollo de nuevas cadenas de valor en la economía circular, como la producción de combustibles sintéticos y productos químicos sostenibles. Estas capacidades posicionan al país como un actor estratégico en la transición hacia tecnologías más limpias y diversificadas.

Sin embargo, la cadena uruguaya enfrenta desafíos importantes en la comparación internacional. Su infraestructura para almacenamiento y transporte está limitada a tecnologías maduras como cisternas a presión, con escasa experiencia en hidruros metálicos o almacenamiento criogénico a gran escala. Asimismo, la dependencia resultante de tener que orientarse principalmente a los derivados podría limitar su competitividad global, especialmente en mercados que demandan hidrógeno puro o soluciones más innovadoras. Para maximizar su potencial, Uruguay deberá fortalecer su infraestructura de exportación y diversificar su oferta tecnológica, alineándose con estándares internacionales más avanzados.

Si bien en Uruguay existe una capacidad importante en la industria del Petróleo, con personal capacitado y expertos formados a nivel universitario, la cadena de valor de H2V y sus derivados exige algunas especializaciones específicas y la formación de técnicos para operar las plantas con conocimientos adicionales.

2 Insumos y propuestas

Uruguay tiene como objetivo lograr un país con más capacidad innovadora y productiva que promueva un mayor desarrollo económico y social sostenible. En ese sentido el hidrógeno verde es una oportunidad de crear un nuevo sector que contribuya al objetivo, siempre que se instrumente de una forma adecuada con el mayor valor agregado y generación de empleo para el país y que promueva transversalmente otros sectores nuevos y existentes sin que comprometa los activos naturales para las generaciones futuras. Corresponde precisar que no estamos solos en dicho camino, que una cantidad significativa de países están avanzando en la misma dirección. Para esto es fundamental el fomento de capacidades traducidas en la inversión en educación, investigación e innovación tecnológica, con una adecuada gobernanza.

A continuación, se detallan insumos y propuestas en ese sentido, basadas en la investigación documental de estrategias de generación de capacidades, perfiles y competencias para la economía del hidrógeno y el relevamiento de información primaria a través de entrevistas con actores claves de la cadena del hidrógeno verde y la educación

2.1 La gobernanza de H2V

La gobernanza desempeña un papel fundamental en el funcionamiento de todas las organizaciones y sistemas organizativos. Este concepto abarca un conjunto de disposiciones institucionales, estructuras de incentivos y normas, en su mayoría definidas públicamente, que regulan cómo interactúan los distintos actores públicos y privados involucrados en el desarrollo socioeconómico y en la gestión y asignación de recursos destinados a diversas áreas de políticas. Por ello, la gobernanza pone el foco en las relaciones entre estos actores, que influyen en la definición de prioridades, estrategias, actividades y resultados. Además, la gobernanza no solo depende del contenido de las políticas y estrategias, sino también de los procesos empleados para su diseño y aplicación.

La gobernanza es el marco crucial donde se desarrolla el fomento de capacidades mediante una estrategia de capacidades humanas para la cadena del hidrógeno verde encuadrada dentro de los planes productivos y educativos del país. Aunque no existe una única forma óptima de gestionar un sector industrial como el del hidrógeno verde (H2V), existen buenas prácticas internacionales sobre este aspecto, aunque no deben aplicarse directamente a Uruguay sin considerar su contexto nacional y sin tener un enfoque sistémico, de las cuales se derivan principios generales que se describen a continuación pueden servir como referencia.

Visión estratégica: En el contexto internacional, y especialmente en los países estudiados, las decisiones estratégicas se sitúan en los niveles más altos de la estructura de gobernanza. Estas decisiones establecen planes definidos para el hidrógeno verde con una perspectiva de mediano y largo plazo. Dichos marcos estratégicos son cruciales para garantizar la coherencia y orientar tanto el desarrollo de un sector industrial nacional de H2V como el fortalecimiento de las capacidades nacionales. Dos aspectos fundamentales de estas estrategias nacionales de H2V son su alcance y sus objetivos.

Los marcos estratégicos nacionales deben adoptar un enfoque sistémico, evitando centrarse exclusivamente en un único componente del sistema, como la investigación, sin considerar aspectos como la demanda y las condiciones marco necesarias para la innovación, o viceversa. Los enfoques lineales resultan ineficaces frente a desafíos actuales, complejos y dinámicos, como los que plantea el H2V. Además, las políticas públicas deben contemplar las particularidades del sector, incluyendo aspectos como plazos, economía, riesgos y capacidades específicas.

Es fundamental que las estrategias establezcan objetivos claros y generen un amplio consenso en torno a ellos. Estas guías estratégicas permiten alinear las actividades de educación superior, investigación e innovación para que contribuyan de manera efectiva al desarrollo económico y social que el país desea alcanzar. Según la experiencia internacional, una hoja de ruta es un punto de partida valioso, pero insuficiente por sí sola para garantizar el éxito del sector ni el cumplimiento de los objetivos nacionales.

Las estrategias suelen apoyarse en objetivos cuantificables, los cuales, en el caso de las capacidades de recursos humanos para la cadena de valor del H2V, pueden traducirse en indicadores como el nivel de inversión en investigación y desarrollo, el gasto empresarial en innovación, y el número de profesionales formados en diversos niveles: doctorados, maestrías, grados, tecnólogos y operarios especializados. Además, estas estrategias tienden a priorizar áreas temáticas relacionadas con desafíos ambientales y sociales clave que requieren soluciones específicas.

Una buena gobernanza requiere la construcción de consensos, la creación de redes de colaboración y la negociación de decisiones en contextos donde interactúan múltiples actores. La coordinación en este ámbito implica alcanzar decisiones integradoras con la participación activa de todos los involucrados, evitando paralizaciones o demoras innecesarias en el proceso. Los sistemas sectoriales de H2V destacan por su elevada cooperación, que trasciende las fronteras institucionales y organizacionales. Es fundamental garantizar la transferencia de tecnología desde actores internacionales y empresas inversoras hacia instituciones y organismos nacionales, especialmente en áreas donde las capacidades locales son insuficientes para lograr resultados que impulsen el desarrollo científico, tecnológico, económico y social.

Esta visión estratégica debe traducirse en planes de acción concretos que especifiquen las medidas y los recursos financieros necesarios para alcanzar los objetivos estratégicos en un plazo determinado. Dichos planes deben ser ambiciosos pero realistas, permitiendo definir de antemano cómo se medirán los resultados para garantizar transparencia y mensurabilidad. Además, estas acciones deben implementarse como políticas de Estado, independientes de los cambios o variaciones en la orientación política general de los gobiernos.

Capacidad para el análisis de políticas estratégicas: La inteligencia en la formulación y análisis de políticas estratégicas consiste en la habilidad de generar y evaluar la información necesaria para tomar decisiones adecuadas en el ámbito del hidrógeno verde. Esto incluye un enfoque especial en los planes educativos, la formación continua y la mejora de la calidad del empleo. Implica la recopilación de datos estadísticos, la realización de estudios analíticos y la evaluación y seguimiento de políticas, llevados a cabo con independencia técnica.

Las estrategias, la definición de prioridades y la implementación de políticas deben fundamentarse en evidencia obtenida de los resultados de actividades previas y en curso (mediante monitoreo, evaluación, análisis prospectivo, evaluación tecnológica, entre otros), en investigaciones confiables tanto internas como externas, y en consultas con expertos nacionales e internacionales, así como con los diferentes actores involucrados, para asegurar su aceptación.

Este proceso requiere recursos suficientes, tanto en términos de capacidades técnicas (cada vez más ligadas al uso intensivo de tecnologías y datos digitales) como de financiación. La falta de esta capacidad analítica puede condenar al sector a ser únicamente un enclave exportador, impidiendo que se convierta en un pilar del desarrollo nacional.

Coordinación horizontal y vertical: La visión estratégica para la cadena del H2V y su fomento de capacidades debe estar integrada y/o coordinada con las políticas de desarrollo productivo, de ciencia, tecnología e innovación, de educación entre otros, en lo que a cada una de estas les compete. Dado que las actividades relacionadas con el hidrógeno verde abarcan múltiples sectores y áreas de políticas, el marco estratégico debe integrar los objetivos e intervenciones de diversos ministerios e instituciones para garantizar una coherencia general hacia metas comunes. Esto requiere una efectiva coordinación y colaboración tanto horizontal, entre diferentes ministerios y agencias, como vertical, entre los distintos niveles de gobierno (nacional, regional y local). Además, es esencial fomentar la cooperación entre autoridades públicas, instituciones de investigación y educación superior, empresas y la sociedad civil. Para facilitar esta coordinación, se emplean instituciones específicas, como consejos de alto nivel para la investigación e innovación, comités, plataformas interdepartamentales y otros mecanismos formales o informales de diálogo y toma de decisiones, que vinculan disciplinas, sectores y niveles de gobierno.

Claridad de objetivos y constancia de reglas y políticas: El éxito del sector depende de una visión compartida y bien definida de los objetivos generales enmarcados en la producción de hidrógeno verde (H2V) y sus productos derivados, junto con estabilidad y previsibilidad en los principales marcos estratégicos, normativos y financieros. Esto es crucial para desarrollar planes educativos sólidos, que garanticen tanto la calidad de la currícula como la creación de oportunidades laborales para los egresados, favoreciendo la consolidación de capacidades nacionales duraderas. La estabilidad de políticas genera confianza entre los actores del sistema, permitiéndoles planificar a mediano y largo plazo, tomar decisiones de contratación, invertir y cooperar. Las instituciones operativas, como las unidades de investigación o las universidades, también contribuyen con estrategias claras que alinean sus misiones y objetivos específicos, brindando un marco sólido para el desempeño de sus equipos.

Internacionalización: En los sistemas exitosos, existe una intensa colaboración entre los actores científicos, tecnológicos y educativos nacionales e internacionales. Además, los países líderes logran atraer talento extranjero en áreas clave, como investigación, educación, innovación y emprendimiento, y promueven la movilidad internacional de sus ciudadanos. En el caso de Uruguay, la internacionalización es especialmente relevante debido al tamaño reducido del país, su tradición de apertura y su dependencia del comercio exterior.

Financiamiento: Para alcanzar los objetivos del sector H2V, se requieren recursos financieros suficientes, previsibles y acompañados de incentivos adecuados para fomentar un desempeño responsable y eficiente. Estos recursos deben complementarse con una participación activa del sector privado en la financiación de la educación, la investigación y la innovación. La previsibilidad de los recursos a mediano plazo es esencial, ya que el progreso en este sector, que requiere inversiones sostenidas y acumulación de conocimiento, depende de horizontes de planificación prolongados. La experiencia internacional demuestra que las estrategias sin un respaldo financiero adecuado tienen un impacto limitado en el desarrollo de capacidades para el H2V.

Uruguay busca fortalecer su estrategia de impulso a la energía limpia y autóctona, posicionándola como un eje clave para el desarrollo nacional. Basándose en los principios mencionados previamente, esta estrategia puede estructurarse alrededor de los siguientes elementos:

- a) **Consolidar la gobernanza y las instituciones adecuadas del sistema de H2V** para lo cual es esencial definir orientaciones estratégicas que alineen a las diversas comunidades de actores públicos y privados hacia objetivos compartidos. Esto incluye coordinar de manera efectiva las intervenciones entre los organismos gubernamentales clave, como ministerios y agencias en áreas políticas relevantes. Además, se debe garantizar recursos financieros adecuados a las necesidades del sector, establecer una división clara de responsabilidades entre los responsables de cada línea de acción y, cuando sea necesario, crear nuevas instituciones. Todo ello debe complementarse con un monitoreo conjunto del avance hacia las metas comunes.
- b) **Desarrollar una estrategia nacional integrada de Hidrógeno verde.** No alcanza la hoja de ruta. Debe establecerse un proceso colaborativo que involucre a representantes de la academia, las empresas, la sociedad civil y el gobierno para establecer una hoja de ruta para el Sistema de H2V de Uruguay. Estos representantes podrían reunirse en un grupo estratégico temporal de alto nivel con el mandato específico de desarrollar la estrategia. Para garantizar la sólida legitimidad y el liderazgo de este grupo a pesar de su naturaleza limitada en el tiempo, su mandato debe emanar del más alto nivel de formulación de políticas en el tema, es decir, del Ministerio de Industria, Energía y Minería. Deben establecerse objetivos específicos para H2V para facilitar la transformación del país, cambiando el enfoque de la explotación de recursos a la explotación del conocimiento.
- c) **Empoderar al Ministerio de Industria, Energía y Minería,** dándole recursos y potestades para el mandato general para la política de hidrógeno verde como el principal facilitador de la transición. Este Ministerio será responsable de diseñar e instrumentar políticas específicas para implementar la estrategia nacional para H2V, en coordinación estrecha con los Ministerios de Educación y Cultura, el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social y con otros ministerios que correspondan. El Ministerio de Industria, Minería y Energía deberá tener la tarea inicial de redactar un plan de acción plurianual en estrecho contacto con una red de puntos focales de innovación en cada organismo de ejecución (otros ministerios y agencias). Bajo el liderazgo del Ministerio, estos podrían reunirse regularmente para coordinar sus acciones, monitorear el progreso contra objetivos claros de entrada y salida (basados en necesidades) y revisar los desafíos en la implementación de la estrategia nacional. La creación de dicha red interministerial podría ser un primer paso efectivo para identificar las competencias relevantes en todo el gobierno y crear conciencia sobre la importancia de las acciones políticas específicas para realizar la estrategia nacional integrada de H2V. El plan de acción debe incluir el establecimiento de instrumentos de financiación específicos para los distintos segmentos del sistema de H2V. El rango ministerial de la función permitirá de mejor manera la ejecución de políticas a largo plazo.
- d) **Fortalecer los órganos estratégicos y consultivos de alto nivel.** En la mayoría de la literatura internacional analizada para este informe, las prioridades generales de H2V son establecidas por consejos de alto nivel con mandatos explícitos para participar en una o varias de las siguientes actividades: brindar asesoramiento sobre políticas o supervisar la evaluación de políticas; coordinar las áreas de política relativas a la educación, investigación e innovación tecnológica; participar en la planificación conjunta de políticas con las instituciones de

educación superior, formación técnica, capacitación y los institutos públicos de investigación. Para evitar conflictos de intereses, la financiación generalmente no forma parte del mandato de dichos organismos.

La presencia de ministros generalmente se asocia positivamente con la capacidad de un consejo para garantizar la coordinación y la comunicación entre los diferentes sectores. Su capacidad de incidir en la política sectorial de una cadena clave como el H2V en su conjunto se ve limitada cuando su alcance no es sistémico y/o existen órganos paralelos que actúan en su ámbito.

Los consejos consultivos cumplen un rol muy significativo en la puesta en práctica de procesos prospectivos para la definición de líneas estratégicas de largo plazo. En la medida en que concurren tanto el conocimiento de primer nivel como una amplia representación social y política de la sociedad, constituyen espacios privilegiados para la reflexión sobre futuros posibles y deseables, y de los caminos para alcanzarlos.

Los consejos tienen la función de generar pensamiento en la formulación de políticas y de lograr una intervención exitosa en el sector. Esto también implica una buena comunicación y difusión de los informes.

- e) **Generar y mejorar la producción de estadísticas relacionadas con capacidades nacionales en H2V** para permitir el desarrollo de políticas basadas en evidencia. En el país algunas de las instituciones tienen fortalezas en este aspecto, pero la situación es incipiente y es necesario que se avance en forma integral. El seguimiento de los presupuestos y los resultados educativos y científicos tecnológicos deben intensificarse significativamente. La base de las estadísticas relacionadas con H2V debe permitir un seguimiento eficaz de la estrategia nacional del sector. Se podría establecer o fortalecer una unidad dedicada como un observatorio de H2V con el mandato de seguir los indicadores relacionados con las H2V a nivel nacional, incluidos los relacionados a educación y formación, y compararlos internacionalmente. Disponer de un organismo encargado del seguimiento de las políticas en base a evidencia, que facilite la circulación de información y la evaluación de los programas, así como de proveer el apoyo técnico para la elaboración de las estrategias, constituye un eslabón importante de la cadena de gobernanza del sistema de H2V.

2.2 La estrategia de formación de recursos humanos en H2V

Un sistema de educación superior e investigación es fundamental no solo para apoyar la producción nacional de conocimiento y la innovación, sino también para fortalecer la capacidad de absorción del conocimiento internacional del país y mantener los vínculos con los avances en la ciencia y la tecnología mundiales. Esta función de la ciencia es particularmente importante para Uruguay en particular y en general para los países más pequeños y los países en una etapa relativamente temprana de desarrollo de sus capacidades de innovación. Igualmente, la educación técnica de formación media y terciaria son soportes básicos de un sistema industrial nacional potenciado por la ciencia y la tecnología, clave para el desarrollo sustentable e inclusivo con autonomía estratégica.

Las actividades de educación técnica, superior e investigación deben realizarse, como se señaló en la sección anterior, bajo la guía de marcos estratégicos, desde las estrategias nacionales generales hasta las estrategias de cada institución, traducidas a su vez en planes de acción de unidades, departamentos o sectores. Este proceso está orientado y respaldado por financiamiento público utilizando principalmente financiamiento institucional en bloque y financiamiento de proyectos competitivos y por diferentes instrumentos de política y regulaciones.

Estos mismos lineamientos se aplican a la educación técnica, superior e investigación referida al H2V que como veremos más adelante es uno de los aspectos críticos para que el país logre captar porciones significativas del valor agregado en la cadena de valor del H2V, colabore con una innovación tecnológica significativa y cree nuevos eslabones y empresas en el país. En este sentido, Uruguay ya tiene capital humano y el conocimiento técnico ya desarrollado en áreas como la electroquímica, la gestión de energías renovables y los materiales para celdas de energía. En la entrevista donde se relevaron capacidades nacionales, se señaló la importancia de avanzar en el desarrollo y sistemas de medición de vida útil de membranas, catalizadores y materiales para electrodos, además de mejoras en la eficiencia térmica de quemadores y calderas adaptados al uso del hidrógeno.

Complementariamente a estas importantes instituciones que se mencionan en los párrafos anteriores, es esencial la participación de diversos actores fuera del sistema curricular pero posiblemente certificados por éste, como

proveedores de formación especializados que imparten cursos de corta y media duración, en muchos casos la capacitación para la transición es proporcionada por las empresas que forman parte de la cadena de valor, además de la colaboración internacional con la posibilidad de enviar estudiantes y trabajadores a centros de formación y empresas en el exterior así como recibir profesores calificados en el tema desde centros educativos de otros países (apéndice 2). Uruguay impulsa la creación de una estrategia de capacidades humanas para la cadena del hidrógeno verde, de acuerdo a la HdR para 2040, que podría estructurarse alrededor de los siguientes elementos:

- a) **Integrar contenidos sobre hidrógeno verde y derivados en los programas de formación técnica y superior** existentes que correspondan en el ámbito educativo curricular. Esto incluye módulos específicos que aborden la producción, almacenamiento, transporte y aplicaciones tecnológicas del hidrógeno. Instituciones como la Universidad de la República (Udelar) y la Universidad Tecnológica del Uruguay (UTEC) podrían desempeñar un rol central, tanto en la actualización de sus currículos como en la creación de programas de formación dual que combinen teoría con práctica en colaboración con empresas del sector.
- b) **Fortalecer las capacidades docentes.** Esto implica implementar programas de formación y actualización para profesores y técnicos sobre las tecnologías y aplicaciones del hidrógeno, tomando como referencia experiencias internacionales exitosas. Además, podrían establecerse programas de intercambio con países que lideran la industria, como Alemania o Australia, para capacitar a docentes uruguayos en las últimas tecnologías del sector.
- c) **Desarrollar programas modulares de formación** es una estrategia adecuada para satisfacer la alta demanda de profesionales especializados en el sector del hidrógeno, especialmente ingenieros y técnicos. La descripción de perfiles y competencias que se realiza en este documento, así como el relevamiento de la capacitación faltante que lo acompaña son una base para ese desarrollo.
- d) **Acceder a programas de desarrollo profesional continuo** también es esencial para integrar las habilidades relacionadas con el hidrógeno en la fuerza laboral existente. Se deben preparar planes de formación que identifiquen necesidades de reskilling y upskilling, apoyados por políticas y financiamiento específico.
- e) **Elaborar cursos cortos y autoadministrados para operarios, supervisores, personal de servicio**, entre otros, es necesario en temas de seguridad laboral, realización de operaciones, transporte y manejo de productos inflamables. Bajo este enfoque se promueve personalizar la capacitación según las necesidades del público objetivo.
- f) En el ámbito de la investigación, desarrollo e innovación, se recomienda **fomentar la creación de centros especializados que impulsen la innovación y la transferencia de tecnología.** La Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) y la Facultad de Ingeniería de Udelar, en colaboración con el sector privado, podrían liderar estas iniciativas, promoviendo proyectos de investigación aplicada que aborden desafíos locales como la disponibilidad de agua para la electrólisis. Asimismo, es esencial desarrollar redes internacionales de colaboración que faciliten el acceso a conocimientos avanzados y financiamiento para proyectos innovadores.
- g) **Fomentar la vinculación academia-empresa.** Es fundamental fortalecer las alianzas entre instituciones académicas y el sector privado para promover el desarrollo de capacidades humanas y técnicas en el sector del hidrógeno verde y sus derivados. La creación de proyectos de investigación conjuntos, programas de desarrollo profesional, cursos, pasantías y prácticas profesionales favorece la difusión de conocimientos, competencias y adecuación de estándares. Esta vinculación también permite realizar ajustes en oferta educativa y agendas de investigación considerando las potenciales demandas de la industria.

- h) **Establecimiento de estándares para el entrenamiento y las certificaciones de competencias laborales** para cada tarea y etapa de la cadena de valor del hidrógeno es otra prioridad. En este sentido, instituciones como la Universidad del Trabajo, INEFOP podrían desempeñar un papel importante en la implementación de un sistema de certificación de competencias laborales validado a nivel nacional e internacional, garantizando la calidad y los requisitos en materia de seguridad en la industria.
- i) **Establecer y/o actualizar si fuera necesario según el caso, los estándares de seguridad y operación de las tecnologías de hidrógeno**, promoviendo la adopción de mejores prácticas internacionales.
- j) **La movilidad y las redes internacionales de capacitación** son herramientas poderosas para acelerar el desarrollo de capacidades humanas en Uruguay. Podrían inspirarse en programas europeos como Erasmus+ o iniciativas regionales como Asociación de Universidades Grupo Montevideo (AUGM) con estas estrategias se podría facilitar el acceso de estudiantes y docentes uruguayos a conocimientos avanzados y experiencias prácticas en países con una industria del hidrógeno desarrollada. Asimismo, se recomienda establecer acuerdos bilaterales con universidades y centros de formación en el extranjero para fomentar el intercambio de conocimientos y la colaboración en proyectos de capacitación sobre esta temática.
- k) **Fortalecer el desarrollo de capacidades humanas en la industria del hidrógeno verde** desde una perspectiva territorial e impulsando la investigación y el desarrollo local en Uruguay es esencial, adoptando estrategias que aprovechen las características, recursos y capacidades de las diferentes regiones del país.
- l) **Diseñar programas de investigación aplicada y desarrollo local** es clave para enfrentar desafíos específicos del territorio. Estos programas, liderados por universidades como Udelar y UTEC, deben involucrar a investigadores locales y promover la innovación con un enfoque en las necesidades del territorio.
- m) **Promover la educación y sensibilización comunitaria** a nivel territorial. Esto implica diseñar campañas educativas que expliquen el hidrógeno verde y su rol en la transición energética. Para esto es necesario involucrar a las comunidades en el diseño y desarrollo de proyectos relacionados con el hidrógeno con transparencia y brindando información completa.

2.3 Perfiles y competencias laborales requeridas

Perfiles

Un perfil ocupacional es una descripción detallada y estructurada que engloba todos los aspectos principales que definen una ocupación o puesto de trabajo dentro de un contexto laboral específico. Se trata de una representación completa y abarcativa que incluye las tareas, funciones principales y responsabilidades asociadas al rol. Se complementa con las competencias requeridas para desempeñarlo eficazmente, así como con los requisitos formativos esperados.

Competencias

Una competencia es una combinación integrada de conocimientos, habilidades, actitudes y comportamientos que una persona demuestra para realizar las tareas o resolver problemas de manera efectiva en el contexto de su trabajo.

Las competencias tienen un enfoque práctico, vinculando la teoría y la experiencia a situaciones concretas y habilidades específicas necesarias para llevar a cabo tareas especializadas.

Tabla principal

En este trabajo se enumeraron los perfiles necesarios para el desarrollo del hidrógeno verde, a lo largo de toda la cadena de valor, basándose en la bibliografía consultada y en las entrevistas con los referentes del sector.

Esta lista de perfiles se completó con la descripción de cada uno, las competencias claves y la formación básica requerida. Luego se clasificaron todos los perfiles definidos según la etapa de la cadena de valor del hidrógeno donde se requiere. Los perfiles se clasificaron según el nivel de conocimiento de H₂V necesario. Esto aparece en la columna “Conocimiento H₂” del apéndice 4.

Esta clasificación se codificó según la siguiente nomenclatura:

Nivel 1 – Nivel experto con amplia experiencia

Descripción: El nivel más alto de formación en hidrógeno, alcanzado a través de estudios avanzados especializados (por ejemplo, en ingeniería de hidrógeno, energías renovables, o ingeniería de sistemas de gas) o una extensa experiencia práctica en el campo. Los profesionales en este nivel tienen un conocimiento profundo y holístico sobre todos los aspectos del hidrógeno verde, desde la producción hasta las aplicaciones industriales y la integración en sistemas energéticos. Suelen ocupar posiciones de liderazgo en proyectos, investigación o alta dirección en empresas o instituciones dedicadas al hidrógeno.

- Experiencia:
 - Liderazgo en grandes proyectos de investigación, desarrollo y comercialización de soluciones de hidrógeno.
 - Consultoría estratégica y apoyo a la toma de decisiones en políticas energéticas y proyectos a gran escala.
- Roles: directores de tecnología, investigadores principales, ejecutivos de empresas del sector energético, etc.

Nivel 2 – Profesional especializado en hidrógeno y afines

Descripción: Profesionales con una formación técnica avanzada en hidrógeno o disciplinas relacionadas, que aplican sus conocimientos para la gestión y desarrollo de proyectos en producción, almacenamiento, transporte y aplicaciones del hidrógeno verde. Este nivel también incluye a personas con una especialización en áreas concretas del hidrógeno, como la ingeniería de electrolizadores, pilas de combustible o infraestructura de repostaje.

- Experiencia:
 - Participación en la operativa de la planta productora de hidrógeno o de derivados.
 - Coordinación de equipos técnicos en la implementación de tecnologías avanzadas de hidrógeno.
- Roles: Ingeniero de proyectos, consultor especializado, jefe de operaciones, analista de redes de hidrógeno, etc.

Nivel 3 – Profesional o técnico especializado

Descripción: Este nivel está orientado a profesionales con formación técnica en áreas relacionadas con la energía, pero con un enfoque más operativo y técnico. Su experiencia se centra en la operación y mantenimiento de equipos y sistemas relacionados con el hidrógeno verde. Estos profesionales juegan un papel crucial en el funcionamiento diario de instalaciones y procesos de producción de hidrógeno.

- Experiencia:
 - Operación y mantenimiento de equipos de producción de hidrógeno y estaciones de carga.
 - Supervisión de sistemas de control y monitoreo en plantas de hidrógeno y redes de distribución, etc.
- Roles: Técnico de operaciones, operador de planta, coordinador de mantenimiento, supervisor de sistemas energéticos.

No clasificado – No Especializado en hidrógeno

Descripción: Este nivel está compuesto por personas que no poseen una formación técnica o especializada en hidrógeno, pero que pueden estar involucrados en áreas de apoyo administrativo, comercial o de gestión en proyectos relacionados con el hidrógeno. Estos profesionales suelen tener conocimientos generales sobre el sector de la energía y la sostenibilidad, pero no cuentan con un enfoque técnico o especializado en hidrógeno.

- Experiencia:
 - Colaboración en tareas de apoyo en proyectos de hidrógeno o en áreas comerciales, administrativas o de relaciones públicas dentro de empresas del sector.
- Roles: Asistentes administrativos, personal comercial, coordinadores de proyectos de soporte, personal de ventas. Por otra parte, se agregó una columna indicando la formación requerida que actualmente no existe en la oferta disponible en Uruguay.

La lista de perfiles se confeccionó con las siguientes propiedades:

Perfiles	Descripción
Perfil Ocupacional	Nombre del puesto de trabajo adecuado a nuestra nomenclatura, usos y costumbres.
Descripción del perfil	Razón de ser del puesto en la etapa de la cadena.
Clasificación OIT/ESCO	Clasificación internacional según la OIT (CIUO-08) y, cuando corresponde, según ESCO, por su mayor especificidad
Descripción Ocupacional	Descripción completa del perfil conforme a lo expresado al inicio de este capítulo.
Competencias Clave	Detalle de las competencias relevantes, más allá de las contenidas en la currícula tradicional
Conocimiento H2	Nivel de formación en temas de H2V requerido por el perfil, del 1 al 3; si no se requiere formación específica, queda en blanco.
Nivel de Formación Requerido (Grado y posgrado)	Nivel académico requerido, según literatura e/investigación, y adecuado a la oferta educativa disponible localmente.
Conocimientos adicionales a la formación	Capacitación necesaria más allá del currículum formal para desempeñar adecuadamente el puesto.
Formación no disponible en Uruguay	Formación identificada en la investigación que actualmente no se ofrece en la oferta educativa local.

Tabla 1: Propiedades de la lista de perfiles

A continuación, incluimos la descripción de un puesto de trabajo como **ejemplo** de interpretación de la tabla.

Diseño								
Perfil Ocupacional	Descripción Perfil	Clasificación OIT/ESCO	Descripción Ocupacional	Competencias Clave	Conocimiento H2	Nivel de Formación Requerido (Grado y Posgrado)	Conocimientos adicionales a la formación	Formación no disponible en Uruguay
Ingeniero de calidad	Asesora en los aspectos normativos y de calidad al proyecto	2149.2.7	Definen normas de calidad para la creación de productos o servicios. Comprueban que los productos y servicios cumplen las normas de calidad, además de encargarse de la coordinación de las mejoras de calidad.	Analizar datos experimentales, apoyar la puesta en marcha de sistemas de gestión de la calidad, determinar mejoras de los procesos, determinar normas de calidad, fijar objetivos de garantía de calidad, informar sobre resultados de pruebas, inspeccionar la calidad de los productos, realizar inspecciones, realizar un análisis de riesgo, recomendar mejoras de productos, redactar informes de inspección, registrar resultados de ensayos	2	Ingeniería en Producción, Ingeniero Químico, Posgrado en Calidad	Gestión de proyectos, colaboración entre personas y robots, componentes robóticos, robótica, calidad, normas de calidad, gestión de calidad, verificación de calidad, inspección de calidad, riesgos	Gestión de la Calidad con énfasis en H2V

Tabla 2: ejemplo de interpretación

El ejemplo anterior debe interpretarse de la siguiente manera:

El puesto de trabajo es de un Ingeniero de calidad que se desempeña en la etapa de Proyecto. Según las ESCO su puesto se corresponde con el código 2149.2.7 y cuya descripción del perfil ocupacional es que los Ingenieros de calidad son quienes “Definen normas de calidad para la creación de productos o servicios. Comprueban que los productos y servicios cumplen las normas de calidad, además de encargarse de la coordinación de las mejoras de calidad.”. Las competencias clave que identificamos en este caso es que debe tener las capacidades para “Analizar datos experimentales, apoyar la puesta en marcha de sistemas de gestión de la calidad, determinar mejoras de los procesos, determinar normas de calidad, fijar objetivos de garantía de calidad, informar sobre resultados de pruebas, inspeccionar la calidad de los productos, realizar inspecciones, realizar un análisis de riesgo, recomendar mejoras de productos, redactar informes de inspección, registrar resultados de ensayos”. En este caso se consideró que requiere un conocimiento H2 de nivel 2, es decir, de profesional especializado, de acuerdo a la clasificación previamente explicada.

La formación académica requerida es Ingeniería en Producción o Ingeniero Químico, con Posgrado en Calidad. Adicionalmente a la formación debe tener conocimientos o experiencia en “Gestión de proyectos, colaboración entre personas y robots, componentes robóticos, robótica, calidad, normas de calidad, gestión de calidad, verificación de calidad, inspección de calidad, riesgos”. Para este caso en particular habría una formación deseable que no está disponible localmente: Un Posgrado en Calidad.

Algunos puestos de la tabla se repiten en distintas etapas de la cadena de valor, aunque con atribuciones y requerimientos funcionales diferentes, adaptados a las necesidades específicas de cada etapa. Por ejemplo, el experto en asuntos regulatorios que se desempeña en la etapa de Energía se enfocará en “Asesora en los aspectos legales y regulatorios de la generación de energía” y el que se desempeña en la etapa de la construcción se enfocará en los mismos aspectos, pero en relación a la obra y los productos que ofrecerá la planta.

2.3.1 Perfiles y Competencias en las etapas de la cadena de valor

I. Diseño

Los profesionales en esta etapa se dedican a la planificación estratégica, estudios de factibilidad técnica y económica, análisis de impacto ambiental y la gestión de permisos regulatorios. Ingenieros, analistas financieros y consultores ambientales colaboran para crear proyectos viables que consideren la infraestructura, costos de inversión, y alineación con los objetivos de sostenibilidad.

Diseño								
Perfil Ocupacional	Descripción Perfil	Clasificación OIT/ESCO	Descripción Ocupacional	Competencias Clave	Conocimiento H2	Nivel de Formación Requerido (Grado y Posgrado)	Conocimientos adicionales a la formación	Formación no disponible en Uruguay
Gerente de cuentas	Apoya el proyecto buscando potenciales clientes	1420.3	Gestionan las relaciones con los clientes y promueven la expansión del mercado de productos y servicios relacionados con el hidrógeno.	Gestionar CRM, relaciones con clientes, comprender principios básicos de la cadena de hidrógeno, desarrollar negocios y generar ventas, conocer aspectos legales y regulatorios del hidrógeno.	3	Administración de empresas, Marketing y Comercialización, Ingeniero Químico o de Producción con Maestría en energías Renovables o MBA.		Maestría en Energías Renovables. Maestría en Tecnología del Hidrógeno Verde
Despliegue de tecnología & Especialista en Comercialización	Asesora los proyectos con el conocimiento sobre tecnologías nuevas relacionadas con la producción, almacenamiento, distribución y uso del hidrógeno.	N/A	Identifican, implementan y llevan al mercado nuevas tecnologías relacionadas con la producción, almacenamiento, distribución y uso del hidrógeno.	Conocimiento Técnico de Tecnologías de Hidrógeno, evaluar el potencial de mercado de nuevas tecnologías, llevar al mercado nuevos avances tecnológicos, proteger la propiedad intelectual mediante patentes o acuerdos de licencias,	3	Ingeniería Industrial, Mecánica o Química, Administración de Empresas. Con Maestría en Energía o MBA.		Maestría en Energías Renovables. Maestría en Tecnología del Hidrógeno Verde
Oferta y demanda de energía	Asesora el diseño del proyecto en relación a la oferta y demanda local de energía.	3311.3.1	Analizan el mercado de energía e investigar las tendencias de la oferta, la demanda y los precios. Hacen predicciones sobre el desarrollo del mercado.	Conocimiento del mercado de la energía, desarrollar mercados. realizar cálculos y proyecciones financieras, operar el mercado de valores.	2	Economía o finanzas, Ingeniero Químico o Industrial, con Maestría en Energía, Mercados Energéticos o Finanzas y comercio Internacional.		Maestría en Mercados Energéticos. Maestría en Energías Renovables. Maestría en Tecnología del Hidrógeno Verde

Tabla 3: Etapa de diseño

Extracto de la tabla de perfiles y competencias del Apéndice 4 “Perfiles y competencias”.

II. Construcción

Esta etapa involucra a ingenieros mecánicos, eléctricos y civiles en el diseño y construcción de plantas de electrólisis, derivados y sistemas asociados. Técnicos especializados ensamblan y mantienen los equipos, asegurando estándares de calidad y seguridad para manejar materiales como el hidrógeno, que requiere cuidado extremo debido a su inflamabilidad.

Construcción								
Perfil Ocupacional	Descripción Perfil	Clasificación OIT/ESCO	Descripción Ocupacional	Competencias Clave	Conocimiento H2	Nivel de Formación Requerido (Grado y posgrado)	Conocimientos adicionales a la formación	Formación no disponible en Uruguay
Comprador	Adquiere los suministros y la logística para que la obra tenga los insumos en fecha y para el equipamiento de la futura planta	3323.2	Seleccionan y compran materiales, servicios o bienes. Organizan procedimientos de licitación y seleccionan proveedores.	Comparar ofertas de proveedores y evaluar sus riesgos asegurando calidad, precio competitivo y plazo de entrega, asegurar el cumplimiento con las regulaciones, emitir órdenes de compras, identificar proveedores.	3	Administración de Empresas, con Certificación en Gestión de Compras y curso sobre energías renovables / tecnologías asociadas con hidrógeno.		Energías Renovables, Tecnología del Hidrógeno
Especialistas en comunicación	Es el responsable de la comunicación del proyecto al medio. Es importante que el estado uruguayo cuente con este perfil para la comunicación de las ventajas y desventajas de estas inversiones desde el punto de vista nacional.	1222.1	Diseñar y ejecutar estrategias para comunicar de manera efectiva los mensajes de una organización hacia sus públicos internos y externos. Gestionan crisis, y coordinan todas las comunicaciones para asegurar una voz coherente.	Analizar factores externos e internos de la organización, desarrollar estrategias de comunicación, identificar necesidades del cliente o del público, preparar materiales de presentación, usar diferentes canales de comunicación. comunica a la sociedad.		Licenciado en Comunicación con Posgrado en Gestión de Tecnologías, Herramientas Digitales.		
Especialistas en promoción de políticas	Promueve las políticas necesarias para la implantación de este proyecto en Uruguay.	N/A	Promueven políticas que estimulen la inversión y la innovación en el sector, impulsan regulaciones que permitan la integración del hidrógeno en los mercados energéticos, .	Manejar marcos normativos nacionales e internacionales sobre energía y sostenibilidad, evaluar cómo las políticas impactan al sector, cooperar en la elaboración de la comunicación estratégica	2	Ciencias Políticas, Relaciones Internacionales, Abogacía, Economía, Ingeniería. Posgrado en Gestión de Tecnologías y Energía.		Maestría en Tecnología del Hidrógeno Verde

Tabla 4: Etapa de construcción

Extracto de la tabla de perfiles y competencias del Apéndice 4 “Perfiles y competencias”.

III. Energía

Los profesionales en esta etapa operan y gestionan parques eólicos, solares, sistemas de biomasa que proporcionan la electricidad necesaria para la producción de hidrógeno verde y sus derivados. Ingenieros en energías renovables optimizan el rendimiento y garantizan un suministro constante, minimizando interrupciones y maximizando la eficiencia energética.

3. Energía								
Perfil Ocupacional	Descripción Perfil	Clasificación OIT/ESCO	Descripción Ocupacional	Competencias Clave	Conocimiento H2	Nivel de formación Requerido (Grado y posgrado)	Conocimientos adicionales a la formación	Formación no disponible en Uruguay
Experto en almacenamiento de energía	Asesora en el mantenimiento del almacenamiento de energía	2149.9.7	Seleccionan equipos y componentes adecuados, teniendo en cuenta factores como la eficiencia energética, la seguridad y la fiabilidad.	Garantizar el cumplimiento de la normativa ambiental y de seguridad, promover diseños innovadores de infraestructuras, sistemas de almacenamiento de energía	2	Ingeniero Químico o Eléctrico con Diploma en Almacenamiento de Energía		Diploma en Almacenamiento de Energía
Experto en incendios, explosiones y contaminación	Asesora en la mitigación de los riesgos de incendio, explosión y contaminación del suministro de energía	N/A	Realizan prevención, control y remediación para reducir riesgos y mejorar la seguridad y sostenibilidad de las operaciones industriales.	Desarrollar estrategias de seguridad, asegurar el cumplimiento de la legislación, investigar accidentes de su tema, administrar procedimientos de emergencia, supervisión y entrenamiento	2	Ingeniero Químico o Ingeniero Mecánico, Posgrado en seguridad industrial y prevención de riesgos, control de contaminación ambiental		Seguridad de la industria del H2V
Técnicos eléctricos	Trabaja en el mantenimiento del equipamiento	3113.1	Trabajan junto con ingenieros eléctricos en trabajos de ingeniería eléctrica. Llevan a cabo tareas técnicas y ayudan en el diseño, el ensayo, la fabricación y el funcionamiento de dispositivos e instalaciones eléctricas.	Comprender los principios básicos de la electricidad, como el voltaje, la corriente, la resistencia y las leyes de Ohm; interpretar diagramas eléctricos, esquemas y planos de instalación; conocer las normas de seguridad eléctrica y las regulaciones locales aplicables; identificar y solucionar problemas eléctricos, tanto en sistemas nuevos como en aquellos ya existentes; instalar, conectar y configurar componentes eléctricos, como cables, conductores, interruptores, tomacorrientes, paneles de control, etc.; conocer las tareas de mantenimiento preventivo necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los sistemas eléctricos.	3	Técnico Electricista, Electrotécnicos, Ingeniería Tecnológica en Electrónica Ingeniería Tecnológica en Electrotecnia, Técnica en Electro-electrónica	Mantenimiento preventivo, nuevas tecnologías en mantenimiento y reparaciones, vigilancia de procesos y seguridad del hidrógeno	

Tabla 5: Etapa de energía

Extracto de la tabla de perfiles y competencias del Apéndice 4 “Perfiles y competencias”.

IV. Producción Primaria

Ingenieros químicos y técnicos especializados supervisan el proceso de electrólisis, donde la electricidad generada por fuentes renovables divide el agua en oxígeno e hidrógeno. Se encargan de la planificación de la producción, la supervisión del proceso, del mantenimiento de los electrolizadores y de garantizar condiciones óptimas para maximizar la producción y minimizar costos.

Producción Primaria								
Perfil Ocupacional	Descripción Perfil	Clasificación OIT/ESCO	Descripción Ocupacional	Competencias Clave	Conocimiento H ₂	Nivel de Formación Requerido (Grado y posgrado)	Conocimientos adicionales a la formación	Formación no disponible en Uruguay
Ingenieros de electrólisis	Es responsable del proceso principal de producción de la planta	N/A	Optimizan el uso de energía, diseñan y mejoran electrolizadores y la integración con fuentes de energía renovables, para reducir el costo del hidrógeno.	Diseñar y optimizar Electrolizadores, integración con energía renovable, sistemas de control y mantenimiento de electrolizadores, selección de materiales para electrodos y membranas.	1	Ingeniero Químico o Eléctrico con Maestría en Energía, Tecnología de Hidrógeno o Electroquímica.		Maestría en Energías Renovables. Maestría en Tecnología del Hidrógeno Verde. Especialización en electroquímica con énfasis en electrólisis
Ingeniero de producción de H ₂ y amoníaco	Apoya en la optimización del proceso de producción de H ₂	2141.4.2	Evalúan el rendimiento, analizan datos e identifican sistemas de producción deficientes, buscando soluciones y planificando mejoras y optimizaciones de procesos.	Dirigir la optimización de procesos, controlar la producción, evaluar la viabilidad financiera, aprobar y modificar diseños técnicos, utilizar software adecuado	1	Ingeniero Químico con Diploma en Producción de H ₂		Diploma en Producción de H ₂ . Maestría en Energías Renovables. Maestría en Tecnología del Hidrógeno Verde
Ingeniero de equipos auxiliares eléctricos y mecánicos	Apoya el mantenimiento de los equipos auxiliares eléctricos o mecánicos	N/A	Diseñan y supervisan sistemas eléctricos y mecánicos auxiliares, Realizan inspecciones y reparaciones necesarias. Monitorean el rendimiento de los equipos para identificar oportunidades de mejora.	Manejar circuitos eléctricos y equipos mecánicos, control y automatización, mantenimiento, regulaciones de seguridad	3	Ingeniero Eléctrico o Mecánico		

Tabla 6: Etapa de producción primaria

Extracto de la tabla de perfiles y competencias del Apéndice 4 “Perfiles y competencias”.

2.3.2 Producción Industrial

En esta etapa, químicos, ingenieros de procesos e industriales trabajan en la transformación del hidrógeno verde en productos derivados como amoníaco, metanol o combustibles sintéticos. Esto incluye la integración de CO₂ biogénico en procesos de captura y reutilización, lo que potencia la economía circular.

Producción Industrial								
Perfil Ocupacional	Descripción Perfil	Clasificación OIT/ESCO	Descripción Ocupacional	Competencias Clave	Conocimiento H ₂	Nivel de Formación Requerido (Grado y posgrado)	Conocimientos adicionales a la formación	Formación no disponible en Uruguay
Gerente de ventas y marketing	Es responsable de la venta de derivados a nivel local e internacional	1221	Planifican, dirigen y coordinan estrategias de ventas y marketing, establecen precios, presupuestos, campañas, lideran al equipo, supervisan operaciones diarias y representan a la empresa en eventos	Diseñar campañas basadas en análisis de mercado, gestionar presupuestos, interpretar ventas y tendencias, manejar Marketing Digital.	3	Administración de Empresas, Marketing, Economía o Negocios Internacionales con MBA		
Representante técnico-comercial	Apoya la venta de Derivados	2433.6	Actúan en nombre de una empresa para vender sus mercancías y al mismo tiempo proporcionar información técnica a los clientes.	Implementar las estrategias de comercialización, informar adecuadamente cuestiones técnicas a los clientes y resolver problemas técnicos atendiendo sus requerimientos acerca del almacenamiento y uso del hidrógeno, mantener registros de la interacción con los clientes, captar nuevos clientes.	3	Ingeniero Mecánico, Químico, Industrial, Licenciado en Química o Física. con Diploma en tecnologías de hidrógeno.		Maestría en Energías Renovables. Maestría en Tecnología del Hidrógeno Verde
Gerente de cadena de suministro	Es responsable de los suministros necesarios para la producción de derivados y el mantenimiento de la planta	1324.8	Planifican, gestionan y coordinan todas las actividades relacionadas con el abastecimiento y la adquisición de suministros necesarios para el funcionamiento de las operaciones de fabricación, desde la adquisición de materias primas hasta la distribución de productos terminados. Planifican y ponen en marcha todas las actividades necesarias en las plantas de fabricación y ajustan las operaciones a los niveles cambiantes de demanda de los productos de una empresa.	Analizar cadenas de suministros, cambios logísticos, evaluar riesgos de proveedores, mantener relaciones con proveedores, administrar inventarios.	3	Ingeniero Industrial, Administración de Empresas, Ingeniero Químico con Maestría en Logística y Cadena de Suministros		Maestría en Logística y Cadena de Suministros

Tabla 7: Etapa de producción industrial

Extracto de la tabla de perfiles y competencias del Apéndice 4 “Perfiles y competencias”.

2.3.3 Logística

Expertos en logística y transporte desarrollan soluciones para almacenar y mover hidrógeno comprimido o licuado, además de productos derivados, agua y CO₂, dentro del país y hacia mercados internacionales. Esto incluye diseñar sistemas seguros de transporte por carretera, gasoductos o barcos especializados, cumpliendo estrictas normativas de seguridad.

Logística								
Perfil Ocupacional	Descripción Perfil	Clasificación OIT/ESCO	Descripción Ocupacional	Competencias Clave	Conocimiento H ₂	Nivel de Formación Requerido (Grado y posgrado)	Conocimientos adicionales a la formación	Formación no disponible en Uruguay
Analítica de datos	Trabajan en la analítica de datos de los servicios logísticos	2511.3	Importan, inspeccionan, limpian, validan, modelan e interpretan recopilaciones de datos con respecto a los objetivos de la empresa	Inteligencia de datos, aplicación de métodos estadísticos y procesos de calidad de datos.		Licenciatura en Informática, Ingeniero en Informática, Ingeniero en Computación, Maestría en Ciencia de Datos	Proceso de Producción de Hidrógeno Verde, Análisis de Datos Energéticos	
Conductores de camiones pesados	Es responsable del transporte carretero de derivados	8332	Transportan combustible, productos peligrosos (como H ₂) y productos químicos por carretera.	Conocimiento de certificaciones para el transporte de mercancías peligrosas, maniobrar camiones pesados, operación de equipos de emergencia.		Chofer con libreta profesional, certificado de seguridad, Cargas peligrosas	Transporte seguro de hidrógeno y sus derivados a través de camiones cisterna.	Seguridad de la industria del H ₂ V
Conductor especializado carga peligrosa	Es responsable del transporte carretero de H ₂ o de derivados	8332.4	Transportan combustible y líquidos a granel, productos peligrosos y productos químicos por carretera.	Controlar el rendimiento del vehículo, maniobrar camiones pesados, operar equipo de emergencia, operar sistemas de posicionamiento global, practicar la conducción defensiva, practicar paradas de emergencia, prever problemas previsibles en las carreteras, revisar las certificaciones para el transporte de mercancías peligrosas, supervisar vehículos que transportan mercancías peligrosas, utilizar distintos métodos de comunicación	3	Libreta Profesional, cursos de seguridad vial	Formación en el manejo de carga peligrosa. Seguridad de la industria del hidrógeno.	Seguridad de la industria del H ₂ V

Tabla 8: Etapa de logística

Extracto de la tabla de perfiles y competencias del Apéndice 4 “Perfiles y competencias”.

2.4 Formación curricular requerida no existente en Uruguay en la actualidad

A nivel universitario en Uruguay existe conocimiento teórico sobre el H₂V y sus derivados, así como hay diversos grupos de investigación que trabajan en temas relacionados a la electrólisis y la producción de derivados.

La formación terciaria de grado incluye en su visión generalista los conocimientos de base necesarios para los distintos perfiles profesionales de la cadena de valor del H₂V y sus derivados.

A nivel terciario no se encuentra la formación específica de especialización o posgrado necesaria para algunos perfiles especializados de la cadena de valor:

Formación de Maestría:

- Maestría en Asuntos regulatorios
- Maestría en Cadena de Suministros
- Maestría en Celdas de Combustible
- Maestría en Diseño de sistemas eléctricos
- Maestría en Electroquímica
- Maestría en Energías Renovables
- Maestría en Logística
- Maestría en Mercados Energéticos
- Maestría en Modelado y Simulación
- Maestría en Nanotecnología y Materiales Avanzados
- Maestría en Tecnología del Hidrógeno Verde

Formación de especialización a nivel de posgrado:

- Posgrado en Ingeniería de Vehículos
- Posgrado en Plantas offshore
- Posgrado en Sistemas de Control Industrial Aplicado (SCADA)
- Diploma en Almacenamiento de Energía
- Diploma en Captura y Almacenamiento de Carbono
- Diploma en Producción de H₂
- Especialización en Biomasa
- Especialización en construcciones y plantas offshore
- Especialización en Electrólisis
- Especialización en Gasoductos, seguridad de H₂ y sus derivados
- Especialización en H₂V
- Especialización en Ingeniería Offshore. Especialización en Perforaciones
- Especialización en Logística.
- Especialización en Mecatrónica
- Especialización en Seguridad en la industria del hidrógeno Verde
- Especialización en electroquímica con énfasis en electrólisis

Carreras de grado:

- Ingeniería Civil offshore, especialización en H₂V
- Ingeniería en Gas & Oil
- Arquitectura Naval con Especialización en Proyectos de Hidrógeno Verde

A nivel de tecnicaturas, la cadena de valor del H₂V requiere de una serie de técnicos con formación específica para poder cubrir los cargos que van a surgir en la construcción y operación de las plantas de generación de energía, electrólisis y/o de derivados.

La formación necesaria que a la fecha no está disponible en el país es:

- Certificación en turbinas eólicas
- Mantenimiento de turbinas eólicas
- Soldadores especializados en tuberías de Hidrógeno

- Técnicos de automatización
- Técnicos en control de procesos
- Técnico electroquímico (Electrotécnicos)
- Técnico en Energía Solar
- Técnicos en Sistemas de Control (SCADA).
- Técnico en turbinas eólicas

Para muchos de los perfiles no se requieren formaciones completas, pero si la **formación curricular en temática específica**:

- Conocimiento del Mercado de Energía Renovable y del H₂V
- Gestión de la Regulación y Políticas Energéticas
- Habilidades en el desarrollo de Alianzas Estratégicas
- Energías Renovables
- Gestión de la Calidad con énfasis en H₂V
- Legislación y Regulaciones
- Operación y mantenimiento de gasoductos
- Seguridad de la industria del H₂V
- Seguridad en el transporte naval de H₂ y/o sus derivados
- Sistemas de almacenamiento y transporte de H₂ y derivados
- Tecnología del Hidrógeno

Sin embargo, hay en nuestro país cursos a nivel de grado y posgrado que aportan formación específica en temas de hidrógeno verde y derivados.

A modo de ejemplo, presentamos una serie de cursos que fueron ofrecidos por las instituciones educativas locales:

- Curso Avanzado en Hidrógeno Verde, Universidad de Montevideo, Centro de Postgrados en Ingeniería.
- Introducción al Hidrógeno Verde y Productos Derivados, Universidad Católica del Uruguay, Centro de Educación Continua.
- Optimización y análisis de sustentabilidad de sistemas de energía. Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, Posgrado y Educación permanente.
- Hidrógeno verde: producción y usos. Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, Posgrado y Educación permanente.
- Curso sobre Introducción al Hidrógeno Verde, CALEN, Posgrado.
- Tecnologías del hidrógeno, Instituto Universitario Sudamericano. Diploma internacional a distancia.
- Seguridad del Hidrógeno. Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, Posgrado y Educación permanente.
- Vehículos híbridos, eléctricos y a hidrógeno. Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, Posgrado y Educación permanente.
- Hidrógeno como fuente de energía: tecnologías para su producción y uso. Universidad de la República, Facultad de Química, Posgrado y Educación permanente.
- Herramientas electroquímicas teoría y aplicaciones. Universidad de la República, Facultad de Química, Posgrado y Educación permanente.

Existen brechas educativas que deben ser abordadas en diferentes niveles del sistema educativo, pero en general, ya se cuentan con las especializaciones y la capacidad académica necesarias para impartir cursos u ofrecer programas de nivelación. No obstante, hay una falta de experiencia a nivel operativo, industrial y en la gestión de proyectos de esta índole, así como un número insuficiente de personas ya formadas en estas áreas.

Es importante recordar que los centros de formación técnica y terciaria van a ir creando los cursos y las titulaciones en la medida que exista una masa crítica de alumnos. Una forma de fomentar la creación de nuevos cursos o titulaciones de grado o posgrado es la subvención a las primeras generaciones con pocos alumnos o bien para la creación de la formación sin una masa crítica inicial importante. También la coordinación con el sector productivo para formar a los operarios y/o profesionales que serán empleados directamente.

3 Aspectos críticos

3.1 Estabilidad de grupos científicos y de técnicos

La existencia de Universidades y centros de investigación permite la permanencia de grupos de investigación en el contexto del desarrollo de clusters y hubs innovadores con especialización en varios sectores de alta tecnología y en directa asociación con las empresas innovadoras. Por ejemplo, los bio-clusters crecen a través de procesos acumulativos que llevan a la concentración de una masa crítica de empresas privadas, de profesionales expertos, de intermediarios experimentados y de infraestructura adecuada para apoyar actividades de investigación, desarrollo e innovación en una ubicación específica, estableciéndose una continuidad de convocatorias sobre temáticas bien definidas que permiten a los investigadores seguir su línea de trabajo con ingresos razonables, generando actividad y puentes.

La capacidad de contratación global de las empresas hoy puede transformarse en un punto crítico ya que puede afectar fuertemente la capacidad de contratación de empresas nacionales públicas y privadas. Si las empresas nacionales no pueden pagar sueldos similares a los internacionales, entonces, estarán condenadas a perder su mejor capital humano, o por lo menos, serán incapaces de crecer. Esto se aplica también a profesionales y técnicos, en donde la cadena del H2V en general y el manejo del Hidrógeno en particular requieren varias competencias que son similares a las que se encuentran en la industria del refinamiento del petróleo, su transporte y la venta de derivados. Esto refuerza la necesidad de incrementar la cantidad de profesionales y técnicos con las competencias adecuadas en el país.

Este fenómeno, aún no estabilizado ni estudiado en su total magnitud debe ser considerado en las estrategias nacionales de investigación desarrollo e innovación y de educación técnica y universitaria a través de una fuerte estructuración del triángulo Gobierno-Academia-Empresa, donde el gobierno juega un papel fuerte en el entramado y los investigadores (al menos de las áreas que se deciden estratégicas) se sientan no solo respaldados sino incluso motivados por trabajar en campos de frontera tecnológica a nivel nacional.

3.2 Formación de masa crítica en ciertas disciplinas

La formación de masa crítica es uno de los aspectos centrales en la conformación de hubs tecnológicos, polos tecnológicos u otras modalidades de ecosistemas tecnológicos. Si no hay capital humano, no es posible desarrollar actividades intensivas en conocimiento. A estos efectos es correcto considerar la creación de ecosistemas tecnológicos alrededor del H2V. Estos ecosistemas de innovación contribuyen a la generación de condiciones para la generación de riquezas y bienestar y sus pilares fundamentales son: cultura de innovación, inversión en tecnología, inmigración calificada y sistema educativo técnico y superior de altos niveles. No solamente se requieren capacidades humanas, sino, además, un entorno de negocios adecuado. Atraer residentes y ciudadanos con experiencia en la industria particular y academia son puntos de partida recomendables.

Para la creación de capacidad es fundamental la captación de migrantes calificados, la formación de científicos y la existencia de un contexto innovador que atraiga y retenga a las mejores mentes. La formación es un área continua de trabajo, ampliando el ingreso de estudiantes, avanzando en la cobertura territorial de las Universidades e Instituciones de Enseñanza Tecnológica superándose permanentemente en calidad. Por eso, otro aspecto clave es la continuidad en el tiempo de nuevas inversiones de empresas públicas o privadas en eslabones de la cadena del H2V que permitan brindar a los recursos humanos calificados una estabilidad laboral y/o una trayectoria laboral desafiante a lo largo de los años.

Pero esto no es suficiente. La retención de profesionales, técnicos, científicos y otros recursos calificados depende del arraigo que alcancen en las localizaciones donde se encuentra la producción de H2V y otros eslabones. Es un desafío importante para un país con la población concentrada en el área metropolitana y donde las restantes localizaciones tienen una baja cantidad de habitantes. El análisis de la literatura comparada para esta fase del estudio muestra que los países han abordado de forma similar los principales factores de formación del capital humano. Un conjunto de factores importantes tiene que ver con la calidad de vida, seguridad, calidad de los trabajos y muchos otros factores “blandos” que afectan las decisiones como la calidad de los servicios de salud, la educación a nivel personal y familiar. No existen indicadores globales de calidad que cubran estos aspectos de forma homogénea que nos permita una comparación significativa. Estos factores ayudan a la atracción y retención de talentos. Es fundamental también el acceso a una oferta cultural variada, rica y adecuada. La actuación del estado nacional y las autoridades locales es fundamental en este aspecto como en tantos otros.

3.3 Impulso a programas de transferencia de tecnología

La transferencia de conocimientos o de tecnología es un proceso destinado a adquirir, recabar y compartir conocimientos expresos y tácitos, incluyendo, además de los conocimientos científicos y tecnológicos, otros tipos de conocimientos, como los conocimientos del uso de normas y reglamentos que los incorporan y de entornos de condiciones reales de funcionamiento y métodos de innovación en materia de organización, así como gestión de conocimientos relacionados con la identificación, adquisición, protección, defensa y explotación de otros activos inmateriales.

La tecnología generalmente se transfiere a través de recursos legales, como la concesión de licencias de propiedad intelectual patentada a empresas e institutos de investigación incluidas las universidades; también a empresas e institutos ad hoc de nueva creación o por medio de empresas existentes que sean proveedores en la cadena de suministros o por la creación de empresas mixtas entre los anteriores y la empresa que transfiere tecnología, de modo que la accesibilidad de los desarrollos innovadores esté asegurada. Igualmente se utilizan en forma exitosa y valiosa para las partes los acuerdos de colaboración con fines de investigación, acuerdos de transferencia de material entre otros.

En las cadenas de valor, donde se está incrementado en las décadas recientes la transferencia de tecnología y la responsabilidad por algunos temas de investigación hacia eslabones previos a la empresa líder de la cadena, existen otros mecanismos de menor profundidad para la empresa que aporta el conocimiento tecnológico y que también pueden ser adecuados y efectivos dependiendo del tipo de conocimiento transmitido a la empresa receptora de la transferencia tecnológica: asesorías, asistencia técnica, consultoría, cursos de capacitación, apoyo con recursos financieros y humanos a instituciones educativas para curso de posgrado y módulos de capacitación.

En el caso específico de la institución de investigación, la transferencia exitosa de la tecnología le da visibilidad pues obtiene reconocimiento y aumenta su reputación por su potencial de investigación e innovación, y beneficia a sus socios industriales, que pueden reducir los costos en investigación y desarrollo al obtener licencias a la vez que obtienen nuevos o mejores productos y costos menores.

Pero a la postre, el beneficiario final de la transferencia de tecnología tanto a empresas de la cadena de suministro como a instituciones de investigación es el público en general y el país en particular, que se benefician tanto de los productos que llegan al mercado como de los empleos resultantes del desarrollo, fabricación y venta de productos.

Este último aspecto es muy importante porque además de los beneficios enumerados crea un tejido empresarial y una relación con los distintos actores de la sociedad receptora favorable al desarrollo nacional. Esto se opone claramente a una política de formación de enclaves exportadores cuyo aporte es escaso tanto para el país como para sus habitantes y que tienen como objetivo beneficiarse de una alta extracción de recursos naturales, bajos salarios comparativos y control ambiental y social bajo o nulo. Esto sumado a altos beneficios fiscales crea un creciente y legítimo rechazo a su instalación, y lo que es fundamental, una fuerte resistencia a su permanencia en el largo plazo, lo que se debe evitar para poder avanzar en empresas de las que todos se benefician.

3.4 Promoción para el desarrollo de agendas en el ámbito territorial

Los estudios realizados sobre la regionalización de las actividades de investigación, desarrollo e innovación revelaron claramente que una política nacional que busque promover una economía inclinada a la innovación en áreas diferentes a la zona metropolitana debe basarse principalmente en ventajas competitivas regionales. En otras palabras, se debe hacer un esfuerzo para fortalecer el centro de gravedad local fomentando la innovación tecnológica y el espíritu empresarial. El estudio también encontró que el empleo de alta tecnología de calidad debería estar más disponible para estos residentes, tanto para solucionar la escasez de capital humano en la industria de alta tecnología como para aumentar los salarios y la productividad.

La localización de industrias como las de la cadena del hidrógeno verde genera presiones contradictorias en el territorio. A la expectativa de amplios sectores de población del territorio por la generación de empleo directo e indirecto asociado se opone el bajo impacto en la disminución de la desocupación en el territorio en experiencias recientes, el temor a la afectación de los recursos naturales del territorio por los volúmenes extractivos que estas cadenas pueden implicar, la precaución por el impacto ambiental de los residuos de distinto tipo de estas cadenas, entre otros. A estos aspectos se suma el hecho de que la cadena del hidrógeno no es una industria madura tecnológicamente, aunque se está realizando una gran inversión a nivel mundial para investigación y desarrollo, que tiene perspectivas inciertas en cuanto a competitividad y demanda lo que implica inestabilidad laboral.

La promoción de agendas territoriales que implique los temas de fomento de capacidades aquí tratados es una de las cuestiones crítica (pero no la única) para la sostenibilidad de los proyectos de hidrógeno, no solo para solucionar la escasez de capital humano en el territorio sino para la implicación de todos los actores locales desde la planificación inicial.

Conclusión

El éxito del desarrollo del hidrógeno verde en Uruguay, basado en la inversión nacional y extranjera, en las capacidades nacionales y en generación y aplicación del conocimiento internacional y local, dependerá en gran medida del equilibrio de la combinación de políticas que se logren en relación a los temas desarrollados en los capítulos anteriores y a la satisfacción de la demanda de recursos formados y capacitados para los perfiles y las competencias descritas. Solo se puede considerar exitoso dicho desarrollo si el resultado al horizonte 2040 no solo logre producir hidrógeno verde en condiciones competitivas de calidad y costo en los volúmenes necesarios para el mercado local y la exportación, sino que lo haga con una captación significativa del valor agregado en la cadena del hidrógeno, con un adensamiento del tejido productivo, con un incremento de la capacidad tecnológica del país y generando una cantidad importante de empleos de calidad en forma sustentable e inclusiva.

Del trabajo presentado teniendo en cuenta esa consideración, básicamente cabe resaltar:

- a. un enfoque impulsado por la gobernanza en el que el primer paso sería el establecimiento de un órgano de gobernanza de alto nivel que desarrolle una estrategia nacional de H2V y una consulta integral con toda la sociedad. Esta estrategia tendría entonces que implementarse con una estructura de gobernanza adecuada según las recomendaciones del capítulo 3.1.
- b. un completo insumo de las capacidades humanas (perfiles ocupacionales, competencias, formación de base y capacitación complementaria) necesarias para el desarrollo de la cadena de valor del H2V con vistas al 2040, junto con las correspondientes propuestas para elaborar un plan para desarrollarlas.

4 Bibliografía

Beasy, K., Emery, S., Pryor, K., & Vo, T. A. (2023). Skilling the green hydrogen economy: A case study from Australia. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(52), 19811–19820.

Cammeraat, E., Dechezleprêtre, A., & Lalanne, G. (2022). Innovation and industrial policies for green hydrogen. *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers* (No. 125). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/fobb5d8c-en>

Chang, H.-J., & Andreoni, A. (2019). Institutions and the process of industrialisation: Towards a theory of social capability development. In *The Palgrave Handbook of Development Economics: Critical Reflections on Globalisation and Development* (pp. 409–439).

Ciarli, T., Madariaga, A., Espinoza, F., & Foster-McGregor, N. (2024). Estrategias industriales para hacer frente a los retos del siglo XXI: tendencias de los objetivos, las justificaciones y el diseño en el ámbito de las políticas y en el mundo académico (Documentos de Proyectos No. LC/TS.2024/78). CEPAL.

Cimoli, M., Pereima, J. B., & Porcile, G. (2019). A technology gap interpretation of growth paths in Asia and Latin America. *Research Policy*, 48(1), 125–136. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.08.002>

European Skills, Competences, Qualifications and Occupations – ESCO. (n.d.). Retrieved from <https://esco.ec.europa.eu/>

FAO. (2015). AQUASTAT perfil de país – Uruguay. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Ferragut, P., Goldenberg, F., Correa, C., & Gischler, C. (2022). Hidrógeno verde y el potencial para Uruguay: insumos para la elaboración de la Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde de Uruguay. Inter-American Development Bank.

Green Skills 4H2 – ERASMUS-EDU-2021-PI-ALL-INNO. (2022). Green Skills for Hydrogen: Identify occupational profiles and urgent skills needs. https://pact-for-skills.ec.europa.eu/community-resources/publications-and-documents/green-skills-hydrogen-identify-occupational-profiles-and-urgent-skills-needs_en

Green Skills 4H2. (2023). *European Hydrogen Skills Strategy*. <https://greenskillsforhydrogen.eu/wp-content/uploads/2023/10/Green-Skills-for-Hydrogen-European-Hydrogen-Skills-Strategy-last-update-24102023.pdf>

IEA. (2024). *Global Hydrogen Review 2024*. IEA.

Instituto de las Américas. (2022). Latin America energy transition workforce readiness assessment and barometer. Retrieved from <https://iamericas.org/energytransitionreport>

International PtX Hub & Ministerio de Energía de Chile. (2023). Encadenamientos productivos de la industria de hidrógeno verde y derivados en Magallanes y la Antártica Chilena. Retrieved from <https://h2lac.org/archivos/encadenamientos-productivos-de-la-industria-de-hidrogeno-verde-y-derivados-en-magallanes-y-la-antartica-chilena/>

International PtX Hub. (2023). Identificación de brechas y estrategia de formación de capacidades en la industria de hidrógeno verde y sus derivados en Uruguay: Informe final de taller de trabajo participativo con mesa de trabajo ampliada CONICYT – H2U.

Leguijt, C., van den Toorn, E., Bachaus, A., Jongsma, C., & Pulles, K. (2021). *Jobs from investment in green hydrogen: Update and extension*. CE Delft.

- Medina, N., Scarone, M., Sierra, W., Coopman, M., Correa, C., Gonzalez, M., & Irrazabal, G. (2021). *Hidrógeno verde: un paso natural para Uruguay hacia la descarbonización*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Ministerio de Educación y Cultura – MEC. (2022). Reordenamiento institucional del área de Ciencia, Tecnología e Innovación.
- Ministerio de Educación y Cultura. (2024). Instituciones terciarias privadas autorizadas y carreras reconocidas privadas y públicas.
- Ministerio de Industria, Energía y Minería – MIEM. (2022). *Hoja de Ruta del Hidrógeno Verde en Uruguay*.
- Ministerio de Industria, Energía y Minería – MIEM. (2023). Hoja de ruta del hidrógeno verde y derivados en Uruguay.
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social – MTSS. (2024). Definición de escenarios y recomendaciones de políticas activas de empleo y formación profesional, energías renovables.
- Ministerio de Trabajo, SENCE y ChileValora. (2023). Prospectiva sobre empleo y formación profesional en sectores verdes: hidrógeno verde en Chile.
- Ministerio de Industria, Energía y Minería. (2023). *Balance Energético Nacional*. Retrieved from <https://ben.miem.gub.uy/>
- OCDE. (2021). *OECD Skills Outlook 2021: Learning for life*. OECD.
- Oficina de Planeamiento y Presupuesto – OPP – Presidencia Uruguay. (2019). Prospectiva de la participación laboral Uruguay 2050. Serie de divulgación – Volumen V.
- OIT. (2005). *Recomendación sobre el desarrollo de los recursos humanos: Educación, formación y aprendizaje permanente*. Ginebra.
- OIT. (2016). *What works: Active labour market policies in Latin America and the Caribbean*. International Labour Office.
- OIT. (2023). Reunión técnica: anticipación de la demanda y definición de perfiles de empleos verdes. Resultados en el sector de hidrógeno verde. Montevideo, Uruguay.
- OMPI. (n.d.). Acuerdos de transferencia de tecnología. Organización Mundial de la Propiedad Intelectual.
- Patel, P., & Pavitt, K. (1995). Technological competencies in the world's largest firms: characteristics, constraints and scope for managerial choice.
- PwC Consulting. (2022). Developing Australia's hydrogen workforce: final report.
- Rodrik, D. (2018). New technologies, global value chains, and developing economies. National Bureau of Economic Research.
- Saget, C., Vogt-Schilb, A., & Luu, T. (2020). El empleo en un futuro de cero emisiones netas en América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo & Organización Internacional del Trabajo.
- Udelar. (2024). Informe del equipo académico multidisciplinario, en relación a la instalación en el territorio nacional de emprendimientos de generación de hidrógeno verde (H2V).
- Udelar. (2024). Carreras de grado de la Udelar.
- UNIDO. (2023). *Green Hydrogen Industrial Clusters: Guidelines*. United Nations Industrial Development Organization.
- UNIDO, IRENA, & IDOS. (2024). *Green hydrogen for sustainable industrial development: a policy toolkit for developing countries*. UNIDO, IRENA y IDOS.

United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). (2023). *Green hydrogen for sustainable industrial development: a policy toolkit for developing countries* (First edition).

United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). (2023). *Green Hydrogen Industrial Clusters Guidelines*.

Universidad de Magallanes-Centro de Estudios de los Recursos Energéticos. (2023). Evaluación de brechas de capacidades y desarrollo de estrategia de formación de talento humano para power-to-x región Magallanes.

Uruguay XXI. (2023). Energías renovables en Uruguay.

Uruguay. (2022). Estrategia climática de largo plazo de Uruguay: para un desarrollo bajo en emisiones de gases de efecto invernadero y resiliente al clima.

UTEC, Inefop & MIEM. (2023). Prospectiva sobre empleo y formación profesional en sectores verdes: informe vehículos eléctricos en Uruguay.

UTEC. (2024). Carreras de la UTEC.

UTU. (2024). Carreras de la UTU.

Vargas Zúñiga, F. (2020). Formación profesional en la respuesta a la crisis y en las estrategias de recuperación y transformación productiva post COVID-19. *Panorama Laboral en Tiempos de la COVID-19* (nota técnica).

WorldWide Recruitment Energy. (2023). Contexto laboral en la industria del hidrógeno verde 2023.

Cursos ofrecidos por instituciones educativas locales

- Curso Avanzado en Hidrógeno Verde, Universidad de Montevideo, Centro de Postgrados en Ingeniería. <https://um.edu.uy/centro-de-postgrados-de-ingenieria/oferta-academica/curso-avanzado/curso-avanzado-en-hidrogeno>
- Introducción al Hidrógeno Verde y Productos Derivados, Universidad Católica del Uruguay, Centro de Educación Continua. <https://www.ucu.edu.uy/agenda/evento/2024-08-06--Introduccion-al-hidrogeno-verde-y-productos-derivados--482>
- Optimización y análisis de sustentabilidad de sistemas de energía. Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, Posgrado y Educación permanente. <https://www.fing.edu.uy/es/node/50671>
- Hidrógeno verde: producción y usos. Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, Posgrado y Educación permanente. <https://www.fing.edu.uy/es/node/49766>
- Curso sobre Introducción al Hidrógeno Verde, CALEN, Posgrado. <https://www.gub.uy/ministerio-defensa-nacional/comunicacion/noticias/curso-sobre-introduccion-hidrogeno-verde-calen>
- Tecnologías del hidrógeno, Instituto Universitario Sudamericano. Diploma internacional a distancia. <https://iusur.edu.uy/wp/hidrogeno-verde/>
- Seguridad del Hidrógeno. Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, Posgrado y Educación permanente. <https://www.fing.edu.uy/es/node/49507>
- Vehículos híbridos, eléctricos y a hidrógeno. Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, Posgrado y Educación permanente. <https://www.fing.edu.uy/es/node/46750>
- Hidrógeno como fuente de energía: tecnologías para su producción y uso. Universidad de la República, Facultad de Química, Posgrado y Educación permanente. <https://www.fq.edu.uy/?q=es/node/1334>
- Herramientas electroquímicas teoría y aplicaciones. Universidad de la República, Facultad de Química, Posgrado y Educación permanente. <https://www.fq.edu.uy/?q=es/node/1270>

5 Apéndices

Apéndice 1 - Cadena de valor del hidrógeno verde en Uruguay

Según la CEPAL¹ una cadena de valor abarca todas las actividades necesarias para que un producto o servicio avance a través de las distintas etapas de producción, desde su creación hasta su entrega al consumidor y su posterior disposición. Cualquier empresa, sin importar su tamaño, forma parte de al menos una cadena de valor local; por ejemplo, un agricultor que cultiva para su propio consumo adquiere insumos como semillas y herramientas, lo que lo conecta con otros eslabones. Además, las empresas que participan en exportaciones, ya sea directa o indirectamente, se integran en cadenas de valor a nivel regional o global.

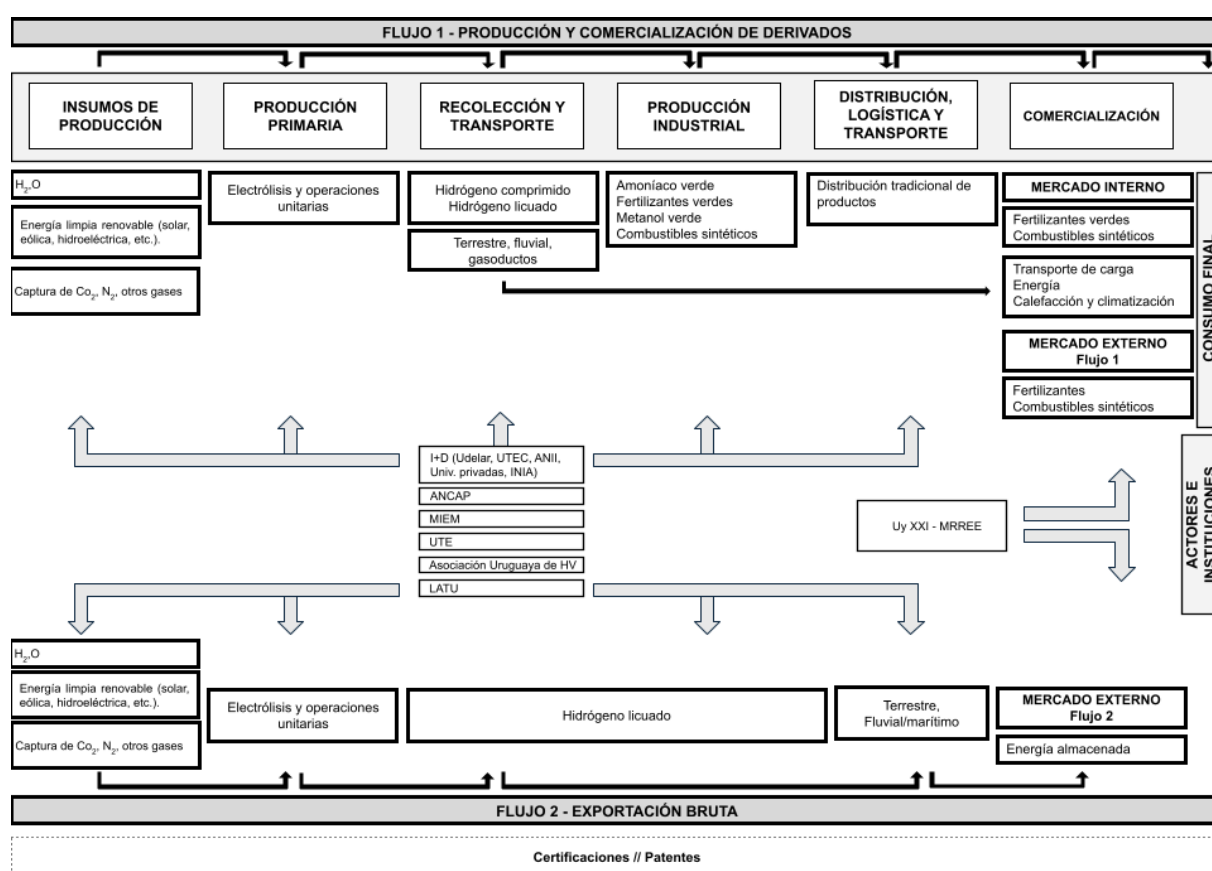


Figura 1: Flujo de producción y comercialización de derivados

Fuente: Elaboración propia

La cadena de valor del hidrógeno verde (H2V) en Uruguay se estructura en varias etapas principales, desde la producción de energía renovable hasta la distribución y el consumo final. Esta cadena aprovecha las ventajas competitivas del país en energías renovables y su¹ ubicación estratégica, con el objetivo de posicionarse como un exportador líder de hidrógeno verde y sus derivados. A continuación, se detalla cada etapa, con un enfoque ampliado en cada una de ellas.

Gracias a su sólida infraestructura renovable, Uruguay se encuentra en una posición privilegiada para producir hidrógeno verde a costos competitivos. Según proyecciones, para 2030 los costos de producción podrían rondar entre 1,2 y 1,4 USD/kg², lo que posiciona al país como un actor relevante en el mercado global de hidrógeno. Este costo

¹ <https://biblioguias.cepal.org/c.php?g=159548&p=1044467>

² Hoja de ruta del H2V

competitivo, impulsado por el bajo precio de la energía renovable, permitirá a Uruguay aprovechar la creciente demanda internacional de hidrógeno verde, especialmente en mercados europeos y asiáticos.

Para la determinación de perfiles, competencias y la formación requerida, se consideró la cadena de valor del diagrama, dividiendo la misma en fases relevantes.

A estas fases se sumó la planificación y la construcción de la infraestructura necesaria para la operativa de la cadena.

Las fases consideradas con su vínculo con el esquema son:

- **Diseño y construcción de la infraestructura**
 - Diseño de la infraestructura necesaria (Diseño)
 - Manufactura y construcción de la infraestructura (Construcción), que engloba la concreción de la obra civil necesaria, la adquisición del equipamiento en plaza o importada, tanto de la planta de producción de H₂V, como de la planta de derivados y la producción de energía.
- **Operación en régimen**
 - Generación de Energía (Energía): implica la generación de energías renovables presente en INSUMOS DE PRODUCCIÓN en el esquema.
 - Producción de H₂V (Producción Primaria): implica la PRODUCCIÓN PRIMARIA del esquema. Esta fase incluye la producción de agua
 - Producción de derivados (Producción Industrial): implica la captura de CO₂, N, y otros gases de INSUMOS DE PRODUCCIÓN del esquema y la producción de derivados que en el esquema figura como PRODUCCIÓN INDUSTRIAL.
 - Logística (Logística): engloba los eslabones del esquema: RECOLECCIÓN y TRANSPORTE de H₂V, DISTRIBUCIÓN, LOGÍSTICA, Y TRANSPORTE de derivados y la COMERCIALIZACIÓN.

I. Diseño

Corresponde a la primera etapa para el desarrollo de un proyecto. Involucra procesos de planificación, análisis de prefactibilidad, diseños de ingeniería, logística, definición de modelo de negocios, contratos de arriendo o adquisición de terrenos, estudios de factibilidad, búsqueda de financiamiento, levantamiento de líneas de base, preparación y presentación de estudios de impacto ambiental (EIAs) y obtención de permisos en general.

II. Construcción

Una vez validado el modelo de negocios, obtenidos los permisos correspondientes y asegurado el financiamiento, se comienzan a emitir las órdenes de compra para la adquisición de componentes, partes y piezas, además de iniciar las obras de construcción. De esta manera es necesario diferenciar el proceso de manufactura, que corresponde a la fabricación y ensamblaje de los componentes como las palas, las torres, los rotores, los electrolizadores u otras, del de la construcción que se vincula al transporte (internación), la preparación de terrenos, la instalación y el montaje de la infraestructura en general en el territorio.

III. Energía:

Con la construcción de la infraestructura base se crean nuevas demandas vinculadas a la generación y transmisión de electricidad, lo que involucra la determinación del modelo y el desarrollo de líneas de alta tensión, los sistemas de almacenamiento, los back up ante la falta de recursos eólicos, conexiones a la red, el mantenimiento de los aerogeneradores, entre otros.

Uruguay ha logrado destacarse a nivel mundial por su matriz energética, que en 2022 alcanzó una participación del 90% de energías renovables en su generación eléctrica. Este alto porcentaje de energías limpias proviene de una combinación de fuentes como la energía eólica, solar, biomasa e hidroeléctrica. Esta base sólida es fundamental para alimentar los procesos de electrólisis que permiten la producción de hidrógeno verde.

Un aspecto crucial es la complementariedad entre las fuentes renovables. La energía eólica y solar, aunque intermitentes, se complementan entre sí, lo que permite una producción constante de energía a lo largo del año. Uruguay ha diseñado su matriz de manera que, en momentos de sobreproducción de energía eólica o solar, esta energía pueda ser almacenada o utilizada para producir hidrógeno verde mediante electrólisis.

Este balance energético no solo asegura que la producción de hidrógeno verde sea eficiente y económica, sino que también refuerza la resiliencia del sistema eléctrico nacional, evitando la sobrecarga de las redes y minimizando la necesidad de importar energía en momentos críticos.

a. Energía Eólica:

Uruguay ha invertido fuertemente en energía eólica, que representa el 32% de su matriz eléctrica. El país tiene un potencial excepcional para la generación eólica debido a su geografía y condiciones climáticas favorables. Gran parte de los parques eólicos están ubicados en regiones costeras y áreas con vientos constantes, lo que garantiza un suministro de energía estable y continuo. Además, se ha explorado la posibilidad de desarrollar proyectos de energía eólica offshore (en alta mar), lo cual podría incrementar aún más la capacidad de generación.

En 2022, Uruguay contaba con más de 1.500 MW de capacidad instalada de energía eólica. Esta energía, que es intermitente pero complementaria con la energía solar, es utilizada para alimentar los electrolizadores en momentos de alta generación, contribuyendo directamente a la producción de hidrógeno verde a bajo costo.

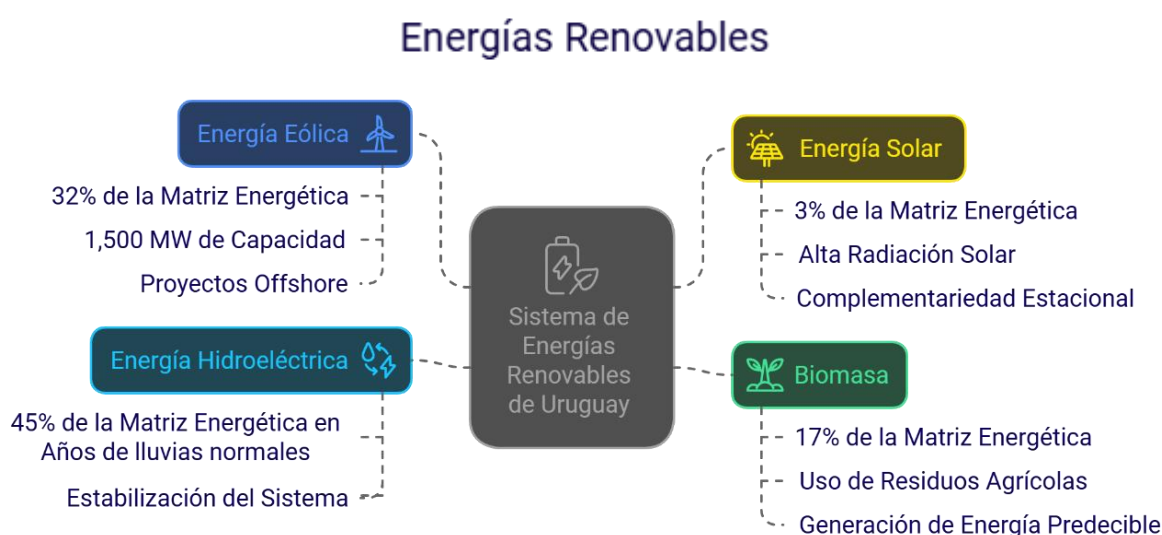


Figura 2: Capacidad instalada por fuente de energía renovable

Fuente: Elaboración propia

b. Energía Solar:

La energía solar también juega un papel clave en la producción de hidrógeno verde. Si bien su participación actual en la matriz eléctrica es menor en comparación con la eólica (alrededor del 3%), su crecimiento ha sido constante. Uruguay tiene un excelente nivel de radiación solar, especialmente en las regiones del norte, lo que abre oportunidades significativas para la expansión de proyectos de generación fotovoltaica.

El gobierno ha promovido la instalación de parques solares y el uso de energía solar térmica en sectores industriales. Además, la complementariedad estacional entre la energía eólica (más abundante en invierno) y la solar (más intensa en verano) ofrece un balance ideal para la producción de hidrógeno verde durante todo el año.

c. Biomasa:

Otra fuente importante en la matriz energética de Uruguay es la biomasa, que representa aproximadamente el 17% de la generación eléctrica. El uso de residuos forestales y agrícolas para la producción de energía no solo ayuda a diversificar la matriz, sino que también complementa las otras fuentes renovables al poder generar electricidad de manera más predecible.

d. Energía Hidroeléctrica:

En cuanto a la energía hidroeléctrica, aunque su participación ha disminuido debido a la mayor integración de otras energías renovables, sigue siendo una fuente clave, representando el 40% de la matriz en años de alta pluviosidad. Las plantas hidroeléctricas, situadas principalmente en el Río Negro, han sido históricamente el principal pilar de la generación eléctrica en Uruguay y juegan un rol de estabilización en el sistema eléctrico, proporcionando energía en momentos de menor producción eólica o solar.

IV. Producción Primaria y Producción Industrial

Corresponde al proceso operativo de las plantas químicas, lo cual involucra temas de desalación y otros procesos de depuración de aguas, la producción del hidrógeno verde a través de la electrólisis, la adquisición y/o captura de CO_2 para la conversión a e-fuels o de N_2 para la conversión a amoníaco, las certificaciones de la producción, el mantenimiento de las plantas y la gestión de aguas residuales y eventuales desechos como la salmuera.

a. Producción de hidrógeno verde

La electrólisis es el proceso por el que se logra la producción de hidrógeno verde, ya que es el método mediante el cual se separa el hidrógeno del agua utilizando electricidad generada a partir de fuentes renovables. Este hidrógeno luego puede almacenarse o ser utilizado directamente en diversas aplicaciones industriales y de transporte. A continuación, se profundiza en los aspectos técnicos, el origen del agua utilizada y los posibles impactos ambientales. El proceso de electrólisis consiste en la disociación de la molécula de agua (H_2O) en hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2) mediante la aplicación de una corriente eléctrica.

Los electrolizadores son impulsados por la electricidad generada por las fuentes renovables (eólica, solar, biomasa, etc), lo que garantiza que el hidrógeno producido sea totalmente libre de emisiones de carbono. Dado el alto porcentaje de energía renovable en la matriz eléctrica de Uruguay, el país está en una excelente posición para escalar la producción de hidrógeno verde.

b. Origen del agua para la electrólisis

El agua es un insumo esencial en el proceso de electrólisis, ya que cada kilogramo de hidrógeno producido requiere aproximadamente 9 litros de agua. Aunque Uruguay es un país con una abundante disponibilidad de recursos hídricos, principalmente debido a su extensa red de ríos y acuíferos, es importante gestionar este recurso de manera sostenible para evitar impactos negativos en el medioambiente.

La HdR resalta que, en términos generales, el agua necesaria para la producción de hidrógeno verde no representa una amenaza para los recursos hídricos del país, ya que se extraería de fuentes renovables y controladas, como ríos o sistemas de aguas residuales tratadas. Además, el país ya cuenta con importantes infraestructuras hidroeléctricas que gestionan de manera eficiente el uso del agua.

c. Impacto ambiental del uso del agua

Aunque el proceso de electrólisis requiere agua, su impacto ambiental es relativamente bajo en comparación con otros usos intensivos del agua, como la agricultura o la industria pesada. Sin embargo, el aumento en la demanda de agua para la producción de hidrógeno podría ser un desafío en áreas con escasez de recursos hídricos o durante periodos de sequía.

d. Oxígeno como subproducto

El proceso de electrólisis no sólo produce hidrógeno, sino también oxígeno como subproducto. Este oxígeno puede aprovecharse en varias aplicaciones industriales, como en plantas de tratamiento de aguas o en procesos de combustión industrial. Esto no sólo agrega valor al proceso de producción de hidrógeno, sino que también puede ayudar a reducir los costos operativos si se integra de manera eficiente con otras industrias locales.

El uso del oxígeno derivado del proceso de electrólisis es una oportunidad que Uruguay podría explorar más a fondo, especialmente en sectores como la salud, la manufactura y el tratamiento de aguas. Aprovechar este subproducto no solo refuerza el carácter sostenible del hidrógeno verde, sino que además diversifica las fuentes de ingresos en torno a su producción.

El hidrógeno verde puede transformarse en productos derivados de alto valor agregado, como el amoníaco verde, e-Jet Fuel (combustible de aviación sostenible) y e-metanol. Estos productos son esenciales para descarbonizar sectores industriales y de transporte, donde la electrificación directa es más difícil. A continuación, se detallan las principales aplicaciones y la importancia de estos productos en la transición hacia una economía descarbonizada.

e. Amoníaco verde

El amoníaco (NH_3) es uno de los productos más relevantes derivados del hidrógeno verde. Tradicionalmente, el amoníaco se produce mediante el proceso Haber-Bosch, que consume grandes cantidades de gas natural, generando altas emisiones de CO_2 . Sin embargo, al usar hidrógeno verde como insumo, es posible producir amoníaco verde, que no emite gases de efecto invernadero durante su fabricación. El amoníaco verde tiene aplicaciones en la agricultura, donde se usa como base para fertilizantes, y también en la industria química. Sin embargo, una de las áreas emergentes más prometedoras es su uso como combustible marino limpio. El amoníaco tiene una densidad energética alta, lo que lo convierte en un sustituto viable para el combustible en grandes embarcaciones y permite una alternativa de transporte de hidrógeno más eficiente. Uruguay, con su sólido sector agrícola, podría beneficiarse enormemente de la producción de amoníaco verde, tanto para satisfacer la demanda interna de fertilizantes como para exportar este producto a mercados internacionales.

f. Captura de CO_2 para producir e-jet fuel y e-metanol

Tanto el e-Jet Fuel como el e-metanol dependen de la captura de CO_2 para cerrar el ciclo de carbono. La captura de CO_2 puede realizarse mediante diferentes métodos, como la captura directa del aire (DAC, por sus siglas en inglés) o la captura en procesos industriales que emiten CO_2 . Esta captura es esencial para que los combustibles sintéticos sean considerados neutros en carbono, ya que el CO_2 liberado durante su combustión es el mismo que fue capturado previamente para producir el combustible.

Uruguay posee una fuente importante de CO_2 biogénico, derivado de procesos industriales que emplean biomasa sostenible, como el sector agroindustrial y forestal. Esto constituye un diferencial importante respecto de otros países.

En cuanto a la producción de e-metanol frente al e-Jet Fuel, la principal diferencia radica en la estructura química y los procesos de refinamiento. Mientras que el e-Jet Fuel se obtiene mediante procesos Fischer-Tropsch para producir hidrocarburos líquidos más largos, el e-metanol es una molécula más simple y directa, lo que hace que su producción sea más eficiente y menos costosa en términos de energía. El e-metanol es más económico de producir, dado que requiere menos etapas de procesamiento y menor refinamiento en comparación con el e-Jet Fuel.

g. e-Jet Fuel

El e-Jet Fuel es un combustible sintético producido a partir de hidrógeno verde y dióxido de carbono capturado (CO_2). Es una de las soluciones más prometedoras para descarbonizar la industria de la aviación, que es responsable de una proporción significativa de las emisiones globales de CO_2 .

El e-Jet Fuel se produce mediante un proceso conocido como Fischer-Tropsch, donde el hidrógeno verde reacciona con el CO_2 capturado, generando hidrocarburos líquidos que se refinan para producir combustible para aviones. Al utilizar

CO₂ capturado de la atmósfera o de fuentes industriales, el ciclo de carbono del e-Jet Fuel es casi neutro, ya que las emisiones de CO₂ durante la combustión se compensan con el CO₂ capturado en su producción.

El desarrollo de e-Jet Fuel podría ser una opción estratégica para abastecer la creciente demanda de combustibles de aviación sostenible, tanto a nivel local como internacional.

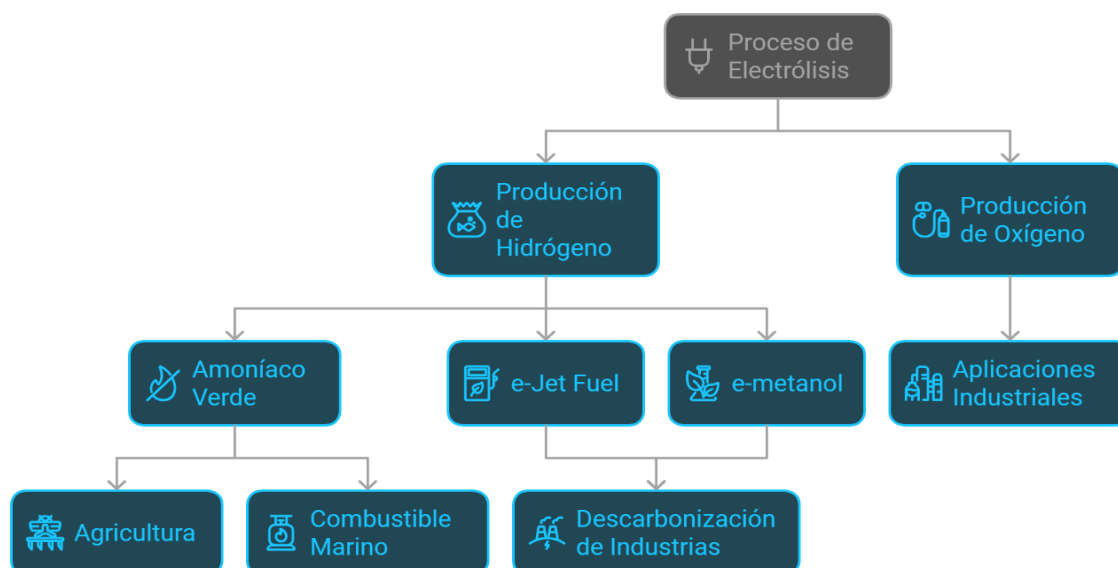


Figura 3: Producción de derivados de hidrógeno y aplicaciones finales

Fuente: Elaboración propia

h. e-Metanol

El e-metanol es otro de los combustibles sintéticos derivados del hidrógeno verde y se produce al combinar hidrógeno verde con dióxido de carbono (CO₂) capturado, de manera similar al e-Jet Fuel. El e-metanol es una excelente opción para la descarbonización de sectores industriales y de transporte debido a su versatilidad.

El e-metanol tiene varias aplicaciones industriales importantes, siendo utilizado como materia prima para la producción de plásticos, productos químicos y también como combustible para motores de combustión. Es particularmente prometedor como combustible marino, ya que puede sustituir al fuelóleo pesado en los grandes barcos, reduciendo significativamente las emisiones de CO₂ y otros contaminantes como los óxidos de azufre.

V. Logística

El almacenamiento y distribución del hidrógeno verde son dos aspectos esenciales de la cadena de valor, ya que el hidrógeno producido necesita ser almacenado de manera segura y distribuido eficientemente para su uso final o exportación. Esta etapa es crucial para garantizar una operación rentable y eficaz, considerando las características físicas del hidrógeno y sus requisitos específicos.

Métodos de Almacenamiento

Existen varios métodos para almacenar hidrógeno, cada uno con ventajas y desventajas que dependen de los costos, la infraestructura necesaria y la eficiencia del proceso. Los principales métodos incluyen:

- Almacenamiento a alta presión:

El hidrógeno puede comprimirse y almacenarse en tanques a presiones que suelen oscilar entre 350 y 700 bares. Este es uno de los métodos más comunes debido a su simplicidad y menor costo inicial. Los tanques a alta presión permiten una densidad de almacenamiento relativamente alta. Sin embargo, las principales desventajas son el alto consumo de energía para comprimir el hidrógeno y el riesgo de fugas debido a la baja densidad molecular del gas.

- Almacenamiento criogénico:

En este método, el hidrógeno se enfría hasta temperaturas extremadamente bajas (-253°C) para almacenarlo en forma líquida. Aunque el hidrógeno líquido ocupa menos espacio que el hidrógeno gaseoso comprimido, este proceso es caro debido a la gran cantidad de energía necesaria para licuar el gas. Además, se requiere una infraestructura específica para mantener el hidrógeno en su estado líquido, lo que hace que sea menos eficiente para grandes volúmenes a largo plazo.

- Almacenamiento en materiales sólidos:

Una de las tecnologías más prometedoras es el almacenamiento de hidrógeno en materiales como hidruros metálicos o carbono poroso. Este método permite almacenar hidrógeno en forma de átomos en la estructura de un material sólido. Aunque esta técnica presenta una alta densidad de almacenamiento, es una tecnología aún en desarrollo, lo que limita su uso comercial a gran escala en la actualidad.

El principal desafío del almacenamiento es su baja densidad energética volumétrica en comparación con otros combustibles, lo que significa que se necesita mucho espacio para almacenar grandes cantidades de energía. Además, el riesgo de fugas es alto debido al pequeño tamaño de las moléculas de hidrógeno, lo que puede representar un peligro si no se gestiona adecuadamente.

Para mitigar estos desafíos, Uruguay debe desarrollar protocolos estrictos de seguridad y calidad, asegurándose de que las instalaciones de almacenamiento cumplan con los más altos estándares internacionales. Las inversiones en investigación y desarrollo para mejorar la eficiencia del almacenamiento también serán cruciales para superar estos desafíos.

En el contexto de Uruguay, el almacenamiento a alta presión probablemente será la opción más viable en el corto plazo, dado que es una tecnología madura y se puede integrar fácilmente con la infraestructura existente. Sin embargo, el almacenamiento criogénico también puede ser una opción viable para la exportación a gran escala, dado que el hidrógeno líquido es más fácil de transportar largas distancias.



Figura 4: Almacenamiento de hidrógeno en Uruguay

Fuente: Elaboración propia

Métodos de Distribución:

La distribución del hidrógeno también es un componente clave en su cadena de valor, ya que debe transportarse desde las plantas de producción hasta los puntos de consumo o exportación. Los principales métodos incluyen:

- **Tuberías dedicadas:**
El hidrógeno puede transportarse por tuberías, lo que sería ideal para su distribución a corto y mediano plazo en el mercado interno. Sin embargo, este tipo de infraestructura es costosa y requiere importantes inversiones iniciales. Además, las tuberías deben estar diseñadas específicamente para evitar fugas, dado que el hidrógeno puede difundir a través de materiales que no sean completamente herméticos.
- **Cisternas a presión:**
El transporte del hidrógeno comprimido en cisternas (camiones o trenes) es una opción flexible y de menor costo para distancias cortas o medianas. Este método es más adecuado para la distribución a pequeñas instalaciones o estaciones de servicio, y es una solución común en los primeros años de desarrollo de la infraestructura de hidrógeno.
- **Transporte marítimo:**
Para la exportación a larga distancia, el hidrógeno puede transportarse en barcos cisterna, ya sea en forma comprimida o líquida. Esta última opción es la más eficiente para grandes volúmenes y largas distancias, pero también la más cara, ya que requiere una infraestructura criogénica especializada.

El principal desafío radica en la necesidad de desarrollar infraestructuras específicas, tanto para el manejo de productos como el amoníaco verde y el e-metanol, como para la logística portuaria requerida. En particular, los derivados del hidrógeno, aunque más fáciles de manejar que el hidrógeno puro, requieren instalaciones especializadas para su almacenamiento y transporte marítimo seguro.

Además de los altos costos iniciales de infraestructura, la distribución a largas distancias conlleva desafíos logísticos, como garantizar la integridad de los productos durante el transporte y cumplir con los estándares internacionales de seguridad y sostenibilidad. Uruguay necesitará alianzas estratégicas e inversiones en infraestructura portuaria y logística para superar estos desafíos. También será clave alinear las normativas locales con las normativas internacionales y los acuerdos comerciales que permitan facilitar la exportación de derivados del hidrógeno a mercados clave, como Europa y Asia.

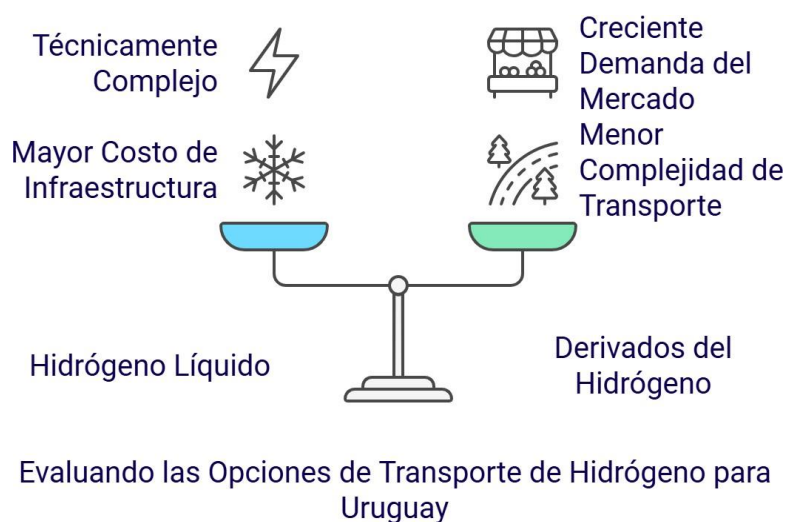


Figura 5: Opciones de transporte de hidrógeno para Uruguay

Fuente: Elaboración propia

Dado que Uruguay se proyecta como un exportador de hidrógeno verde, la opción más viable a largo plazo sería el transporte marítimo de derivados del hidrógeno, como amoníaco verde y el e-metanol. Estos derivados son más fáciles de transportar y tienen aplicaciones directas en sectores como el transporte marítimo y la aviación. El transporte de hidrógeno líquido puro es técnicamente más complejo y costoso, por lo que Uruguay se enfocaría en la exportación de estos productos transformados, que además presentan una demanda creciente en mercados internacionales como Europa y Asia. En el corto plazo, para el desarrollo del mercado local, la distribución interna mediante cisternas a presión podría ser una solución más práctica y económica.

Usuario o aplicación final

El hidrógeno verde tiene una amplia gama de aplicaciones que lo convierten en una pieza clave para la descarbonización de sectores que son difíciles de electrificar. Estos incluyen industrias intensivas en energía, el transporte pesado y la aviación, así como la generación de energía. A continuación, se detallan las aplicaciones principales del hidrógeno verde y su consumo final, tanto en el mercado nacional como en el contexto global.

Industria Pesada

Una de las aplicaciones más importantes del hidrógeno verde es en la industria pesada, donde es difícil reemplazar los combustibles fósiles debido a los altos requerimientos de temperatura y energía. Sectores como la producción de acero, cemento y químicos dependen de procesos que tradicionalmente emiten grandes cantidades de CO₂. En estos sectores, el hidrógeno verde puede reemplazar el carbón o el gas natural en procesos como la reducción directa del hierro para fabricar acero, lo que convierte al hidrógeno en una alternativa clave para la descarbonización.

Además, en la producción de fertilizantes, el hidrógeno verde puede utilizarse para producir amoníaco verde, que es esencial en la fabricación de fertilizantes sin emisiones de CO₂. Este sector tiene un alto impacto en Uruguay, dado el peso de la agricultura en la economía, lo que lo convierte en una aplicación estratégica para el consumo interno.

Transporte carretero

El transporte es otro sector que puede beneficiarse significativamente del hidrógeno verde, particularmente en el caso de vehículos pesados, como camiones, autobuses, trenes y barcos, donde la electrificación mediante baterías es más difícil de implementar debido a la baja densidad energética de las baterías en comparación con los combustibles líquidos o gaseosos.

Camiones y autobuses alimentados por pilas de combustible de hidrógeno pueden operar durante más tiempo y con tiempos de recarga más cortos que los vehículos eléctricos de batería, lo que es esencial para operaciones de larga distancia o servicios que requieren un funcionamiento continuo. En el caso del transporte marítimo, el hidrógeno verde y sus derivados, como el amoníaco verde o el e-metanol, tienen el potencial de reemplazar los combustibles fósiles tradicionales en barcos de gran escala.

Uruguay, con su importante red logística, puede integrar el hidrógeno verde como un combustible clave para mejorar la eficiencia y reducir las emisiones en su transporte de mercancías. Además, el desarrollo de infraestructura de recarga para vehículos alimentados por hidrógeno será fundamental para aumentar la adopción de esta tecnología.

Aviación

El sector de la aviación es uno de los más difíciles de descarbonizar debido a la alta demanda de densidad energética en los combustibles. Aquí, el e-Jet Fuel, producido a partir de hidrógeno verde y CO₂ capturado, ofrece una solución viable para reducir las emisiones de CO₂ en vuelos de larga distancia. Aunque esta tecnología está todavía en desarrollo y no es económicamente competitiva en comparación con los combustibles fósiles convencionales, los avances en la producción a gran escala y la reducción de costos podrían convertir al e-Jet Fuel en una opción viable en las próximas décadas.

Uruguay, a través de su infraestructura aeroportuaria, podría posicionarse como un centro estratégico para el reabastecimiento de aviones con combustibles sostenibles, lo que representaría una oportunidad tanto en el ámbito doméstico como en el internacional.

Generación de Energía y Almacenamiento

Otra aplicación clave del hidrógeno verde es en la generación de energía. En momentos de baja demanda o sobreproducción de energía renovable, el exceso de electricidad puede ser utilizado para producir hidrógeno verde, que luego puede almacenarse y utilizarse para generar electricidad nuevamente cuando sea necesario. Este enfoque ayuda a mitigar la intermitencia de las energías renovables como la solar y la eólica, proporcionando un sistema de almacenamiento de energía a largo plazo.

El hidrógeno también puede ser utilizado para alimentar turbinas de gas, reemplazando parcialmente o en su totalidad el gas natural, lo que permite reducir las emisiones en la generación de electricidad. En el caso de Uruguay, este tipo de almacenamiento energético sería especialmente útil para aprovechar los picos de generación eólica y solar.

Posibles mercados

El hidrógeno verde tiene el potencial de posicionar al país como un exportador importante en el mercado internacional de energías limpias. Esta sección explora tanto el mercado interno como el potencial de exportación, con énfasis en los mercados europeos y asiáticos, donde se espera que la demanda de hidrógeno verde crezca de manera exponencial en las próximas décadas.

Mercados Nacionales

En el mercado nacional, Uruguay planea utilizar el hidrógeno verde principalmente para descarbonizar sectores industriales y del transporte, donde la electrificación directa es más difícil o costosa de implementar. El hidrógeno verde puede tener múltiples aplicaciones en la industria local:

- **Industria:** Sectores como la agroindustria, el acero y el cemento son grandes emisores de CO₂, y el hidrógeno verde tiene el potencial de reemplazar procesos intensivos en carbono en la producción industrial.

En el caso de los fertilizantes, por ejemplo, en una futura producción de amoníaco verde que sería muy relevante para el país, utilizar hidrógeno verde como materia prima permitiría evitar una emisión significativa.

- **Transporte:** Uruguay ya ha avanzado significativamente en la descarbonización del sector eléctrico, pero el transporte sigue siendo un desafío en términos de emisiones. El hidrógeno verde podría ser utilizado para alimentar vehículos pesados, autobuses y camiones, donde la tecnología de baterías eléctricas enfrenta limitaciones. Además, el país también podría explorar la adopción de hidrógeno en su flota de transporte marítimo.
- **Generación de energía:** El hidrógeno verde puede ser utilizado para almacenar energía renovable excedente generada por las plantas eólicas y solares. Esto no solo ayudaría a estabilizar el suministro eléctrico en periodos de alta demanda, sino que también permitiría una mayor integración de energías renovables intermitentes en la red.

Uruguay, por su parte, está desarrollando políticas y regulaciones que fomenten el uso de hidrógeno verde en estos sectores, apoyado por incentivos fiscales y financiamiento para proyectos piloto. Además, el país se beneficia de una red eléctrica altamente eficiente y renovable, lo que le da una ventaja competitiva significativa para reducir los costos de producción de hidrógeno verde.

Mercados Internacionales

Aunque el mercado interno del hidrógeno verde es prometedor, Uruguay tiene como principal objetivo posicionarse como un exportador clave en los mercados internacionales. Los principales destinos para el hidrógeno verde y sus productos derivados son Europa y Asia, dos regiones donde la demanda de hidrógeno verde está creciendo rápidamente debido a los compromisos de descarbonización y la transición energética hacia economías sin emisiones netas.

Europa se perfila como uno de los mayores mercados para el hidrógeno verde. La Unión Europea ha establecido ambiciosos objetivos de descarbonización en su Pacto Verde Europeo (European Green Deal), que incluye la meta de ser climáticamente neutra para 2050. Como parte de esta estrategia, la UE ha identificado el hidrógeno verde como un componente crucial para descarbonizar sectores como el transporte pesado, la aviación, la industria pesada y la calefacción.

Varios países europeos, incluidos Alemania, Países Bajos y España han adoptado estrategias nacionales de hidrógeno que buscan importar grandes volúmenes de hidrógeno verde para complementar su producción doméstica. Uruguay, con su capacidad de generar hidrógeno a costos competitivos debido a su abundancia de energías renovables, se posiciona como un proveedor ideal para estos mercados. Además, la infraestructura portuaria uruguaya podría facilitar el envío de hidrógeno verde y productos derivados, como amoníaco verde y e-combustibles, a Europa.

Proyectos europeos como el "Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe" identifican la necesidad de desarrollar acuerdos de importación de hidrógeno verde con países no europeos. Aquí es donde Uruguay puede aprovechar su infraestructura renovable, su estabilidad política y su cercanía geográfica relativa para ser un socio estratégico.

El mercado asiático, liderado por Japón y Corea del Sur, también ha mostrado un fuerte interés en el hidrógeno verde como una solución para reducir su dependencia de combustibles fósiles y alcanzar sus objetivos climáticos. Japón ha sido pionero en el desarrollo de tecnologías basadas en hidrógeno y ha implementado políticas agresivas para aumentar su consumo de hidrógeno, especialmente en los sectores de la energía, el transporte y la industria.

Japón y Corea del Sur han adoptado estrategias de importación de hidrógeno a gran escala, y ambos países buscan desarrollar relaciones comerciales con países que tengan un alto potencial de producción de hidrógeno verde. Esto presenta una potencial

oportunidad para Uruguay, ya que su ubicación y la infraestructura portuaria que se está desarrollando le permitirán exportar productos derivados a estos mercados lejanos.

En ambos casos, tanto Europa como Asia, la demanda de productos derivados del hidrógeno verde, como el e-metanol, el e-Jet Fuel y el amoníaco verde, está aumentando rápidamente, lo que brinda a Uruguay oportunidades adicionales para expandir su rol como proveedor de productos de valor agregado, más allá del hidrógeno verde en su forma primaria.

Aunque Europa y Asia representan los mercados más grandes, Uruguay también podría explorar oportunidades en otros países de América Latina que busquen aumentar su consumo de energías limpias. Brasil, por ejemplo, ha manifestado interés en desarrollar un mercado de hidrógeno verde y podría convertirse en un socio natural debido a su proximidad geográfica.

Apéndice 2 - Desarrollo de capacidades en hidrógeno verde

Metodología

Con el fin de la formulación de recomendaciones específicas para el diseño de medidas de fomento orientadas al desarrollo de capacidades humanas para la industria del hidrógeno verde y sus derivados en Uruguay, la elaboración de este informe se estructuró en tres etapas principales, las cuales combinaron la revisión de literatura, análisis de documentos nacionales y entrevistas con expertos.

En la primera etapa, se llevó a cabo una revisión de literatura internacional y regional sobre política industrial y políticas de desarrollo productivo, con especial énfasis en la intermediación entre la oferta y la demanda de conocimientos.

En la segunda etapa, se amplió el enfoque hacia la literatura internacional y regional sobre políticas de desarrollo productivo, con un énfasis específico en recomendaciones para el desarrollo de capacidades. En esta fase, se exploraron los perfiles profesionales, competencias clave y necesidades educativas vinculadas a la investigación, la innovación y el desarrollo de esta industria. Este análisis buscó extraer aprendizajes y “buenas prácticas” aplicables a la realidad uruguaya y facilitar la identificación de brechas en capacidades existentes.

La tercera etapa se centró en el contexto nacional de Uruguay. Se tomaron como referencia principal los antecedentes nacionales, destacándose la Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde y sus Derivados en Uruguay, complementada con la revisión de otros antecedentes relacionados. Se consideraron los perfiles ocupacionales, competencias y nivel de formación elaborados para la cadena del hidrógeno verde en Uruguay. Además, se realizaron entrevistas con expertos previamente definidos en acuerdo con las contrapartes del trabajo de consultoría, quienes aportaron una visión calificada y contextualizada sobre las capacidades locales, oportunidades y desafíos específicos del país.

Políticas de Desarrollo Productivo

Las Políticas de Desarrollo Productivo (PDP) son herramientas fundamentales para promover la transformación estructural y el crecimiento económico sostenible en los países en desarrollo, esto ha sido manifestado de manera creciente en el mundo entero tal como han relevado por ejemplo. Estas políticas buscan superar las limitaciones inherentes a estructuras económicas dependientes de recursos primarios o sectores de bajo valor agregado, promoviendo la diversificación productiva y el cambio tecnológico. Según la CEPAL, las PDP son esenciales para abordar las desigualdades estructurales en América Latina y avanzar hacia economías más dinámicas e inclusivas. En su enfoque, estas políticas deben combinar la promoción de la competitividad global con la inclusión social y la sostenibilidad ambiental, abordando simultáneamente los desafíos relacionados con la dependencia de economías extractivas y las brechas tecnológicas que limitan el desarrollo regional. Por su parte, Dani Rodrik resalta que las PDP no solo deben corregir las fallas de mercado tradicionales, como el financiamiento insuficiente o la falta de coordinación entre actores económicos, sino también crear las condiciones para experimentar con nuevas estrategias productivas. Estas deben ser diseñadas de manera adaptativa, permitiendo un aprendizaje constante tanto para los gobiernos como para el sector privado, mientras se establecen mecanismos de incentivo y regulación efectivos que guíen la actividad económica hacia sectores estratégicos de alto potencial.

Complementando esta perspectiva, Ha-Joon Chang y Antonio Andreoni argumentan que las PDP no solo corrigen fallas de mercado, sino que también construyen capacidades estatales y empresariales que son esenciales para la competitividad en sectores intensivos en conocimiento. Subrayan que las políticas productivas exitosas requieren una integración de inversiones en infraestructura, innovación y formación de capital humano, además de un marco institucional sólido que facilite la coordinación y la gobernanza. Estas políticas también deben estar alineadas con objetivos de largo plazo que combinen sostenibilidad ambiental, inclusión social y resiliencia económica frente a cambios globales.

Finalmente (Bell & Pavitt, 1995; Patel & Pavitt, 1995) distinguen entre "capacidad de producción" y "capacidades tecnológicas". La capacidad de producción se refiere a los recursos actuales que permiten a una empresa producir bienes y servicios eficientemente con las tecnologías existentes. En cambio, las capacidades tecnológicas se basan en el conocimiento y recursos necesarios para innovar y gestionar el cambio técnico, permitiendo a las organizaciones desarrollar nuevas tecnologías y mejorar sus procesos, manteniendo su competitividad en un entorno dinámico. Más en particular, en las economías de los países en desarrollo, suele ocurrir una brecha entre las capacidades de producción y las tecnológicas. Por un lado, a nivel macro, los bajos niveles de capital humano, las dificultades en el acceso al capital y las limitadas infraestructuras (Cimoli et al., 2019; Cirera & Maloney, 2017; Verspagen, 1991). Por otro lado, a nivel micro, las empresas suelen tener capacidades tecnológicas limitadas y se mantienen distantes de las prácticas y tecnologías de frontera (Cirera y Maloney 2017).

Políticas de empleo y políticas educativas en el desarrollo de capacidades

Por otra parte, la Organización Internacional del Trabajo (OIT) enfatiza la importancia de las PDP como herramientas esenciales para promover el crecimiento económico inclusivo y la generación de empleo de calidad. Estas políticas buscan transformar las estructuras productivas, mejorar la competitividad y fomentar la diversificación económica, con un enfoque particular en la creación de empleos decentes y sostenibles. En su informe "Políticas de desarrollo productivo en América Latina. Discusiones recientes, creación de empleo y la OIT", la organización destaca la necesidad de que las PDP estén alineadas con las políticas de empleo y desarrollo de habilidades. Allí, se subraya que la integración de estas políticas es fundamental para abordar las brechas de habilidades y mejorar la empleabilidad de la fuerza laboral. La OIT recomienda que las PDP incluyan estrategias de formación profesional y desarrollo de competencias que respondan a las demandas del mercado laboral, promoviendo así un crecimiento inclusivo con más y mejores empleos. La organización también enfatiza la importancia del diálogo social y la participación de los actores clave, incluyendo gobiernos, empleadores y trabajadores, en el diseño y la implementación de las PDP. Este enfoque participativo garantiza que las políticas sean inclusivas y reflejen las necesidades y aspiraciones de todos los sectores de la sociedad.

La OIT destaca la necesidad de una articulación efectiva entre la oferta de conocimientos y las demandas específicas de los sectores productivos para fomentar el empleo de calidad y la competitividad económica. En este sentido, la OIT subraya la importancia de realizar análisis detallados del mercado laboral sectorial que permitan identificar las tendencias y necesidades de habilidades específicas. Estos estudios son esenciales para anticipar los requerimientos de competencias y adaptar los programas de formación profesional a las realidades del mercado. Además, la OIT resalta la relevancia del diálogo social y la colaboración multisectorial como pilares fundamentales para este proceso. La cooperación entre gobiernos, empleadores, trabajadores e instituciones educativas permite diseñar programas de formación pertinentes y de alta calidad, asegurando que las competencias adquiridas por los trabajadores respondan a las necesidades reales de los sectores económicos. Asimismo, la OIT promueve el desarrollo de marcos de cualificaciones sectoriales que establezcan estándares claros sobre las competencias y conocimientos requeridos en cada sector. Estos marcos facilitan tanto la movilidad laboral como el reconocimiento de habilidades, contribuyendo a una mejor integración de los trabajadores en el mercado laboral. Además, se enfatiza la importancia de implementar programas de formación continua y actualización profesional, que permitan a los trabajadores adaptarse a las transformaciones tecnológicas y organizativas propias de sus sectores. La formación profesional continua es vista como un elemento clave para mantener la relevancia y competitividad de la fuerza laboral.

Por último, la OIT recomienda el uso de información actualizada del mercado laboral para orientar la planificación educativa y las políticas de formación. Esta información, basada en datos concretos sobre tendencias de empleo y necesidades de habilidades, es esencial para garantizar que la oferta de formación esté alineada con la demanda. En conjunto, estas estrategias buscan cerrar la brecha entre la oferta educativa y las necesidades del mercado laboral, asegurando una mayor pertinencia de los programas de formación, promoviendo el empleo de calidad y contribuyendo al desarrollo económico inclusivo y sostenible.

Las políticas de empleo y educación desempeñan un papel central en la preparación y adaptación de la fuerza laboral a las demandas cambiantes del mercado de trabajo. Según la normativa internacional en derechos humanos y trabajo, los sistemas de formación profesional tienen la responsabilidad de formular y ejecutar políticas activas que fortalezcan la empleabilidad, promoviendo el acceso equitativo a la educación y fomentando el aprendizaje a lo largo de la vida (OIT, 2005).

En este contexto, la formación profesional actúa como un vínculo clave entre las políticas de desarrollo productivo (PDP) y los objetivos de trabajo decente, desempeñando un papel fundamental en la integración de políticas activas del mercado de trabajo. Estas políticas buscan reducir los desajustes entre la oferta y la demanda de empleo mediante la adecuación de perfiles y habilidades a las necesidades del mercado, con el fin de equilibrar y optimizar el funcionamiento del mercado laboral (OIT-CINTERFOR, 2017).

En América Latina, las políticas activas del mercado de trabajo han cobrado relevancia en la mitigación de los desafíos laborales, enfocándose en mejorar la cantidad y calidad del empleo y en fomentar la movilidad laboral. Estas políticas han

perseguido objetivos como incrementar las tasas de empleo, mejorar la equidad y fortalecer las capacidades laborales en sectores estratégicos (OIT, 2016). En este marco, la formación profesional se ha consolidado como una herramienta crucial para promover la integración laboral en sectores productivos que demandan alta especialización y adaptación tecnológica (OCDE, 2021).

Para cumplir con este rol, los sistemas de formación profesional deben captar y anticipar las demandas del mercado laboral, reflejándose en su oferta formativa. Este proceso requiere un monitoreo constante de las tendencias laborales, así como una gestión eficaz de la información para ajustar los programas educativos en términos de duración, contenido y modalidades (Vargas Zúñiga, 2020). Asimismo, el análisis de las necesidades de competencias implica consultar a actores clave y utilizar sistemas de información que permitan detectar cambios en la demanda de habilidades en distintos sectores productivos.

Tal como señalan (Saget, et.al, 2020) el sector privado también desempeña un papel clave en la identificación de las competencias necesarias y la alineación del contenido de capacitación con la cambiante demanda de mano de obra. En muchos casos, la capacitación para la transición es proporcionada por empresas privadas. Esto se debe principalmente a que el sector privado se ve directamente afectado por los cambios en las necesidades de competencias laborales y a que los sistemas de educación y capacitación técnica y profesional (TVET, por sus siglas en inglés) formales son insuficientes. En la mayoría de los países, las competencias para una transición hacia una economía de cero emisiones netas todavía no forman parte del programa de TVET; a menudo esto se debe a la desconexión entre los sistemas de TVET, las políticas ambientales y las estrategias nacionales de desarrollo, así como a la desconexión entre las instituciones de TVET y la industria (OIT, 2018a).

El “*Latin America Energy Transition Workforce Readiness Assessment and Barometer*” es una iniciativa del Instituto de las Américas que evalúa la preparación de la fuerza laboral en ocho países latinoamericanos para participar en la transición energética y alcanzar objetivos de energía limpia y emisiones netas cero. En su última edición del año 2022, ubicó a Uruguay como un país en “Preparación”, lo que indica que la estrategia de transición energética y la preparación de la fuerza laboral están en marcha y que, con un desarrollo adicional de políticas, mayor alineación y capacitación mejorada, se incrementarán las oportunidades de empleo local. En este índice, sólo lo supera Chile que se encuentra “preparado”. Cuando se les pidió a los expertos enumerar y clasificar los principales elementos que limitan la capacidad de la fuerza laboral de sus países para participar en la transición energética, los expertos destacaron tres desafíos principales: i) la falta de oportunidades o proyectos (17%), la carencia de habilidades (14%) y el alto nivel de empleos informales en la economía (13%). Por otra parte, siguiendo con este informe, un aspecto crítico es la educación y formación técnico-profesional (TVET) retomando un informe de UNESCO sostienen que “*la TVET debería desempeñar un papel clave en impulsar las conexiones, la complementariedad y la actualización de la formación proporcionada por el sistema educativo, en conjunto con las demandas del mercado laboral y las tendencias demográficas*”. Las respuestas de los expertos en este sentido reflejaron el argumento común sobre la naturaleza fragmentada y la falta de consistencia en el desarrollo del TVET. Al hacer preguntas directas sobre la existencia de programas de TVET o títulos disponibles en sus países, solo los expertos de Chile parecieron estar de acuerdo en la existencia y disponibilidad de programas relacionados. Los encuestados de los otros países presentaron opiniones divididas e inconsistentes, como es el caso de Uruguay, aunque este se ubica como el segundo país más preparado de la región también en esta dimensión. Finalmente, ante la pregunta de si ¿Existe una lista de competencias específicas para cubrir los empleos relacionados con la transición energética? en el caso Uruguayo los expertos respondieron que sí y que no un 25% en cada caso mientras que el restante 50% declaró no saberlo.

Las recomendaciones de política para el desarrollo del hidrógeno verde a nivel internacional y regional con foco en el desarrollo de capacidades:

La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) identifica el hidrógeno verde como una herramienta clave para descarbonizar la industria y promover el desarrollo sostenible en países en desarrollo y economías emergentes. En este sentido, la ONUDI impulsa la implementación de Políticas de Desarrollo Productivo (PDP) que favorezcan la producción y uso del hidrógeno verde. Estas políticas deben integrarse en estrategias más amplias de desarrollo industrial sostenible, teniendo en cuenta aspectos como la generación de empleo, la inclusión social y la protección ambiental. La organización enfatiza la importancia de establecer marcos regulatorios y políticas públicas claras que incentiven la inversión, así como alianzas público-privadas que impulsen proyectos piloto y escalables. Además, resalta la relevancia de la cooperación internacional para compartir conocimientos y mejores prácticas.

El desarrollo de mercados downstream de hidrógeno verde es fundamental para maximizar los beneficios de los recursos renovables en países en desarrollo. Esto permite la diversificación industrial hacia sectores difíciles de descarbonizar, como la fabricación de acero, cemento, amoníaco y productos petroquímicos, promoviendo una industria más sostenible. La integración de productos intermedios y finales, como fertilizantes ecológicos, ofrece oportunidades para generar empleo y fortalecer la capacidad exportadora de bienes de alto valor. En este contexto, la ONUDI subraya la necesidad de fortalecer el capital humano mediante estrategias integrales de desarrollo de habilidades alineadas con las demandas del

sector, especialmente en áreas como la seguridad operativa, el uso de hidrógeno en celdas de combustible y la producción de amoníaco.

Según la ONUDI, un marco regulatorio estable y de largo plazo es esencial para reducir riesgos y garantizar el cumplimiento de objetivos de sostenibilidad en la industria del H₂V. Este marco debe incluir estándares claros para la producción y uso del hidrógeno, promoviendo una transición estructurada y el desarrollo de proyectos a gran escala. Asimismo, es necesario fortalecer las capacidades regulatorias mediante la implementación de normas de seguridad, permisos y políticas públicas que fomenten la competitividad y la eficiencia en toda la cadena de valor.

El informe de la ONUDI *Green Hydrogen Industrial Clusters – Guidelines* organiza los desafíos y facilitadores clave en el desarrollo de clústeres industriales de hidrógeno verde en cuatro áreas principales: regulatoria, tecnológica, económica-financiera y social-ambiental. En el ámbito regulatorio, la ausencia de políticas claras y procedimientos adecuados de permisos puede generar incertidumbre y retrasos. En términos tecnológicos, la producción y almacenamiento de hidrógeno verde requiere infraestructura a gran escala, lo que representa costos elevados de inversión. La investigación y el desarrollo público son cruciales para cerrar las brechas tecnológicas, especialmente en la mejora de catalizadores y otros componentes esenciales.

Desde el punto de vista económico y financiero, la falta de mercados maduros y contratos a largo plazo dificulta el flujo de inversión en los clústeres de hidrógeno verde. Políticas como acuerdos de compra a largo plazo, fijación de precios al carbono y subsidios pueden reducir la brecha de costos con el hidrógeno fósil, facilitando las economías de escala. En el aspecto social y ambiental, proyectos de hidrógeno verde pueden generar demandas significativas de agua y tierra, además de riesgos ambientales como la fuga de hidrógeno. Para mitigar estos impactos, se deben involucrar a las comunidades locales en el desarrollo de los proyectos, implementando criterios de sostenibilidad que aseguren beneficios socioeconómicos y ambientales.

Por su parte, el documento *“European Hydrogen Skills Strategy, Green Skills for Hydrogen project”* del año 2023, hace énfasis en que el desarrollo de programas modulares de formación es crucial para satisfacer la alta demanda de profesionales especializados en el sector del hidrógeno, especialmente ingenieros y técnicos. Bajo este enfoque se promueve personalizar la capacitación según las necesidades del público objetivo. Por ejemplo, un vendedor de vehículos impulsados por celdas de combustible necesita una comprensión básica de esta tecnología, mientras que un técnico de mantenimiento requiere conocimientos más profundos y habilidades específicas. La formación modular facilita la creación de trayectorias de aprendizaje personalizadas y permite la adaptación de los programas a diferentes sistemas educativos nacionales. Asimismo, abre espacio para incluir módulos específicos que atiendan requerimientos locales, como el tratamiento de recursos hídricos en regiones con acceso limitado a agua pura para electrólisis. Estos módulos pueden integrarse en programas existentes o desarrollarse como nuevos programas académicos y vocacionales.

Para implementar estas recomendaciones, el informe destaca que es esencial la participación de diversos actores, como proveedores de formación y autoridades educativas, además de la colaboración en estos proyectos requieren que se desarrollen contenidos traducidos a múltiples idiomas. Un primer paso es construir un corpus modular de formación evaluando los recursos existentes antes de desarrollar nuevos materiales. Esto incluye el desarrollo y promoción de observatorios para revisar contenidos disponibles. Ejemplos de ello son el Observatorio de Celdas de Combustible e Hidrógeno (FCH Observatory) y otros proyectos relevantes, como la futura Hydrogen Academy financiada por la Clean Hydrogen Partnership. También es importante abordar las necesidades específicas identificadas por la industria, destacando competencias clave como la seguridad en el manejo de hidrógeno, aspectos legales y regulación, y la integración de sistemas de hidrógeno con energías renovables.

Según argumentan, los métodos de dictado de estos programas modulares deben adaptarse a las características del público objetivo y el contenido, utilizando clases presenciales, plataformas virtuales, aprendizaje en línea, simulaciones y prácticas en infraestructuras específicas. Asociaciones locales entre proveedores de formación y la industria pueden añadir valor mediante enfoques de "aprender haciendo", como retos y proyectos en colaboración con empresas, así como pasantías.

Además de los programas modulares, señalan que es necesario desarrollar estándares de formación para el manejo seguro del hidrógeno. Estos estándares deben ser definidos en colaboración con la industria, basados en prácticas existentes y adaptados a los diferentes entornos laborales. La creación de una entidad responsable de implementar y actualizar estos estándares garantizará su aplicación y supervisión, fomentando la movilidad de trabajadores y facilitando el reconocimiento de competencias en diferentes países.

El acceso a programas de desarrollo profesional continuo también es esencial para integrar las habilidades relacionadas con el hidrógeno en la fuerza laboral existente. Los gobiernos y las organizaciones deben preparar planes de formación que identifiquen necesidades de reskilling y upskilling, apoyados por políticas y financiamiento específico. También es recomendable abrir módulos de educación inicial a trabajadores en formación continua, creando sinergias y maximizando el impacto de la capacitación.

La creación de una comunidad en línea sobre hidrógeno podría centralizar los recursos disponibles y facilitar el acceso a programas de formación y empleos. Esta plataforma serviría como un punto de referencia para compartir conocimientos, conectar a proveedores de formación con aprendices, y fomentar colaboraciones. Incluir información sobre laboratorios e infraestructuras físicas también permitiría un mayor aprovechamiento de estos recursos a nivel local y europeo.

Finalmente, fomentar la movilidad de estudiantes y formadores es clave para compartir recursos y conocimientos especializados. La movilidad geográfica y sectorial puede ampliar las oportunidades de capacitación, facilitando el acceso a infraestructuras y conocimientos en diferentes regiones. En el caso de los programas europeos existen experiencias como Erasmus+ y fondos nacionales pueden apoyar estas iniciativas, permitiendo a los participantes adquirir habilidades que no están disponibles localmente.

Al mismo tiempo, señalan que es fundamental promover la industria del hidrógeno como una carrera atractiva. Esto requiere proporcionar información sobre trayectorias profesionales y actividades de sensibilización en niveles educativos inferiores para despertar interés desde edades tempranas. Compartir mejores prácticas y programas exitosos puede inspirar la creación de nuevos programas y mejorar la percepción del sector, facilitando la atracción y retención de talento.

Por otro lado, el estudio "Evaluación de brechas de capacidades y desarrollo de estrategia de formación de talento humano para power-to-x en la región de Magallanes" propone un plan de acción para superar las brechas en la formación de talentos identificadas en la región, en el contexto de la industria del hidrógeno verde y sus derivados. Este plan se desarrolló mediante entrevistas a actores relevantes y un taller participativo, considerando las propuestas y prioridades de los participantes. Su objetivo es proyectar un desarrollo de capacidades que consolide a Magallanes como un polo de desarrollo mundial en esta industria dentro de un horizonte de 10 años.

La visión estratégica del plan posiciona a Magallanes y la Antártica Chilena como una región clave para la formación de talentos técnicos, profesionales y especializados en áreas ambientales, sociales y tecnológicas. Esto incluye el fortalecimiento de habilidades técnicas, sociales y bioculturales de los estudiantes, garantizando que los procesos de aprendizaje estén alineados con las necesidades de la industria y del territorio. Se plantea la creación de centros educativos y de innovación con tecnología de punta y docentes altamente capacitados, promoviendo la atracción y retención de talentos locales e internacionales.

El plan se estructura en seis ámbitos estratégicos. En primer lugar, se identifican los perfiles y competencias laborales necesarios para cada etapa de la cadena de valor del H₂V, mediante el uso de metodologías de trabajo público-privado, estudios estadísticos para proyectar la demanda laboral y la evaluación de un centro de certificación de competencias en Magallanes. En segundo lugar, se aborda la profesionalización docente, enfatizando la actualización de los conocimientos en áreas técnicas y profesionales a través de programas de intercambio internacional y de formación continua, además de formalizar el rol de supervisores en prácticas profesionales.

En tercer lugar, se enfoca en la adaptación y actualización de los programas de estudios, ajustándolos a las demandas de la industria. Esto incluye el diseño de mallas curriculares especializadas, la creación de nuevas carreras técnicas y profesionales, y la oferta de programas de posgrado. Además, se busca fortalecer las trayectorias formativas mediante sinergias entre distintos niveles educativos, y fomentar la colaboración entre centros educativos y empresas. El cuarto ámbito trata sobre la investigación, el desarrollo, la innovación y la tecnología, promoviendo la vinculación de investigadores con temas relacionados al H₂V. Se propone la creación de un Centro de Transferencia Tecnológica y el fortalecimiento de iniciativas de desarrollo, investigación e innovación enfocadas en el uso local del hidrógeno verde.

El quinto ámbito aborda la trayectoria laboral, con énfasis en atraer y retener talentos mediante incentivos económicos, sociales y culturales. También se propone la colaboración con otras regiones y países para la movilidad y el perfeccionamiento de la fuerza laboral.

Finalmente, el ámbito de cultura y ciudadanía energética busca promover la sensibilización y educación de la comunidad sobre la industria del H₂V, a través de programas de divulgación y estrategias de vinculación empresarial con los territorios locales.

El plan de acción prioriza ciertas iniciativas, como la promoción del aprendizaje del inglés desde temprana edad, la identificación de perfiles laborales, el fortalecimiento del Centro de Estudios de Recursos Energéticos (CERE) y la atracción de estudiantes a carreras relacionadas con el H₂V. Estas acciones son esenciales para garantizar que la formación de capital humano en Magallanes sea pertinente, eficiente y alineada con las demandas de la industria.

El estudio también destaca la relevancia de la historia energética de la región, que ofrece aprendizajes valiosos para la implementación de esta nueva industria. En este contexto, se enfatiza la colaboración entre actores públicos, privados,

educativos y sociales como clave para una transición energética exitosa y justa. Asimismo, subraya que un marco político integral que integre políticas educativas y laborales es esencial para superar las brechas existentes en la formación de talentos.

Finalmente, se reconoce que la región cuenta con instituciones educativas con trayectoria en la formación para la industria energética, lo que constituye una base sólida para el desarrollo del sector del H₂V. Sin embargo, persisten desafíos relacionados con la estimación de la demanda laboral, la formación docente y la vinculación entre teoría y práctica.

El estudio "Capital humano de la industria del hidrógeno renovable: desafíos actuales y futuros" aborda las necesidades y desafíos asociados a la formación y capacitación del capital humano para la industria del hidrógeno renovable. Este análisis destaca la importancia de adaptar las ofertas formativas en institutos de educación a las demandas de esta industria emergente. En el ámbito nacional, se han integrado contenidos relacionados en cursos de educación superior, así como en programas de diplomados para complementar la formación de pregrado. Sin embargo, se diagnostica que persiste una necesidad significativa de formación técnica y programas de aprendices.

Según reseña el informe, en Chile, diversas universidades han desarrollado diplomados y programas especializados en tecnologías de hidrógeno, economía del hidrógeno y regulaciones asociadas. Ejemplos incluyen el Diplomado en Tecnologías de Hidrógeno de la Pontificia Universidad Católica de Chile y el Diplomado en Innovación y Uso de Hidrógeno Verde de la Universidad Mayor. Además, instituciones como el Liceo Técnico Profesional Crisol de Mulchén han implementado programas de formación técnica en H₂r, combinando educación tradicional con experiencias prácticas en empresas y organismos de enseñanza superior. Por otro lado, la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) ha ofrecido cursos gratuitos online sobre H₂r, dirigidos tanto a profesionales como al público general, en colaboración con organismos internacionales.

En el plano internacional, países como Australia, Estados Unidos y varios países europeos han liderado iniciativas significativas para la formación y capacitación en hidrógeno renovable. En Australia, se ha desarrollado una hoja de ruta 2022-2032 que incluye inversiones estatales en infraestructura de entrenamiento y programas de capacitación para escolares y aprendices en sectores relacionados con el hidrógeno. En Estados Unidos, programas como "Hydrogen Education for a Decarbonized Global Economy" (H₂EDGE) y el apoyo del Departamento de Energía han fomentado la capacitación de ingenieros y científicos especializados en la producción, distribución y almacenamiento de H₂r. En Europa, iniciativas como el proyecto "Green Skills for Hydrogen" buscan reconvertir y mejorar la fuerza laboral para alcanzar metas de empleos calificados al 2050.

Además, el informe destaca el papel de organizaciones internacionales como GIZ y la Organización de los Estados Americanos que han implementado entrenamientos y redes de capacitación orientadas a tomadores de decisiones y expertos en América Latina y el Caribe. Estas experiencias incluyen workshops y cursos virtuales que promueven la formación de líderes en la industria del hidrógeno renovable.

El estudio concluye que tanto en Chile como a nivel internacional se están llevando a cabo esfuerzos importantes para atender las demandas de la industria del H₂V, pero persisten desafíos relacionados con la formación técnica, la reconversión profesional y la integración de prácticas educativas con el mundo laboral. La colaboración entre instituciones educativas, gobiernos y empresas es esencial para garantizar un desarrollo sostenible y competitivo de esta industria en crecimiento.

Finalmente, el documento "Sistematización Reunión Técnica: Anticipación de la demanda y definición de perfiles de empleos verdes. Resultados en el sector de Hidrógeno Verde" organizado por OIT/Cinterfor en el año 2023 en Uruguay señala la importancia de establecer marcos regulatorios sólidos, acompañados de políticas públicas y estrategias integrales que articulen educación y trabajo. Destaca que estas medidas deben situar al Estado como un facilitador clave para la transición hacia prácticas sostenibles. Asimismo, subraya que el hidrógeno verde se inserta en el marco de los compromisos internacionales, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y los acuerdos de la COP, emergiendo como un elemento central para diversificar la producción, reducir la huella de carbono y avanzar hacia la descarbonización. En este sentido, el texto enfatiza la necesidad de herramientas flexibles, para ajustarse a los contextos locales y nacionales, y remarca la relevancia de implementar estrategias de vigilancia tecnológica.

El documento destaca la importancia de los observatorios laborales como componentes esenciales para anticipar las demandas del mercado y gestionar información estratégica. También pone en relieve la cooperación internacional y regional, valorando iniciativas como la Alianza del Pacífico y los proyectos impulsados por organismos internacionales como GIZ y BID. Estos esfuerzos, según se menciona, son fundamentales para fortalecer la colaboración interinstitucional y generar sinergias entre los actores relevantes.

En el ámbito de la formación profesional, el texto resalta avances en la construcción de perfiles por competencias y la necesidad de diseñar trayectorias formativas flexibles. También enfatiza la importancia de desarrollar estrategias continuas de formación docente, incluyendo un enfoque en áreas STEAM y competencias técnicas avanzadas relacionadas con la producción, almacenamiento y transporte de hidrógeno. Además, el documento señala el valor de la formación dual

y de las micro certificaciones como herramientas para responder a demandas específicas y facilitar el perfeccionamiento técnico. En este contexto, subraya que el desarrollo de competencias transversales, como la seguridad operativa, el manejo de datos y la sostenibilidad, es esencial para alinearse con las exigencias del mercado.

El documento resalta el papel del diálogo social y la descentralización en la toma de decisiones como pilares para una transición inclusiva y eficiente. Además, señala que el financiamiento estatal, combinado con incentivos al sector privado, es crucial para apoyar esta transición. También destaca la importancia de trabajar en estrecha colaboración con la industria para identificar brechas de competencias y preparar a la fuerza laboral para roles futuros, incluyendo aquellos que aún no existen.

En términos de gestión del conocimiento, el documento enfatiza la necesidad de crear una base de datos regional para perfiles de empleos verdes, facilitando la estandarización y la colaboración. Asimismo, destaca la importancia de compartir estudios, publicar buenas prácticas y establecer laboratorios de aprendizaje como espacios para el intercambio de experiencias y el desarrollo continuo. Estas iniciativas, según el informe, fortalecerán los recursos existentes y generarán capacidades innovadoras para el sector.

Por último, el documento subraya la relevancia de avanzar hacia la homologación de certificaciones y competencias a nivel regional, lo que facilitaría la movilidad laboral y garantizaría una base de recursos humanos altamente calificados. También menciona la importancia de implementar estándares internacionales, promoviendo la colaboración con otros países, especialmente del Caribe.

Cadena de valor del hidrógeno verde y sus derivados en Uruguay, enfoque en las capacidades

Antecedentes e hitos

Uruguay inició su trabajo en el desarrollo del hidrógeno verde en 2018, con la creación de un grupo interinstitucional compuesto inicialmente por el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), ANCAP y UTE. En ese momento, el país estaba finalizando exitosamente el proceso de transformación de su matriz eléctrica, y el H2V se identificó como un vector ideal para avanzar en sectores como el transporte pesado, marítimo y aéreo, algunas ramas industriales, y la producción de insumos específicos. Se consideró que la producción de H2V a partir de energías renovables, inicialmente dirigida al transporte pesado y de larga distancia, sería un punto de partida estratégico.

En 2019, se lanzó el Proyecto Verne, con la participación de ANCAP, UTE y MIEM. Para 2020, el grupo interinstitucional se expandió, incorporando otros ministerios, instituciones y agencias estatales, lo que marcó un cambio en las prioridades e instrumentos. Esto permitió vislumbrar a Uruguay como un posible productor y exportador de H2V y sus derivados hacia Europa.

En 2021, se dio un paso significativo con el desarrollo de la Hoja de Ruta del Hidrógeno Verde, que se elaboró mediante mesas de trabajo que reunieron a más de setenta representantes nacionales e internacionales. Estas instancias, junto con un análisis realizado por McKinsey & Company, posicionaron a Uruguay como un candidato natural para liderar la producción y exportación de H2V a gran escala. La Hoja de Ruta establece objetivos iniciales hasta 2050.

En 2022, Uruguay recibió un apoyo de 10 millones de dólares del Fondo de Innovación de Energías Renovables de Naciones Unidas (REIF) para avanzar en su segunda transición energética. Los desafíos principales identificados incluyeron la electrificación del transporte e industria y el desarrollo de tecnologías vinculadas al H2V. Ese mismo año, mediante la resolución presidencial 294/022, el MIEM fue designado para implementar y administrar el Programa H2U, orientado al desarrollo del H2V en áreas clave como innovación, regulación, atracción de inversiones, desarrollo de capacidades, infraestructura y cooperación internacional.

Según la plataforma H2LAC, Uruguay cuenta con siete proyectos en fase de desarrollo relacionados con la producción de hidrógeno verde. Las proyecciones para el país son ambiciosas: se espera alcanzar una capacidad de electrólisis de 20 MW en 2025, 1 GW en 2030 y 9 GW en 2040. La potencia instalada para la industria se proyecta en un rango de 200–400 MW en 2025, entre 1 y 2 GW en 2030, y 18 GW en 2040. En términos de producción y exportación, Uruguay apunta a liderar en hidrógeno, amoníaco y electro combustibles o combustibles sintéticos (e-Fuels), con un costo nivelado del hidrógeno (LCOH) proyectado entre 1.5 y 2.4 USD/kg para 2025, disminuyendo a 1.0–1.4 USD/kg en 2050.

A continuación, se describen los proyectos con probabilidades de desarrollarse en el horizonte del Hoja de Ruta 2040 para el Uruguay:

Proyecto Kahirós³

Ubicado en Fray Bentos, departamento de Río Negro, el Proyecto Kahirós será la primera planta de hidrógeno verde en Uruguay. Su objetivo principal es utilizar energía renovable para producir hidrógeno verde destinado a camiones de carga pesada en la cadena logística forestal. Contará con una planta solar fotovoltaica de 3,9 MW y un electrolizador de 2 MW, con una capacidad de producción anual estimada en 76,7 toneladas de hidrógeno. La inversión total asciende a USD 38,6 millones, y se espera que la planta esté operativa a partir de 2026.

Proyecto H24U⁴

El Proyecto H24U, situado en Pueblo Centenario, departamento de Durazno, tiene como finalidad abastecer de hidrógeno verde a camiones de carga pesada, impulsando la descarbonización del sector transporte. La planta contará con una generación eléctrica de 10 MW y un electrolizador de 5 MW, lo que permitirá producir 263 toneladas de hidrógeno anualmente. La inversión total es de USD 43,5 millones, de los cuales USD 10 millones serán aportados por el Estado como fondo no reembolsable. Actualmente, el proyecto se encuentra en la etapa de estudios de factibilidad.

Proyecto de HIF Global⁵

En Paysandú, el proyecto liderado por HIF Global planea desarrollar una planta para producir eCombustibles a partir de hidrógeno verde, con un enfoque en la exportación. La planta combinará generación eléctrica eólica y solar, alcanzando una capacidad total de 2 GW, y un electrolizador de 1 GW para producir 100.000 toneladas de hidrógeno verde y 180.000 toneladas de gasolina sintética al año. La inversión proyectada es de USD 4.000 millones. Actualmente, el proyecto se encuentra en estudios de prefactibilidad.

Tambor Green Hydrogen Hub⁶

En la localidad de Tambores, que abarca los departamentos de Tacuarembó y Paysandú, el proyecto Tambor Green Hydrogen Hub busca producir hidrógeno verde y convertirlo en e-metanol para su uso en la industria química y energética. Este proyecto contempla la generación eléctrica de 470 MW y un electrolizador de 150 MW, con una capacidad de producción anual de 13.000 toneladas de hidrógeno y 70.000 toneladas de metanol. Actualmente, se encuentra en estudios de factibilidad, y en diciembre de 2021 se presentó la Viabilidad Ambiental de Localización.

En paralelo, iniciativas académicas como la Red Académica para la Promoción, Investigación y Desarrollo del Hidrógeno y la Descarbonización en Uruguay (RedH2uy) han buscado integrar esfuerzos de investigación, formación de recursos humanos y difusión técnica. Sin embargo, aún no se han concretado compromisos significativos para un mayor involucramiento del sistema científico nacional en estas iniciativas.

Finalmente, desafíos como la regulación, certificación y adaptación de infraestructura continúan siendo críticos. La falta de planificación estratégica para desarrollar capacidades tecnológicas nacionales y la dependencia de soluciones llave en mano podrían limitar el impacto del H2V en el desarrollo científico y productivo del país. No obstante, el fortalecimiento de la colaboración entre actores públicos, privados y académicos sigue siendo una oportunidad clave para aprovechar el potencial transformador del H2V en Uruguay.

Como destaca la hoja de ruta, el desarrollo de capacidades locales constituye un pilar fundamental para impulsar el hidrógeno verde y cerrar posibles brechas entre la oferta y la demanda de personal capacitado en áreas operativas, técnicas y de ingeniería. Para ello, resulta imprescindible fortalecer las capacitaciones en energías renovables, con un enfoque especial en las tecnologías relacionadas con el hidrógeno, a fin de generar un mayor valor agregado a nivel local.

Las principales necesidades en términos de capacidades locales se concentran en los aspectos técnicos relacionados con los electrolizadores y la producción de derivados. En este sentido, es esencial incrementar la formación de expertos en estas áreas específicas para atender las demandas del sector.

En el diseño de estas iniciativas, según se reseña en la hoja de ruta, se priorizará la perspectiva de género para garantizar igualdad de oportunidades y reducir brechas existentes. La formación profesional y la especialización se orientarán hacia una educación terciaria específica en hidrógeno y sus derivados. En colaboración con el Consejo Nacional de Innovación

³ <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/comunicacion/noticias/se-presenta-concrecion-primera-planta-hidrogeno-verde-uruguay-implicara>

⁴ <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/politicas-y-gestion/proyectos-hidrogeno-verde-derivados-uruguay>

⁵ <https://www.uruguayxxi.gub.uy/es/noticias/articulo/compania-chilena-concretara-millonaria-inversion-en-uruguay-para-producir-ecombustibles-a-partir-de-hidrogeno-verde>

⁶ <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/politicas-y-gestion/proyectos-hidrogeno-verde-derivados-uruguay>

Ciencia y Tecnología (CONICYT), se busca implementar un programa que promueva la formación de capacidades a nivel científico y técnico.

El Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), junto con ANII y el Laboratorio Tecnológico Uruguayo (LATU), establecieron el Fondo Sectorial de Hidrógeno Verde con el objetivo de financiar proyectos de investigación, innovación y formación en esta temática. A través de este fondo, el Gobierno de Uruguay, por medio de ANII, abrió una convocatoria para desarrollar los primeros proyectos piloto de hidrógeno verde y derivados.

De manera complementaria, el Fondo Sectorial de Energía respalda proyectos de investigación relacionados con la economía del hidrógeno y fomenta iniciativas como la movilidad internacional de investigadores, fortaleciendo el intercambio de conocimientos en el ámbito académico.

En tal sentido, es esencial continuar promoviendo programas y acciones que potencien la investigación nacional y la innovación en torno al hidrógeno verde, consolidando las capacidades científicas y tecnológicas del país en esta área estratégica.

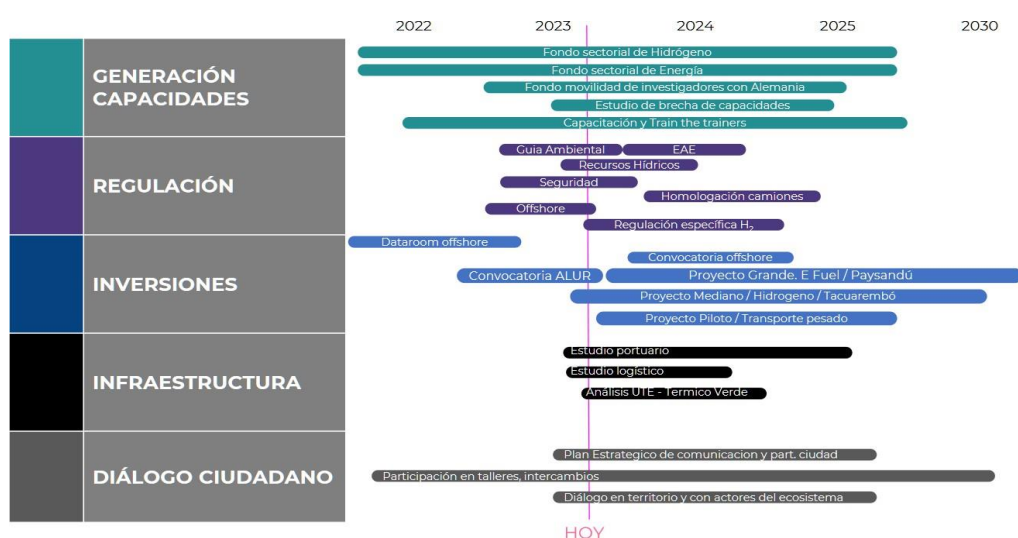


Figura 6: Hoja de ruta del hidrógeno verde en Uruguay

Fuente: Hoja de Ruta H2V Uruguay

En las entrevistas realizadas, se sugirió que Uruguay aproveche su capital humano y el conocimiento técnico ya desarrollado en áreas como la electroquímica, la gestión de energías renovables y los materiales para celdas de energía, con el fin de potenciar la cadena de valor del hidrógeno verde y sus derivados. También se destacó la oportunidad de fortalecer la colaboración entre la academia y empresas nacionales para desarrollar tecnologías específicas. En este sentido, se señaló la importancia de avanzar en el desarrollo de membranas, catalizadores y materiales para electrodos, además de mejoras en la eficiencia térmica de quemadores y calderas adaptados al uso del hidrógeno.

Asimismo, se identificaron áreas críticas de investigación como la integración de energías variables (eólica y solar), el desarrollo de software y sensores para procesos industriales, y la digitalización de la industria. Se enfatizó la necesidad de contar con un marco regulatorio flexible, como el modelo de "sandbox regulation", que fomente la innovación tecnológica. Para ello, se considera esencial formar abogados especializados en legislación para el sector, capaces de diseñar regulaciones que respondan a las demandas de una industria en evolución.

En cuanto a la logística, se destacó la importancia de una planificación estratégica para la ubicación de plantas de producción, teniendo en cuenta recursos como el sol, el viento y la proximidad a puertos. También se subrayó la necesidad de infraestructura eficiente para el transporte y distribución del hidrógeno. En relación con las capacidades técnicas, se mencionó la urgencia de formar a ingenieros químicos, mecánicos y técnicos en áreas relacionadas con el hidrógeno, asegurando además una transición inclusiva que promueva la igualdad de oportunidades.

Durante las entrevistas, se señaló que la estrategia de Uruguay se orienta principalmente hacia la exportación de hidrógeno verde y sus derivados, como amoníaco y metanol, debido a su mayor facilidad de transporte y rentabilidad en mercados internacionales. La logística para trasladar el hidrógeno desde los centros de producción hasta los puntos de salida, como puertos fluviales o marítimos, fue identificada como un desafío clave, con opciones que incluyen transporte terrestre, ferroviario o tuberías. También se destacó la necesidad de desarrollar capacidades locales para el manejo y transporte del hidrógeno, para lo cual se han propuesto acuerdos de cooperación con instituciones internacionales.

En relación con los desafíos de seguridad y percepción pública, se indicó que la capacitación rigurosa y las campañas de sensibilización son esenciales para garantizar la aceptación de los proyectos de hidrógeno. Además, se enfatizó la

importancia de una formación multidisciplinaria que integre no solo perfiles técnicos, sino también profesionales en áreas regulatorias, ambientales y de comunicación. En términos de infraestructura, se sugirió la creación de hubs logísticos especializados en puertos estratégicos como Montevideo y Nueva Palmira, incorporando tecnologías digitales y automatización para convertirlos en "Smart Ports".

También se planteó la necesidad de mejorar la infraestructura portuaria para facilitar la exportación del hidrógeno verde. Estudios recientes identificaron puertos en el río Uruguay y el río de la Plata como los más adecuados para este propósito, destacando que los puertos atlánticos requerirían inversiones más significativas y complejas. Además, se sugirió centralizar la infraestructura portuaria para reducir costos y mejorar la logística, promoviendo la creación de terminales especializadas.

Finalmente, se discutió la importancia de proyectos piloto, como el transporte de carga con camiones impulsados por hidrógeno, y la evaluación de trenes de hidrógeno para pasajeros, que podrían sentar las bases para la adopción masiva de esta tecnología en el transporte. En el largo plazo, se consideró que el hidrógeno tiene mayor potencial en aplicaciones industriales y de transporte pesado, mientras que los vehículos personales probablemente se orienten hacia baterías eléctricas.

Estas sugerencias reflejan un enfoque integral u holístico para el desarrollo del hidrógeno verde en Uruguay, que abarca desde la innovación tecnológica y la formación de capacidades locales hasta la planificación logística y la cooperación internacional, elementos esenciales para consolidar al país como un líder en esta industria emergente.

El desarrollo del hidrógeno verde en Uruguay, según el documento elaborado por el Equipo Académico Multidisciplinario a pedido del Consejo Directivo Central de la Universidad de la República, presenta una oportunidad única para diversificar tanto la matriz productiva como energética del país, abriendo nuevas posibilidades en términos de desarrollo económico, social y territorial. La implementación de esta industria tiene el potencial de reducir la dependencia histórica del país de los commodities agrícolas y ganaderos, al fomentar actividades de mayor valor agregado en bienes y servicios. Además, se vislumbra una significativa oportunidad para posicionar a Uruguay como un exportador relevante en el mercado global del hidrógeno, que podría representar hasta el 10% del mercado mundial de energía (Udelar, 2024).

La transición hacia una economía basada en el H2V permitiría al país disminuir su dependencia de los combustibles fósiles importados, fortaleciendo su seguridad energética. Esta industria también podría generar nuevos puestos de trabajo calificados a lo largo de su cadena de valor, desde técnicos y profesionales hasta investigadores capaces de integrar e implementar conocimiento innovador. Dada la ubicación de los recursos naturales asociados al H2V, como la energía eólica y solar, se espera que los proyectos se concentren en el interior del país, promoviendo la descentralización económica y social. Esto no solo impulsaría el desarrollo de pequeñas y medianas empresas locales, sino también la radicación de técnicos, profesionales e investigadores en estas regiones, fomentando oportunidades de empleo y formación (Udelar, 2024).

En términos de capacidades, Uruguay enfrenta un desafío considerable para acompañar el crecimiento proyectado de esta industria. La Hoja de Ruta del Hidrógeno Verde establece metas ambiciosas, como la instalación de 9 GW de electrolizadores para 2040, lo que requerirá más del doble de la capacidad instalada de energía renovable actual en el país. Asegurar que las capacidades nacionales puedan sostener este crecimiento será esencial para garantizar el éxito de estos proyectos. Además, el H2V puede convertirse en un producto estratégico para la exportación, atrayendo inversiones internacionales significativas y generando ingresos sustanciales para el país. Sin embargo, será fundamental garantizar que los beneficios de esta industria se distribuyan de manera equitativa entre los diferentes sectores de la sociedad, promoviendo un desarrollo inclusivo y sustentable (Udelar, 2024).

El desarrollo del H2V también permitiría avanzar en la descarbonización de sectores económicos clave, especialmente aquellos que son difíciles de electrificar, como el transporte pesado, la industria y la construcción. Esto consolidaría aún más el liderazgo de Uruguay en la mitigación del cambio climático, complementando su ya destacada transición energética en el sector eléctrico. Al mismo tiempo, esta industria ofrece una oportunidad única para fortalecer el ecosistema de investigación e innovación, generando sinergias entre capacidades locales, transferencia tecnológica y desarrollo empresarial (Udelar, 2024).

A pesar de estas oportunidades, el desarrollo del H2V implica desafíos significativos que deben ser abordados con cuidado. Es necesario garantizar la transparencia y el acceso a la información para que la sociedad comprenda las implicancias de estos proyectos. La información clara y precisa es crucial, especialmente para las comunidades locales, que podrían enfrentar impactos económicos, sociales y ambientales directos. Además, el uso sostenible del agua debe ser gestionado adecuadamente, considerando que este recurso es esencial para la producción de hidrógeno, aunque no más intensivo que otras industrias existentes en el país. Una gestión hídrica robusta y supervisada será clave para minimizar posibles conflictos por el uso del recurso (Udelar, 2024).

El manejo de los impactos ambientales, incluyendo la disposición de efluentes y desechos, es otro desafío crítico. La degradación de componentes asociados a la producción de hidrógeno, como electrolizadores y parques renovables,

requerirá medidas específicas para mitigar su impacto a largo plazo. También es imprescindible evitar conflictos territoriales y garantizar que los proyectos no interfieran con otras actividades productivas o áreas protegidas, asegurando la convivencia armónica de los diferentes usos del suelo (Udelar, 2024).

En el plano internacional, Uruguay enfrenta incertidumbres relacionadas con la demanda global de hidrógeno y la regulación internacional. Los principales mercados consumidores de hidrógeno se encuentran en el norte global, y sus regulaciones definirán en gran medida las condiciones de comercialización. Este contexto requiere una planificación estratégica que equilibre las expectativas nacionales con los desarrollos globales emergentes. Además, es necesario promover un diálogo informado y consensuado entre los actores nacionales e internacionales, estableciendo acuerdos que posicionen al país como un jugador relevante en la geopolítica del hidrógeno (Udelar, 2024).

La política pública en materia de hidrógeno verde debe estar basada en un consenso político y social amplio, para garantizar su sostenibilidad a largo plazo. Asimismo, la integración de esta estrategia en un enfoque sistémico de desarrollo nacional endógeno, inclusivo y sostenible, será esencial para maximizar sus beneficios y minimizar riesgos (Udelar, 2024).

La formación de recursos humanos especializados es un componente central para garantizar un desarrollo exitoso. Esto incluye la capacitación en áreas tecnológicas, logísticas, económicas, ambientales y sociales, con un fuerte énfasis en la descentralización educativa hacia el interior del país. La colaboración entre instituciones como la Udelar, UTEC y UTU, junto con el sector productivo, será clave para garantizar una oferta educativa alineada con las necesidades del sector (Udelar, 2024).

Finalmente, el fortalecimiento del ecosistema de investigación e innovación es una oportunidad estratégica para consolidar el liderazgo de Uruguay en esta industria. Esto incluye fomentar la colaboración internacional, promover la transferencia tecnológica y desarrollar capacidades locales en áreas como energías renovables, tecnologías de hidrógeno y análisis de impacto ambiental. Asegurar la integración del conocimiento académico y su aplicación en la política pública y el sector productivo será crucial para garantizar un desarrollo genuino, robusto y duradero (Udelar, 2024).

Apéndice 3 - Formaciones técnicas, terciarias y universitarias de grado y posgrado existente en Uruguay

Institución	Titulación
UTU	Formación Profesional Básica en Mecánica Automotriz
UTU	Formación Profesional Básica en Mecánica General
UTU	Formación Profesional Básica en Refrigeración
UTU	Formación Profesional Básica en Robótica
UTU	Bachillerato Técnico Profesional Instalaciones Eléctricas
UTU	Bachillerato Técnico Profesional Mecánica Industrial
UTU	Bachillerato Técnico Profesional Náutica y Pesca
UTU	Bachillerato Técnico Profesional Sistemas de Climatización
UTU	Bachillerato Técnico Profesional Soporte Técnico Informático
UTU	Bachillerato Técnico Profesional Automotores
UTU	Bachillerato Técnico Profesional Maquinaria Pesada
UTU	Bachillerato Técnico Profesional Operador Procesos Industriales
UTU	Bachillerato Técnico Profesional Comercio y Logística
UTU	Bachillerato Técnico Profesional Conservación de Espacios Naturales y Áreas Verdes
UTU	Bachillerato Técnico Profesional Construcción
UTU	Ingeniería Tecnológica en Electrónica
UTU	Ingeniería Tecnológica en Electrotecnia
UTU	Ingeniería Tecnológica Prevencionista
UTU	Tecnicatura en Administración
UTU	Tecnicatura en Gestión Humana
UTU	Tecnicatura en Marketing
UTU	Tecnicatura en Logística
UTU	Tecnicatura en Relaciones Públicas
UTU	Tecnicatura en Publicidad
UTU	Tecnicatura en Conservación y Gestión en áreas Naturales
UTU	Tecnicatura en Control Ambiental
UTU	Tecnicatura en Instalaciones Eléctricas
UTU	Tecnicatura en Automatización Instrumentación y Control
UTU	Tecnicatura en Electro-electrónica
UTU	Tecnicatura en Redes y Comunicaciones Ópticas
UTU	Tecnicatura en Mantenimiento Electromecánico Industrial
UTU	Tecnicatura en Maquinista Naval
UTU	Tecnicatura en Motores a Combustión Interna
UTU	Tecnicatura en Telecomunicaciones
UTU	Tecnicatura en Construcción énfasis Obra Seca
UTU	Tecnicatura en Infografía y Tecnología de Arquitectura
UTU	Tecnicatura en Construcción énfasis Arquitectura
UTU	Tecnicatura en Redes y Software
UTU	Tecnicatura en Informática para Internet

UTU	Tecnicatura en Construcción de Obra Civil
UTU	Tecnicatura en Técnico Informática con Énfasis en Infraestructura
UTU	Tecnicatura en Técnico Sistemas de Energías Renovables (Binacional)
UTU	Tecnólogo Industrial Mecánico
UTU	Tecnólogo Químico
UTU	Tecnólogo en Informático
UTU	Tecnólogo en Mecatrónica Industrial
UTU	Especialización Terciaria en Energías Renovables y Eficiencia Energética
UTU	Especialización Terciaria en Logística del Transporte Carretero y Ferroviario
UTU	Especialización Terciaria en Seguridad Vial
CENTRO DE NAVEGACIÓN	Técnico en Comercio y Transporte Internacional
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN COMERCIO EXTERIOR Y ADUANA	Práctico en Comercio Exterior y Aduana
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN COMERCIO EXTERIOR Y ADUANA	Técnico en Comercio Exterior y Aduana
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN COMERCIO EXTERIOR Y ADUANA	Perito en Comercio Exterior y Aduana
ESCUELA DE INFORMÁTICA	Analista de sistemas
INSTITUTO UNIVERSITARIO FRANCISCO DE ASÍS	Contador Público
INSTITUTO UNIVERSITARIO FRANCISCO DE ASÍS	Licenciatura en Administración y Dirección de Empresas
INSTITUTO UNIVERSITARIO CRANDON	Asistente Empresarial (TNU)
INSTITUTO UNIVERSITARIO CRANDON	Asistente Ejecutivo (TNU)
INSTITUTO UNIVERSITARIO CRANDON	Licenciatura en Gestión de Empresas
INSTITUTO UNIVERSITARIO CRANDON	Secretariado Ejecutivo (TNU)
INSTITUTO UNIVERSITARIO CRANDON	Técnico en Gestión Empresarial (TNU)
INSTITUTO UNIVERSITARIO AUTÓNOMO DEL SUR	Analista en Informática
INSTITUTO UNIVERSITARIO AUTÓNOMO DEL SUR	Analista en Ingeniería Informática
INSTITUTO UNIVERSITARIO AUTÓNOMO DEL SUR	Analista en Marketing
INSTITUTO UNIVERSITARIO AUTÓNOMO DEL SUR	Ingeniería en Informática
INSTITUTO UNIVERSITARIO AUTÓNOMO DEL SUR	Licenciatura en Administración y Marketing
INSTITUTO UNIVERSITARIO AUTÓNOMO DEL SUR	Licenciatura en Informática
INSTITUTO UNIVERSITARIO AUTÓNOMO DEL SUR	Maestría en Sistemas de Información
INSTITUTO UNIVERSITARIO BIOS	Licenciatura en Diseño Industrial
INSTITUTO UNIVERSITARIO MALDONADO – PUNTA DEL ESTE	Abogacía
INSTITUTO UNIVERSITARIO MALDONADO – PUNTA DEL ESTE	Contador Público
INSTITUTO UNIVERSITARIO MALDONADO – PUNTA DEL ESTE	Notariado / Escribano Público
INSTITUTO UNIVERSITARIO SAINT CATHERINE’S COLLEGE	Licenciatura en Marketing
INSTITUTO UNIVERSITARIO SAINT CATHERINE’S COLLEGE	Licenciatura en Ciencias Empresariales
INSTITUTO UNIVERSITARIO POLITÉCNICO DE PUNTA DEL ESTE	Contador Público
INSTITUTO UNIVERSITARIO POLITÉCNICO DE PUNTA DEL ESTE	Auxiliar Contable
INSTITUTO UNIVERSITARIO POLITÉCNICO DE PUNTA DEL ESTE	Licenciatura en Economía y Finanzas Aplicadas
INSTITUTO UNIVERSITARIO POLITÉCNICO DE PUNTA DEL ESTE	Analista Económico – Financiero
INSTITUTO UNIVERSITARIO POLITÉCNICO DE PUNTA DEL ESTE	Postgrado de Especialización en Gestión de la Innovación Empresarial
INSTITUTO UNIVERSITARIO POLITÉCNICO DE PUNTA DEL ESTE	Maestría en Administración de Empresas – MBA
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Desarrollador de Software
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Abogacía
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Analista Contable
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Analista en Comercio Internacional e Integración
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Analista en Dirección de Empresas
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Analista en Economía
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Analista en Gestión Humana y Relaciones Laborales
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Analista en gestión Logística
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Analista en Informática
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Analista en Negocios y Economía
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Analista Programador
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Bachiller en Ingeniería Eléctrica
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Contador Público
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Diploma de Ingeniería Eléctrica
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Doctor en Derecho
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Doctorado en Comunicación
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Doctorado en Ingeniería
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Especialización en Dirección y Administración de Empresas
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Ingeniería Ambiental
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Ingeniería en Informática
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Ingeniería en Sistemas Eléctricos de Potencia
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Ingeniería en Telecomunicaciones ¹
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Ingeniería Industrial
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Licenciatura en Comunicación
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Licenciatura en Comunicación y Marketing
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Licenciatura en Dirección de Empresas
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Licenciatura en Economía
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Licenciatura en Economía de la Empresa
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Licenciatura en Gestión Humana y Relaciones Laborales
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Licenciatura en Gestión Logística
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Licenciatura en Informática
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Licenciatura en Negocios Internacionales e Integración
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Licenciatura en Negocios y Economía
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Licenciatura en Relaciones Internacionales
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Licenciatura en Relaciones Laborales
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Licenciatura en Seguridad y Salud Ocupacional

UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Maestría en Administración Pública
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Maestría en Ciencia de Datos
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Maestría en Ciencias de la Ingeniería
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Maestría en Desarrollo Regional y Local
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Maestría en Desarrollo Regional y Local
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Maestría en Dirección de Empresas
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Maestría en Dirección de Empresas con énfasis en Marketing, RRHH y Finanzas
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Maestría en Finanzas
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Maestría en Gerencia de la Energía
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Maestría en Gerencia de Tecnologías de la Información
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Maestría en Marketing
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Maestría en Políticas Públicas
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Notariado / Escribano Público
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Postgrado de Especialización en Desarrollo Local
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Postgrado de Especialización en Finanzas
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Procurador
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Tecnicatura en Farmacia
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Técnico en Comercio Internacional e Integración
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Técnico en Dirección de Empresas
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Técnico en Economía de la Empresa
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL URUGUAY	Técnico/a en Contenidos Digitales
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Analista Contable
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Analista de Información Financiera
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Analista de Sistemas de Computación
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Analista de Sistemas
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Analista Económico
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Analista en Comunicación
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Analista en Comunicación Empresarial
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Analista en Comunicación Global
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Analista en Gestión Comercial
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Analista en Infraestructura Informática
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Analista en Negocios Digitales
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Analista en Tecnologías de la Información
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Analista Internacional
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Arquitectura
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Ayudante de Ingeniero en Electrónica
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Ayudante de Ingeniero en Sistemas
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Ayudante de Ingeniero en Telecomunicaciones
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Contador Público
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Diploma de Especialización en Analítica de Big Data
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Diploma de Especialización en Analítica de Negocios
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Diploma de Especialización en Ciberseguridad
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Diploma de Especialización en Contabilidad
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Diploma de Especialización en Creatividad e Innovación
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Diploma de Especialización en Dirección de Comunicación
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Diploma de Especialización en Dirección de Marketing
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Diploma de Especialización en Diseño, Cálculo y Construcción de Estructuras de Madera
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Diploma de Especialización en Finanzas
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Diploma de Especialización en Gestión de Sistemas de Información
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Diploma de Especialización en Inteligencia Artificial
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Diploma de Especialización en Marketing
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Diploma de Especialización en Recursos Humanos
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Ingeniería Eléctrica
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Ingeniería en Electrónica
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Ingeniería en Sistemas
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Ingeniería en Telecomunicaciones
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Licenciatura en Análisis de Sistemas de Información
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Licenciatura en Biotecnología
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Licenciatura en Comunicación
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Licenciatura en Comunicación Empresarial
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Licenciatura en Comunicación Global
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Licenciatura en Diseño Industrial
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Licenciatura en Economía
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Licenciatura en Electrónica
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Licenciatura en Estudios Internacionales
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Licenciatura en Gerencia y Administración
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Licenciatura en Gerencia y Administración de Empresas
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Licenciatura en Ingeniería de Software
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Licenciatura en Marketing y Dirección Comercial
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Licenciatura en Negocios Digitales
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Licenciatura en Sistemas
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Licenciatura en Telecomunicaciones
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Master en Administración de Empresas (MBA)
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Master en Big Data
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Master en Contabilidad y Finanzas
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Master en Dirección Comercial y Marketing

UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Master en Dirección de Comunicación y Marketing
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Master en Dirección de Recursos Humanos
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Master en Dirección Financiera
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Master en Economía
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Master en Formación de Formadores
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Master en Gestión de Sistemas de Información
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Master en Ingeniería
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Proyectista Industrial
UNIVERSIDAD ORT URUGUAY	Técnico Biotecnólogo
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Abogacía
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Contador Público
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Especialización en Métodos Avanzados de Cálculo Estructural
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Especialización en Producción Más Limpia
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Ingeniería Civil
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Ingeniería de Datos e Inteligencia Artificial
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Ingeniería en Informática
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Ingeniería Industrial
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Ingeniería Telemática
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Licenciatura en Ciencia de Datos para Negocios
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Licenciatura en Comunicación
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Licenciatura en Dirección y Administración de Empresas
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Licenciatura en Economía
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Licenciatura en Finanzas
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Licenciatura en Humanidades
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Licenciatura en Informática
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Licenciatura en Ingeniería de Datos
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Licenciatura en Marketing
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Licenciatura en Negocios Digitales
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Licenciatura en Negocios Internacionales
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Licenciatura en Política, Filosofía y Economía
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Maestría en Ciencia de Datos – Modalidad Virtual
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Maestría en Contabilidad y Técnica Tributaria
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Maestría en Derecho LL.M
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Maestría en Dirección de Comunicación
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Maestría en Economía
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Maestría en Finanzas
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Maestría en Gestión Humana en las Organizaciones
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Maestría en Integración y Comercio Internacional
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Maestría en Investigación Aplicada en Ingeniería
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Maestría en Tributación
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Master en Derecho Administrativo Económico
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Master en Derecho de la Empresa
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Master en Derecho y Técnica Tributaria
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Master en Políticas de la Integración en el Mercosur
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Master Profesional en Dirección y Administración de Empresas
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Notariado / Escribano Público
UNIVERSIDAD DE MONTEVIDEO	Procurador
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Analista en Informática
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Analista en Ingeniería Informática
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Contador Público
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Doctor en Derecho
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Escribanía
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Habilidades Gerenciales
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Ingeniería en Informática
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Licenciatura en Administración de Empresas
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Licenciatura en Administración y Marketing
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Licenciatura en Comercio Exterior
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Licenciatura en Diseño Aplicado
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Licenciatura en Diseño Industrial
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Licenciatura en Economía y Finanzas
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Licenciatura en Informática
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Licenciatura en Logística
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Licenciatura en Marketing
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Licenciatura en Recursos Humanos
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Licenciatura en Relaciones Internacionales
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Maestría en Derecho de las Relaciones Internacionales y la Integración en América Latina
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Maestría en Dirección y Administración de Empresas
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Maestría en Gestión Ambiental
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Maestría en Marketing y Dirección Comercial
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Postgrado de Especialización Ejecutivo en Marketing
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Postgrado de Especialización en
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Postgrado de Especialización en Dirección de Recursos Humanos
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Procurador
UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA	Técnico en Informática
UNIVERSIDAD CLAEH	Abogacía
UNIVERSIDAD CLAEH	Maestría en Comunicación y Recepción de Medios
UNIVERSIDAD CLAEH	Maestría en Derecho Contractual – Modalidad Virtual

UNIVERSIDAD CLAEH	Maestría en Derechos Humanos – Modalidad Virtual
UNIVERSIDAD CLAEH	Maestría en Desarrollo Local y Regional – Modalidad Virtual
UNIVERSIDAD CLAEH	Maestría en Desarrollo Regional y Local
UNIVERSIDAD CLAEH	Maestría en Integración y Mercosur
UNIVERSIDAD CLAEH	Notariado
UNIVERSIDAD CLAEH	Postgrado de Especialización en Integración y Mercosur
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL URUGUAY (UTEC)	Especialización en Ciberseguridad
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL URUGUAY (UTEC)	Ingeniería Agroambiental
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL URUGUAY (UTEC)	Ingeniería en Agua y Desarrollo Sostenible
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL URUGUAY (UTEC)	Ingeniería en Control y Automática
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL URUGUAY (UTEC)	Ingeniería en Energías Renovables
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL URUGUAY (UTEC)	Ingeniería en Logística
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL URUGUAY (UTEC)	Ingeniería en Mecatrónica
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL URUGUAY (UTEC)	Licenciatura en Ingeniería de Datos e Inteligencia Artificial
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL URUGUAY (UTEC)	Licenciatura en Tecnologías de la Información
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL URUGUAY (UTEC)	Maestría Profesional en Ciencia de Datos
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL URUGUAY (UTEC)	Maestría Profesional en Evaluación Transformadora para la sostenibilidad
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL URUGUAY (UTEC)	Posgrado en Robótica e Inteligencia Artificial
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL URUGUAY (UTEC)	Programa de Posgrado en Agua y Desarrollo Sostenible
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL URUGUAY (UTEC)	Tecnólogo en Análisis y Desarrollo de Sistemas
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL URUGUAY (UTEC)	Tecnólogo en Control Ambiental
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL URUGUAY (UTEC)	Tecnólogo en Informática
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL URUGUAY (UTEC)	Tecnólogo Industrial Mecánico
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL URUGUAY (UTEC)	Tecnólogo Químico
UDELAR	Abogacía
UDELAR	Analista en Computación
UDELAR	Arquitectura
UDELAR	Ciclo Inicial Optativo
UDELAR	Contador Público
UDELAR	Ingeniería Civil
UDELAR	Ingeniería de Producción
UDELAR	Ingeniería Eléctrica
UDELAR	Ingeniería en Computación
UDELAR	Ingeniería en Sistemas de Comunicación
UDELAR	Ingeniería Fisicomatemática
UDELAR	Ingeniería Industrial Mecánica
UDELAR	Ingeniería Naval
UDELAR	Ingeniería Química
UDELAR	Ingeniero en Agrimensura
UDELAR	Licenciatura en Administración
UDELAR	Licenciatura en Bioquímica
UDELAR	Licenciatura en Biotecnología
UDELAR	Licenciatura en Biología Humana
UDELAR	Licenciatura en Ciencias Biológicas
UDELAR	Licenciatura en Geografía
UDELAR	Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera
UDELAR	Licenciatura en Computación
UDELAR	Licenciatura en Comunicación
UDELAR	Licenciatura en Desarrollo
UDELAR	Licenciatura en Diseño Industrial
UDELAR	Licenciatura en Economía
UDELAR	Licenciatura en Estadística
UDELAR	Licenciatura en Física
UDELAR	Licenciatura en Gestión Ambiental
UDELAR	Licenciatura en Geología
UDELAR	Licenciatura en Matemática
UDELAR	Licenciatura en Química
UDELAR	Licenciatura en Recursos Hídricos y Riego
UDELAR	Licenciatura en Recursos Naturales
UDELAR	Licenciatura en Relaciones Internacionales
UDELAR	Licenciatura en Relaciones Laborales
UDELAR	Licenciatura en Tecnologías de la Química
UDELAR	Módulo Problemas del Desarrollo
UDELAR	Notariado / Escribano Público
UDELAR	Químico
UDELAR	Tecnicatura en Desarrollo Regional Sustentable
UDELAR	Tecnicatura en Gestión de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable
UDELAR	Técnico Bachiller en Ciencias Químicas
UDELAR	Técnico en Administración
UDELAR	Tecnólogo en Administración y Contabilidad
UDELAR	Tecnólogo en Telecomunicaciones
UDELAR	Tecnólogo Industrial Mecánico
UDELAR	Tecnólogo informático
UDELAR	Tecnólogo Químico
UDELAR	Tecnólogo en Cartografía
UDELAR	Diploma de Especialización en Ciencia de Datos
UDELAR	Diploma de Especialización en Ciencias Ambientales

UDELAR	Diploma de Especialización en Construcción de Obras de Arquitectura
UDELAR	Diploma de Especialización en Diseño de Estructuras en la Arquitectura
UDELAR	Diploma de Especialización en Estudios Avanzados de Computación
UDELAR	Diploma de Especialización en Física
UDELAR	Diploma de Especialización en Gestión de Tecnologías
UDELAR	Diploma de Especialización en Hidrología subterránea
UDELAR	Diploma de Especialización en Ingeniería Ambiental
UDELAR	Diploma de Especialización en Ingeniería de la Energía
UDELAR	Diploma de Especialización en Ingeniería de Software
UDELAR	Diploma de Especialización en Investigación Proyectual
UDELAR	Diploma de Especialización en Optimización
UDELAR	Diploma de Especialización en Seguridad Informática
UDELAR	Diploma de Especialización en Seguridad y Salud en el Trabajo
UDELAR	Diploma de Especialización en Sistemas de Información y Tecnologías de Gestión de Datos
UDELAR	Diploma de Especialización en Sistemas Eléctricos de Potencia
UDELAR	Diploma de Especialización en Telecomunicaciones
UDELAR	Diploma de Especialización en Tránsito y Transporte
UDELAR	Diploma de Especialización en Administración
UDELAR	Diploma de Especialización en Auditoría
UDELAR	Diploma de Especialización en Contabilidad
UDELAR	Diploma de Especialización en Costos y Gestión Empresarial (con apoyo de IAPUCO, Argentina)
UDELAR	Diploma de Especialización en Derecho Comercial
UDELAR	Diploma de Especialización en Derecho de Daños
UDELAR	Diploma de Especialización en Derecho del Trabajo y de la Seguridad Social
UDELAR	Diploma de Especialización en Derecho Internacional Público
UDELAR	Diploma de Especialización en Derecho Opción Administrativo y Gestión Pública
UDELAR	Diploma de Especialización en Economía (FCS)
UDELAR	Diploma de Especialización en Estudios Internacionales - Sistema Internacional e Integración
UDELAR	Diploma de Especialización en Marketing
UDELAR	Diploma de Especialización en Transformación Organizacional
UDELAR	Maestría en Ciencia de Datos Aplicada
UDELAR	Maestría en Ciencia de Datos y Aprendizaje Automático
UDELAR	Maestría en Ciencias Ambientales
UDELAR	Maestría en Construcción en Obras de Arquitectura
UDELAR	Maestría en Física
UDELAR	Maestría en Geociencias
UDELAR	Maestría en Gestión de Innovación
UDELAR	Maestría en Informática
UDELAR	Maestría en Ingeniería Ambiental
UDELAR	Maestría en Ingeniería de la Energía
UDELAR	Maestría en Ingeniería de Software
UDELAR	Maestría en Ingeniería Eléctrica
UDELAR	Maestría en Ingeniería en Computación
UDELAR	Maestría en Ingeniería en Mecánica de los Fluidos Aplicada
UDELAR	Maestría en Ingeniería Estructural
UDELAR	Maestría en Ingeniería Física
UDELAR	Maestría en Ingeniería Matemática
UDELAR	Maestría en Ingeniería Mecánica
UDELAR	Maestría en Ingeniería Química
UDELAR	Maestría en Investigación de operaciones
UDELAR	Maestría en Matemática
UDELAR	Maestría en Química
UDELAR	Maestría en Seguridad informática
UDELAR	Maestría en Sistemas de Información y Tecnologías de Gestión de Datos
UDELAR	Maestría en Contabilidad y Auditoría
UDELAR	Maestría en Derecho Internacional Público
UDELAR	Maestría en Derecho Opción Administrativo y Gestión Pública
UDELAR	Maestría en Derecho, orientación Derecho Comercial
UDELAR	Maestría en Economía
UDELAR	Maestría en Gerencia y Administración (MBA)
UDELAR	Maestría en Relaciones Internacionales orientación economía, política y derecho de la integración
UDELAR	Doctorado en Ciencias Ambientales
UDELAR	Doctorado en Física
UDELAR	Doctorado en Informática (PEDECIBA)
UDELAR	Doctorado en Ingeniería Ambiental
UDELAR	Doctorado en Ingeniería de la Energía
UDELAR	Doctorado en Ingeniería Eléctrica
UDELAR	Doctorado en Ingeniería en Mecánica de los Fluidos Aplicada
UDELAR	Doctorado en Ingeniería Física
UDELAR	Doctorado en Ingeniería Mecánica
UDELAR	Doctorado en Ingeniería Química
UDELAR	Doctorado en Matemática
UDELAR	Doctorado en Química
UDELAR	Doctorado en Química, orientación Educación en Química
UDELAR	Doctorado en Derecho
UDELAR	Doctorado en Economía

También existe formación militar en Uruguay algunas con carácter de bachillerato tecnológico y terciario.

Ejército Nacional

Escuela Militar (EM)
 Instituto Militar de Estudios Superiores (IMES)
 Escuela de Comando y Estado Mayor
 Escuela de Estudios Superiores
 Escuela de Estrategia del Ejército
 Escuela de Ingeniería Militar
 Escuela de Idiomas
 Instituto Militar de las Armas y Especialidades (IMAE)
 Escuela de las Armas del Ejército
 Escuela de Especialidades del Ejército
 Escuela de Administración Militar
 Escuela de Músicos del Ejército
 Escuela de Formación y Capacitación de Oficiales de Reserva
 Escuela de Educación Física y Tiro del Ejército
 Escuela de Equitación del Ejército
 Escuela de Comunicaciones del Ejército

Armada Nacional

Escuela Naval (ESNAL)

- Oficial de la Armada Nacional - Licenciado en Sistemas Navales
- Oficial de la Marina Mercante - Licenciado en Sistemas Escuela de Guerra Naval (ESGUE)

Escuela de Fusileros Navales (ESFUS) Escuela de Aviación Naval (ESANA) Escuela de Buceo de la Armada (ESBUC)
 Escuela de Especialidades de la Armada (ESESP)

Fuerza Aérea Uruguaya

Escuela Militar de Aeronáutica (EMA)
 Escuela de Comando y Estado Mayor Aéreo (ECEMA)
 Escuela Técnica de Aeronáutica (ETA)

Institutos de formación común:

Liceo Militar (LMGA)
 Escuela Nacional de Operaciones de Paz del Uruguay (ENOPU)
 Centro de Altos Estudios Nacionales (CALEN)

Apéndice 4 - Perfiles y competencias en las etapas de la cadena de valor

El apéndice 4 se adjunta en un archivo separado de este documento en PDF y ods.

Apéndice 5 - Perfil de los entrevistados

Se realizaron cuatro entrevistas con informantes calificados representantes de la industria, el gobierno y la academia. Para la selección se elaboró una lista de posibles entrevistados, que fue validada por la contraparte y se consiguieron los encuentros con apoyo del MIEM.

Breve descripción de los entrevistados expresada en orden cronológico:

I. Luis Rodríguez Riesgo

Perfil: Ingeniero Civil, MBA y asesor y representante del Ministerio de Transporte y Obras Públicas en el Programa H2U

Relevancia: La infraestructura a nivel país es una de las piedras angulares en el desarrollo del hidrógeno verde, especialmente en términos de transporte y distribución. La participación de Rodríguez Riesgo permite una perspectiva valiosa sobre cómo la infraestructura nacional y las competencias de los trabajadores del sector deben evolucionar para soportar la transición hacia una economía basada en el hidrógeno.

II. Álvaro Olazabal

Perfil: Ingeniero Civil, docente universitario y presidente de INALOG

Relevancia: La logística asociada al transporte y almacenamiento de hidrógeno verde es crucial para asegurar su disponibilidad y acceso en toda la cadena de valor. Olazabal, con su enfoque en ingeniería civil y su experiencia como presidente de INALOG, aporta un conocimiento clave sobre los desafíos logísticos y trabajos especializados que enfrenta el hidrógeno en términos de infraestructura, transporte y manejo seguro.

III. Martín Bremermann

Perfil: Ingeniero en Electrónica, MBA, CEO de HIF Uruguay

Relevancia: Como CEO de HIF Uruguay, Bremermann tiene una visión estratégica sobre la producción y las necesidades de la industria del hidrógeno verde. Su experiencia permite evaluar las oportunidades y necesidades en perfiles laborales de proyectos de producción, almacenamiento y comercialización.

IV. Soledad Gutiérrez

Perfil: Ingeniera y Doctora en Ingeniería Química, docente e investigadora universitaria. Delegada titular al CONICYT por Udelar.

Relevancia: Su formación académica, experiencia en investigación y trabajo como delegada en el CONICYT le permite evaluar las políticas científicas y de innovación que podrían fomentar la investigación y desarrollo del hidrógeno. Su perspectiva académica es fundamental para evaluar las oportunidades de avance tecnológico, la formación de capacidades locales y la conexión entre el sector académico y la industria.

Lista de figuras

Figura 1: Flujo de producción y comercialización de derivados.....	8
Figura 1: Flujo de producción y comercialización de derivados.....	33
Figura 2: Capacidad instalada por fuente de energía renovable.....	35
Figura 3: Producción de derivados de hidrógeno y aplicaciones finales.....	38
Figura 4: Almacenamiento de hidrógeno en Uruguay	39
Figura 5: Opciones de transporte de hidrógeno para Uruguay	40
Figura 6: Hoja de ruta del hidrógeno verde en Uruguay.....	51

Lista de tablas

Tabla 1: Propiedades de la lista de perfiles	18
Tabla 2: Ejemplo de interpretación	18
Tabla 3: Etapa de diseño.....	19
Tabla 4: Etapa de construcción.....	20
Tabla 5: Etapa de energía.....	21
Tabla 6: Etapa de producción primaria.....	22
Tabla 7: Etapa de producción industrial.....	23
Tabla 8: Etapa de logística.....	24

