

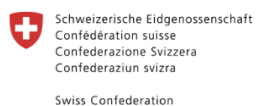
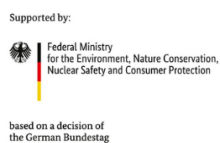
► **Argentina verde**
Impactos de la producción de hidrógeno
en la economía y el empleo



► Argentina verde

Impactos de la producción de hidrógeno en la economía y el empleo

La alianza PAGE agradece el apoyo de sus donantes y socios financieros



Copyright © Organización Internacional del Trabajo 2025

Primera edición 2025



Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Esta obra está sujeta a una licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. Véase: creativecommons.org/licenses/by/4.0. El usuario podrá reproducir, compartir (copiar y redistribuir), adaptar (mezclar, transformar y desarrollar el contenido de la obra original), conforme a los términos detallados en la licencia. El usuario deberá citar claramente a la OIT como fuente del material e indicar si se han introducido cambios en el contenido original. No está permitido reproducir el emblema, el nombre ni el logotipo de la OIT en traducciones, adaptaciones u otras obras derivadas.

Atribución de la titularidad - El usuario deberá indicar si se han introducido cambios y citar la obra como sigue: OIT. *Argentina verde. Impactos de la producción de hidrógeno en la economía y en el empleo*, Ginebra: Oficina Internacional del Trabajo, 2025, © OIT.

Traducciones - En caso de que se traduzca la presente obra, deberá añadirse, además de la atribución de la titularidad, el siguiente descargo de responsabilidad: La presente publicación es una traducción de una obra protegida por derechos de autor de la Organización Internacional del Trabajo (OIT). Esta traducción no ha sido realizada, revisada ni aprobada por la OIT y no debe considerarse una traducción oficial de la OIT. La OIT declina toda responsabilidad en cuanto a su contenido o exactitud. La responsabilidad incumbe exclusivamente al autor o autores de la traducción.

Adaptaciones - En caso de que se adapte la presente obra, deberá añadirse, además de la atribución de la titularidad, el siguiente descargo de responsabilidad: La presente publicación es una adaptación de una obra protegida por derechos de autor de la Organización Internacional del Trabajo (OIT). Esta adaptación no ha sido realizada, revisada ni aprobada por la OIT y no debe considerarse una adaptación oficial de la OIT. La OIT declina toda responsabilidad en cuanto a su contenido o exactitud. La responsabilidad incumbe exclusivamente al autor o autores de la adaptación.

Materiales de terceros - Esta licencia Creative Commons no se aplica a los materiales incluidos en la presente publicación que, aunque no son de la OIT, están protegidos por derechos de autor. Si el material se atribuye a una tercera parte, el usuario que utilice dicho material será el único responsable de obtener las autorizaciones necesarias del titular de los derechos y de responder ante cualquier reclamación por vulneración de los derechos de autor.

Toda controversia derivada de la presente licencia que no pueda ser resuelta de manera amistosa será sometida a arbitraje de conformidad con el Reglamento de Arbitraje de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI). Las partes quedarán vinculadas por el laudo arbitral resultante de dicho arbitraje, que resolverá con carácter definitivo dicha controversia.

Toda consulta sobre derechos y licencias deberá dirigirse a: rights@ilo.org. Puede obtenerse información sobre las publicaciones y los productos digitales de la OIT en: www.ilo.org/publns.

ISBN: 9789220428764 (impreso); 9789220428771 (web PDF)

DOI: <https://doi.org/10.54394/BYLI2799>

Las denominaciones empleadas en las publicaciones y las bases de datos de la OIT, que están en concordancia con la práctica seguida en las Naciones Unidas, y la forma en que aparecen presentados los datos que contienen no implican juicio alguno por parte de la OIT sobre la condición jurídica de ninguno de los países, zonas o territorios citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. Véase: www.ilo.org/descargo-de-responsabilidad.

Las opiniones y puntos de vista expresados en esta publicación incumben solamente a su autor o autores y no reflejan necesariamente las opiniones, puntos de vista o políticas de la OIT.

Las referencias a firmas o a procesos o productos comerciales no implican aprobación alguna por la OIT, y el hecho de que no se mencionen firmas o procesos o productos comerciales no implica desaprobación alguna.

► Reconocimientos

Este estudio fue realizado por el equipo conformado por Josefina Paz, Sofía Rojo Brizuela y Leandro Alfonsín Mora, y sistematizado por Santiago Borgna. La OIT agradece su compromiso y profesionalismo en el desarrollo de esta investigación.

Además, se destacan los valiosos aportes de Joaquín Etoarena Hormaeche y Ana Laura Conde, que formaron parte del proyecto Alianza para la Acción hacia una Economía Verde (PAGE, por sus siglas en inglés).

La edición de esta publicación estuvo a cargo de Guadalupe Rodríguez y el diseño gráfico fue realizado por Ana Cuenya.

► Índice de contenido

Lista de siglas y abreviaturas	7
Lista de cuadros	8
Lista de gráficos	8
<i>Abstract</i>	9
Resumen ejecutivo	10
Introducción	11
► Capítulo 1. Economía del hidrógeno	12
► Capítulo 2. Situación en Argentina	16
2.1. Marco institucional y principales actores	18
2.2. Metas de producción de hidrógeno verde	18
► Capítulo 3. Estimación de generación de empleo en Argentina	20
3.1. Las oportunidades de creación de empleo en la cadena del hidrógeno	21
3.2. Estimación de empleos directos e indirectos asociados	25
► Capítulo 4. Capacidades laborales para el desarrollo de la cadena del hidrógeno	28
4.1. Perfiles requeridos	29
4.2. Oferta de formación superior	30
4.3. Oferta de formación desde la educación técnica profesional	32
4.4. Demanda actual de formación vinculada al hidrógeno	34
4.5. Perspectiva y consideraciones de género	36
► Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones	38
Referencias	41
Anexo	42

► Lista de siglas y abreviaturas

- CCUS: captura y almacenamiento de carbono
- CO₂: dióxido de carbono
- CTIM: Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemática (STEM, en inglés)
- ENDEH: Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno
- ETP: Educación Técnica Profesional
- GEI: gases de efecto invernadero
- GNC: gas natural comprimido
- GNL: gas natural licuado
- H₂: hidrógeno
- IERIC: Instituto de Estadística y Registro de la Industria de la Construcción
- INET: Instituto Nacional de Educación Tecnológica
- Kt: kilotoneladas
- LOHC: portadores de hidrógeno orgánico líquido
- MtCO₂e: millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente
- NDC: contribuciones determinadas a nivel nacional
- NEA: noreste argentino
- NOA: noroeste argentino
- OIT: Organización Internacional del Trabajo
- PAGE: Alianza para la Acción hacia una Economía Verde (*Partnership for Action on Green Economy*)
- SMR: proceso de reformado con vapor
- UTN: Universidad Tecnológica Nacional

► Lista de cuadros

► Cuadro 1. Factores de empleo para la generación de energía eólica <i>onshore</i> , la producción de hidrógeno y de amoníaco verde	25
► Cuadro 2. Universidades con más de diez ofertas curriculares de educación superior vinculada a la economía del hidrógeno	31
► Cuadro 3. Estudiantes, nuevos inscriptos y egresados de títulos de pregrado y grado según rama de estudio	35
► Cuadro 4. Estudiantes y egresados de títulos de posgrado según rama de estudio	35
► Cuadro 5. Participación de mujeres en las ingenierías afines a la cadena del hidrógeno	37
► Cuadro A1. Universidades con ofertas curriculares vinculadas a la cadena del hidrógeno	42
► Cuadro A2. Oferta de educación superior vinculada a la cadena del hidrógeno y ubicación (según provincia)	44

► Lista de gráficos

► Gráfico 1. Cadena de valor del hidrógeno y tipos según su forma de producción	14
► Gráfico 2. Metas de producción de hidrógeno verde: escenarios conservador (A) y optimista (B) (total mercado interno y exportación)	19
► Gráfico 3. Estimación de empleo para la cadena de producción de hidrógeno verde (total mercado interno y exportación),	24
► Gráfico 4. Estimación de empleo para la cadena de producción de hidrógeno verde según etapas de la cadena de producción (total mercado interno y exportación)	26
► Gráfico 5. Proyecciones de empleo 2030-2050 y perfiles requeridos	

► Abstract

El hidrógeno bajo en emisiones se perfila como un motor clave para la transición energética y la creación de empleo en Argentina. La combinación de recursos naturales excepcionales, infraestructura energética, capacidades industriales y capital humano y tecnológico posiciona al país con ventajas competitivas para transformarse en un referente regional y global.

Las proyecciones muestran que la cadena del hidrógeno podría generar entre 7 300 y 13 300 empleos hacia 2030 y superar los 80 000 hacia 2050, con fuerte impacto en construcción, manufactura, operación y mantenimiento de parques eólicos, plantas de electrólisis y producción de amoníaco verde. Más del 85 por ciento de los puestos de trabajo se vincularán a la energía eólica, mientras que el resto se distribuirá entre procesos industriales y servicios asociados.

El desarrollo de esta industria requiere profesionales especializados en ingeniería química, eléctrica, mecánica y electromecánica, así como técnicos calificados en instalación, operación y seguridad. La reconversión de trabajadores provenientes de hidrocarburos, construcción y automotriz, junto con la formación técnica profesional y la capacitación continua, resultan esenciales para cubrir la demanda.

El hidrógeno verde también abre la posibilidad de diversificar la matriz productiva, impulsar la innovación tecnológica y crear cadenas de valor con fuerte arraigo regional. Al mismo tiempo, plantea el desafío de promover la igualdad de género en un sector históricamente masculinizado, asegurando inclusión y oportunidades equitativas.

Más allá de su aporte a la descarbonización, el hidrógeno bajo en emisiones se presenta como una oportunidad estratégica para dinamizar la economía argentina, generar empleo decente y de calidad, y consolidar al país como potencia exportadora de energía limpia.

Resumen ejecutivo

El hidrógeno verde se consolida como una de las apuestas más relevantes para enfrentar el cambio climático y al mismo tiempo generar nuevas oportunidades de desarrollo económico. En Argentina, los recursos naturales, la experiencia en sectores energéticos y la capacidad de innovación colocan al país en una posición privilegiada para liderar este proceso. La Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno (ENDEH), lanzada en 2023, refuerza este camino, con el objetivo de articular los compromisos internacionales en materia de descarbonización con el crecimiento productivo y la creación de empleo.

Impacto en empleo y formación

A nivel global, las proyecciones indican que el hidrógeno bajo en emisiones cubrirá cerca del 12 por ciento de la demanda energética hacia 2050, generando millones de empleos en distintas cadenas de valor. En el caso argentino, los cálculos muestran un impacto significativo: entre 7 300 y 13 300 puestos de trabajo hacia 2030, y entre 53 000 y 81 500 hacia 2050. Estos empleos se concentrarán principalmente en la generación de energía eólica, la producción de hidrógeno mediante electrólisis y la fabricación de amoníaco verde, con actividades que abarcan desde la construcción de infraestructuras hasta el mantenimiento, la operación y los servicios profesionales asociados.

La expansión de esta nueva industria requiere perfiles altamente calificados. Las ingenierías en química, electricidad, mecánica, electromecánica y electrónica aparecen como áreas críticas para la formación de profesionales. Al mismo tiempo, la reconversión de trabajadores provenientes de los sectores del petróleo, el gas, la construcción, la automotriz y la metal-mecánica será esencial para acompañar el crecimiento del sector. La oferta académica actual brinda una base sólida, aunque resulta indispensable fortalecer la matrícula y los egresados en disciplinas vinculadas a las ciencias aplicadas y básicas, además de potenciar la formación técnica profesional y los programas de capacitación continua.

Desafíos y oportunidades estratégicas

El hidrógeno verde también abre la posibilidad de diversificar la matriz productiva, impulsar la innovación tecnológica y consolidar industrias locales capaces de competir en mercados internacionales. La existencia de proveedores industriales, infraestructura de transporte y capacidades científico-tecnológicas da ventajas competitivas frente a otros países. Sin embargo, los altos costos iniciales de producción y transporte, junto con la falta de una demanda global consolidada, representan desafíos que deberán superarse mediante inversión, innovación y marcos regulatorios claros.

Respecto de la equidad de género, la participación de mujeres en ingenierías vinculadas al hidrógeno no supera el 25 por ciento, lo que refleja la necesidad de implementar políticas específicas para garantizar su incorporación en puestos técnicos y de liderazgo. La etapa inicial del sector ofrece la oportunidad de orientar el desarrollo hacia un modelo más inclusivo, con estrategias de formación y contratación que reduzcan las brechas históricas.

Conclusiones y recomendaciones

El hidrógeno de bajas emisiones representa para Argentina una oportunidad estratégica para cumplir con los compromisos de descarbonización y al mismo tiempo impulsar un nuevo motor de crecimiento económico. La creación de más de 82 000 empleos hacia 2050, la dinamización de economías regionales y la posibilidad de convertirse en potencia exportadora de energía limpia sitúan al país en un lugar privilegiado en el escenario mundial.

Para aprovechar plenamente este potencial, será fundamental coordinar esfuerzos entre Estado, empresas, universidades y sindicatos, invertir en formación técnica y profesional, promover la innovación tecnológica y garantizar que el desarrollo de esta industria se base en principios de inclusión y trabajo decente.



Introducción

El calentamiento global, que no solo pone en riesgo la salud humana y la biodiversidad, sino también los sistemas productivos, llevó a fijar acuerdos entre los países para la mitigación y la adaptación al cambio climático. Uno de los más reconocidos es el Acuerdo de París, que tiene vigencia desde 2015 y busca mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales. Este acuerdo establece además el objetivo de alcanzar la neutralidad de carbono para 2050. Mediante las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC, por sus siglas en inglés) los países informan y renuevan cada cinco años los compromisos asumidos para luchar contra el cambio climático.

Argentina firmó y ratificó el Acuerdo de París en septiembre de 2016 y en 2019 aprobó la Ley N.º 27 520 de Presupuestos Mínimos de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático, que orienta la implementación de las acciones para la descarbonización a través de un plan. En 2020, en línea con la solicitud del secretario general de las Naciones Unidas, se presentó la Segunda NDC, que junto con su actualización en 2021, establece el objetivo de no superar la emisión neta de 349 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO₂e) en 2030.

El país incluyó al hidrógeno dentro de la Segunda NDC, con medidas vinculadas a la producción, el transporte y el almacenamiento de

energía en vectores como el hidrógeno bajo en emisiones y sus derivados, como el amoníaco; su uso en transporte e industria; la promoción de combustibles y energías limpias; incentivos al desarrollo científico-tecnológico y la innovación en sus cadenas de valor; su contribución a las medidas de electrificación, relacionada al despliegue de energías renovables; acuerdos de cooperación internacional; el desarrollo y la utilización de tecnologías para la producción de hidrógeno azul y el desarrollo e implementación de estrategias nacionales de hidrógeno, entre otras (SAE 2023).

En concordancia con esto, el Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático, en el marco de la Ley N.º 27 520, incluye dentro de sus líneas de acción relacionadas con la transición energética al diseño y la implementación de la Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno (ENDEH).

En este documento se presenta una síntesis de los principales hallazgos y recomendaciones surgidos del trabajo de asistencia técnica realizado entre 2021 y 2023 en el marco del programa *Partnership for Action on Green Economy* (PAGE), con liderazgo de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y en colaboración con la Secretaría de Empleo del entonces Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social y la Secretaría de Asuntos Estratégicos de la Nación, que sirvieron de insumos para la delineación de la ENDEH.



1

Economía del hidrógeno

A nivel global, el hidrógeno (H_2) cumple un rol importante en la transición energética. Considerando los compromisos asumidos por los países, IRENA (2022) estima que, en 2050, el hidrógeno bajo en carbono cubrirá el 12 por ciento de la demanda mundial de energía y reducirá el 10 por ciento de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2).

Sin embargo, el hidrógeno, útil como vector energético, generalmente no se encuentra en forma pura en la naturaleza, sino junto a otros elementos químicos, como el oxígeno y el carbono, en compuestos como el agua, el amoníaco o el metano. Para obtenerlo a partir de estos compuestos, se requiere consumir energía. Es decir, la producción de hidrógeno genera emisiones, y son las fuentes de energía y el CO_2 , que se emite durante el proceso productivo, lo que diferencia los distintos tipos de hidrógeno.

Para cada tipo de hidrógeno producido se estableció un color de referencia según los niveles de emisión. A grandes rasgos, se puede hablar de tres grupos: el hidrógeno verde (sin emisiones), el hidrógeno azul, rosa y turquesa (con bajas o nulas emisiones), y el hidrógeno gris y marrón (con emisiones).

Cerca del 80 por ciento de la actual demanda mundial de hidrógeno es provista por combustibles fósiles (IEA 2021), principalmente a partir del gas natural, en un proceso de reformado con vapor (o SMR, por sus siglas en inglés) que representa el 59 por ciento de la producción mundial de hidrógeno (gris), seguido por el carbón (marrón) con el 19 por ciento, con uso casi

exclusivo en China. Como estas fuentes de producción no son compatibles con los objetivos de descarbonización, los distintos países están promoviendo las nuevas formas de producción, como pueden ser el hidrógeno azul o verde.

El **hidrógeno verde** es el que tiene el menor nivel de emisiones de CO_2 porque utiliza tecnologías maduras como la electrólisis de agua (es decir, la descomposición de las moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno) a partir de energía eléctrica generada por fuentes renovables. Aunque su producción todavía es limitada, tiene un gran potencial por sus bajos costos y facilidad de implementación. También puede producirse por gasificación de biomasa, pero esta tecnología aún se encuentra en desarrollo (SAE 2023).

En el caso del **hidrógeno azul**, se utilizan tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CCUS, por sus siglas en inglés) para reducir el impacto ambiental. Una vez capturado el CO_2 , puede tener una gran variedad de usos como la reutilización para fabricar polímeros o combustibles sintéticos.

Las otras alternativas, de bajas o nulas emisiones, son el **hidrógeno rosa**, que usa como fuente la energía nuclear para el proceso de electrólisis de agua; y el **hidrógeno turquesa**, a partir de la pirólisis de sustancias orgánicas, que pueden ser residuos de biomasa o residuos sólidos urbanos orgánicos. Si bien la pirólisis es un proceso extendido en la industria, la producción de hidrógeno por este método aún está en etapa experimental (SAE 2023).

► Gráfico 1. Cadena de valor del hidrógeno y tipos según su forma de producción

H ₂ verde		H ₂ rosa		H ₂ azul		H ₂ turquesa		H ₂ gris		H ₂ marrón	
		PRODUCCIÓN				ALMACENAMIENTO		DISTRIBUCIÓN		APLICACIONES	
		Energía		Proceso							
SIN EMISIONES	Renovables		Electrólisis (agua)		Tanques de H ₂ comprimido		Mercado Nacional		Vector energético		
	Solar						Uso “in situ”		Almacenador de energía para mitigar la intermitencia de energías eólica y solar		
SIN O BAJAS EMISIONES	Eólica		Gasificación (biomasa)		Tanques de H ₂ líquido		Gaseoso comprimido en tuberías		Energía eléctrica		
	Biomasa						Gaseoso comprimido en camiones o remolques		Combustible para fuentes móviles (transporte) o estacionarias (viviendas, hospitales, escuelas)		
	Nuclear		Electrólisis (agua)		Amoníaco (NH ₃) y otros absorbentes químicos		Líquido en camiones o remolques		Industria		
	No renovables con captura de CCUS		Reformado con vapor de gas (captura de CO ₂)		Almacenamiento subterráneo de H ₂ a gran escala		Mercado Internacional		Insumo para la producción de fertilizantes, siderurgia, fabricación de materiales y en la industria de los alimentos		
	Gas						Camiones o remolques en destinos de cercanía				
CON EMISIONES	Petróleo						Transporte en barco				
	Carbón										
	Gas y biogás		Pirólisis								
CON EMISIONES	No renovables		Reformado con vapor de agua		Tanques de H ₂ comprimido o líquido		Uso “In situ”		Combustible		
	Gas						Gaseoso comprimido en tuberías		Refinación de petróleo		
	Petróleo						Gaseoso comprimido o líquido en camiones o remolques		Materia prima para la industria		
	Carbón		Gasificación		Amoníaco (NH ₃) y otros carriers químicos						

Fuente: elaboración propia.

La cadena de valor del hidrógeno se divide en cuatro etapas: producción, almacenamiento, distribución y aplicaciones.

En la **producción de hidrógeno verde**, si bien los costos son elevados, en los últimos años se registró una tendencia a la baja como consecuencia de la reducción de costos de generación de energía eólica y solar, y de los equipos necesarios para la electrólisis (electrolizadores). Por lo tanto, si se mantiene la tendencia, los costos de producir hidrógeno verde se irán reduciendo,

volviéndose una opción más competitiva. Por su parte, para la **producción de hidrógeno azul** también se utilizan electrolizadores en la obtención del gas a partir del agua, pero como la fuente energética proviene de combustibles fósiles, se requieren sistemas de captura para evitar la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera.

El **transporte del hidrógeno** es bastante costoso debido a la baja densidad del gas y el consecuente volumen transportado. Para su

traslado, en barcos o camiones, se realizan distintos procesos que aumentan su densidad volumétrica: compresión, licuefacción, solución en portadores de hidrógeno orgánico líquido (LOHC, por sus siglas en inglés) como el amoníaco o el metanol. La elección del proceso depende de la distancia recorrida y del uso final que se le dé al hidrógeno: por ejemplo, si el uso final es como amoníaco, es más fácil de transportar ya como esta molécula. Estos procesos pueden llegar a ser muy costosos (1,5 dólares estadounidense/kg de H_2 en la compresión y 3 dólares/kg de H_2 en la licuefacción), y también la reconversión en destino.

Si bien para distancias cortas normalmente se utilizan camiones, para las largas se podrían utilizar cañerías con un costo mucho menor, pero que requieren una gran inversión en infraestructura. No obstante, la inversión necesaria para adaptar un gasoducto en funcionamiento con el propósito de transportar hidrógeno representa alrededor del 20 por ciento del total requerido para la construcción de uno nuevo. Por último, en largas distancias y grandes volúmenes se estima que la opción con menor costo es el transporte mediante barcos. Actualmente, se están desarrollando métodos seguros para el transporte por esta vía.

Para el **almacenamiento del hidrógeno** existen dos opciones: los tanques y las formaciones geológicas subterráneas. En ambos casos los costos son al menos un 50 por ciento mayores que para el almacenamiento de gas natural, pero se estima que a futuro podrían reducirse a un tercio de los valores actuales. A pesar de este mayor costo respecto al gas natural, el almacenamiento de hidrógeno en formaciones subterráneas tiene un costo sensiblemente menor que el almacenamiento de electricidad.

Los **usos del hidrógeno** son muy variados, según si se lo trata como vector energético o como materia prima para aplicaciones industriales. En la actualidad, la principal demanda proviene de la industria petroquímica, en particular en el refinado de petróleo, la producción

de amoníaco y de metanol; de la industria siderúrgica, para la fabricación de materiales; y de la industria de alimentos. La gran ventaja que tiene el uso del hidrógeno en estos casos es que su producción y utilización se dan en el mismo lugar, por lo que no es necesario el transporte (SAE 2023).

En 2020, la demanda industrial global de hidrógeno fue de 87,1 millones de toneladas y las emisiones globales de carbono asociadas a dicha producción representaron el 2 por ciento. Por lo tanto, el primer potencial que tiene la difusión del hidrógeno bajo en emisiones es la **mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) en las industrias** al instalarse como sustituto del hidrógeno gris y marrón, resultando un factor de gran relevancia para la transición energética. Pero esto constituye solo un primer paso, ya que sus aplicaciones pueden ir expandiéndose gradualmente a más sectores. Un escenario expansivo del hidrógeno bajo en emisiones puede ser posible en virtud de las necesidades existentes de descarbonización por parte de los sectores industriales tradicionales y sus nuevos entornos tecnológicos.

El hidrógeno es también una de las principales alternativas para **descarbonizar el transporte**, y compite con el gas natural vehicular (GNC y GNL), los biocombustibles (como el biometano) y la electrificación de vehículos mediante baterías. Sin embargo, aunque tiene un gran potencial como sustituto, los desafíos tecnológicos y productivos, sumados a las dificultades regulatorias, fundamentalmente para el almacenamiento y el transporte, condicionan su uso a gran escala y de manera competitiva frente a otras alternativas (SAE 2023).

El hidrógeno podría satisfacer hasta el 24 por ciento de las necesidades energéticas del mundo para 2050, siempre que existan políticas de fomento. En cambio, si se implementan políticas de apoyo graduales, en 2050 podrían estar en uso 187 millones de toneladas métricas, suficiente para satisfacer el 7 por ciento de las necesidades energéticas finales proyectadas para ese entonces (Bloomberg NEF 2020).



2

Situación en Argentina

El hidrógeno bajo en emisiones se presenta como una alternativa de combustible limpio que puede promover cambios reales en la industria química, petroquímica y siderúrgica, y tiene el potencial de convertirse en un sustituto de los combustibles fósiles en varios sectores de la economía. Además, dada la capacidad del hidrógeno para ser almacenado y transportado de forma segura, reviste un gran valor de exportación, mostrando posibilidades reales de convertirse en un *commodity*.

Los países podrán insertarse dentro del **mercado global del hidrógeno** en función de la disponibilidad y el consumo potencial de este recurso, y de las fuentes de energía renovables o de bajas emisiones. Esto implica al menos tres categorías: países que podrían ser **exportadores netos**, como Australia, Chile, Marruecos y España; países que podrían ser **autosuficientes**, como China y Estados Unidos; y aquellos que por necesidad serán **importadores netos** para atender el consumo doméstico, como Japón, la República de Corea y algunas partes de Europa y América Latina (IRENA 2022). **Argentina podría ubicarse dentro del primer grupo**, con recursos para el abastecimiento interno y el mercado internacional.

El país presenta condiciones para convertirse en un **jugador competitivo en el sector**, a partir de la posibilidad que habilita el hidrógeno verde para almacenar, transportar y ampliar el uso de las energías renovables hacia nuevos sectores económicos, incluyendo las **oportunidades de exportación de energía renovable** al utilizarse como vector.

La producción de hidrógeno verde tiene potencialidad de crecimiento en Argentina por el vínculo estrecho con el desarrollo de fuentes de energía renovables como la solar o la eólica. Asimismo, el hidrógeno azul, que requiere el uso de gas natural, presenta grandes oportunidades de la mano de la explotación de Vaca Muerta; mientras que el hidrógeno rosa, ligado a la energía nuclear, se encuentra también como una opción viable para el país por la

madurez del sector nuclear y los últimos desarrollos al respecto.

Las **ventajas que presenta Argentina** respecto a otros países son múltiples: esencialmente la amplia **disponibilidad de recursos naturales** y también su capacidad en materia de **capital humano y tecnológico**. Por sus condiciones geográficas, el país puede tener un rol importante en la producción de energía renovable y a la vez aprovechar, como ya se señaló, su posicionamiento como productor de gas.

Entre las ventajas naturales con las que se cuenta para el desarrollo del hidrógeno bajo en emisiones se destacan: el activo que significa la **segunda mayor reserva de gas no convencional** del mundo; la presencia en Cuyo y el noroeste (NOA) de las **zonas con mayor potencial de energía fotovoltaica del planeta**; **vientos superiores a 10 m/s en amplias zonas del país**, con registros mayores a 12 m/s en la Patagonia; la **amplitud de las fuentes de biomasa** en la zona central (urbana) y el noreste (NEA), con gran incidencia de la cadena de valor foresto-industrial, y la amplia oferta de biocombustibles (Mateo y Suster 2021).

En este sentido, en Argentina el desarrollo del hidrógeno bajo en emisiones puede tener una gran importancia debido a su potencial exportador y de desarrollo de la industria local asociada. A su vez, es una oportunidad para el desarrollo económico regional, posicionando a economías asociadas a las fuentes de energía productoras de hidrógeno; y una oportunidad para diversificar la matriz productiva haciendo uso de la infraestructura energética (el país cuenta con una red de trece gasoductos que lo vinculan con otros países de la región), de los recursos de trabajo calificados, de los desarrollos tecnológicos y de las relaciones comerciales ya establecidas a partir del fuerte desarrollo industrial actual asociado al sector de gas y petróleo.

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, **uno de los mayores desafíos que existen en la actualidad son los elevados costos no solo de producción, sino también de trans-**

porte y almacenamiento de hidrógeno. Se torna necesario invertir en tecnologías más eficientes para mejorar la competitividad, pero la falta de una demanda clara y de una política pública alineada con la promoción del sector no siempre facilitan la inversión (UNIDO 2022). Tampoco se encuentra establecido un marco global para controlar la trazabilidad de la producción y el consumo, y en ese sentido, es clave que se generen acuerdos para la certificación de estos procesos. Estas certificaciones además de criterios ambientales podrían incluir aspectos sociales y laborales que garanticen empleos decentes e inclusivos (IRENA 2023).

2.1. Marco institucional y principales actores

Si bien la producción de hidrógeno cuenta con un marco normativo desde la sanción de la Ley N.º 6 123 de 2006, esta nunca fue reglamentada y no fueron muchas las inversiones que se realizaron hasta el 2022, año en que caducó el régimen de promoción.

Sin embargo, en 2023 se llevaron a cabo esfuerzos para ampliar el sistema de incentivos y favorecer el desarrollo de la cadena de valor a partir de la elaboración de una Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno (ENDEH), que si bien fue creada bajo el paraguas del gobierno, su elaboración, con apoyo de organismos de Naciones Unidas e instituciones multilaterales de financiamiento, implicó un amplio diálogo social involucrando a los gobiernos subnacionales, empresas, cámaras sectoriales, y organizaciones sociales y sindicales.

Argentina tiene tecnologías maduras en materia de electrolizadores, catalizadores, turbinas, torres para generación de energía eólica, que son críticas para el desarrollo de las actividades vinculadas a la producción de hidrógeno bajo en emisiones. Los proveedores de estos bienes de capital son actores clave que operan en varias cadenas de valor en simultáneo y donde la política pública debería hacer foco por su aporte a la producción y el empleo. En particular, la generación de energía eólica

y térmica a partir de hidrocarburos presenta mayores capacidades industriales, integración y potencial exportador, sin una demanda de grandes niveles de inversión (Drucaroff *et al.* 2020).

2.2. Metas de producción de hidrógeno verde

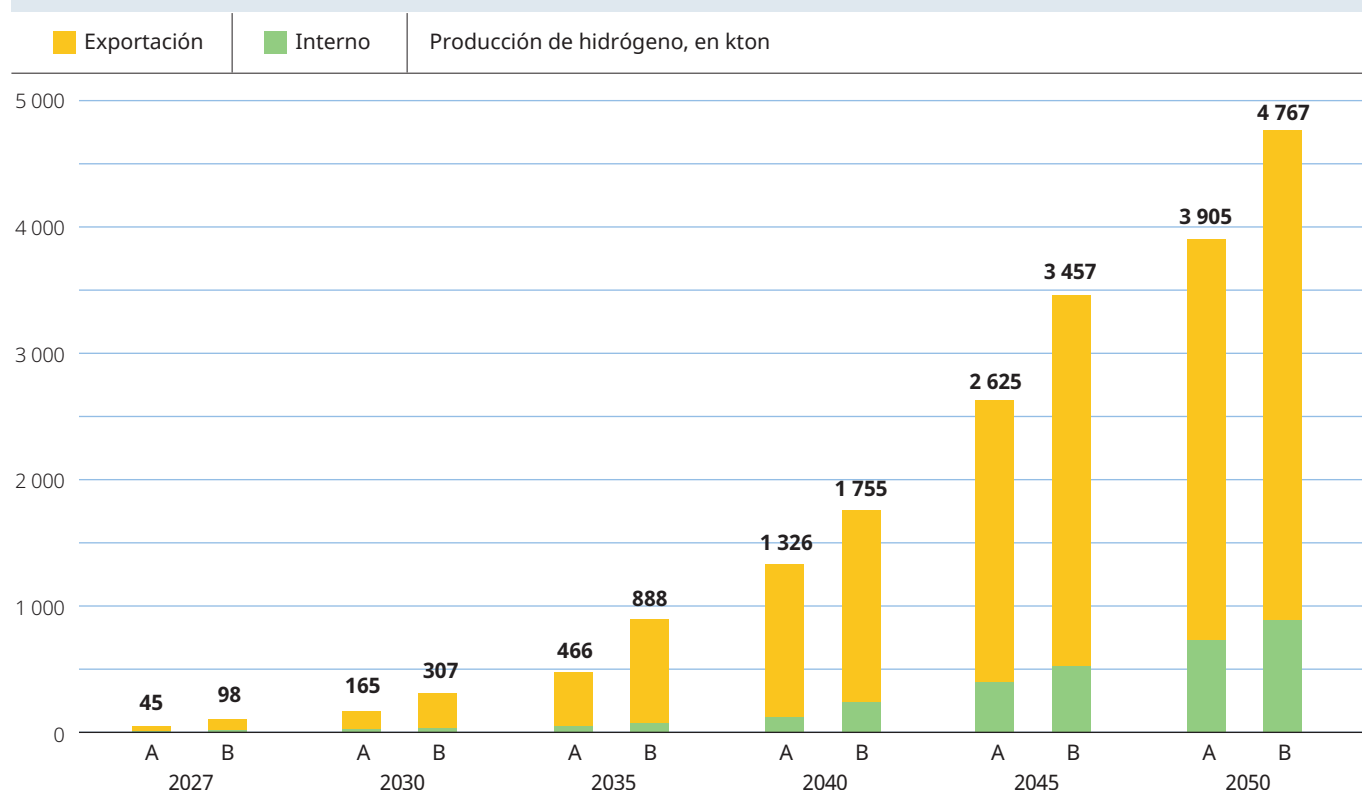
A partir de las consultas realizadas a los actores que participaron de las reuniones técnicas de la Mesa Intersectorial del Hidrógeno, se identificó que los sectores que más utilizarían hidrógeno de bajas emisiones son:

- La producción de fertilizantes (32 por ciento).
- Las industrias manufactureras (19 por ciento).
- Las refinerías (16 por ciento).
- El transporte (16 por ciento).
- La producción de acero (11 por ciento).
- La producción de cemento (6 por ciento).

Las **metas de producción de hidrógeno verde** destinadas al mercado doméstico, construidas por la SAE (2023), **suponen el reemplazo del amoníaco gris en la producción de fertilizantes por amoníaco verde, la descarbonización de la producción de acero y el uso de hidrógeno verde como combustible para la aviación y la navegación.** El aumento de la demanda de hidrógeno originado en el resto de la economía no fue considerado en este ejercicio, ya que los sectores mencionados representan la mayor parte de la demanda. El escenario de penetración moderada tiene como meta la producción de 728 kilotoneladas (kt) de hidrógeno verde para 2050 y el escenario que supone una penetración más optimista, 883 mil toneladas para el mismo año.

Se proyecta un crecimiento exponencial en la producción de hidrógeno, que es bajo en los primeros años y crece de manera más pronunciada recién a partir de 2045. La elevada disponibilidad de gas natural posiblemente demorará el proceso de penetración del hidrógeno verde en

► Gráfico 2. **Metas de producción de hidrógeno verde. A: escenario conservador. B: optimista** (total mercado interno y de exportación)



Fuente: SAE (2023).

la estructura productiva, ya que es muy probable que la descarbonización se realice primero utilizando hidrógeno gris, que posteriormente será reemplazado por verde, posiblemente también con participación de hidrógeno azul en algunos procesos. La expectativa de una dinámica de reemplazo gradual del hidrógeno gris surge de las consultas realizadas en la Mesa Intersectorial del Hidrógeno.

Por su parte, los escenarios de exportación corresponden al grado de concreción de los proyectos de inversión de los cuales se tiene evidencia. El primero supone una concreción más moderada de los proyectos, que alcanzan 3,2 mil kt en 2050, mientras que el segundo supone un grado de concreción optimista con una meta de 3,9 mil kt para ese año. Partiendo de niveles de producción de 39 y 86 kt en 2027, como en el caso del mercado doméstico, el crecimiento es más pronunciado a partir de 2045. Esto se debe a un desarrollo tardío del mercado internacional como consecuencia de una demanda poco consolidada y la falta de competitividad

con respecto a otras tecnologías y fuentes de energía que hoy están en plena madurez y que tienen menores precios.

Del análisis de ambos escenarios, se estiman las metas totales de producción. En una hipótesis alta, se consideran los escenarios de penetración optimista en el mercado doméstico y de concreción optimista de los proyectos de inversión orientados a la exportación; y en una hipótesis baja, se agregan los escenarios moderados de penetración del hidrógeno verde en la estructura productiva local y de concreción de las inversiones orientadas al comercio exterior.

Así, la producción total de hidrógeno verde sería de entre 45 y 98 kt anuales en el año 2027, principalmente orientadas al mercado externo. La expansión de la producción está liderada por las exportaciones en todo el periodo, aunque a partir de 2045 hay una mayor participación del mercado interno. **Hacia 2050, las metas de producción de hidrógeno se ubican entre 3,9 y 4,8 mil kt anuales de producción.**



3

Estimación de generación de empleo en Argentina

Las expectativas sobre la creación de puestos de trabajo en el sector del hidrógeno verde son promisorias a pesar de la naturaleza incipiente del desarrollo de la actividad. Además de crear empleos directos en la producción de hidrógeno bajo en carbono e indirectos en la cadena de producción, crea empleos inducidos en muchas economías locales, en la medida en que los nuevos trabajadores gastan sus ingresos en las ciudades donde habitan.

A nivel global, **se estima que en 2050 el hidrógeno podría proporcionar el 12 por ciento de la demanda final de energía global**, generando en este proceso **unos 30 millones de puestos de trabajo** y un **aumento de los ingresos anuales de 2,5 billones de dólares** para las economías de todo el mundo. Se estima que para 2030 las energías renovables emplearán a 38,2 millones de personas y el sector energético en su conjunto podría alcanzar 139 millones de puestos de trabajo, incluyendo más de 74 millones en eficiencia energética, vehículos eléctricos, sistemas de energía flexible e hidrógeno (IRENA y OIT 2022).

3.1. Las oportunidades de creación de empleo en la cadena del hidrógeno

En Argentina, **se espera que la expansión de la producción de hidrógeno bajo en emisiones genere impactos positivos sobre el empleo**. Para que la transición hacia una economía más sostenible sea justa, se busca que el impacto sea positivo **no solo sobre la cantidad de em-**

pleos sino también sobre la calidad de estos en condiciones de trabajo decente. Por otro lado, como la expansión de estas actividades demandará perfiles profesionales específicos en distintas regiones del país, es necesario contar con personas que tengan las calificaciones requeridas en los lugares donde se necesitan. Esto plantea un doble desafío: potenciar el desarrollo de la producción de hidrógeno y aprovechar en simultáneo la oportunidad para promover los mercados de trabajo locales.

Al considerar la potencialidad que tienen las variedades azul y verde de hidrógeno en el país, se puede prever un escenario de creación de empleo directo, es decir, aquel generado directamente por las actividades básicas sin tener en cuenta los insumos intermedios necesarios para la fabricación de equipo de energía renovable o la construcción y el funcionamiento de las instalaciones. Son empleos directos aquellos relacionados a la planificación del proyecto, fabricación y transporte de equipos, construcción, instalación y montaje de plantas, operación y mantenimiento de plantas, y actividades de decomisionamiento. A su vez, se divide en empleo permanente y transitorio.

Teniendo en cuenta que la industria petroquímica y la de hidrocarburos en Argentina presentan un estado de madurez, el impacto que el desarrollo del hidrógeno azul tenga sobre la producción de gas derivará en nuevas oportunidades de empleo en estos segmentos, así como también en la migración y la adaptación de perfiles a las nuevas tecnologías limpias.

En el caso del hidrógeno verde, su potencial crecimiento acompañaría el desarrollo incipiente

pero notorio en la generación de energías renovables, requiriendo capacidades ingenieriles y técnicas en el proceso de hidrólisis.

En ambos casos, el desarrollo de infraestructura para producción y almacenamiento implicará nuevos puestos de trabajo directos, tanto en el rubro de la construcción como de técnicos especializados para la calibración de medidas y procesos de seguridad en el manejo y el almacenamiento de gases.

A su vez, se genera empleo indirecto, que incluye a las industrias que suministran y apoyan las actividades básicas requeridas para el desarrollo de los proyectos. Estas empresas no participan directamente en las actividades de energía renovable o producción de hidrógeno, sino que producen insumos intermedios a lo largo de la cadena de valor de cada tecnología de energía renovable. Son empleos indirectos aquellos relacionados a la fabricación de materias primas (por ejemplo, acero, plásticos u otros materiales), servicios financieros, jurídicos, o de arquitectura y diseño industrial, actividades de investigación y desarrollo, entre otros.

En este sentido, las **oportunidades vinculadas a los insumos y la maquinaria para la producción de hidrógeno implicarán mayor demanda de perfiles laborales relacionados al desarrollo de tecnología metalmecánica.** En este aspecto, son claves los electrolizadores que serán necesarios en la transición energética del hidrógeno limpio. Vale decir que **Argentina está en condiciones de desarrollar incentivos para producir esta tecnología, no solo para abastecimiento propio sino también para exportación.**

El país cuenta con una red de proveedores capacitados para atender algunas de las necesidades de equipamiento y tecnología de los sectores generadores de energías renovables, industria de hidrocarburos y otras ramas asociadas. El desarrollo del hidrógeno bajo en emisiones implica una mayor demanda para estos provee-

dores, intensivos en trabajadores con perfiles mecánicos y electromecánicos, que debe ser acompañada estratégicamente con incentivos a la actualización tecnológica y especialización en hidrógeno. La inclusión de este aspecto en una estrategia nacional resulta clave para la menor dependencia de tecnología y equipamiento importado (Drucaroff *et al.* 2020).

En la misma línea, se destacan las ventajas inherentes a la tradición industrial en materia de proveedores para petróleo y gas en Argentina, que incluye el desarrollo y el mantenimiento de gasoductos, factor que puede impactar positivamente en la demanda de empleo vinculado al desarrollo del hidrógeno (Mateo y Suster 2021).

Por otro lado, está la posibilidad de desarrollar la tecnología necesaria para licuar, comprimir, diluir o transformar el hidrógeno para su transporte y la producción de tanques o elementos necesarios para las formaciones geológicas donde es posible su almacenamiento.

En cuanto a otras industrias, el uso de hidrógenos verde y azul como insumo brinda una gran posibilidad de reducir las emisiones de dióxido de carbono, con consecuentes mejoras en la competitividad a nivel internacional. Industrias con grandes encadenamientos (y un desarrollo relativo importante en Argentina), como la siderúrgica, la química y las refinerías de petróleo, tienen el mayor potencial a corto plazo; y en la actualidad, son los sectores que traccionan la producción de hidrógeno (pero se puede extender a industrias que requieren altas temperaturas en general). También existe la posibilidad de fabricar motores de combustión que funcionan a base de hidrógeno o amoníaco: para barcos (que es lo más prometedor en el futuro cercano) u otros medios de transporte.

Las actividades y los procesos demandantes de empleo no se limitan a lo mencionado en este estudio. A medida que la economía del hidrógeno se despliegue, se espera que emerjan nuevas necesidades de competencias y ocupa-

ciones en relación con los distintos procesos de producción y usos finales del hidrógeno.

En suma, **se aprecian oportunidades de empleos directos en las fases de producción, almacenamiento, transporte y usos finales de hidrógeno. Y empleos indirectos relacionados a insumos, piezas, partes y bienes de capital asociados a un despegue de la economía del hidrógeno argentino**, donde se vuelve clave el rol de la investigación y el desarrollo de tecnología para mitigar la dependencia de importaciones de bienes finales e intermedios con alto contenido tecnológico.

Según los sectores ya establecidos, es posible enumerar y resumir el rol que pueden tener en la plausible transferencia de habilidades y competencias hacia la cadena del hidrógeno bajo en emisiones:

- **Energías renovables:** puede transferir habilidades y competencias técnicas básicamente por la posibilidad de integración vertical y por las características de profesionales que trabajan en el rubro.
- **Industria petrolera y gasífera:** Argentina cuenta con una industria de hidrocarburos bien establecida, que podría migrar algunos perfiles laborales a la producción de hidrógeno, ya que ambos sectores tienen habilidades y competencias técnicas similares.
- **Automotriz:** esta industria podría adaptar sus habilidades y competencias para trabajar en la producción de celdas de combustible y sistemas de almacenamiento de hidrógeno.
- **Ingeniería y construcción:** podrían proporcionar habilidades y competencias necesarias para la construcción de

plantas de producción de hidrógeno, infraestructuras de almacenamiento y distribución, y en la integración de sistemas de energía de hidrógeno en edificios y redes eléctricas.

- **Investigación y desarrollo:** las universidades y los centros de investigación podrían proporcionar habilidades y competencias en el área de investigación y desarrollo de tecnologías de hidrógeno, lo que podría generar nuevas oportunidades de negocio y empleo en el sector de la innovación.

No obstante, **la incorporación de perfiles tanto nuevos como adaptados de otras industrias, con capacidades más inherentes o más transversales, requerirá una adecuación a las particularidades intrínsecas de la operatoria del hidrógeno**. La evidencia sugiere que la mayoría de los empleos verdes requerirán sumar nuevos conocimientos al set de habilidades existentes por cada perfil (Capeluto 2023 y Jagger *et al.* 2014).

El ciclo de vida de un proyecto de hidrógeno bajo en emisiones se desarrollará a lo largo de una serie de etapas que a grandes rasgos **incluyen la planificación (prospección y desarrollo), la instalación y el montaje de la planta, y su operación y mantenimiento**. Cuando el proyecto finaliza también tienen que ser consideradas las **tareas de disposición final de equipos, o su reciclado y reutilización, y la limpieza del sitio**.

Existen además cadenas asociadas a este proceso, fundamentalmente las industrias proveedoras de bienes de capital, que fabrican y comercializan las tecnologías para la producción, el almacenamiento y el transporte del hidrógeno. Todas estas etapas implican la contratación de personal y servicios que dan soporte a esta industria.

3.2. Estimación de empleos directos e indirectos asociados

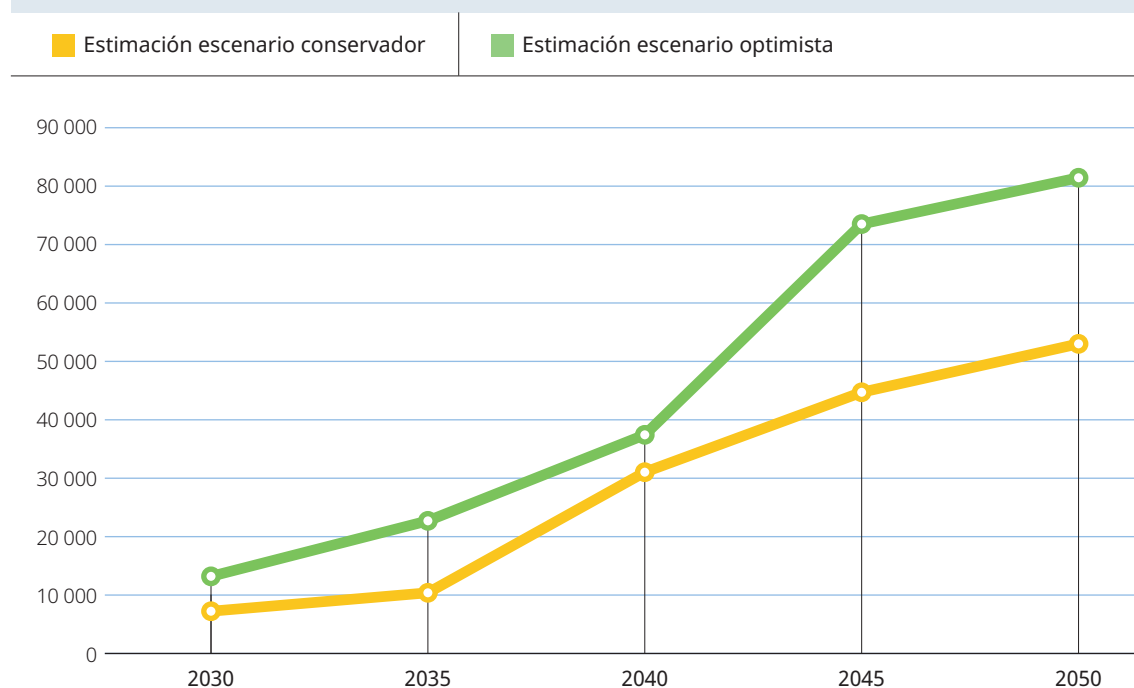
Para estimar la creación del empleo bruto asociado a la industria de hidrógeno se aplica una metodología basada en **factores de empleo**, que consiste en estimar el empleo multiplicando estos factores (coeficientes técnicos de requerimientos de empleo) a las cifras proyectadas de capacidad instalada para los escenarios de producción. Esta metodología se utilizó ampliamente en los estudios que estiman la creación de empleos en el sector de las energías renovables¹.

En el cuadro 1 se presentan los coeficientes utilizados, aclarando en cada caso la unidad de medida de referencia y la fuente.

Estimaciones realizadas sobre la base de las proyecciones de producción de hidrógeno verde del gráfico 2 indican que la **generación de empleo estaría entre 7,3 mil y 13,3 mil puestos de trabajo para 2030 y entre 53,1 mil y 81,5 mil para 2050**, incluyendo empleos directos e indirectos.

En ambas estimaciones, optimista y conservadora, el crecimiento resulta más moderado hasta 2045, y se acelera en los últimos años por la evolución del mercado externo y debido al incremento de la demanda interna de hidrógeno

► **Gráfico 3. Estimación de empleo para la cadena de producción de hidrógeno verde (total mercado interno y exportación)**



Fuente: elaboración propia sobre la base de los escenarios elaborados por SAE y factores de empleo.

¹ Una revisión metodológica actualizada se presenta en Rutovitz *et al.* (2015). Entre los antecedentes del uso de esta metodología para Argentina, están OIT (2019) y Rojo y Ferraro (2021). Por otro lado, dos ejemplos de estudios que estiman la creación de empleo específicamente en la cadena del hidrógeno verde son Hinicio (2020 y 2021). Los factores de empleo utilizados son constantes para todo el periodo de la proyección.

► Cuadro 1. Factores de empleo para la generación de energía eólica onshore, y la producción de H2 y de amoníaco verde

	2030	Unidad	Fuente
Energía eólica on-shore			
Construcción	3,59	FTE/MW adicional	IRENA 2017
Manufactura	1,73	FTE/MW adicional	IRENA 2017
Operación y mantenimiento	0,24	FTE/MW	IRENA 2017
Otros servicios directos*	1,31	FTE/MW adicional	IRENA 2017
Indirectos** (0,8 por cada empleo directo en todas las etapas)		FTE * Empleo directo	EPI 2019
Electrólisis			
Construcción e instalación	112,80	FTE/ GW adicional	Navingant 2019
Manufactura	0,75	FTE/MW adicional	Iberdrola
Operación y mantenimiento	52,50	FTE/ GW	Navingant 2019
Indirectos** (0,9 por cada empleo directo en todas las etapas)		FTE * Empleo directo	EPI 2019
Amoníaco verde			
Construcción	0,85	FTE/ Kt adicional	JEDCO 2016
Operación y mantenimiento	0,03	FTE/ Kt	JEDCO 2016
Indirectos**	0,2 por Kt producida	FTE/ Kt	JEDCO 2016

FTE: Full Time Equivalent. Equivalente de tiempo completo.

FTE=1 significa un trabajador contratado en jornada completa durante 1 año.

MW: Megavatio

GW: Gigavatio

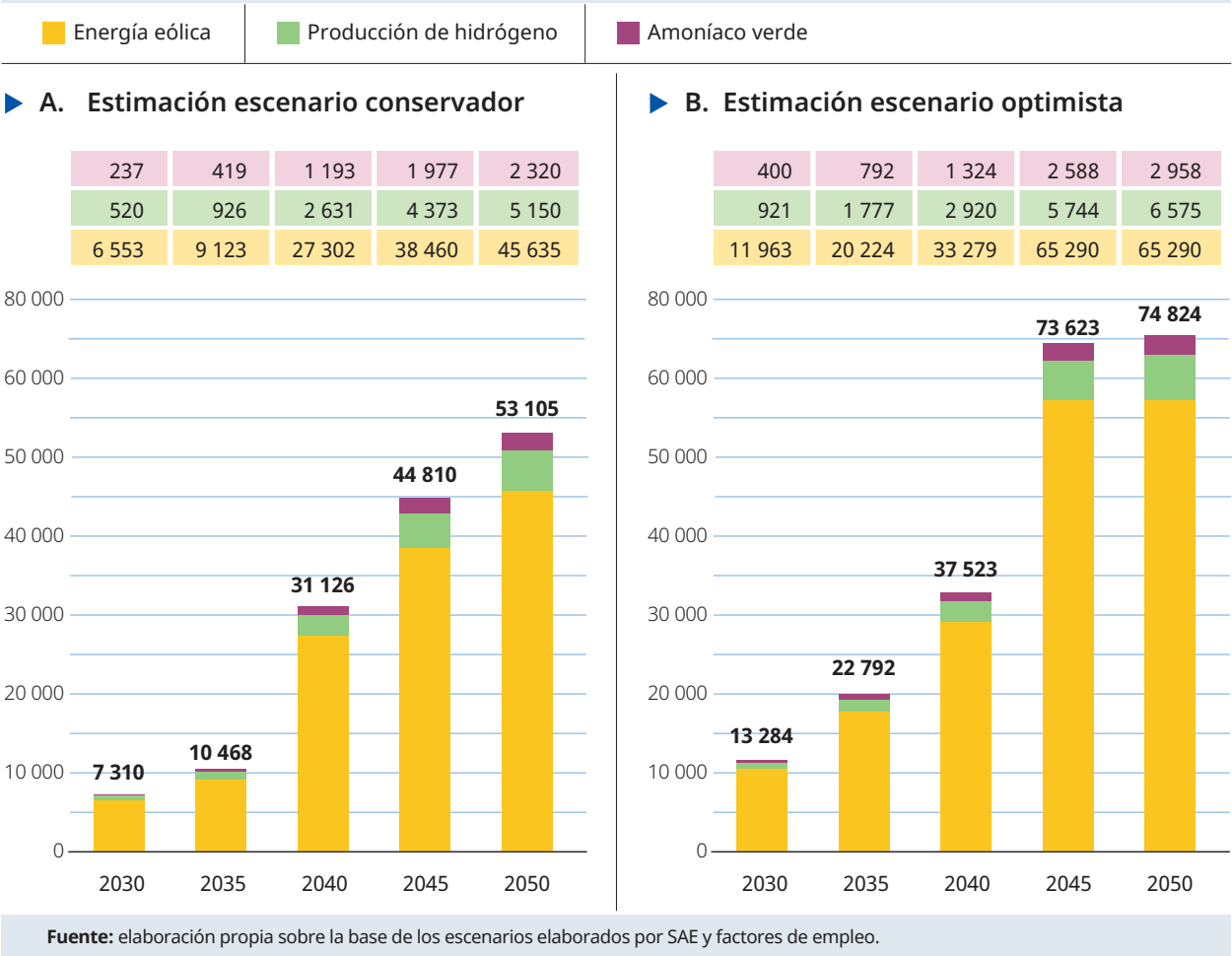
Kt: Kilo toneladas

* Otros servicios directos incluye planificación del proyecto + adquisición de equipos y materias primas + instalación y montaje.

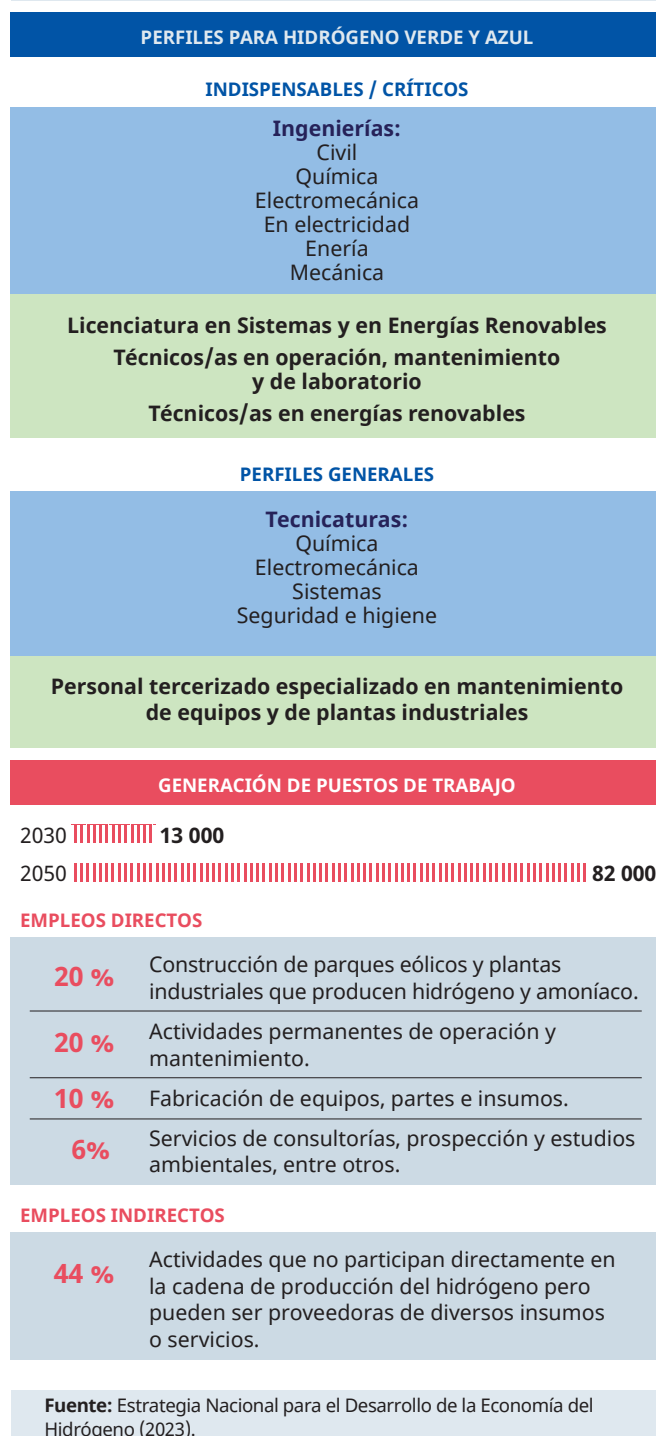
** Indirectos incluye la creación de empleos en la producción de insumos (bienes y servicios) que no forman parte directamente de la cadena de producción y también la creación de empleos en otras actividades que pueden desarrollarse a partir de la mayor disponibilidad del recurso producido.

Fuente: elaboración propia.

▶ Gráfico 4. Estimación de empleo para la cadena de producción de hidrógeno verde según etapas de la cadena de producción (total mercado interno y de exportación)



► Gráfico 5. **Proyecciones de empleo 2030-2050 y perfiles requeridos**



De esta manera, **la creación de empleos en la construcción será de entre 1,9 mil y 3,5 mil puestos para 2030 y de 10,2 mil y 16,2 mil puestos en 2050**. Si bien los empleos en la construcción son temporarios, en un sector de una magnitud tan grande es esperable que permanentemente se estén desarrollando actividades de este tipo, ya sea para construir los parques eólicos o las plantas, o para desmantelarlas y reemplazar los equipos, considerando que la vida útil de las turbinas es de veinte años (IRENA 2017). Los empleos manufactureros creados bajo estos escenarios serán de entre 1,0 mil y 1,8 mil en 2030 y alcanzarán entre 5,5 mil y 8,5 mil en 2050.

A medida que transcurre el tiempo, y que aumenta la capacidad instalada, cobra importancia la participación de los empleos permanentes en las actividades de mantenimiento y gestión de los parques eólicos: por un lado, disminuye el ritmo de construcción de nueva capacidad; y por el otro, la capacidad instalada en años anteriores mantiene un stock de trabajo estable.



4

**Capacidades laborales para
el desarrollo de la cadena
del hidrógeno verde**

4.1. Perfiles requeridos

Las competencias que requerirá la demanda de empleo derivada del desarrollo del hidrógeno verde es otro de los puntos fundamentales para planificar el desarrollo de las formaciones. En este sentido, los resultados del análisis de la consultora Worldwide Recruitment Energy (2022) para España dan cuenta de los perfiles laborales que se proyectan como más demandados en el desarrollo de hidrógeno de bajas emisiones, las carencias que pueden esperarse y las necesidades formativas asociadas a las principales habilidades identificadas. De este estudio se desprenden algunas conclusiones que pueden ser relevantes para el caso argentino.

En primer lugar, **los sectores químicos, petróleo y gas, y otras energías renovables son identificados como nichos donde pueden reconvertirse perfiles laborales para la producción de hidrógeno**, dadas las habilidades y los conocimientos de base que los profesionales de estos sectores detentan. Particularmente, la captación de profesionales de otras energías renovables responde a estrategias de integración vertical en algunos proyectos de hidrógeno verde con las propias plantas de energía renovable (eólica, fotovoltaica).

En segundo lugar, **se identifican los perfiles de ingeniería industrial y de procesos como aquellos más demandados para el desarrollo de hidrógeno bajo en emisiones**, seguido de operarios técnicos de formación media (construcción, operación de electrolizadores, operación de maquinaria de almacenamiento y transporte) y de ingeniería química. En menor

medida, pero destacable, se identifican perfiles comerciales y de desarrollo de negocios, en virtud del estadio incipiente del mercado de hidrógeno bajo en emisiones y su demanda. También se identifican necesidades en ingeniería mecánica y especialistas en seguridad e higiene.

Sobre la base de consultas realizadas a informantes clave del sector, surge que **la producción y utilización de hidrógeno bajo en emisiones de carbono requiere de algunos puestos laborales específicos inherentes a su actividad y otros más genéricos, pero calificados. Algunas competencias básicas se repiten en las distintas variedades de hidrógeno y fases de proyectos** (verde y azul; producción, almacenamiento, transporte y usos finales), como ser la instalación y el mantenimiento de redes eléctricas, tuberías, la construcción de obras civiles y montajes industriales. Los perfiles formados en ciencias aplicadas, particularmente ingenierías, son necesarios en toda la cadena. De la misma manera que se requieren profesionales de informática y sistemas, finanzas y desarrollo de negocios para las áreas más *soft*.

Entre los puestos más relevantes del grupo de **perfiles inherentes a la producción de hidrógeno** se encuentran **ingenieros y técnicos especializados en la producción de energía a partir de fuentes renovables**; especialistas que puedan diseñar, implementar y mantener sistemas de generación de energía, que puedan diseñar, mejorar y operar sistemas de almacenamiento para el hidrógeno; e ingenieros que puedan diseñar y optimizar sistemas de producción, distribución y uso del hidrógeno.

Aquí **destacan especialmente las ingenierías con formación en el campo de la química, la electricidad, la electrónica, la mecánica y la electromecánica. Además de ingenieros, son necesarios técnicos de alta calificación** en estas formaciones, ya sean de universidad con pregrado o con certificación de competencias equivalentes.

En cuanto a los perfiles más genéricos, las **fases iniciales de instalación y puesta en marcha de proyectos de hidrógeno requerirán especialistas en infraestructuras y logística** que puedan diseñar y desarrollar infraestructuras para la producción, el almacenamiento, la distribución y el uso del hidrógeno, incluyendo sistemas de transporte y distribución. Esto incluye ingenieros civiles, en cuanto a los perfiles de formación superior, y alcanza a operarios y obreros de la construcción con competencias certificadas en lo relativo a instalaciones de energías renovables (por ejemplo, torres eólicas) o similares.

Una competencia fundamental que demandan los procesos productivos del hidrógeno a lo largo de toda la cadena se vincula a **conocimientos y aplicaciones operativas en materia de seguridad e higiene industrial**. Si bien esta formación cuenta con una oferta muy amplia en Argentina, la capacitación y la adaptación de los saberes y las condiciones que exige el proceso del hidrógeno resultan de alta relevancia. Esto comprende los procesos de manipulación, presiones que requiere el gas para su almacenamiento y transporte, respuesta a emergencias, y control y gestión de la calidad en planta. La formación continua tanto de profesionales específicos como de todas las personas involucradas en el proceso productivo es un nicho de alta demanda a la hora de pensar el desarrollo del sector.

En términos más generales, también serán requeridos **profesionales de finanzas y negocios**, que puedan analizar y evaluar las oportunidades de inversión y desarrollo de proyectos, diseñar y desarrollar modelos de negocio y estrategias de mercado. Asimismo, en la medida que el marco regulatorio asociado al hidrógeno se profundice, serán necesarios **especialistas en normativa y regulación tanto nacional como subnacional**,

que puedan trabajar en la definición y la regulación de las normas y los estándares técnicos, ambientales y de seguridad para la cadena del hidrógeno, tanto verde como azul.

4.2. Oferta de formación superior

Para responder a la demanda de puestos y las competencias o habilidades que se requieren se identificó la oferta de formación superior relevante para la cadena de valor del hidrógeno verde en Argentina. Las **carreras universitarias** que mayor vínculo presentan con esta industria se encuentran en las ramas de las ciencias aplicadas y las ciencias básicas. En estos grupos, son **de particular interés las disciplinas industriales, informática e ingenierías en las ciencias aplicadas; y biología y química en las básicas**.

Argentina cuenta con **724 ofertas de títulos afines** a las demandas profesionales vinculadas a la economía del hidrógeno **en 84 universidades**, de las cuales **24 concentran un 70 por ciento de las carreras a disposición** (ver anexo).

Esto comprende **482 ofertas de títulos de grado de diversas ingenierías y licenciaturas, 212 ofertas de pregrado**, incluyendo títulos intermedios y carreras técnico-instrumentales, y **30 ciclos de complementación curricular**.

El alcance geográfico de las carreras en las principales ingenierías (eléctrica, electrónica, electromecánica, mecánica, química e industrial) **abarca a todas las regiones del país**. Este conteo excluye a las carreras de informática y sistemas, que ascienden a 478 ofertas, con presencia en todo el país. **En cuanto a las universidades que cuentan con oferta vinculada a la economía del hidrógeno, la de mayor presencia es la Universidad Tecnológica Nacional (UTN)**, con el 25 por ciento de la oferta, repartida en 181 opciones de grado y pregrado en facultades de todo el país.

Al hacer foco en las carreras que forman profesionales en energía y energías renovables,

esto es, el bloque de carreras inherentes al estudio de alternativas de generación energética que abarcan, pero no exclusivamente, al hidrógeno bajo en emisiones, existen 16 ofertas en el país (un 2,2 por ciento del total).

Dentro del resto de las carreras, las áreas que presentan mayor oferta son las que por la versatilidad de sus contenidos formativos son demandadas por muchos sectores y disciplinas: ingeniería industrial (71 carreras de grado con

► **Cuadro 2. Universidades con más de diez ofertas curriculares de educación superior vinculada a la economía del hidrógeno**

Universidad	Oferta
Universidad Tecnológica Nacional	181
Universidad Nacional del Litoral	33
Universidad Nacional del Sur	25
Universidad Nacional del Nordeste	15
Universidad Nacional de Cuyo	16
Universidad Autónoma de Entre Ríos	14
Universidad de la Defensa Nacional	13
Universidad Nacional de Córdoba	19
Universidad Nacional de Misiones	14
Universidad Nacional de Rosario	17
Universidad Nacional de San Luis	14
Universidad Nacional de La Plata	15
Universidad Nacional del Comahue	12
Universidad Argentina de la Empresa	10
Universidad Católica de Santiago del Estero	10
Universidad Nacional de La Matanza	11
Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco	18
Universidad Nacional de Salta	14
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires	10
Universidad de Morón	11
Universidad Nacional de General Sarmiento	10
Universidad Nacional de San Juan	10
Universidad Nacional de Santiago del Estero	10
Pontificia Universidad Católica Argentina Santa María de los Buenos Aires	11
Total	513

Fuente: elaboración propia sobre la base de la Guía de las Carreras Universitarias, Ministerio de Educación de la Nación.

diferentes orientaciones) y las tecnicaturas transversales de organización, procesos y control, entre las más numerosas. Es destacable también la oferta en materia de diseño industrial, requerida en una medida mucho menor dentro de la cadena del hidrógeno.

Las formaciones en química, tanto ingeniería, licenciaturas y tecnicaturas, también están entre la mayor oferta disponible y de extenso alcance geográfico. No obstante, estas formaciones tienen un fuerte componente de base común, con amplio espectro de derivaciones, incluyendo la industria farmacéutica y la bioquímica. Por otra parte, las disciplinas referentes a mecánica, electromecánica y electrónica muestran una aceptable oferta tanto en número como dispersión geográfica en todos sus niveles.

Una mención particular merecen las ofertas vinculadas a higiene y seguridad en el trabajo, que se encuentran entre las más numerosas, sobre todo en la formación complementaria y de pregrado. Esta formación es demandada por todos los sectores industriales. De acuerdo con el Decreto 1338/96, las empresas empleadoras de la industria manufacturera deben cumplir con un mínimo de horas profesionales en materia de higiene y seguridad, según la cantidad de personal que haya en un establecimiento productivo. A la vez, para aquellos establecimientos de entre 150 a 450 trabajadores equivalentes, se exige la presencia en nómina de un técnico en seguridad e higiene y de dos en los que tienen hasta 900 empleados.

Las medidas estándar para procesos industriales en materia de necesidades de seguridad e higiene deben ser particularmente calibradas para la cadena del hidrógeno, ya que a la formación regular de profesionales de esta área deben sumarse competencias adaptadas a procesos de seguridad en el manejo y el almacenamiento de gases, con las particularidades y los saberes específicos que conllevan.

4.3. Oferta de formación desde la educación técnica profesional

En tanto modalidad educativa, la **Educación Técnica Profesional (ETP) articula instituciones y programas de educación pensados desde la lógica laboral**. Tiene ámbito en tres niveles educativos: Secundaria Técnica, Superior Técnica (no universitaria) y Formación Profesional. Estas tres instancias no tienen nivel universitario ni científico y se enfocan en la inserción laboral del alumnado. La concepción de la ETP se da desde y para el mundo del trabajo. Su estructuración, alcances, actores y gobernanza están regidos por la Ley N.º 26 058. El Instituto Nacional de Educación Tecnológica (INET) es el organismo que tiene a su cargo la coordinación de la aplicación de las políticas públicas relativas a los tres niveles de la ETP.

La ETP integra en su primer eslabón a las escuelas técnicas de la educación media obligatoria. Estas instituciones, a diferencia de las orientadas, tienen planes de estudio de un año más de duración que las que brindan trayectorias formativas profesionalizantes. **Según los registros del INET para 2022, en Argentina hay 1 723 escuelas secundarias técnicas, que representan el 12,7 por ciento del total de las escuelas secundarias del país. Convocan a 775 786 alumnos y alumnas sobre un total de 4 057 348 de estudiantes secundarios en total.**

Dentro del universo de escuelas técnicas, **el 61 por ciento está ligado a procesos industriales** (las demás son escuelas técnicas agropecuarias o de servicios). Las principales especialidades que se estudian dentro de estos procesos son electromecánica, electrónica, informática, mecánica, metalúrgica, industria alimentaria, industria de procesos, gráfica y multimedia, industria textil, y madera y muebles.

El segundo nivel de la ETP son las instituciones técnicas de nivel superior (no universitarias), también llamadas *terciarias*. Estas instituciones brindan formaciones postsecundarias vinculadas al mundo del trabajo. Ofrecen trayectorias de corta duración comparadas con las carreras de grado universitarias y una especialización específica técnica a diferencia de las

instituciones superiores no técnicas (como la formación docente). Según datos del INET, **las instituciones superiores no universitarias ascendieron a 809, con una matrícula de 217 135 estudiantes en 2022.**

El alcance del accionar de las unidades educativas de educación superior implica la enseñanza, la investigación, el desarrollo, la vinculación tecnológica y la innovación. Permiten a estudiantes iniciar o continuar caminos de formación profesionalizantes con rápida inserción práctica. Garantizan una base de conocimientos y habilidades orientadas a tal efecto.

Asimismo, en tanto alternativa complementándose con otras opciones como la certificación de competencias laborales, posibilitan la continuidad del aprendizaje y la actualización. En este sentido, la formación en este ámbito y nivel debe complementarse con otras alternativas educativas de perfeccionamiento para permitir ulteriores niveles de evolución, especificación, reorientación y, eventualmente, de reconversión de la profesión inicial.

La oferta formal educativa en Argentina se encuentra complementada por programas de formación, tanto privados como públicos, para la capacitación de quienes trabajan. Entre los primeros se engloban aquellas **acciones de capacitación *in company* realizadas por empresas o la articulación que cámaras empresarias hacen con centros tecnológicos, institutos universitarios o universidades.** Su capilaridad está fuera del alcance de este documento, pero **es necesario que las empresas involucradas en la cadena del hidrógeno consideren fortalecer sus acciones de formación dentro de sus departamentos de recursos humanos.**

En esta línea, la **modalidad complementaria de mayor relevancia para la formación de trabajadores y trabajadoras en respuesta a las necesidades laborales identificadas en este informe es la formación continua y la certificación por competencias.** Dentro de esta alternativa, conviven **cursos gratuitos de la cartera de Trabajo de nivel nacional (actualmente Secretaría de Trabajo)** de diversa naturaleza con **cursos organizados por empresas, cámaras**

o sindicatos que concluyen con la certificación de competencias laborales entrenadas en ellos. En numerosos casos, la cartera de Trabajo financia la ejecución de las capacitaciones a través de convenios sectoriales o territoriales para personas ocupadas y desocupadas.

El foco de estos cursos son las competencias laborales, definidas como los conocimientos y las habilidades necesarios para un oficio o para realizar un trabajo determinado. Estas competencias en cada actividad son normadas de forma articulada entre la cartera nacional de Trabajo, los centros de formación, y cámaras empresarias y sindicatos, con alcance nacional.

La certificación de competencias se logra dando examen en los Centros de Formación Profesional (integrados en la ETP) reconocidos por la cartera de Trabajo, quienes entregan el certificado que lo acredita. Estos, en tanto organismos de tercera parte, reconocen y testifican que una persona es competente para desempeñar una función determinada, en conformidad con una norma de competencia laboral.

La oferta de competencias certificables es amplia en un grupo numeroso de disciplinas y áreas, que van desde lo industrial a lo doméstico, incluyendo competencias del sector servicios. A efectos de segmentar lo pertinente a la cadena del hidrógeno, **se identificaron 66 puestos laborales con competencias certificables,** dentro de las siguientes áreas generales:

- **Petróleo: perfiles de electricistas y mecánicos con experiencia en la operatoria petrolera. Se incluyen en el mapeo debido a la posible migración del sector petrolero al hidrógeno, dadas las competencias homologables coincidentes entre ambos. Alcanza a puestos directos en plantas de hidrógeno como indirectos en la industria petroquímica, potencial usuaria de la producción de hidrógeno.**
- **Construcción: es el segmento de mayor densidad de competencias básicas identificadas, incluyendo**

aquellos perfiles necesarios para la construcción y el montaje de plantas industriales e infraestructura de almacenamiento. El sistema de certificación de competencias en el rubro de la construcción es uno de los más aceitados. El Instituto de Estadística y Registro de la Industria de la Construcción (IERIC) tiene un rol central en la coordinación de formaciones y capacitaciones a ser certificadas. En su página web mantiene un registro actualizado de todos los perfiles normados y sus actualizaciones.

- **Energía eléctrica:** incluye los perfiles de habilidades para electricistas de media y baja tensión, excluyendo los de formación exclusivamente doméstica. Dada la baja densidad tanto de estudiantes, graduados, como de oferta de formación identificadas para el sistema educativo formal, cobran especial relevancia los perfiles que puedan acreditar competencias en este segmento.
- **Metalmecánica:** complementan a graduados y técnicos formados en el sistema educativo. Tienen especial incidencia competencias laborales de roles básicos como armadores, torneros y soldadura básica.
- **Metalurgia:** al igual que en el caso anterior, integra perfiles básicos en el manejo industrial metalúrgico como operadores de maquinaria (autoelevadores, fresadoras, máquinas de corte, tornos, entre otros), programadores, responsables de calidad industrial y soldadura, con distintos niveles de complejidad y materiales.

4.4. Demanda actual de formación vinculada al hidrógeno

A nivel general, el peso de las ciencias aplicadas y básicas sobre el total de la oferta académica es bajo, explicando en conjunto el 25,2 por ciento de estudiantes matriculados, el 22,9 por ciento de los nuevos inscriptos y el 22,9 por ciento de los egresados; muy por detrás del peso que muestran las carreras de la rama vinculada a las ciencias sociales cuyos guarismos en las tres categorías se acercan al 40 por ciento. En virtud de escenarios que impliquen una mayor demanda de estos perfiles, estas proporciones deben ser un punto a reforzar.

La preeminencia de las ciencias sociales y humanas, que concentran la formación de perfiles vinculados al derecho y las ciencias económicas necesarios para el desarrollo de proyectos de hidrógeno (abogacía, contaduría, analistas financieros, con experiencia en administración y finanzas), da cuenta de la potencial ausencia de problemas para cubrir las necesidades en estos perfiles, aunque deban reforzarse los conocimientos inherentes a proyectos de hidrógeno y su desarrollo financiero, así como también normativa y marcos regulatorios específicos.

Este fenómeno se profundiza en los estudios de posgrado. Considerando doctorados, maestrías y especializaciones, la participación conjunta de las ciencias aplicadas y básicas es inferior al 17 por ciento en el universo de estudiantes de posgrado y representa solo un 16 por ciento de quienes egresan.

Las tres disciplinas de ciencias aplicadas no alcanzan a explicar en conjunto el 10 por ciento de los egresados totales. Las ingenierías, descontando los datos para las industriales y de sistemas o informáticas, explican solo un 6 por ciento de estudiantes, 5 por ciento de los nuevos ingresos y menos del 4 por ciento de los egresados.

En términos absolutos, las ingenierías más dinámicas son la industrial e informática y sistemas. Esto se explica por la intensa demanda de

► Cuadro 3. **Estudiantes, nuevos inscriptos y egresados de títulos de pregrado y grado según rama de estudio**

Rama	Estudiantes	%	Nuevos inscriptos	%	Egresados	%
Ciencias sociales	827 807	37,8	223 638	37,5	60 485	44,5
Ciencias aplicadas	49 4039	22,6	121 679	20,4%	28 875	21,2
Ciencias humanas	409 301	18,7	116 797	19,6	20 385	15,0
Ciencias de la salud	385 299	17,6	113 533	19,0	23 555	17,3
Ciencias básicas	56 095	2,6	15 082	2,5	2 362	1,7
Sin rama	14 751	0,7	5 717	1,0	246	0,2
Total	2 187 292	100,0	596 446	100,0	135 908	100,0

Nota: las ofertas académicas “sin rama” son aquellas que por sus características pueden ser clasificadas en distintas ramas de estudio.

► Cuadro 4. **Estudiantes y egresados de títulos de posgrado según rama de estudio**

Rama	Estudiantes	%	Egresados	%
Total	156 295	100,0	16 511	100,0
Ciencias sociales	68 111	43,6	6 121	37
Ciencias humanas	35 668	22,8	3 121	19
Ciencias de la salud	25 894	16,6	4 644	28
Ciencias aplicadas	19 684	12,6	1 916	12
Ciencias básicas	6 758	4,3	709	4
Total	2 187 292	100,0	596 446	100,0

Fuente: elaboración propia sobre la base del Departamento de Información Universitaria de la Secretaría de Políticas Universitarias (2019).

estos perfiles en todos los sectores industriales y de servicios, y particularmente en el segundo caso, servicios basados en el conocimiento. Son carreras que forman profesionales versátiles que pueden dirigir y planificar desde distintas aristas de una empresa.

Por su parte, algunos perfiles muestran un muy bajo número de egresados anuales, entre los que se destaca la ingeniería eléctrica. A su vez, el volumen de egresados es oscilante, pese a que la cantidad del alumnado crece cada año. Las ingenierías mecánicas y electromecánicas también muestran un bajo número de egresados anuales. En el caso de la ingeniería civil, de alta demanda para la fase inicial de construcción y montaje de proyectos de hidrógeno, la cantidad de egresados se muestra en ascenso, aunque su magnitud es baja en promedio.

4.5. Perspectiva y consideraciones de género

La participación de mujeres y diversidades en un potencial desarrollo de la cadena del hidrógeno es difícil de medir en una instancia exploratoria, pero se pueden establecer pautas prospectivas en base a la información disponible.

Partiendo de la consideración de existencia de una división sexual del trabajo, donde lo masculino está más asociado a la producción social, mientras que lo femenino se circunscribe a la reproducción social (donde se destacan de forma eminente las tareas de cuidado), puede establecerse la existencia de desigualdades estructurales entre géneros, con efectos concretos en las oportunidades de varones y mujeres en el mercado de trabajo (Cortese Rodríguez 2023). En esta línea, los trabajos con mayor vinculación a ingeniería, ciencias duras y perfiles técnicos en tareas donde prevalece el esfuerzo físico estuvieron históricamente masculinizados.

En términos generales, **la participación de mujeres en las ingenierías asociadas a la cadena del hidrógeno no supera el 25 por ciento, tanto en estudiantes, nuevas inscritas, re-inscriptas y egresadas.** Las proporciones de participación femenina más altas se vinculan con aquellas disciplinas de mayor amplitud en el mercado laboral (química, industrial e informática), las más “nuevas” (ambiental, donde hay mayoría de mujeres), y destacan las participaciones en ingeniería civil y metalurgia. Entre los segmentos con menor participación femenina están las disciplinas más sensibles a los intereses de la cadena de valor del hidrógeno: eléctrica, electromecánica, electrónica y mecánica. En los perfiles más técnicos básicos vinculados a construcción, montaje y armado también se verifica esta baja participación.

El carácter iniciático de la cadena de valor del hidrógeno y su potencial desarrollo en Argentina presenta una oportunidad, dado que pueden orientarse estrategias para lograr una mayor equidad de género en materia de oportunidades laborales dentro del sector desde el origen.

La *Guía para incorporar la perspectiva de género en el entramado productivo argentino*, elaborada por OIT y ONU Mujeres (Cortese Rodríguez 2023) establece que una estrategia integral de perspectiva de género en el entramado productivo requiere, en primera instancia, de la conquista de consensos entre los involucrados en un sector productivo. Pero un verdadero plan de equidad de género sectorial implica no solo consensos básicos, sino de la institucionalización en las empresas de departamentos, áreas o comités de género, y la conformación de equipos responsables de implementar la estrategia y velar por sus resultados.

Alcanzar la equidad de género en el trabajo incluye, entre sus elementos más destacados, un plan de reclutamiento y selección de mujeres e identidades no binarias, que garantice la corresponsabilidad de cuidados (licencias, incentivos, espacios físicos, etc.), con el objetivo

► Cuadro 5. Participación de mujeres en las ingenierías

Carrera	Estudiantes			Nuevas inscripciones			Reinscripción			Egresos		
	Total	Mujeres	%	Total	Mujeres		Total	Mujeres		Total	Mujeres	
Total Terminales Ingeniería	196 742	47 180	24,0	42 862	10 758	25,1	153 880	36 422	23,7	6 908	1 667	24,1
Ambiental	2 742	1 704	62,1	679	389	57,3	2 063	1 315	63,7	101	61	60,4
Civil	25 672	7 376	28,7	5 056	1 572	31,1	20 616	5 804	28,2	999	233	23,3
Eléctrica	5 866	403	6,9	1 192	80	6,7	4 674	323	6,9	192	8	4,2
Electromecánica	10 405	711	6,8	2 435	200	8,2	7 970	511	6,4	279	6	2,2
Electrónica	17 226	1 536	8,9	3 205	378	11,8	14 021	1 158	8,3	479	23	4,8
Industrial	37 714	10 698	28,4	7 850	2 397	30,5	29 864	8 301	27,8	1 792	504	28,1
Informática/ Sistemas	39 874	6 263	15,7	9 221	1 467	15,9	30 653	4 796	15,6	1 282	197	15,4
Mecánica	16 023	1 142	7,1	3 355	283	8,4	12 668	859	6,8	474	21	4,4
Metalúrgica	239	77	32,2	48	17	35,4	191	60	31,4	4	1	25,0
Química	18 063	9 410	52,1	3 480	1 875	53,9	14 583	7 535	51,7	695	377	54,2

Fuente: elaboración propia sobre la base del Departamento de Información Universitaria, Secretaría de Políticas Universitarias.

de eliminar las brechas de género (inclusión de mujeres en cargos directivos, reducción de la brecha salarial, impulso del desarrollo de mujeres en puestos no tradicionales, productos, entre otras iniciativas). El desarrollo de estas estrategias requiere recursos económicos específicos y la articulación con actores que exceden el ámbito de la empresa empleadora (sindicatos, gremiales empresarias, instituciones educativas). Además, es importante reforzar

los esfuerzos para mejorar la participación de las mujeres en trayectorias educativas relacionadas a la ciencia, tecnología, ingeniería y matemática, lograr un mayor acercamiento entre el sector privado y educativo para cerrar la brecha de habilidades entre lo que se enseña en la escuela y lo que demanda el mercado laboral, y que se manifiesta más aguda en mujeres; equiparar derechos y flexibilidades para mejorar el balance de dedicación entre trabajo y vida.



5

Conclusiones y recomendaciones

- El hidrógeno bajo en emisiones puede contribuir a alcanzar los compromisos de descarbonización que asumió el país sustituyendo los combustibles fósiles en sectores intensivos en energía. Argentina presenta ventajas competitivas para el desarrollo de la economía del hidrógeno basadas en la disponibilidad de recursos para la generación de energías renovables, la oferta de gas natural, un entramado empresarial de proveedores de bienes de capital y capacidades científico-tecnológicas probadas.
- El desarrollo de la economía del hidrógeno generará impactos y transformaciones en la estructura productiva de Argentina, que afectarán directamente a actores y regiones. La relocalización geográfica de empresas y empleos que pueda tener lugar, el perfeccionamiento y la especialización de profesionales y operarios en la particularidad del manejo de gases de hidrógeno, los nuevos subproductos e impactos en actividades tradicionales como la movilidad urbana implicarán cambios en la organización del trabajo para muchos trabajadores y empresas, y un desafío de incorporación de nuevos saberes y tareas.
- El crecimiento del empleo está asociado principalmente a las inversiones de capitales internacionales vinculadas a proyectos de exportación, que podrían ser de mayor envergadura que los destinados al mercado interno. Sin embargo, algunos pronósticos señalan un desarrollo tardío del mercado global debido a una demanda poco consolidada y la escasa competitividad con respecto a otras tecnologías y fuentes de energía que hoy están en plena madurez y que tienen menores precios. Las estimaciones indican un despegue más pronunciado recién a partir de 2045.
- La generación de empleo estará mayormente asociada a la etapa de la cadena de generación de energía eólica, con casi el 90 por ciento de los puestos de trabajo creados. Argentina presenta condiciones naturales favorables para la explotación de este recurso, oferta de tecnologías locales, además de iniciativas públicas para el financiamiento de la actividad.
- Para que estos proyectos prosperen, será necesario contar con políticas de ordenamiento territorial que garanticen en los distintos lugares del país las infraestructuras, los servicios conexos y los trabajos vinculados al desarrollo de la economía local.
- Los perfiles de empleo más críticos, dada su escasez relativa, son los vinculados a las disciplinas técnicas derivadas de ciencias aplicadas y básicas. Particularmente, las ingenierías y las modalidades de pregrado

vinculadas a la electrónica, electricidad, electromecánica, mecánica y química. Con algunas diferencias de dinámica y oferta entre ellas, pero con baja densidad dentro del sistema de formación profesional como común denominador. No se verifica que este problema tenga correlato en una falta de oferta educativa y formativa para los perfiles de interés a nivel federal. No obstante, la presencia en sí misma no es un indicador de densidad de matrícula o egresados.

- Por otro lado, dada la localización de los proyectos de hidrógeno, deben considerarse incentivos para la migración y las compensaciones por desarraigo.
- No se identifican inconvenientes para la satisfacción de la demanda en tanto a perfiles *soft* vinculados a las ciencias económicas, el derecho o la informática y sistemas.
- Es necesaria la formación específica de saberes vinculados al hidrógeno en tanto gas industrial con sus particularidades productivas (presión al almacenar, cuidados específicos en materia de transporte, mantenimiento y operatoria cotidiana en el proceso productivo). Dada la falta de carreras formales con saberes específicos vinculados al hidrógeno, se aprecia que, de no mediar intervención pública, la complementación formativa será cubierta por procesos de formación *in company*. Como alternativa, si bien pueden ser útiles para las empresas, estos redundan en un impacto más micro del negocio particular de una compañía, que en un proceso de transformación sectorial susceptible de ser medido. Se recomienda, a partir de esto, que se coordinen los esfuerzos público-privados para la adaptación de competencias, saberes y conocimientos a la particularidad del hidrógeno.

En especial, se considera oportuno avanzar en la definición de nuevas normas de competencias laborales, de íntima relación con el manejo, la seguridad y la operatoria del hidrógeno, en vistas a contar con certificaciones de competencias que mejoren tanto la oferta como la información del mercado laboral.

Por último, las proyecciones realizadas indican que la economía del hidrógeno podría generar más de 13 000 puestos de trabajo de calidad hacia 2030 y más de 82 000 en 2050. Sobre el universo total de empleos, el 56 por ciento corresponde a puestos directamente vinculados a la actividad y el 44 por ciento a posiciones indirectas. A fin de acompañar este impacto en el empleo, entre las acciones para fortalecer las capacidades laborales y promoción del empleo, se identifica la necesidad de:

- Fortalecer los programas de formación profesional en zonas cercanas a los polos de producción de hidrógeno.
- Fortalecer programas de becas en las disciplinas y las competencias identificadas como críticas.
- Fortalecer la coordinación entre la educación media, técnica y superior, así como con el sistema de formación profesional para el desarrollo de trayectos formativos requeridos por la industria.
- Articular acciones entre áreas de gobierno para la formación técnica y profesional, y para la capacitación en temáticas vinculadas a la economía del hidrógeno.
- Potenciar las capacidades laborales y promover el empleo verde.

► Referencias

- Bloomberg NEF. 2020. *Hydrogen Economy Outlook. Key messages*.
- Capeluto, H. A. 2023. *Análisis preliminar del potencial del hidrógeno verde para la recuperación económica, el desarrollo productivo sostenible y el empleo en Argentina*. Buenos Aires: OIT.
- Cortese Rodríguez, L. 2023. *Guía para incorporar la perspectiva de género en el entramado productivo argentino*. Buenos Aires: OIT y ONU Mujeres.
- Drucaroff, S. et al. 2020. *Oportunidades y desafíos para el desarrollo productivo en el marco de la transición energética argentina*. Buenos Aires: CIPPEC.
- Hincio. 2020. *Cuantificación del encadenamiento industrial y laboral para el desarrollo del hidrógeno en Chile*. Santiago de Chile
- _____. 2021. *Cuantificación del encadenamiento laboral para el desarrollo del hidrógeno en Chile bajo un escenario de exportación*. Santiago de Chile
- IEA. 2021. *Global Hydrogen Review 2021*.
- IRENA. 2017. *Renewable Energy Benefits: Leveraging Local Capacity for Onshore Wind*.
- _____. 2022. *Geopolítica de la transformación energética. El factor hidrógeno*. Abu Dabi.
- _____. 2023. *Creating a global hydrogen market certification to enable trade*. Abu Dabi.
- IRENA y OIT. 2022. *Renewable Energy and Jobs Annual Review 2022*. Abu Dabi.
- Jagger, N. et al. 2014. Licensing and Certification to Increase Skills Provision and Utilization Amongst Low Carbon SMEs in the UK. *Greener Skills and Jobs*. OECD Green Growth Studies, OECD Publishing.
- Mateo, J. y Suster, M. *Hacia la economía del hidrógeno: perspectivas de la agenda internacional y las oportunidades locales*. Documentos de Trabajo del CCE N° 7, mayo de 2021, Consejo para el Cambio Estructural - Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación.
- OIT. 2019. *Estimación de empleo verde en la Argentina. Producción de energía y biocombustibles*. Buenos Aires.
- Rojo, S. y Ferraro, C. 2021. *El empleo verde en la Argentina en 2018. Avances, retrocesos y perspectivas futuras*. Buenos Aires: OIT.
- Rutovitz, J. et al. 2015. *Calculating global energy sector jobs: 2015 methodology*. Institute for Sustainable Futures, University of Technology Sydney, Greenpeace International.
- SAE. 2023. *Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno*. Argentina: Secretaría de Asuntos Estratégicos de la Nación.
- UNIDO. 2022. *La política industrial y de innovación puede acelerar la transición al hidrógeno verde*.
- Worldwide Recruitment Energy. 2022. *Contexto Internacional y Previsiones de Crecimiento del Hidrógeno Verde*.

Anexo

► Cuadro A1. **Universidades con ofertas curriculares vinculadas a la cadena del hidrógeno**

Universidades	
Universidad Tecnológica Nacional	Universidad Nacional de Lomas de Zamora
Universidad Nacional del Litoral	Universidad Nacional de San Martín
Universidad Nacional del Sur	Universidad de Belgrano
Universidad Nacional del Nordeste	Universidad de Mendoza
Universidad Nacional de Cuyo	Universidad de Palermo
Universidad Autónoma de Entre Ríos	Universidad del Norte Santo Tomás de Aquino
Universidad de la Defensa Nacional	Universidad Nacional de Rafaela
Universidad Nacional de Córdoba	Universidad Nacional de San Antonio de Areco
Universidad Nacional de Misiones	Universidad Nacional de Tucumán
Universidad Nacional de Rosario	Universidad Blas Pascal
Universidad Nacional de San Luis	Universidad de San Pablo - T
Universidad Nacional de La Plata	Universidad Nacional de Entre Ríos
Universidad Nacional del Comahue	Universidad Nacional de Lanús
Universidad Argentina de la Empresa	Universidad Nacional de Luján
Universidad Católica de Santiago del Estero	Universidad CAECE
Universidad Nacional de La Matanza	Universidad Católica de Córdoba
Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco	Universidad Católica de Cuyo
Universidad Nacional de Salta	Universidad de Flores
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires	Universidad Nacional de Quilmes
Universidad de Morón	Universidad Nacional de Río Cuarto
Universidad Nacional de General Sarmiento	Universidad Nacional del Chaco Austral
Universidad Nacional de San Juan	Instituto Tecnológico de Buenos Aires

Universidades	
Universidad Nacional de Santiago del Estero	Universidad Argentina John F. Kennedy
Pontificia Universidad Católica Argentina Santa María de los Buenos Aires	Universidad Atlántida Argentina
Universidad Católica de Santa Fe	Universidad Católica de La Plata
Universidad Nacional de Hurlingham	Universidad de la Fraternidad de Agrupaciones Santo Tomás de Aquino
Universidad Nacional de Mar del Plata	Universidad del Este
Universidad Nacional de Río Negro	Universidad Nacional de Catamarca
Instituto Universitario de Seguridad Marítima	Universidad Nacional de Chilecito
Universidad Católica de Salta	Universidad Nacional de Moreno
Universidad de Buenos Aires	Universidad Nacional de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur
Universidad Nacional de Avellaneda	Universidad Nacional de Tres de Febrero
Universidad Nacional de Jujuy	Universidad Nacional de Villa Mercedes
Universidad Nacional de La Pampa	Universidad Nacional del Oeste
Universidad Nacional de La Rioja	Universidad Nacional Guillermo Brown
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires	Universidad Provincial de Ezeiza
Universidad de la Marina Mercante	Universidad Austral
Universidad del Salvador	Universidad del Aconcagua
Universidad Empresarial Siglo 21	Universidad del Gran Rosario
Universidad Gastón Dachary	Universidad Juan Agustín Maza
Universidad Nacional Arturo Jauretche	Universidad Nacional de Villa María
Universidad Nacional de la Patagonia Austral	Universidad Nacional José C. Paz

Fuente: elaboración propia sobre la base de la Guía de las Carreras Universitarias (Ministerio de Educación de la Nación, 2023).

► Cuadro A2. **Oferta de educación superior vinculada a la cadena del hidrógeno y ubicación** (según provincia)

Tipo de título	Ubicación de la oferta (provincias)
Ciclos de complementación curricular y ciclos de licenciaturas	
Higiene y seguridad	AMBA, Resto PBA, Córdoba, Neuquén, Rosario, Santiago del Estero, Santa Fe, Chaco, Tucumán, Mendoza
Automatización y control	Córdoba
Diseño industrial	AMBA, Resto PBA, Córdoba, Neuquén, Rosario, Santiago del Estero, Santa Fe, Chaco, Tucumán"
Automatización y robótica	Santa Fe
Licenciado/a en Tecnología de Biocombustibles y Energías Renovables	Santa Fe
Grado	
Diseñador Industrial	AMBA, Resto PBA, Salta, Córdoba, Misiones, Río Negro, San Juan, Santa Fe, Entre Ríos
Ingeniero Electricista	AMBA, Resto PBA, Mendoza, Córdoba, Tucumán, Corrientes, Santa Fe
Ingeniero Eléctrico	Resto PBA, San Juan, Neuquén, Santiago del Estero
Ingeniero en Energía	AMBA
Ingeniero en Energías Renovables	Córdoba
Ingeniero Electromecánico (diversas orientaciones)	AMBA, Resto PBA, Córdoba, La Pampa, Santa Cruz, Misiones, Salta, San Juan, San Luis, Corrientes, Chubut, Entre Ríos, Chaco, Mendoza, Tierra del Fuego
Ingeniero Electrónico (y en electrónica)	AMBA, Resto PBA, Córdoba, Mendoza, Catamarca, Corrientes, Río Negro, Misiones, Santa Fe, San Juan, San Luis, Santiago del Estero, Tucumán, Neuquén, Santa Cruz
Ingeniero en Automatización y Control Industrial	AMBA
Ingeniero en Mecatrónica	Mendoza, Entre Ríos, San Juan, La Rioja, San Luis, Misiones
Ingeniero Industrial	AMBA, Resto PBA, Córdoba, Santa Fe, Mendoza, Mendoza, Jujuy, Salta, La Pampa, Santa Cruz, La Rioja, Misiones, San Juan, San Luis, Santiago del Estero, Tucumán, Chaco, Corrientes, Entre Ríos, Río Negro
Ingeniero Mecánico (diversas orientaciones)	AMBA, Resto PBA, Córdoba, Mendoza, Río Negro, San Juan, Tucumán, Corrientes, Santa Fe
Ingeniero Químico	AMBA, Resto PBA, San Juan, Mendoza, Jujuy, Santa Cruz, Misiones, Córdoba, Salta, San Luis, Chaco, Neuquén, Corrientes, Santa Fe, Tucumán
Ingeniero Civil	Córdoba
Licenciado en Automatización y Control de Procesos Industriales	Entre Ríos
Licenciado en Química (excluyendo orientaciones no relacionadas)	AMBA, Resto PBA, Córdoba, La Pampa, Santa Fe, San Luis, Tucumán, Entre Ríos, Catamarca, Corrientes, Mendoza
Licenciado en Energías Renovables	Salta
Licenciado en Organización Industrial	Resto de PBA, Chubut, Entre Ríos, Santa Fe, Córdoba
Licenciado en Higiene y Seguridad (diversas orientaciones)	AMBA, Resto PBA, Salta, Santa Cruz, Misiones, Corrientes, Chaco, Misiones, Entre Ríos, Córdoba, Tucumán, Mendoza, San Juan

Tipo de título	Ubicación de la oferta(provincias)
Pregrados (incluye títulos intermedios y tecnicaturas instrumentales)	
Analista en Calidad Industrial	Resto PBA
Analista en Electrónica	Resto PBA
Analista en Organización Industrial	AMBA
Analista Universitario en Diseño Industrial	AMBA
Analista en Energía	AMBA
Asistente Electromecánico	AMBA
Asistente Industrial	AMBA
Asistente Universitario en Sistemas Eléctricos	Santiago del Estero
Técnico Universitario en Informática y Tecnología Industrial	Resto PBA
Técnico en Higiene y Seguridad en el Trabajo (distintas orientaciones)	AMBA, Resto PBA, Salta, Entre Ríos, Mendoza, Córdoba, Río Negro, Santa Cruz, San Juan, San Luis, Mendoza, Chaco, Corrientes, Neuquén, Santa Fe, Tucumán"
Técnico Mecánico Electricista	Córdoba
Técnico Universitario en Energía	Santa Cruz
Técnico Universitario en Energías Renovables	San Luis, Chubut
Técnico Universitario en Energías Renovables y Eficiencia Energética	Córdoba
Técnico Universitario en Energía Eléctrica	AMBA
Técnico en Energías Renovables	Catamarca
Técnico Universitario en Energías Sustentables	Neuquén
Técnico Universitario en Gestión de Energías Renovables y Convencionales	Resto PBA
Técnico Universitario en Automatización y Control (distintas orientaciones)	AMBA, Entre Ríos, San Juan, Mendoza
Técnico Universitario en Diseño Industrial	AMBA, Resto PBA, Santa Fe
Técnico Universitario en Electrónica	AMBA, Resto PBA, Santa Fe, Neuquén, Entre Ríos, Mendoza, La Rioja, Tucumán, Córdoba, Santa Cruz, San Luis, Salta
Técnico Universitario en Mantenimiento Industrial	AMBA, Entre Ríos, Resto PBA, San Luis, Mendoza, Misiones, Entre Ríos, Córdoba, Santa Fe, Tucumán
Técnico Universitario en Mecatrónica	Resto PBA, Santa Fe, Córdoba, Tucuman
Técnico Universitario en Procesos Industriales	Resto PBA
Técnico Universitario en Química (distintas orientaciones)	AMBA, Resto PBA, Entre Ríos, Catamarca, Santa Fe, Córdoba, Neuquén, Mendoza, Chaco, Tierra del Fuego
Técnico Universitario en Tecnología Ambiental y Petroquímica	AMBA
Técnico Universitario en Automatización y Robótica	Santiago del Estero, Corrientes
Técnico Universitario en Energía Eléctrica	AMBA
Técnico Universitario en Instalaciones Eléctricas	Misiones, Mendoza
Técnico Universitario Industrial Electromecánico	Salta
Técnico Universitario en Operación y Mantenimiento de Redes Eléctricas	Resto PBA, Entre Ríos, Santa Fe, Santa Cruz,

Fuente: elaboración propia sobre la base de la Guía de las Carreras Universitarias (Ministerio de Educación de la Nación, 2023).

▶ www.ilo.org/es/argentina

▶ X @oitargentina