

Instrumentos de política pública para promover las industrias emergentes y los vínculos con el sector manufacturero en Chile

INFORME FINAL

Abril de 2024



Acerca de este documento

INFORME ENCARGADO POR EL MINISTERIO DE ECONOMÍA,
FOMENTO Y TURISMO DE CHILE Y FINANCIADO POR EL
PROGRAMA DESARROLLO PRODUCTIVO SOSTENIBLE



Colaboradores

Los colaboradores de este informe son: David Leal-Ayala, Carlos López-Gómez, Zongshuai Fan, Jennifer Castañeda-Navarrete, Mateus Labrunie y Michele Palladino.

Quiénes somos

Cambridge Industrial Innovation Policy (CIIP) es un grupo de políticas públicas global sin ánimo de lucro con sede en el Institute for Manufacturing (IfM) de la Universidad de Cambridge. El CIIP colabora con gobiernos y organizaciones mundiales para promover la competitividad industrial y la innovación tecnológica. Ofrecemos nuevas pruebas, ideas y herramientas basadas en las últimas ideas académicas y las mejores prácticas internacionales.

Este proyecto se lleva a cabo a través de IfM Engage, la rama de transferencia de conocimientos del Institute for Manufacturing (IfM) de la Universidad de Cambridge.

2024 IfM Engage

Contenido

Resumen ejecutivo	4
1. Introducción	11
2. Tecnologías verdes del hidrógeno: conceptos clave y tendencias del mercado mundial.....	14
2.1. Tecnologías primarias para la producción ecológica de hidrógeno	15
2.2. Cadena de valor del hidrógeno verde	16
2.3. Tendencias del mercado y puntos de debate	17
3. Áreas de acción clave emergentes para el desarrollo de una industria verde del hidrógeno en Chile	20
3.1. Reforzar el caso de negocios de los proyectos de hidrógeno verde a gran escala	22
3.2. Desarrollo de proveedores nacionales	28
3.3. Aprovechar la producción local de hidrógeno para invertir en fabricación ecológica	33
4. Lecciones de la experiencia política internacional.....	37
4.1. Revisión internacional de las estrategias nacionales de hidrógeno verde	37
4.2. Revisión internacional de la experiencia política de las industrias emergentes intensivas en tecnología.....	42
5. Instrumentos para promover las industrias emergentes y los vínculos de la fabricación nacional en Chile.....	63
5.1. Reforzar el caso de negocios de los proyectos a gran escala	65
5.2. Desarrollo de proveedores nacionales	71
5.3. Aprovechar la producción local de hidrógeno para atraer inversiones en fabricación ecológica	78
Apéndice 1: Lista de partes interesadas consultadas	80
Apéndice 2: Revisión internacional de las estrategias nacionales de hidrógeno verde	81

Resumen ejecutivo

Chile se ha fijado objetivos ambiciosos para posicionarse como un actor clave en la industria mundial del hidrógeno verde, impulsado por sus abundantes recursos energéticos renovables y el deseo estratégico de contribuir a su propia transición energética y a la lucha mundial contra el cambio climático. El compromiso de Chile con el hidrógeno verde se refleja en su Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, presentada en noviembre de 2020. Esta estrategia esboza objetivos ambiciosos para 2030, entre ellos alcanzar un coste de producción competitivo de 1,5 USD por kg de hidrógeno verde, generar 25 GW de hidrógeno verde mediante electrólisis y exportar anualmente hidrógeno verde y sus derivados por valor de 2.500 millones USD. Para alcanzar estos objetivos, Chile está invirtiendo en investigación, innovación y desarrollo de infraestructuras relacionadas con la producción, el almacenamiento y el transporte de hidrógeno verde. El Gobierno también está fomentando la colaboración con socios internacionales y atrayendo inversión privada para acelerar el crecimiento de la industria del hidrógeno verde.

Objetivo de este informe

El objetivo de este informe es articular los desafíos que enfrenta el desarrollo de la industria del hidrógeno verde en Chile, analizando el contexto local y la experiencia política internacional, e identificando instrumentos de política pública específicos en áreas de acción clave, para desarrollar proveedores nacionales de fabricación en la cadena de suministro de hidrógeno verde y hacer de Chile un competidor global y líder en esta industria. Los objetivos específicos de este informe incluyen:

- 1) identificar el "espacio de políticas" potencial para promover las industrias emergentes;
- 2) identificar las lecciones aprendidas de las últimas estrategias internacionales de hidrógeno verde
- 3) sintetizar ideas para informar el desarrollo de políticas en Chile.

Las distintas secciones del estudio se basan en fuentes de información que incluyen: datos estadísticos, estudios industriales, documentos y estrategias de política internacional, así como consultas a las partes interesadas. En particular, el estudio se basa en consultas específicas con representantes de la industria, el mundo académico y las autoridades públicas, llevadas a cabo en Chile en noviembre de 2023. En el marco del estudio se entrevistó a más de 23 expertos.

Tres áreas de acción clave para liberar el potencial del hidrógeno verde en Chile

A pesar de los esfuerzos mundiales por hacer avanzar las tecnologías y cadenas de suministro de hidrógeno ecológico, la industria se encuentra en las primeras fases de desarrollo. Los últimos datos de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) indican que la mitad de los proyectos mundiales de hidrógeno de bajas emisiones anunciados están aún en fase de diseño, mientras que sólo el 4% de los proyectos de producción anunciados han recibido una decisión final de inversión (FID por su sigla en inglés). Además de los proyectos de producción, ninguno de los proyectos de infraestructuras comerciales anunciados en todo el mundo ha alcanzado una decisión final de inversión.

El escenario global se correlaciona bien con la experiencia actual de Chile: mientras que 59 proyectos de hidrógeno verde a gran escala se han anunciado en el país en los últimos años, sólo 6 están actualmente en funcionamiento, con escalas de producción que son todavía demasiado bajas para ser comercialmente significativas. Del mismo modo, en Chile se han anunciado tres grandes proyectos de infraestructura relacionados con el almacenamiento de amoníaco, pero siguen en fase de estudio conceptual o de viabilidad.

Para aprovechar el potencial del hidrógeno verde en Chile es necesario abordar varios retos sistémicos. Actualmente, algunas de las tecnologías clave no están maduras, la capacidad de producción es limitada, la regulación es incompleta y la futura demanda mundial es incierta. Además, el contexto internacional es de competencia por las inversiones a gran escala necesarias para hacer viables los proyectos de hidrógeno verde.

Un marco común utilizado para comprender la dinámica implicada en la aparición de una nueva industria es el *ciclo de vida de la industria*. Este modelo simplifica la evolución industrial en fases o etapas dentro de la vida útil de una industria. La mayoría de los modelos de ciclo de vida tienen cuatro etapas: *surgimiento*, *crecimiento*, *madurez* y *declive*. Aplicando este modelo al contexto chileno, se pueden identificar tres áreas de acción clave para el desarrollo de la industria del hidrógeno verde en Chile, que se describen a continuación.

1. Reforzar el caso de negocios de los proyectos a gran escala

En primer lugar, existe una necesidad urgente de reforzar el caso de negocios a favor de los proyectos a gran escala en el país. Con los actuales costes operativos, de capital y de electricidad, el hidrógeno verde producido en Chile no puede alcanzar la paridad precio/rendimiento con el hidrógeno azul y gris, y se mantiene considerablemente por encima del precio objetivo establecido en la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde de Chile. Se trata de una amenaza existencial para el sector del hidrógeno verde, por lo que los principales objetivos de política pública de este ámbito de actuación podrían ser 1) *garantizar que los proyectos de hidrógeno verde anunciados alcancen una decisión de inversión final* y 2) *atraer más proyectos de hidrógeno verde a gran escala*. Para ello es necesario abordar los principales factores de coste de la producción de hidrógeno verde, garantizando que los proyectos en Chile alcancen la paridad de precios con los competidores internacionales.

Para contextualizar, el Departamento de Energía de EE.UU. (DOE) estima que para una gran planta de hidrógeno PEM que produzca 50.000 kg/día, la electricidad podría suponer algo más del 85% del coste de producción utilizando un precio de referencia de la electricidad de 7,3 céntimos USD/kWh. Además, el Departamento de Energía de EE.UU. estima que, para ser competitivo, el hidrógeno verde necesita electricidad verde a menos de 20 USD/MWh, muy por debajo de los precios actuales de la electricidad en Chile, donde el precio de la electricidad para las empresas era de 135 USD/MWh en junio de 2023 (véase el cuadro 3-2, incluye todos los componentes de la factura eléctrica, como el coste marginal de la energía, la transmisión, la distribución y los impuestos).

Las lecciones extraídas de la revisión de las estrategias nacionales de hidrógeno verde de ocho países líderes (EE.UU., Australia, Reino Unido, Alemania, Japón, Brasil, Colombia e India), y la experiencia política internacional de otros sectores tecnológicos emergentes, ofrecen una visión de los principales instrumentos de política pública y programas observados en todo el mundo para abordar este reto.

Reforzar el caso de negocios de los proyectos de hidrógeno verde a gran escala (revisión internacional de instrumentos y programas de política pública)			
Ámbito de política	Justificación	Instrumentos	Específicos del hidrógeno (o relacionados) ejemplos
Visión a largo plazo	Asimetrías de información, incertidumbre	<ul style="list-style-type: none"> • Estrategias a largo plazo • Objetivos de producción a largo plazo • Establecer organizaciones de investigación y tecnología 	Según el informe Global Hydrogen Review 2023, un total de 41 gobiernos, incluido el de Chile, han adoptado estrategias nacionales sobre el hidrógeno.
Infraestructuras de transporte	Limitaciones de capital, fallos de coordinación	<ul style="list-style-type: none"> • Subvenciones de contrapartida • Desarrollo directo (SOEs) 	<ul style="list-style-type: none"> • Grupo de trabajo federal sobre redes inteligentes del Departamento de Energía (DoE) • Ley de Recuperación y Reinversión de Estados Unidos • Proyectos italianos de redes inteligentes
Hidrógeno específico infraestructura	Limitaciones de capital,	<ul style="list-style-type: none"> • Formación de consorcios • Proyectos de demostración 	<ul style="list-style-type: none"> • La red troncal europea del hidrógeno (EHB) de la UE

Reforzar el caso de negocios de los proyectos de hidrógeno verde a gran escala (revisión internacional de instrumentos y programas de política pública)			
Ámbito de política pública	Justificación	Instrumentos	Específicos del hidrógeno (o relacionados) ejemplos
	coordinación fallos		<ul style="list-style-type: none"> • SGN "LTS Futures" del Reino Unido proyecto
Incentivos fiscales y producción directa subvenciones	Limitaciones de capital, riesgo excesivo	<ul style="list-style-type: none"> • Créditos fiscales • Incentivos a las ventas incrementales 	<ul style="list-style-type: none"> • Crédito fiscal para la producción de hidrógeno limpio (45V) de la Ley de Reducción de la Inflación de EE.UU. • Incentivos vinculados a la producción en la India
Zonas económicas especiales	Falta de atractivo económico de determinadas lugares	<ul style="list-style-type: none"> • Un marco normativo exclusivo • Prestación de servicios públicos • Mejora de las infraestructuras • Ventajas fiscales 	<ul style="list-style-type: none"> • Los centros regionales de hidrógeno de EE.UU. • Los valles del hidrógeno de la UE
Programas de investigación y desarrollo	Externalidades del conocimiento, incertidumbre y riesgos, asimetrías de información, coordinación fallos	<ul style="list-style-type: none"> • Subvenciones de I+D • Créditos fiscales • Préstamos a bajo interés • Garantías de préstamos • Acceso a instalaciones de laboratorio • Asesoramiento sobre propiedad intelectual • Apoyo a consorcios de investigación/redes de conocimiento 	<p>La UE - Asociación para el Hidrógeno Limpio / Convocatoria de 195 millones de euros de investigación sobre el hidrógeno para apoyar la creación de tecnologías punteras en este campo</p> <p>El Departamento de Energía de EE.UU. -</p> <p>La iniciativa Hydrogen Shot reducirá un 80% el coste del hidrógeno limpio</p>

<p>Apoyo a la ampliación</p>	<p>Incertidumbre y riesgos, asimetrías de información, fallos de coordinación, economías de escala</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Demostradores y subvenciones piloto • Servicios de creación de prototipos y pruebas • Apoyo a la concesión de licencias • Reglamentación y normas • Programas de incubación y aceleración • Incentivos a la inversión de capital • Préstamos a bajo interés • Garantías de préstamos • Organismos intermedios de I+D • Apoyo a las redes 	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamarca - Régimen danés de 170 millones de euros • Alemania - Reallabore der Energiewende • Países Bajos - Programa de Demostración de la Innovación Energética y Climática (DEI+) • Reino Unido - Programa Acelerador Industrial del Hidrógeno (IHA) • EE.UU. - Programa de electrólisis de hidrógeno limpio
-------------------------------------	--	---	---

2. Desarrollo de proveedores nacionales

Igualmente crucial para el área de acción clave anterior es el desarrollo de una sólida red de proveedores nacionales de fabricación. Mediante el fomento de los proveedores locales, Chile puede mejorar el valor añadido local, creando un ecosistema autosuficiente que no sólo satisfaga la demanda de la industria, sino que también fortalezca la economía nacional. La colaboración entre los proyectos a gran escala y los proveedores locales se convierte en crucial, fomentando el crecimiento mutuo y garantizando una cadena de suministro estable y diversa para la industria del hidrógeno verde.

El principal objetivo de esta área de acción podría *ser garantizar que la industria del hidrógeno verde de Chile desarrolle vínculos de fabricación local*. Esto significa desarrollar proveedores para la propia producción de hidrógeno o para las industrias usuarias de hidrógeno que posiblemente se verán atraídas. También significa desarrollar las capacidades de la mano de obra local para garantizar que se ajustan a las necesidades de la industria del hidrógeno verde y, por lo tanto, se benefician del empleo de alta calidad que se está creando.

Aunque el sector manufacturero en Chile desempeña un papel importante en la economía del país, ya que representa el 10% del PIB (29.400 millones de dólares), el 10% del empleo total y el 20% de las exportaciones de mercancías (98.600 millones de dólares), estudios anteriores han demostrado que el hidrógeno verde-relevante

Los subsectores manufactureros sólo representaron el 5,6% del valor añadido manufacturero total, a saber: productos metálicos fabricados, excepto maquinaria y equipo (4%); material eléctrico (1,4%); otras manufacturas (0,2%); y productos informáticos, electrónicos y ópticos (sin producción sensible).

Un estudio de 2023 realizado para el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) sugiere que un número significativo de tecnologías, equipos y sistemas que son necesarios para la cadena de valor del hidrógeno verde no se comercializan actualmente en Chile, y no hay certeza de que existan capacidades para certificarlos, instalarlos, ponerlos en marcha, operarlos y mantenerlos. Esta es una oportunidad obvia para el desarrollo futuro, con un estudio adicional de la GIZ que informa de las oportunidades iniciales clave para los fabricantes nacionales en la cadena de suministro de hidrógeno verde más amplia, donde se identificaron más de 817 empresas con potencial para participar en la cadena de suministro de hidrógeno verde en Chile ofreciendo directamente los bienes y servicios necesarios en este sector.

Se necesitan medidas proactivas para aprovechar esta oportunidad, tanto por parte del sector público como del privado, en un sector en el que es necesaria la intervención gubernamental en toda la cadena de suministro para superar estos retos y construir una cadena de valor compleja, como sugiere la AIE.

Las lecciones extraídas de la revisión de las estrategias nacionales de hidrógeno verde de ocho países líderes (EE.UU., Australia, Reino Unido, Alemania, Japón, Brasil, Colombia e India), y la experiencia política internacional de otros sectores tecnológicos emergentes, ofrecen una visión de los principales instrumentos de política pública y programas observados en todo el mundo para abordar este reto.

Desarrollo de proveedores nacionales (revisión internacional de instrumentos y programas de política pública)			
Ámbito de política pública	Justificación	Instrumentos	Específicos del hidrógeno (o relacionados) ejemplos
Atracción estratégica de inversión extranjera directa	Asimetrías de información, fallos de coordinación, disparidades de poder	<ul style="list-style-type: none"> • Declaraciones sobre el desarrollo de la cadena de suministro • Requisitos de contenido local • Incentivos fiscales • Condicionalidad de los incentivos a la inversión 	<ul style="list-style-type: none"> • Brasil - condicionalidad de los préstamos para turbinas eólicas • India - Programa de Transición al Hidrógeno Verde • Escocia - ScotWind Supply Declaración de Desarrollo de la Cadena (SCDS)
Desarrollo de proveedores	Asimetrías de información, fallos de coordinación	<ul style="list-style-type: none"> • Vinculación de las empresas locales con las multinacionales • Asesoramiento técnico • Créditos fiscales • Préstamos a bajo interés • Garantías de préstamos • Reducciones arancelarias • Desarrollo de competencias • Reglamentación y normas • Inversión en infraestructuras 	<ul style="list-style-type: none"> • Canadá - Crédito fiscal para la fabricación de tecnologías limpias • La UE - Ley de Industria Net Zero • EE.UU. - Ley de Reducción de la Inflación (IRA); Programa de Reciclaje para la Fabricación Limpia de Hidrógeno

3. Aprovechar la producción local de hidrogeno para invertir en fabricación ecológica

Chile puede aprovechar estratégicamente su hidrógeno verde producido localmente para atraer industrias manufactureras comprometidas con la descarbonización. El principal objetivo de política pública de esta área de acción podría ser *aprovechar la transición verde mundial para posicionar a Chile como un lugar atractivo para el establecimiento de industrias usuarias de hidrógeno y de fabricación verde*. Para ello sería necesario garantizar el suministro de hidrógeno verde a bajo coste y reducir los costes de producción y exportación para las industrias usuarias. Este uso estratégico del hidrógeno verde podría aumentar el atractivo de Chile en la escena internacional, y apoya su aspiración de convertirse en un centro de fabricación verde.

La AIE predice que la demanda mundial de hidrógeno alcanzará aproximadamente 150 Mt en 2030 y alrededor de 430 Mt en 2050, principalmente a través de nuevos proyectos de hidrógeno de bajas emisiones, incluido el hidrógeno verde y el hidrógeno producido por combustibles fósiles con CCUS. En este contexto, existen oportunidades para que Chile produzca hidrógeno verde con bajas emisiones de carbono que podrían ser más fáciles de exportar que el hidrógeno, cuya

exportación está actualmente limitada por desafíos tecno-comerciales. El hidrógeno ya se utiliza como materia prima común en varias industrias, como la fabricación de vidrio, la producción de alimentos, los biocombustibles, la síntesis de metanol y la síntesis de amoníaco. Al pasar al hidrógeno de emisiones cero o bajas, estas industrias tienen la oportunidad de descarbonizarse. Chile tiene la oportunidad de atraer a empresas de algunos de estos sectores (véase más abajo).

TRATAMIENTO DE METALES	Los métodos tradicionales de fabricación de acero dependen de la reacción del mineral de hierro con el carbón. Se están desarrollando nuevos procesos que utilizan hidrógeno en su lugar.
ALIMENTOS FABRICACIÓN	En la industria alimentaria, el hidrógeno se utiliza para endurecer aceites y grasas semisólidas mediante hidrogenación. Esta demanda podría desplazarse con hidrógeno limpio.
COMBUSTIBLES SINTÉTICOS	El hidrógeno se utiliza para limpiar combustibles y puede emplearse para producir combustibles sintéticos como petróleo, gasóleo, metano y queroseno mediante reacciones con CO2.
VIDRIO FABRICACIÓN	El hidrógeno se utiliza actualmente para proporcionar una atmósfera durante la fabricación que minimice los defectos del vidrio. Esta demanda podría desplazarse con hidrógeno limpio.
AMONIA	El hidrógeno es una materia prima clave para la producción de amoníaco. Esta demanda de hidrógeno podría desplazarse con hidrógeno limpio.
PRODUCTOS QUÍMICOS	Una serie de productos químicos utilizan el hidrógeno como materia prima, como el metanol, las resinas y los polímeros. Esta demanda de hidrógeno podría desplazarse con hidrógeno limpio.

Las lecciones extraídas de la revisión de las estrategias nacionales de hidrógeno verde de ocho países líderes (EE.UU., Australia, Reino Unido, Alemania, Japón, Brasil, Colombia e India), y la experiencia política internacional de otros sectores tecnológicos emergentes, ofrecen una visión de los principales instrumentos de política pública y programas observados en todo el mundo para abordar este reto.

Aprovechar la producción local de hidrógeno para invertir en fabricación ecológica (revisión internacional de instrumentos y programas de política pública)			
Ámbito de política pública	Justificación	Instrumentos	Ejemplos específicos del hidrógeno (o relacionados)
Creación de mercados nacionales	Asimetrías de información, incertidumbre, riesgos, fallos de coordinación, externalidades positivas	<p>Contratación pública:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Normativa y legislación • Contratos a plazo • Sistemas de tarifas reguladas • Contratos por diferencias • Licitación competitiva basada en subastas <p>Objetivos vinculantes</p> <p>Reglamentación y normas</p> <p>Inversión en infraestructuras</p> <p>Incentivos para los consumidores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Subvenciones • Créditos fiscales • Préstamos a bajo interés 	<p>Licitación competitiva basada en subastas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Brasil Programa Próalcohol • Corea del Sur: mercado de subastas de hidrógeno • La UE: el sistema de subastas del Banco Europeo del Hidrógeno <p>Objetivos vinculantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La UE: acuerdo provisional con objetivos vinculantes para la industria sobre el uso de hidrógeno verde • India - Aprovechamiento del hidrógeno verde: esta estrategia incluye objetivos vinculantes para pasar del hidrógeno gris al verde en las industrias que utilizan hidrógeno como materia prima. <p>Incentivos para los fabricantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alemania - Contratos de Cambio Climático (CCfD): este régimen ayuda a las empresas industriales a invertir en proyectos respetuosos con el clima. instalaciones de producción

			<p>Incentivos para los consumidores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Países Bajos - Plan de subvenciones al hidrógeno en la movilidad <p>Inversiones en infraestructura de vehículos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Canadá - Iniciativa de infraestructura de recarga y repostaje de hidrógeno
Promoción de las exportaciones	Economías de escala, fallos de coordinación	<p>Servicios de asesoramiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Información de mercado • Cumplimiento y orientación normativa <p>Apoyo financiero:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Préstamos a bajo interés • Servicios de factoring a la exportación • Programas de seguro de crédito • Garantías de crédito <p>Acuerdos comerciales</p>	<p>Reforma de la OCDE para las agencias de crédito a la exportación, que incluye el hidrógeno y el amoníaco limpios en el ámbito de los proyectos ecológicos y, por tanto, elegibles para largos plazos de reembolso (hasta 15 años).</p>
Desarrollo de competencias	Asimetrías de información, efectos indirectos	<ul style="list-style-type: none"> • Hojas de ruta de las competencias • Programas internacionales de desarrollo • Colaboración entre el gobierno, el sector privado y el mundo académico para actualizar y crear programas de educación y formación • Iniciativas de diversidad e inclusión 	<ul style="list-style-type: none"> • Australia - Hoja de ruta de las competencias en hidrógeno • La UE - GreenSkillsforH2 • Sudáfrica - Marco Estratégico de Transición Justa del Ecosistema de EFTP del Hidrógeno Verde • Reino Unido - Acelerador Nacional de Competencias Energéticas (NESA) • Internacional - Mujeres del hidrógeno verde

Recomendaciones políticas

La sección final de este informe reúne las principales conclusiones para ofrecer un resumen claro y sucinto de las recomendaciones sobre los instrumentos de política pública que podrían utilizarse para abordar las tres áreas de acción clave identificadas para Chile. El enfoque principal de esta síntesis son las acciones que son directamente pertinentes a la jurisdicción del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (Minecon), especialmente aquellas que pueden realizarse en un plazo relativamente corto y con los recursos actuales. Al mismo tiempo, esta sección considera el panorama de políticas más amplio en Chile, proporcionando ideas para las interacciones y colaboraciones del Minecon con otras partes interesadas en Chile para avanzar en la economía verde del hidrógeno.

El informe identifica 11 recomendaciones, agrupadas en 5 categorías, que se resumen en el cuadro siguiente.

	Reforzar el caso de negocios de los proyectos a gran escala	Desarrollo de proveedores manufactureros nacionales	Aprovechar la producción local de H2V para atraer inversiones en manufactura verde
¿Por qué?	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Es necesario 1) garantizar que los proyectos de hidrógeno verde anunciados lleguen a una decisión final de inversión y 2) atraer más proyectos de hidrógeno verde a gran escala. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La industria chilena del hidrógeno verde tiene la oportunidad de obtener un mayor valor añadido para el país mediante el desarrollo de vínculos de fabricación local. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Existe la oportunidad de aprovechar la transición ecológica mundial para posicionar a Chile como un lugar atractivo para establecer industrias usuarias de hidrógeno y fabricación ecológica.
¿Cómo?	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Abordar los principales factores de coste de la producción de hidrógeno verde, garantizando que los proyectos en Chile alcancen la paridad de precios con sus competidores internacionales. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Desarrollar proveedores nacionales para la propia producción de hidrógeno o para las industrias usuarias de hidrógeno. ➤ Fomentar la capacitación de la mano de obra local para garantizar su adecuación a las necesidades de la industria del hidrógeno verde. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Desarrollar incentivos para el uso de GH2 entre los sectores industriales nacionales. ➤ Diseñar incentivos para atraer a las industrias que utilizan hidrógeno.
¿Cómo?	<p>Recomendaciones para el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (Minecon)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Recomendación 1: Considerar la creación de una zona económica especial para incentivar la coubicación de la generación de energía renovable, la producción de H2 y derivados, y el uso o la exportación de H2 y derivados. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Acción a corto plazo: 1.1) Conceder subvenciones para realizar estudios de viabilidad, desarrollar el marco específico y promoverlo en los sectores público y privado. <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1.2) Implicar al Ministerio de Hacienda para garantizar su participación y aceptación. ▪ Acción a medio y largo plazo: 1.3) Obtener compromisos firmes de inversores potenciales. 	<p>Recomendaciones para el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (Minecon)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Recomendación 3: Establecer un mecanismo para que el Gobierno se comprometa con las cadenas de suministro nacionales y apoye el desarrollo de proveedores de hidrógeno verde. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Acción a corto plazo: 3.1) Crear una base empírica más clara sobre los retos y oportunidades de la cadena de suministro mediante, por ejemplo, un consejo intersectorial de alto nivel de la cadena de suministro encargado de desarrollar un modelo nacional de demanda de la cadena de suministro. ▪ Acción a medio y largo plazo: 3.2) Establecer un programa nacional de desarrollo de proveedores que busque oportunidades de suministro y ofrezca capacitación, basándose potencialmente en la experiencia existente, como la Red Proveedores. <ul style="list-style-type: none"> ▪ 3.3) Considerar condicionalidades y/o incentivos relacionados con los requisitos de contenido local para el hidrógeno. productores para impulsar la demanda de proveedores nacionales. 	<p>Recomendaciones para el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (Minecon)</p> <p>Recomendación 5: Ofrecer incentivos para atraer industrias extranjeras usuarias de hidrógeno y crear una demanda industrial nacional de hidrógeno verde.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Acción a corto plazo: 5.1) Establecer subvenciones a la industria usuaria y/o objetivos vinculantes para ampliar el uso del hidrógeno en industrias nacionales como refinerías, productores de alimentos, productores de fertilizantes, fabricantes de acero, fabricantes de vidrio y el sector químico. ▪ Acción a medio y largo plazo: 5.2) Aprovechar los incentivos de las zonas económicas especiales para reubicar las posibles industrias nacionales existentes usuarias de hidrógeno. <ul style="list-style-type: none"> ▪ 5.3) Aplicar subvenciones al consumo para atraer inversiones extranjeras directas en industrias usuarias de hidrógeno.
	<p>Recomendaciones multipartitas</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Recomendación 2: Crear un grupo de trabajo multipartito que adopte nuevas medidas para abordar los principales factores de coste de los proyectos de hidrógeno verde. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Acción a corto plazo: 2.1) Convocar y coordinar un <i>grupo de trabajo sobre reducción de costes</i> para definir un paquete adecuado de incentivos fiscales, subvenciones y ayudas a la I+D para lograr reducciones de costes relacionadas con la generación y transmisión de energías renovables, CAPEX y OPEX de plantas de GH2, y exportación/transporte de GH2 y derivados. ▪ Acciones a medio y largo plazo: 2.2) Aplicar recomendaciones del grupo de trabajo para la reducción de costes. ➤ Partes interesadas: Ministerio de Energía, CORFO, Minecon, sector privado 	<p>Recomendaciones multipartitas</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Recomendación 4: Invertir en el desarrollo de las competencias de los trabajadores en materia de hidrógeno verde y ámbitos afines. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Acción a corto plazo: 4.1) Elaborar una hoja de ruta de competencias en materia de hidrógeno ecológico junto con un mapa de la cadena de suministro. ▪ Acciones a medio y largo plazo: 4.2) Integrar las competencias en materia de hidrógeno verde en los programas de formación profesional y universitarios existentes. <ul style="list-style-type: none"> ▪ 4.3) Desarrollar un programa especializado de formación de trabajadores centrado en el hidrógeno verde. ➤ Partes interesadas: Ministerio de Educación, Ministerio de Energía, Minecon, sector privado 	

1. Introducción

Presentada en noviembre de 2020, la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde de Chile catapultó al país a la escena mundial. Fue una señal oportuna de la determinación de la nación de encabezar los esfuerzos de descarbonización mundial. La nueva administración que asumió el cargo en 2022 ha dado continuidad a la estrategia, mostrando un compromiso a largo plazo y reforzando la confianza en Chile como destino líder para las inversiones en hidrógeno verde.

Para aprovechar el potencial del hidrógeno verde en Chile es necesario abordar varios retos sistémicos. Actualmente, algunas de las tecnologías clave no están maduras, la capacidad de producción es limitada, la regulación es incompleta y la futura demanda mundial es incierta. Además, el contexto internacional es de competencia por las inversiones a gran escala necesarias para hacer viables los proyectos de hidrógeno verde.

Este informe examina las áreas de acción clave y los instrumentos de política pública para liberar el potencial del hidrógeno verde en Chile.

Chile cuenta con formidables ventajas que lo sitúan a la vanguardia de la ampliación mundial de la producción de hidrógeno. Su abundante potencial de energías renovables, su sólida experiencia en los sectores eólico y solar y la solidez de sus instituciones, que operan en el marco de una economía abierta internacionalmente, contribuyen a su ventaja estratégica.

La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde estableció objetivos ambiciosos para 2030: convertir a Chile en el lugar más rentable para el hidrógeno verde a nivel mundial, alcanzando un coste de producción de 1,5 dólares por kilogramo; producir 25 GW de hidrógeno verde mediante electrólisis; y exportar anualmente hidrógeno verde y derivados por valor de 2.500 millones de dólares.

Estos objetivos se basan en el supuesto de que con el tiempo se producirán reducciones globales en los costes de los electrolizadores y de la energía renovable, lo que posicionará a Chile como un centro altamente competitivo para el uso nacional y la exportación internacional de hidrógeno verde.

Tres áreas de acción clave para liberar el potencial del hidrógeno verde en Chile

Para hacer frente a estos retos y convertir la ambiciosa visión de Chile en una realidad, es fundamental trabajar en tres áreas de acción clave:

1. **Reforzar el argumento comercial de los proyectos a gran escala.** Con los actuales costes operativos, de capital y de electricidad, el hidrógeno verde producido en Chile no puede alcanzar la paridad precio/rendimiento con el hidrógeno azul y gris, y se mantiene considerablemente por encima del precio objetivo establecido en la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde de Chile. Es imperativo reforzar el caso de negocios a favor de los proyectos a gran escala en Chile, reduciendo los costes y facilitando las decisiones de inversión de las empresas mediante la mejora de la regulación, los incentivos, las subvenciones, el desarrollo de infraestructuras y el aumento de las economías de escala.
2. **Desarrollo de proveedores nacionales.** El fomento de los proveedores nacionales es crucial para aumentar el valor añadido local. Al fomentar una sólida red de proveedores locales, Chile puede crear un ecosistema autosuficiente que se beneficie del crecimiento de la industria del

hidrógeno verde.

3. **Aprovechar la producción local de hidrógeno para atraer inversiones en fabricación ecológica.** El uso estratégico de hidrógeno verde producido localmente podría atraer a industrias manufactureras que buscan

descarbonización. Al ofrecer una fuente segura de hidrógeno verde, Chile puede posicionarse como un lugar competitivo a nivel mundial para las industrias comprometidas con la sostenibilidad. Esto requeriría aprovechar la producción local de hidrógeno para promover la agrupación y atraer inversión extranjera directa (IED) industrial.

Objetivo de este informe

A medida que el Gobierno pasa de la planificación a la acción, se está desarrollando un plan de acción inclusivo dirigido por el Ministerio de Energía, en el que participan otros ministerios y organismos pertinentes. El objetivo de este informe es apoyar estos esfuerzos articulando los desafíos a los que se enfrenta el desarrollo de la industria del hidrógeno verde en Chile, analizando el contexto local y la experiencia internacional, e identificando instrumentos de política pública específicos en áreas de acción clave, para desarrollar proveedores nacionales de fabricación en la cadena de suministro de hidrógeno verde y posicionar a Chile como competidor global y líder en esta industria.

Entre los objetivos específicos de este proyecto figuran:

- 4) **Identificar el "espacio de política pública" potencial para promover las industrias emergentes.** Esto incluye un catálogo de instrumentos de política pública -incluidos los financieros- que podrían ser implementados por el ministerio para promover sectores emergentes, como el hidrógeno verde, en Chile y establecer encadenamientos productivos con la economía local, con ejemplos de la experiencia internacional.
- 5) **Identificar las lecciones aprendidas de las últimas estrategias internacionales de hidrógeno verde.** Esto incluye las ideas clave que surgen de los estudios de viabilidad, los análisis de la cadena de suministro y los estudios de mercado producidos como parte de estas estrategias en países seleccionados, centrándose en la fabricación relacionada con el hidrógeno y las oportunidades para atraer a industrias difíciles de abandonar.
- 6) **Sintetizar ideas para informar el desarrollo de políticas en Chile.** Obtener reflexiones y recomendaciones para apoyar el desarrollo de industrias emergentes en Chile, centrándose en la ubicación y los instrumentos de política pública relevantes para la industria del hidrógeno verde. Si bien el estudio tiene en cuenta el panorama de política pública más amplio de Chile, se centra en proporcionar reflexiones que sean relevantes para el trabajo del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.

Metodología

Las distintas secciones del estudio se basan en fuentes de información que incluyen: datos estadísticos, estudios industriales, documentos y estrategias de política internacional, así como consultas a las partes interesadas. En particular, el estudio se basa en consultas específicas con representantes de la industria, el mundo académico y las autoridades públicas, llevadas a cabo en Chile durante noviembre de 2023. Como parte del estudio se entrevistó a más de 23 expertos. Se procuró captar la heterogeneidad de las opiniones de las partes interesadas. Las entrevistas

siguieron un enfoque semiestructurado y duraron entre 1 y 2 horas. 2 horas. La lista completa de organizaciones consultadas figura en el Apéndice 1. El examen de las tendencias y motores internacionales se basó en la revisión de fuentes de información de dominio público disponibles en inglés, español, portugués y chino.

TABLA 1: FUENTES DE PRUEBAS

Fuentes de datos
<ul style="list-style-type: none">▪ Datos económicos e industriales de fuentes nacionales e internacionales▪ Revisión de la literatura académica, industrial y política▪ Entrevistas con más de 23 expertos locales del mundo académico, la industria y el gobierno de Chile.▪ Examen de la evolución en determinados países comparadores

Alcance

Al analizar la industria del hidrógeno verde y las actividades de fabricación asociadas a ella, el estudio se centra en las tecnologías alcalina, PEM (membrana de intercambio de protones) y SOE (electrólisis de óxido sólido), ya que son las tecnologías de electrolizadores más consolidadas en todo el mundo. En general, el estudio se centra en las oportunidades de fabricación, no en el potencial de generación de energía renovable asociado a la producción de hidrógeno ecológico. El estudio identifica áreas prioritarias e instrumentos para la acción política. Sin embargo, no se intenta ofrecer planes de aplicación concretos, ya que ello requeriría un análisis exhaustivo del marco institucional y normativo en Chile, que queda fuera del alcance de este informe. Por último, el estudio informa sobre las oportunidades y los retos, basándose en gran medida en las aportaciones de las partes interesadas. En algunas ocasiones, se identificaron puntos de vista opuestos, de los que se informa.

Si bien este estudio tiene en cuenta el panorama de política pública más amplio de Chile, se centra principalmente en proporcionar información directamente pertinente para las iniciativas emprendidas por el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. Centrándose en las prioridades y objetivos específicos del ministerio, el objetivo del informe es ofrecer recomendaciones específicas y viables que se ajusten a sus responsabilidades y objetivos. Al mismo tiempo, este informe ofrece ideas que son relevantes para el ministerio en su interacción y colaboración con otras partes interesadas en el contexto de política pública más amplio de Chile para avanzar en la economía verde del hidrógeno en el país.

Estructura del informe

La estructura del informe es la siguiente:

- Tras la introducción (**Sección 1**), el estudio ofrece una visión general de las principales tecnologías del hidrógeno verde y de las tendencias del mercado mundial relacionadas con su producción y uso (**Sección 2**).
- **La sección 3** analiza el estado actual y el contexto del incipiente sector del hidrógeno verde en Chile, junto con las oportunidades y los retos asociados al desarrollo de una base de suministro de fabricación relacionada con el hidrógeno verde y la atracción de industrias consumidoras de hidrógeno difíciles de abandonar.
- **En la sección 4** se analizan las ideas extraídas de la experiencia política internacional en el sector del hidrógeno verde y otros sectores tecnológicos emergentes.

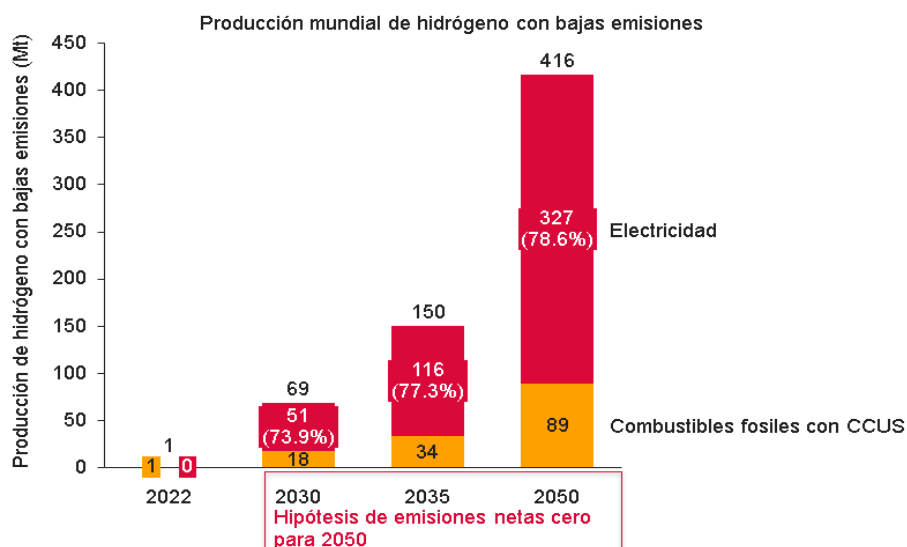
- **La Sección 5** presenta los temas de política pública prioritarios y los instrumentos identificados para apoyar el sector del hidrógeno verde en Chile, incluyendo ejemplos relevantes de implementación a partir de la experiencia internacional.

2. Tecnologías verdes del hidrógeno: conceptos clave y tendencias del mercado mundial

El hidrógeno es un gas incoloro, inodoro, no tóxico y altamente combustible en condiciones normales; presenta el peso elemental más bajo del universo. Hoy en día, el hidrógeno se utiliza comúnmente como materia prima industrial en el refinado del petróleo y la producción de fertilizantes. El hidrógeno también constituye un vector energético muy versátil, dotado de una serie de propiedades físicas y químicas beneficiosas, que lo sitúan como un elemento crítico en cualquier conjunto de herramientas estratégicas para alcanzar los objetivos de emisiones netas cero.¹La producción mundial de hidrógeno alcanzó los 94 Mt (millones de toneladas) en 2022.² Los métodos predominantes de producción de hidrógeno incluyen el uso ininterrumpido de combustibles fósiles -consumo de combustibles fósiles sin CCUS (captura, utilización y almacenamiento de carbono)- y el proceso de refinación de petróleo, del que el hidrógeno es un subproducto. Más del 99% de la producción mundial de hidrógeno en 2022 procedía de estos dos métodos. El 1% restante de la producción mundial de hidrógeno estaba relacionado con el hidrógeno de bajas emisiones que utiliza combustibles fósiles con CCUS.

La industria y el mundo académico clasifican el hidrógeno en diferentes códigos de colores, según los tipos de fuente de energía utilizados, el método de producción aplicado y si se aplica o no el CCUS. Según este sistema, el hidrógeno verde se refiere al hidrógeno producido mediante electrólisis del agua alimentada por electricidad renovable. La electricidad renovable consumida puede proceder del excedente de la red suministrado por fuentes de energía renovables o generarse específicamente para producir hidrógeno. A pesar de ser un método prometedor, la producción de hidrógeno verde se encuentra en las primeras fases de desarrollo, aportando menos de 100 kt a nivel mundial en 2022.³ Sin embargo, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) estima que la producción mundial de hidrógeno verde podría crecer hasta 51 Mt en 2030 y 327 Mt en 2050 (Figura 2-1).

FIGURA 2-1: PRODUCCIÓN MUNDIAL PREVISTA DE HIDRÓGENO CON BAJAS EMISIONES (ESCENARIO IEA NZE 2050)



NOTA: NZE 2050 ES UN ESCENARIO NORMATIVO DE LA IEA QUE MUESTRA UNA SENDA PARA QUE EL SECTOR ENERGÉTICO MUNDIAL ALCANCE UNAS EMISIONES NETAS DE CO₂ NULAS EN 2050; CCUS = CAPTURA, UTILIZACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO. **FUENTE:** AIE (2023). ESTUDIO MUNDIAL SOBRE EL HIDRÓGENO 2023.

¹ Departamento de Energía (2017). [Hydrogen: A Clean, Flexible Energy Carrier](#).

² AIE (2023a). Informe mundial sobre el hidrógeno 2023.

³ ibid.

2.1. Tecnologías primarias para la producción ecológica de hidrógeno

La tecnología clave para la producción ecológica de hidrógeno es el electrolizador que consume electricidad para dividir el agua (H₂O) en hidrógeno (H₂) y oxígeno (O₂). Actualmente, las tres tecnologías principales de electrólisis del agua son la alcalina, la PEM (membrana de intercambio protónico) y la SOE (electrólisis de óxido sólido) (véase la Tabla 2-1). La electrólisis alcalina y la electrólisis PEM han alcanzado una madurez comercial sustancial, impulsando el crecimiento de la capacidad mundial de electrólisis instalada. En 2022, las capacidades de electrólisis alcalina y PEM se situaron en 404 MW y 217 MW, respectivamente, contribuyendo conjuntamente al 90% de la capacidad mundial de electrólisis instalada. Cabe destacar que la tecnología SOE, a pesar de representar menos del 1% de la capacidad instalada, ofrece una mayor eficiencia energética y reduce el consumo de electricidad en comparación con la electrólisis alcalina y PEM.⁴

TABLA 2-1: RESUMEN DE LAS TRES TECNOLOGÍAS PRINCIPALES DE ELECTRÓLISIS DEL AGUA

	Alcalino	Membrana de intercambio de protones (PEM)	Electrólisis de óxido sólido (SOE)
Escala de nivel de preparación tecnológica aplicada por la AIE ⁵	9 (adopción anticipada)	9 (adopción anticipada)	7-8 (demostración)
Eficiencia energética	52-70%	55-75%	74-85%
Coste del sistema (USD/kW)	600-1100	800-1250	> 1850
Temperatura de funcionamiento (°C)	60-80	50-85	600-1000
Presión de funcionamiento (bar)	1-30	30-80	Cerca de la atmósfera
Vida útil de la pila (horas)	60,000-90,000	30,000-80,000	10,000-40,000

FUENTE: GOLDMAN SACHS (2022). CARBONOMÍA; SBH4 CONSULTING (2021). ELECTROLIZADORES: AEC, AEM, PEM

Y SOE PARA LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO (Y SYNGAS); SMITH, C., HILL, A.K. Y TORRENTE- MURCIANO, L. (2020). PAPEL ACTUAL Y FUTURO DEL AMONIACO DE HABER-BOSCH EN UN PANORAMA ENERGÉTICO SIN CARBONO. ENERGY & ENVIRONMENTAL SCIENCE, 13(2), 331-344; IEA (2023). GLOBAL HYDROGEN REVIEW 2023.

Las tendencias de solicitud de patentes que se muestran en la Figura 2-2 revelan la importancia de la producción de hidrógeno basada en la electrólisis del agua desde la perspectiva de las tendencias de innovación. En concreto, el número de familias de patentes relacionadas con la electrólisis del agua ha aumentado significativamente desde 2015. Esto contrasta claramente con el estancamiento de las familias de patentes relacionadas con el hidrógeno producido mediante tecnologías de combustibles fósiles.

En 2020 se presentaron a nivel internacional más de 1.800 familias de patentes relacionadas con la electrólisis del agua. China, Japón, Corea del Sur, Estados Unidos y Alemania son los cinco

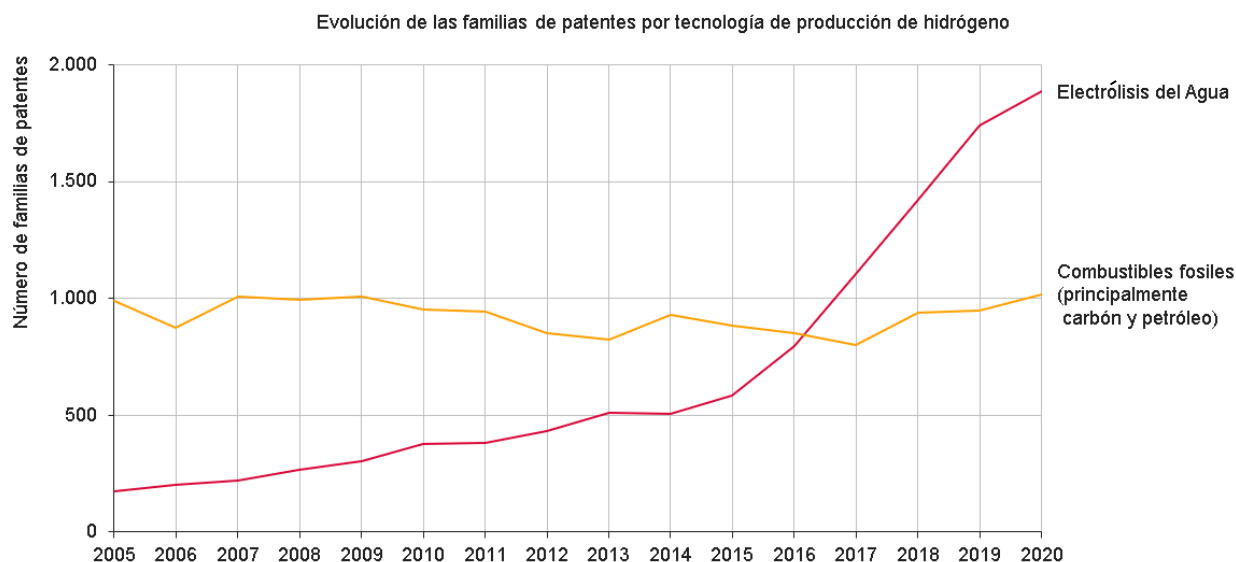
primeros países donde se han desarrollado patentes. Por su parte, Toshiba, Siemens, Honda, Panasonic y Bosch son las cinco empresas que más familias de patentes han presentado en el ámbito de la electrólisis del agua para la producción de hidrógeno.⁶

⁴ AIE (2023a). Op. Cit.

⁵ AIE (2020). Innovación en energía limpia.

⁶ OEP e IRENA. [IRENA Electrolysers Patents Insights](#) (consultado en octubre de 2023).

FIGURA 2-2: TENDENCIA DE LAS FAMILIAS DE PATENTES POR TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO



FUENTE: OFICINA EUROPEA DE PATENTES (EPO) Y AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES (IRENA). [IRENA ELECTROLYSERS PATENTS INSIGHTS](#) (CONSULTADO EN OCTUBRE DE 2023)

2.2. Cadena de valor del hidrógeno verde

La figura 2-3 presenta una visión simplificada de la cadena de valor del hidrógeno verde. Se calcula que, para ajustarse a las previsiones de la AIE para 2050, la cadena de valor del hidrógeno verde podría requerir más de 3 billones de dólares de inversión acumulada distribuida en todos los segmentos (desde la producción hasta la distribución).⁷ En particular, se señala que las

intervenciones gubernamentales son fundamentales para aprovechar la oportunidad de inversión.⁸ A más corto plazo, el gasto en proyectos relacionados con la instalación de electrólisis, la infraestructura de transporte de hidrógeno (acondicionamiento, almacenamiento y distribución) y la conversión a combustibles basados en hidrógeno podría alcanzar los 100.000 millones de dólares en todo el mundo para 2030.⁹

A medida que las inversiones se extienden de la producción a las actividades posteriores de la cadena de valor, se espera que parte del importante capital invertido para la adquisición de instalaciones y los contratos de instalación fluya hacia los proveedores con el fin de financiar la compra de insumos clave.¹⁰ En consecuencia, se espera que esta afluencia de inversiones estimule un nuevo crecimiento de las actividades manufactureras

FIGURA 2-3: CADENA DE VALOR DEL HIDRÓGENO VERDE



FUENTE: GIZ, FICHTNER (2020). HIDRÓGENO - CADENAS DE VALOR LEGISLACIÓN INTERNACIONAL.

⁷ Goldman Sachs (2022). Carbonomía

⁸ Ibid.

⁹ AIE (2023a). Op. Cit.

¹⁰ Goldman Sachs (2022). Op. cit.

Los principales fabricantes de electrolizadores proceden principalmente de China, la UE y Estados Unidos. China y la UE poseen las mayores cuotas de capacidad mundial de fabricación de electrolizadores, con un 37% y un 31%, respectivamente. Incentivadas por la Ley de Reducción de la Inflación (IRA), varias instalaciones nuevas de fabricación de electrolizadores empezarán a funcionar en EE. UU. en los próximos años. Se prevé que, a finales de esta década, la capacidad de fabricación de electrolizadores de Estados Unidos represente el 16% de la capacidad mundial, por detrás del 21% de China y el 19% de la UE.¹¹ Los electrolizadores chinos son actualmente menos eficientes que los fabricados en la UE y Estados Unidos, mientras que su coste es aproximadamente un tercio de los de la UE y Estados Unidos.¹²

Aunque la electrólisis del agua es la tecnología central de la producción de hidrógeno verde, existen múltiples tecnologías, componentes y sistemas en toda la cadena de valor que ofrecen oportunidades de fabricación a las empresas y países dispuestos a contribuir a la creación de esta industria mundial. Sin embargo, muchas de las tecnologías implicadas en la cadena de suministro del hidrógeno verde siguen estando poco preparadas y requieren una innovación significativa para estar plenamente listas para su comercialización.

2.3. Tendencias del mercado y puntos de debate

La incipiente industria mundial del hidrógeno verde representa una oportunidad clave para un futuro con balance cero. Sin embargo, aún hay que superar múltiples obstáculos para crear un mercado comercial sostenible que pueda conectar las zonas de producción de bajo coste con las de alta demanda. A continuación se resumen algunas de las tendencias clave, los últimos avances y los puntos de debate abiertos:

- **Un total de 41 gobiernos cuentan ya con una estrategia sobre el hidrógeno.** Sin embargo, el hidrógeno de bajas emisiones sigue representando menos del 1 % de la producción y el uso mundiales de hidrógeno, muy por debajo del nivel necesario para cumplir los objetivos climáticos de aquí a 2030.¹³
- **El nivel de madurez de las tecnologías relacionadas con el hidrógeno varía mucho a lo largo de la cadena de suministro, lo que añade incertidumbre a las previsiones de costes y uso final.** Mientras que algunas tecnologías verdes de producción de hidrógeno, como la alcalina y la PEM, están relativamente maduras y en fase comercial, se necesita más innovación en el transporte, el almacenamiento y las aplicaciones de uso final. En concreto, la AIE informa de que las tecnologías de uso final están marcadamente inmaduras y la innovación se está produciendo a un ritmo más lento.¹⁴ La incertidumbre tecnológica añade una capa de complejidad al mercado del hidrógeno, ya que los costes de producción y las proyecciones de la demanda final siguen siendo inciertas.
- **Aunque los costes se han reducido en los últimos años, el hidrógeno verde sigue siendo entre 2 y 3 veces más caro que el hidrógeno azul** producido a partir de gas natural con captura y almacenamiento de carbono, y se necesitan más reducciones de costes para incentivar su producción y uso (véase la Figura 2-4 para el desglose de costes de la cadena de suministro del hidrógeno verde).¹

¹¹ AIE (2023b). [Electrolizadores](#).

¹² Ejecutivo Verde (2023). [La carrera por el hidrógeno verde: Europe, US, and China Compete for Dominance](#).

¹³ AIE (2023b). Op. cit.

¹⁴ AIE (2023b). Ibid.

¹⁵ IRENA (2020). Green Hydrogen cost reduction: scaling up electrolyzers to meet the 1.5 °C climate goal.

FIGURA 2-4: COSTES DE PRODUCCIÓN ASOCIADOS A LA CADENA DE VALOR DEL HIDRÓGENO VERDE



FUENTE: USDOE (2021). ESTRATEGIA NACIONAL DE HIDRÓGENO LIMPIO Y HOJA DE RUTA.

- **En este sentido, los mayores componentes del coste de la producción de hidrógeno verde son el precio de la electricidad renovable y el coste de las instalaciones de electrólisis.** La electricidad de bajo coste es una condición esencial para producir hidrógeno verde competitivo.¹⁶ Aunque la innovación es crucial para reducir el coste y mejorar el rendimiento del electrolizador, la reducción de costes en los electrolizadores no puede compensar los altos precios de la electricidad.¹⁷ Por ejemplo, según el Segun los modelos del Departamento de Energía de EE. UU. (DOE), para una gran planta de hidrógeno PEM que produzca 50.000 kg/día, la electricidad de entrada podría suponer algo más del 85% del coste de producción utilizando un precio de referencia de la electricidad de 7,3 céntimos USD/kWh.¹⁸
- **En términos de viabilidad del comercio de hidrógeno, la tecnología y la eficiencia de la producción deben compensar el coste del transporte del hidrógeno desde las zonas de producción de bajo coste hasta las zonas de alta demanda.** En otras palabras, el coste de producción del hidrógeno verde debe ser lo suficientemente menor en la región exportadora que en la importadora para compensar el coste de transporte.¹⁹ En la actualidad, se transportan cantidades muy limitadas de hidrógeno puro. En su lugar, la mayor parte del hidrógeno se comercializa como amoníaco, con un coste de transporte actual de unos 8 dólares/kgH₂ (basado en 20.000 kilómetros).²⁰ Sin embargo, la conversión del hidrógeno en hierro y combustibles sintéticos podría resultar más atractiva, ya que ambos tienen costes de transporte más bajos, una gran demanda en los mercados mundiales y una infraestructura mundial existente que no requeriría más cambios que la incorporación del hidrógeno verde a sus procesos de producción.²¹

Aunque importante, el coste podría no ser el único factor implicado en las futuras decisiones y asociaciones comerciales, que también podrían tener en cuenta la seguridad energética y factores geopolíticos. Se prevé que el coste de producir hidrógeno verde se reduzca a 1-1,3 USD/kgH₂ para la mayoría de las regiones en 2050, mientras que el coste de transportar amoníaco disminuirá de 8 USD/kgH₂ a 0,8 USD/kgH₂ (sobre la base de 20.000 km) durante el mismo periodo.²² Si esta proyección se materializa, la mayoría de los países tendrán múltiples socios comerciales potenciales con una pequeña penalización por los costes de cambio y, por tanto, los socios comerciales podrían definirse no sólo por los costes, sino también por la seguridad energética y la geopolítica.²³

¹⁶ IRENA (2020). Op. cit.

¹⁷ ibid.

¹⁸ Peterson, D., Vickers, J. y DeSantis, D. (2020). NREL Hydrogen Production Cost from PEM Electrolysis - 2019. Departamento de Energía de los Estados Unidos (USDOE).

¹⁹ IRENA (2022). Global Hydrogen trade to meet the 1.5°C climate goal. Parte I: perspectivas comerciales para 2050 y camino a seguir.

²⁰ ibid.

²¹ ibid.

²² IRENA (2022). Op. cit.

- **La mitad de los proyectos mundiales de hidrógeno de bajas emisiones anunciados se encuentran aún en las primeras fases de desarrollo.** Sólo el 4% de los proyectos de producción anunciados han recibido una decisión final de inversión.²⁴ Además, la inflación está aumentando los costes de capital y financieros, amenazando la viabilidad financiera de los proyectos existentes, estimando la AIE que un aumento de 3 puntos porcentuales en el coste del capital podría elevar el coste total del proyecto en casi un tercio.²⁵
- **Aparte de los proyectos de producción, ninguno de los proyectos de infraestructuras comerciales anunciados en todo el mundo ha llegado a una decisión final de inversión.** Aunque se han anunciado unas 50 terminales e infraestructuras portuarias para el hidrógeno y los combustibles basados en el hidrógeno, avanzan lentamente y es probable que tengan largos plazos de ejecución, por lo que es fundamental ponerlas en marcha cuanto antes para cumplir los objetivos mundiales de producción y comercio para 2030.²⁶
- **Se están poniendo a disposición de los gobiernos grandes cantidades de fondos para apoyar los primeros proyectos de hidrógeno verde a gran escala.** Sin embargo, el tiempo que transcurre entre el anuncio de los planes y la entrega de los fondos está retrasando la ejecución de los proyectos en todo el mundo.²⁷
- **La demanda mundial de hidrógeno sigue concentrada en las aplicaciones tradicionales, y las medidas gubernamentales se centran más en apoyar la producción de hidrógeno verde que en incentivar la demanda.**²⁸ Esto pone en peligro la viabilidad de toda la industria del hidrógeno verde, ya que la baja demanda dificulta que los productores consigan inversiones a gran escala. Por ejemplo, la AIE informa de que empresas de todo el mundo han firmado acuerdos de compraventa de sólo 2 Mt de hidrógeno de bajas emisiones, y más de la mitad son acuerdos preliminares con condiciones no vinculantes, muy lejos aún de los requisitos de demanda necesarios para cumplir los objetivos climáticos fijados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).²⁹
- **La interoperabilidad del mercado y de la normativa sigue siendo un reto para la adopción del hidrógeno verde, ya que las normativas emergentes muestran divergencias significativas en todo el mundo.**³⁰ Esto puede conducir a la fragmentación del mercado y podría abordarse mediante la cooperación internacional hacia la armonización y el reconocimiento mutuo de los sistemas de certificación.
- **La creación de una cadena de valor mundial del hidrógeno verde requiere una intervención política decisiva por parte de los gobiernos de todo el mundo.** Las prioridades políticas temáticas incluyen la necesidad de madurar y ampliar las tecnologías básicas, expandir las operaciones de fabricación, consolidar las infraestructuras clave, crear demanda y establecer mercados comerciales. La intervención gubernamental en toda la cadena de suministro es necesaria para superar estos retos y poner en marcha un sector tecnológico emergente que necesita construir una compleja cadena de valor.³¹

²³ Ibid.

²⁴ AIE (2023b). Op. cit.

²⁵ Ibid.

²⁶ Ibid.

²⁷ AIE (2023b). Op. cit.

²⁸ Ibid.

²⁹ Ibid.

³⁰ Ibid.

³¹ Ibid.

3. Áreas de acción clave emergentes para el desarrollo de una industria verde del hidrógeno en Chile

Un marco común utilizado para comprender la dinámica implicada en la aparición de una nueva industria es el *ciclo de vida industrial*. Este modelo simplifica la evolución industrial en fases o etapas dentro de la vida útil de una industria. La mayoría de los modelos de ciclo de vida tienen cuatro fases: *surgimiento*, *crecimiento*, *madurez* y *declive*. Aunque los límites entre estas fases son algo arbitrarios y pueden carecer de distinciones claras, la esencia del marco del ciclo de vida industrial es que al principio el mercado crece rápidamente, entran muchas empresas y la innovación de productos es fundamental. A medida que la industria madura, el crecimiento de la producción se ralentiza, las tasas de entrada disminuyen, el número de productores se reduce, la innovación de productos pierde importancia y cada vez se hace más hincapié en la innovación de procesos. Finalmente, las industrias pueden entrar en una fase de declive como consecuencia de factores como la saturación del mercado, la obsolescencia tecnológica o el cambio de preferencias de los consumidores.³²

El ciclo de vida de la industria ofrece a las partes interesadas información sobre los factores que permiten la transición a la siguiente fase y los obstáculos que deben eliminarse o reducirse en cada etapa. A partir del análisis presentado en la Figura 3-1, se pueden identificar una serie de áreas de acción clave para el desarrollo de la industria del hidrógeno verde en Chile, como se describe a continuación.

Reforzar el caso de negocios de los proyectos a gran escala

Ante todo, es imperativo reforzar el caso de negocios a favor de los proyectos a gran escala en el país. Esto requiere una reducción estratégica de los costes de la electricidad renovable y la creación de infraestructuras, marcos normativos y sistemas de incentivos que faciliten las decisiones de inversión de las empresas. Al mismo tiempo, el aumento de la capacidad de fabricación es fundamental para satisfacer la creciente demanda de hidrógeno verde y generar confianza entre los inversores. Aprovechar las crecientes economías de escala es una fuerza motriz que garantiza que, a medida que la industria se expande, el coste unitario de producción disminuye, haciendo que el hidrógeno verde sea económicamente más viable.

Desarrollo de proveedores nacionales

Igualmente crucial es el desarrollo de una sólida red de proveedores nacionales de fabricación. Mediante el fomento de los proveedores locales, Chile puede mejorar el valor añadido local, creando un ecosistema autosuficiente que no sólo satisfaga la demanda de la industria, sino que también fortalezca la economía nacional. La colaboración entre los proyectos a gran escala y los proveedores locales se convierte en crucial, fomentando el crecimiento mutuo y garantizando una cadena de suministro estable y diversa para la industria del hidrógeno verde.

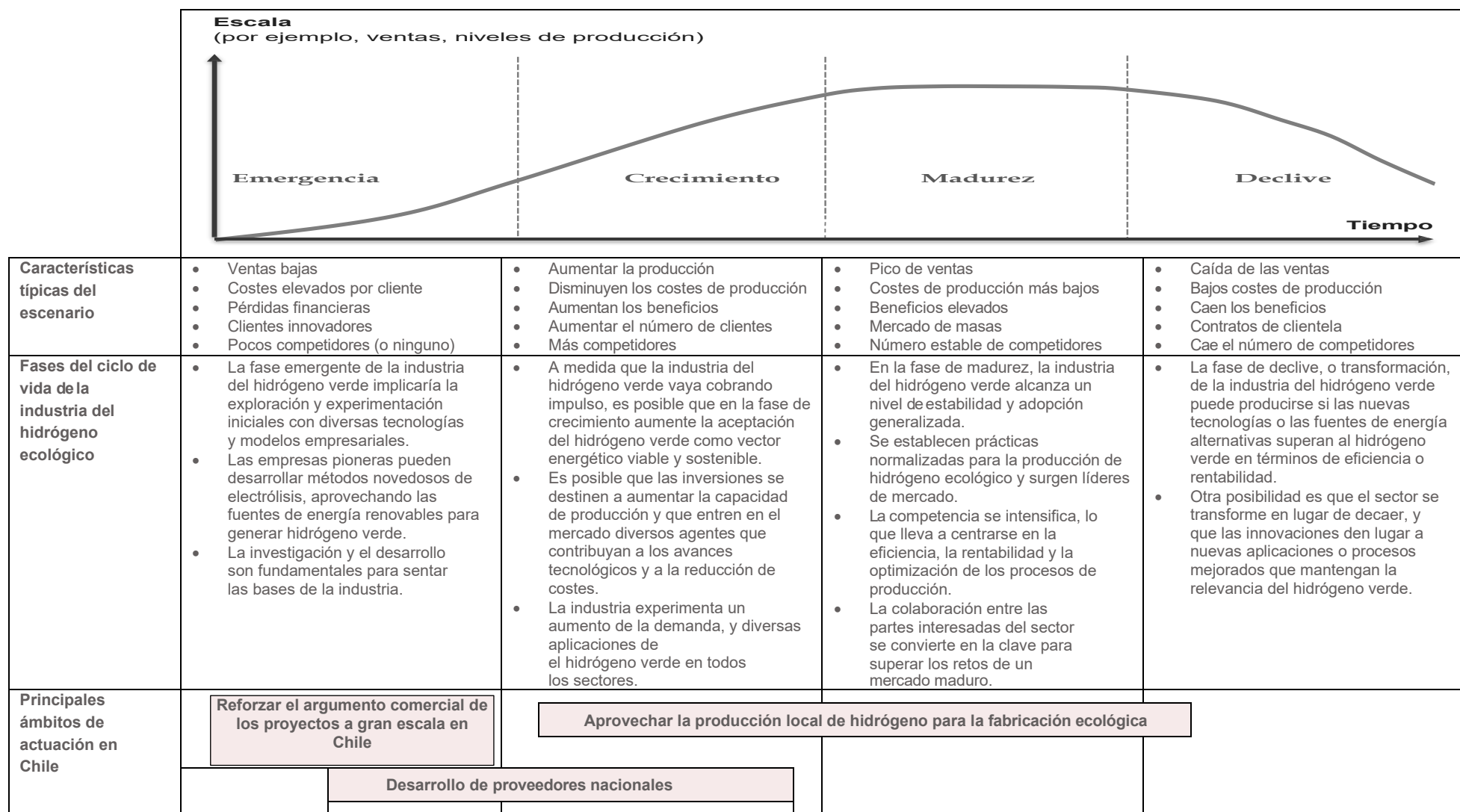
Aprovechar la producción local de hidrógeno para invertir en fabricación ecológica

Además, Chile puede aprovechar estratégicamente su hidrógeno verde de producción local para atraer industrias manufactureras comprometidas con la descarbonización. Al ofrecer una fuente

segura de hidrógeno verde, el país se posiciona como una ubicación competitiva a nivel mundial para las industrias dedicadas a la sostenibilidad. Este uso estratégico del hidrógeno verde aumenta el atractivo de Chile en la escena internacional y apoya su aspiración de convertirse en un centro de fabricación verde. En conjunto, estas iniciativas forman un enfoque global, no sólo para satisfacer las necesidades de hidrógeno verde, sino también para mejorar la competitividad del país. Así como también establecer a Chile como un actor resistente y competitivo a nivel mundial en el ámbito del hidrógeno verde, contribuyendo al crecimiento económico sostenible y al cuidado del medio ambiente.

³² S. Klepper (1997). Ciclos de vida de la industria. *Ind. Corp. Change*, 6(1), 145-181.

FIGURA 3-1: CICLO DE VIDA DE LA INDUSTRIA DEL HIDRÓGENO VERDE - ÁREAS DE ACCIÓN CLAVE PARA CHILE



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.1. Reforzar el caso de negocios de los proyectos de hidrógeno verde a gran escala

Creada en 2020, la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde de Chile estableció ambiciosos objetivos para desarrollar el sector, entre los que se incluyen:

- 1. Capacidad de producción:** El objetivo de la estrategia es alcanzar una capacidad de producción de electrolizadores de 5 gigavatios (GW) en 2025, que aumentaría a 25 GW en 2030, lo que se traduciría en un objetivo de producción nacional de más de 1.200 kt de hidrógeno verde al año en 2030.
- 2. Reducción de costes:** Uno de los principales objetivos es reducir significativamente el coste de la producción de hidrógeno verde, con el fin de producir el hidrógeno verde de menor coste del mundo en una horquilla de 1,50 a 2,00 dólares por kg para 2030.
- 3. Exportación y uso local:** Chile planea aprovechar sus recursos energéticos renovables para producir hidrógeno verde tanto para uso nacional como para exportación, con el objetivo de situarse entre los tres principales exportadores de hidrógeno en 2040.

En consonancia con estos objetivos, en los últimos años se han anunciado varios proyectos de hidrógeno verde a gran escala, tal y como se resume en la Tabla 3-1. En la actualidad, un total de 6 de los 59 proyectos anunciados están operativos. Un total de 6 de los 59 proyectos anunciados están actualmente operativos.³³ Sin embargo, su escala de producción es aún demasiado baja para ser comercialmente significativa. Del mismo modo, se han anunciado tres grandes proyectos de infraestructura relacionados con el almacenamiento de amoníaco, pero siguen en fase de estudio conceptual o de viabilidad.

TABLA 3-1: PROYECTOS ANUNCIADOS DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO VERDE EN CHILE

Proyectos de producción					
Nombre del proyecto	Fecha prevista en línea	Estado	Tecnología	Producto	Capacidad normalizada (kt H2/y)
Hy-Fi	2025	Concepto	Otras electrólisis	Amoníaco	474.5
Haru Oni, fase 3		Concepto	Otras electrólisis	Varios	346.5
Hoasis (TCP Gecomp)	2024	Concepto	Otras electrólisis	Amoníaco	363.8
HValleSur		Concepto	Otras electrólisis	H2	0.9
METH2 Atacama		Concepto	Otras electrólisis	MeOH	52.0
Hidrogen Hub de Atacama, fase 2	2027	Concepto	Otras electrólisis	H2	346.5
Selknam	2026	Concepto	Otras electrólisis	Amoníaco	85.0
Aeropuerto de Santiago	2025	Concepto	Otras electrólisis	H2	
Vientos Magallánicos	2030	Concepto	Otras electrólisis	Amoníaco	145.5
Pegaso Verde		Concepto	Otras electrólisis	Amoníaco	276
Kalisaya - etapa 1		Concepto	Otras electrólisis	H2	0.2
Kalisaya - etapa 2		Concepto	Otras electrólisis	H2	1.6

³³ AIE (2023). [Base de datos de proyectos de hidrógeno](#). Última actualización en octubre de 2023

Kalisaya - etapa 3		Concepto	Otras electrólisis	H2	15.6
Proyecto Zorzal	2024	Concepto	Otras electrólisis	H2	0.22
Proyecto Génesis H2	2025	Concepto	Otras electrólisis	H2	17.3
Cerro Dominador - Proyecto H2 CSP +PV	2024	Concepto	Otras electrólisis	H2	1.0
Proyecto solar H2	2024	Concepto	Otras electrólisis	H2	0.16
Proyecto HYDRA		Concepto	Otras electrólisis	H2	156
Cabeza de Mar	2027	Concepto	Otras electrólisis	Amoníaco	338
MowiUACH		Concepto	Otras electrólisis	H2	
Proyecto Volta	2027	Concepto	Otras electrólisis	Amoníaco	174
Los Amigos del Verano - fase 1	2027	Concepto	Otras electrólisis	H2	180.1
Los Amigos del Verano - fase 2	2029	Concepto	Otras electrólisis	H2	180.1
Los Amigos del Verano - fase 3	2031	Concepto	Otras electrólisis	H2	180.1
Los Amigos del Verano - fase 4	2033	Concepto	Otras electrólisis	H2	180.1
HyEx - fase 1	2025	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	Amoníaco	4.5
HyEx - fase 2	2030	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	Amoníaco	346.5
Proyecto Power to Ammonia de AES Andes	2025	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	Amoníaco	71.4
Haru Oni, fase 2	2025	Estudio de viabilidad	PEM	Varios	61.9
HNH	2026	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	Amoníaco	225.2
Hidrógeno Verde Bahía Quintero	2025	Estudio de viabilidad	ALK	H2	1.7
H2 Magallanes	2025	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	Amoníaco	1386.0
Proyecto Faro del Sur	2024	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	Combustibles Sintéticos	41.6
HyPro Aconcagua	2024	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	H2	3.5
Antofagasta Mining Energía renovable - AMER H2	2025	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	MeOH	13.9
Acero verde - H2V CAP	2025	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	H2	2.1
Hidrogen Hub de Atacama, fase 1	2023	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	H2	1.7
Faraday - ACH-MRP	2027	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	Amoníaco	346.5
H1 Magallanes	2028	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	Amoníaco	170.0
Proyecto de San Pedro de Atacama	2024	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	H2	0.3
Pauna Un futuro más verde - NH3	2025	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	Amoníaco	52.0
Proyecto Adelaida	2024	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	H2	0.5
Proyecto Gente Grande - EG Chile Magallanes	2028	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	H2	630
Enap - Cabo Negro	2025	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	H2	

Pauna Un futuro más verde - H2	2025	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	H2	17.3
Renewastable Kosten Aike	2025	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	H2	2
Proyecto Pionero	2028	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	Amoníaco	315
Proyecto Tango	2027	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	Amoníaco	44
Tren de hidrógeno	2024	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	H2	
Hidrógeno verde Llaquedona	2027	Estudio de viabilidad	Otras electrólisis	Amoníaco	225
Proyecto minero San Pedro	2023	FID/construcción	Otras electrólisis	H2	
Proyecto UCSC	2023	FID/construcción	Otras electrólisis	H2	0.0
Proyecto ARICHILE		FID/construcción	Otras electrólisis	H2	3.5
Cerro Pabellón Microgrid 450 kWh Hidrógeno ESS	2017	Operativo	Otras electrólisis	H2	0.0
Wally - Carretillas elevadoras Walmart Quilicura	2023	Operativo	PEM	H2	0.1
Haru Oni, fase 1	2022	Operativo	PEM	Combustibles Sintéticos	0.1
Generación de hidrógeno Unidad - H2V Las Tórtolas	2021	Operativo	PEM	H2	0.0
H2GN - Electricidad a gas en Coquimbo	2023	Operativo	Otras electrólisis	H2	0.0
Planta Piloto Móvil de H2V	2022	Operativo	Otras electrólisis	H2	0.0
Proyectos de infraestructuras					
Nombre del proyecto	Fecha prevista en línea	Estado	Tecnología	Producto	Tamaño anunciado
HNH	2028	Concepto	Almacenamiento de amoníaco	Amoníaco	850 kt de amoníaco o 150 kt de H2
HyEx-Fase 2	2030	Concepto	Almacenamiento de amoníaco	Amoníaco	700 kt de amoníaco
Terminal Marítimo Gregorio	NA	Estudio de viabilidad	Sin definir	Varios	NA

FUENTE: AIE (2023). BASE DE DATOS DE PROYECTOS DE HIDRÓGENO. ÚLTIMA ACTUALIZACIÓN EN OCTUBRE DE 2023.

Invertir en la producción de hidrógeno verde, un sector y una cadena de valor emergentes, conlleva un perfil de riesgo polifacético. Por ello, el hecho de que se hayan anunciado proyectos no significa necesariamente que vayan a desarrollarse plenamente según lo previsto, debido a la incertidumbre actual y futura del mercado y de las inversiones. Equilibrar estos riesgos requiere una planificación meticulosa, soluciones innovadoras, asociaciones sólidas y un entorno de políticas favorables para sortear las incertidumbres y capitalizar el enorme potencial del hidrógeno verde. Por ejemplo, el desembolso inicial de capital para crear plantas de electrólisis e infraestructuras asociadas plantea riesgos financieros, especialmente dadas las incertidumbres sobre la madurez de la tecnología y las fluctuaciones de los costes. Los retos técnicos, como la optimización de la eficiencia de los electrolizadores o el aumento de la integración de las energías renovables, añaden complejidad. Los riesgos de mercado se derivan de la fase incipiente de la industria del hidrógeno verde, incluida la incertidumbre de la demanda, la volatilidad de los precios (incluidos los precios de los insumos

de electricidad renovable) y los posibles cambios normativos que afecten a los incentivos o subvenciones. Además, los factores geopolíticos, las vulnerabilidades de la cadena de suministro y la competencia pueden influir en el panorama de riesgos.

Por lo tanto, la propuesta de valor de Chile como destino para la inversión en hidrógeno verde se sustenta en varias dimensiones que influyen en las decisiones finales de inversión relacionadas con los proyectos de hidrógeno verde anunciados y futuros a gran escala. El desempeño en estas dimensiones de la propuesta de valor también funciona como punto de referencia frente a países competidores que buscan atraer inversiones similares. Para reforzar el caso de negocios a favor de los proyectos de hidrógeno verde a gran escala, Chile necesita medidas específicas en dimensiones clave, como:³⁴

- disponibilidad de recursos financieros;
- preparación para el mercado de consumo/demanda;
- disponibilidad de energía renovable de bajo coste;
- disponibilidad de agua;
- complejidad de los procesos de concesión de permisos para la construcción de proyectos a gran escala;
- preparación de las infraestructuras de transporte y comercio;
- disponibilidad de mano de obra cualificada;
- madurez y estabilidad del marco regulador (por ejemplo, cuestiones medioambientales y sociales); y
- Disponibilidad de políticas, programas e iniciativas de apoyo a las empresas, incluido el apoyo a la innovación/adopción de tecnologías, el desarrollo de la cadena de suministro y otros incentivos a la producción y el comercio.

La Tabla 3-2 resume las iniciativas existentes seleccionadas y las características contextuales observadas en Chile en torno a estas dimensiones, basándose en la información recopilada de la literatura y las consultas con las partes interesadas locales.

³⁴ Organización del Hidrógeno Verde (2022). [Guía para la contratación de hidrógeno verde: Financiación de proyectos de hidrógeno verde](#).

TABLA 3-2: FORTALECIMIENTO DEL CASO DE NEGOCIOS PARA LOS PROYECTOS DE HIDRÓGENO VERDE A GRAN ESCALA - INICIATIVAS SELECCIONADAS, CARACTERÍSTICAS CONTEXTUALES Y DESARROLLOS RECIENTES

Propuesta de valor dimensión	Iniciativas seleccionadas, características contextuales y evolución reciente
Disponibilidad de recursos financieros	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fondo catalizador PFCH2V de 1.000 millones de dólares de CORFO, el Banco Europeo de Inversiones (BEI), el banco estatal alemán KfW, el Banco Mundial y el Banco Internacional de Desarrollo (BID) para incentivar la inversión del sector privado en proyectos de producción y creación de demanda, mitigando los riesgos y reduciendo los costes asociados. ▪ Crédito Verde: Crédito de hasta el 90% por un importe máximo de 20 millones de USD para apoyar el desarrollo y la ejecución de proyectos que puedan contribuir a mitigar el cambio climático o mejorar la sostenibilidad de las empresas. ▪ Programa de Financiamiento FC: Programa de financiación - financiación a largo plazo mediante créditos de hasta 32 millones de USD, para apoyar a empresas locales con alto potencial de crecimiento actualmente en fase de expansión. ▪ Otros programas son: FOGAIN, Cobertura Pro-Inversión y Garantías Corfo Comercio Exterior COBEX, entre otros.
Preparación del mercado para la absorción /demanda	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Un estudio de 2018 de la GIZ estimó la producción total de hidrógeno en Chile en unas 58.500 toneladas al año. Esto contrasta con el objetivo de 1.200 kt de hidrógeno establecido en la Estrategia Nacional del Hidrógeno de Chile para 2030. ▪ A partir de 2019, los principales consumidores de hidrógeno en Chile fueron las refinerías de petróleo, que utilizan hidrógeno en sus procesos de hidrot ratamiento, con el objetivo de producir combustibles libres de azufre. El hidrógeno utilizado para este fin se ha producido tradicionalmente a partir de gas natural, mediante tecnología SMR en la misma ubicación. ▪ Existen otras fuentes de hidrógeno en Chile, generadas como subproducto de distintos procesos, y en algunos casos venteadas a la atmósfera por no tener un uso interno "cautivo". El resto del hidrógeno consumido y sus derivados es importado. ▪ La penetración en el mercado de las nuevas tecnologías verdes de uso del hidrógeno y sus aplicaciones en sectores alternativos como el transporte y la generación de energía sigue siendo limitada.
Disponibilidad de energía renovable de bajo coste	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A diciembre de 2022, Chile contaba con una capacidad instalada de generación eléctrica de 33.218 MW, de los cuales el 62% correspondía a fuentes renovables (22,3% hidráulica; 24,1% solar; 13,0% eólica; 2,3% biomasa; y 0,3% geotérmica). ▪ Entre 2017 y 2022, el precio medio de la electricidad en Chile fluctuó entre 127,65 USD/MWh (2022) y 193,71 USD/MWh (2021). En junio de 2023, el precio de la electricidad para las empresas en Chile era de 135 USD/MWh, incluidos todos los componentes de la factura eléctrica, como el coste marginal de la energía, la transmisión, la distribución y los impuestos (fuente: GlobalPetrolPrices [2024] con datos de Chilquinta Energía SA, Comisión Nacional de Energía [CNE], Compañía General de Electricidad [CGE], Enel Distribución Chile y Sociedad Austral de Electricidad [Saesa]). ▪ El Departamento de Energía de Estados Unidos estima que, para ser competitivo, el hidrógeno verde necesita electricidad verde a menos de 20 USD/MWh, muy por debajo de los precios actuales de la electricidad en Chile. ▪ Los precios de la electricidad en Chile son actualmente superiores a los de países competidores potenciales como India, Marruecos, China, Sudáfrica, Arabia Saudí y Argentina, pero inferiores a los de países como Estados Unidos, Brasil, Omán, Colombia, España, México, Australia, Reino Unido y Alemania.

Disponibilidad de políticas, programas e iniciativas de apoyo a las empresas

En Chile existe una serie de programas y planes de apoyo a las políticas, entre los que se incluyen:

▪ **Innovación/adopción de tecnología**

- **Programa Tecnológico Para el Uso y Adopción de Hidrógeno en la Industria Chilena:** El objetivo es aumentar la tasa de innovación tecnológica en los productos y procesos de empresas de sectores productivos y/o económicos específicos, a través de la ejecución coordinada de carteras de proyectos de desarrollo tecnológico que permitan reducir y/o cerrar las brechas identificadas, mejorar la productividad del sector y contribuir a su diversificación y/o sofisticación. CORFO financia hasta el 60% del costo total, hasta un máximo de USD3,8 millones.
- **Programas Tecnológicos Estratégicos:** Aumento de la tasa de innovación tecnológica en los productos y procesos de empresas de sectores productivos y/o económicos específicos, a través de la ejecución coordinada de carteras de proyectos de desarrollo tecnológico. Hasta el 70% del costo total del proyecto es financiado por CORFO, para proyectos inferiores a 11 millones de dólares.
- **Innova Alta Tecnología:** Apoya el desarrollo de proyectos de I+D con potencial de escalabilidad global y alto riesgo tecnológico y comercial con subvenciones de hasta 660.000 dólares.
- **Crea y Valida:** Apoya el desarrollo de productos, procesos y/o servicios de base tecnológica nuevos o mejorados, desde prototipos hasta su validación a escala industrial y/o comercial, mediante la concesión de subvenciones de hasta 240.000 USD.
- **Ley I+D:** El objetivo de la Ley de Investigación y Desarrollo (I+D) es mejorar la capacidad competitiva de las empresas chilenas estableciendo un incentivo fiscal a la inversión en I+D. Esto incluye un crédito fiscal que permite a las empresas deducir el 35% de sus gastos, mientras que el otro 65% puede deducirse de la base imponible en concepto de costes. Juntos, estos dos mecanismos hacen que el gobierno financie efectivamente el 52,55% de un proyecto de investigación y desarrollo.

▪ **Desarrollo de la cadena de suministro**

- **Acuerdo de Cooperación Magallanes:** Acuerdo de cinco puntos entre el gobierno central, el gobierno regional y empresas del sector privado vinculadas al sector del hidrógeno verde para establecer una ruta de trabajo que, además de consolidar el desarrollo del hidrógeno verde en Chile, promueva la empleabilidad, el encadenamiento productivo, así como el desarrollo de infraestructuras e innovación. Los cinco pilares incluyen: i) recursos humanos para la industria del hidrógeno verde; ii) encadenamientos productivos para potenciar a los proveedores locales; iii) innovación tecnológica a través de centros de I+D y promoción de la demanda local; iv) infraestructura común, incluyendo un puerto marítimo, redes de suministro eléctrico, carreteras y recursos hídricos; y v) desarrollo regional armónico a través de una estrategia de planificación urbana.
- **Solicitud de información para la fabricación de electrolizadores de hidrógeno ecológicos:** Lanzada en 2023, recibió el interés de unas 10 empresas internacionales para explorar opciones para producir electrolizadores en Chile. Se espera que se convierta en una RFP (solicitud de propuestas) en 2024.
- **Programa Transforma:** Contribuye a la mejora de la competitividad de las empresas en un sector específico (por ejemplo, la industria manufacturera), en un ámbito en el que existe un importante potencial de valor.

	<p>y el crecimiento empresarial. El programa destina 143.000 y 200.000 USD a la elaboración de hojas de ruta regionales y nacionales, respectivamente, para apoyar el desarrollo productivo, además de 528.000 y 825.000 USD para su aplicación, respectivamente.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Programa Transforma Magallanes H2V: El programa busca acelerar el desarrollo e implementación de todos los aspectos relacionados con la producción de hidrógeno verde. En diciembre de 2023 se anunció un presupuesto aprobado cercano a los USD500.000, destinado a abordar las brechas detectadas en las áreas de capacitación y desarrollo productivo local de la cadena del hidrógeno verde en Magallanes. ○ Red Proveedores: El objetivo es fortalecer las cadenas productivas de suministro, promoviendo el trabajo colaborativo entre empresas y proveedores, fortaleciendo la relación estratégica entre proveedores y demandantes, y mejorando su propuesta de valor y el acceso a nuevos mercados. El programa ayuda a las empresas a identificar y abordar las carencias de las empresas proveedoras y de la cadena de producción, mediante el desarrollo y fortalecimiento de las capacidades de gestión, las competencias técnicas y tecnológicas y la innovación. Los beneficios incluyen la cofinanciación de hasta el 50% de los estudios de diagnóstico, hasta un máximo de 11.000 USD. <p>▪ Otros incentivos a la producción y el comercio</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Subvención para electrolizadores: Subvención de 50 millones de dólares para apoyar la compra e instalación de electrolizadores y sistemas auxiliares en nuevos proyectos de producción de hidrógeno verde, organizada por CORFO. ○ Programa Aceleradora Hidrógeno Verde: Promueve el consumo de hidrógeno verde doméstico por parte de la industria local, centrándose en proyectos de autoproducción o autoconsumo. En la primera fase, el programa concede hasta el 70% del coste de desarrollo de ingeniería de un nuevo proyecto, hasta 33.000 dólares, para acercar el proyecto a la fase de ejecución. En la segunda fase, los proyectos seleccionados podrán recibir hasta 880.000 dólares para cubrir los costes de adquisición e instalación de bienes de equipo. ○ Capital Humano para la Innovación: Potencia la capacidad tecnológica de las empresas mediante la contratación de profesionales expertos en materias de I+D que puedan identificar oportunidades de productividad y/o competitividad. InnovaChile cofinancia proyectos de hasta 44.000 USD. ○ Red Mercados: Apoya a las PYME para que exporten, directa o indirectamente, financiando hasta el 90% del coste de un proyecto, con un valor no superior a 44.000 USD.
Complejidad de los procesos de concesión de permisos para la construcción de proyectos a gran escala	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Los entrevistados consultados para este proyecto señalaron que las empresas pueden necesitar entre 8 y 10 años para obtener los permisos necesarios para iniciar la construcción de proyectos de hidrógeno verde a gran escala. ▪ Una vez conseguido esto, la disponibilidad de terrenos y materiales no se considera un problema. Sin embargo, la disponibilidad de mano de obra en zonas remotas de las regiones septentrional y meridional del país podría plantear problemas en el futuro. ▪ Los recientes proyectos de ley de Sistema Inteligente de Permisos y de Evaluación Ambiental 2.0, presentados por el Gobierno en enero de 2024, representan medidas pertinentes para reducir la complejidad de los procesos de concesión de permisos.
Preparación de las infraestructuras de transporte y comercio	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Las partes interesadas consultadas informaron que la infraestructura de transporte, transmisión de energía y exportación (es decir, terminales portuarias) necesaria para apoyar las operaciones de producción de hidrógeno verde es actualmente limitada en las regiones del norte y del sur del país, donde se espera que se ubique la producción. En particular, se considera que la infraestructura en la región austral de Magallanes está casi totalmente ausente y es probable que requiera un mayor valor de inversión. ▪ Un estudio del BID de 2022 en el que se evaluaban las vías de desarrollo de los polos de hidrógeno en Chile estimaba que en las regiones de Antofagasta y Magallanes se necesitarían inversiones acumuladas de más de 70.000 y 100.000 millones de dólares en 2050, respectivamente, para establecer y desarrollar la infraestructura necesaria para respaldar las operaciones de hidrógeno ecológico.
Madurez y estabilidad del marco regulador	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se han realizado avances normativos en torno a los siguientes ámbitos clave: <ul style="list-style-type: none"> ○ Ley de eficiencia energética. Desde febrero de 2021, Chile cuenta con su primera Ley de Eficiencia Energética, para promover el uso racional y eficiente de los recursos, principalmente en los sectores de transporte, industria, minería, residencial, público y comercial. ○ Finalización de una hoja de ruta para la regulación del hidrógeno verde y sus derivados.

Disponibilidad de mano de obra cualificada	<p>Pasar a la plena aplicación representaría un hito importante.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Normativa sobre la seguridad del hidrógeno verde: finalizada la consulta pública. ○ Ventana al futuro": la iniciativa consistió en un periodo único y excepcional para asignar directamente terrenos para la instalación de plantas de producción de hidrógeno verde sin necesidad de licitación pública. ○ Iniciativa de hidrógeno verde para mezclar con gas natural. ○ Ley de fomento del almacenamiento: incorporación de un esquema de generación-consumo para proyectos de hidrógeno verde que inyecten y retiren energía de la red.
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La incipiente industria del hidrógeno verde necesitará trabajadores con los conocimientos técnicos y de ingeniería necesarios para instalar, operar y mantener instalaciones y sistemas clave. ▪ En el pasado, Chile ha tenido éxito en la formación de profesionales y técnicos especializados en sectores prioritarios. Por ejemplo, en el sector frutícola, la Universidad de Chile y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) establecieron programas de formación técnica para hacer frente a la escasez de personal cualificado. En 1965 también se estableció un programa de intercambio entre la Universidad de Chile y la Universidad de California. ▪ Sin embargo, aún faltan programas específicos para el sector del hidrógeno verde.

FUENTES: ENTREVISTAS; HYDROGEN INSIGHT (2023). CHILE AUMENTA EL FONDO DE HIDRÓGENO VERDE A MIL MILLONES DE DÓLARES Y SE COMPROMETE A PROTEGER A LOS PRODUCTORES FRENTE A CIERTOS "RIESGOS FINANCIEROS"; MINISTERIO DE ENERGÍA (2021). ESTRATEGIA NACIONAL DE HIDRÓGENO VERDE Y LÍNEAS DE ACCIÓN; HARTMANN, N. Y MARTINEZ, K. (2019). CREACIÓN DE UNA ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO DE UN MERCADO DE HIDRÓGENO VERDE EN CHILE A TRAVÉS DE ALIANZAS PÚBLICO-PRIVADAS. INFORME IN-DATA DE LA CDT; NUESTRO MUNDO EN DATOS (2023). CHILE - ENERGY COUNTRY PROFILE; CLIMATE SCOPE (2023). CHILE; AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA (2023); GLOBAL HYDROGEN REVIEW 2023; GLOBALPETROLPRICES (2024). PRECIOS DE LA ELECTRICIDAD EN CHILE; GENERADORES DE CHILE (2024). GENERACIÓN ELÉCTRICA EN CHILE

3.2. Desarrollo de proveedores nacionales

Esta sección describe las características clave del sector manufacturero en Chile y proporciona una evaluación preliminar sobre si las cadenas de suministro de fabricación están preparadas para apoyar el desarrollo del sector del hidrógeno verde en el país.

Composición del sector manufacturero chileno

El sector manufacturero en Chile desempeña un papel importante en la economía del país. La industria manufacturera chilena cuenta con 3.733 empresas que emplean a un total de 874.185 trabajadores.³⁵

En 2022, la industria manufacturera chilena representó:

- 10% del PIB (29 400 millones de dólares)³⁶
- 10% del empleo total³⁷
- 20% de las exportaciones de mercancías (98.600 millones de dólares)³⁸

³⁵ Instituto Nacional de Estadística. Encuesta Nacional Industrial Anual (censo de empresas de más de 10 asalariados).

³⁶ Banco Mundial (2023). Indicadores del desarrollo mundial.

³⁷ Instituto Nacional de Estadística.(2023). Empleo por rama.

³⁸ UNCTAD (2023). Perfil general de país: Chile.

Sin embargo, gran parte de la producción manufacturera del país se basa en productos basados en recursos naturales. Según su intensidad tecnológica, el valor añadido manufacturero de Chile se estructura de la siguiente manera:³⁹

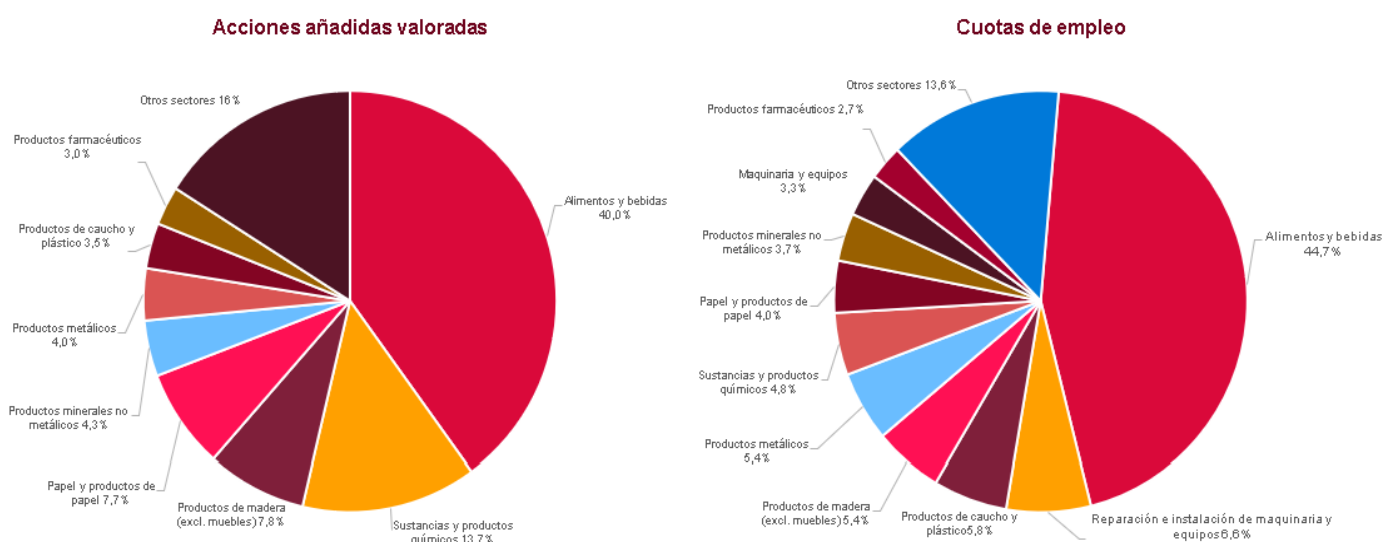
- 89,6% fabricación basada en recursos (es decir, alimentos y bebidas, productos químicos, productos de madera)
- 6% fabricación de tecnología media (es decir, productos minerales no metálicos; metales básicos)

- 2,7% Industria manufacturera de baja tecnología (papel y productos de papel; prendas de vestir)
- 1,8% fabricación de alta tecnología (informática y electrónica, maquinaria y equipos)

A nivel mundial, la industria manufacturera de Chile representó el 0,2% del valor agregado manufacturero mundial en 2021.⁴⁰ Si observamos los sectores específicos dentro de la industria manufacturera de Chile (Figura 3-2):

- **Alimentación y bebidas** fue el sector más importante, con un 40% del total del valor añadido manufacturero (VAM) y un 44,7% del empleo manufacturero. Le siguieron:
 - **Química y productos químicos** (13,7% del VAM y 4,8% del empleo manufacturero)
 - **Productos de madera** (7,8% del VAM y 5,4% del empleo manufacturero)
 - **Papel y productos de papel** (7,7% del VAM y 4% del empleo manufacturero)
 - **Productos minerales no metálicos** (4,3% del VAM y 3,7% del empleo manufacturero)

FIGURA 3-2: COMPOSICIÓN DE LA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE CHILE, 2020



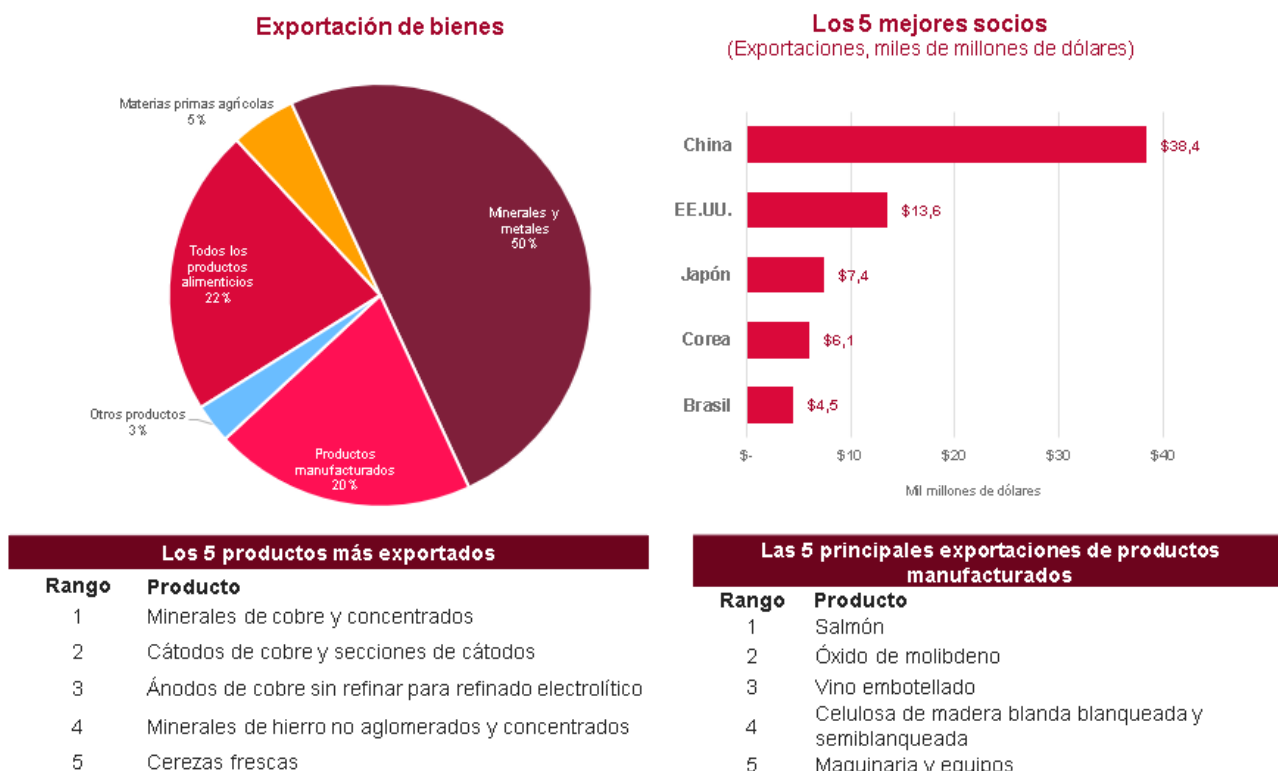
FUENTE: INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (2021). ENCUESTA NACIONAL DE LA INDUSTRIA ANUAL 2021.

Una estructura industrial muy centrada en las producciones basadas en los recursos también se refleja en la estructura de las exportaciones del país, en la que predominan los bienes no manufacturados (Figura 3-3). En 2022

³⁹ Los datos se refieren a 2021. Fuente: ONUDI (2023). Índice de Rendimiento Industrial Competitivo., para las Industrias manufactureras por intensidad tecnológica, véase ONUDI (2017). Clasificación de los sectores manufactureros por intensidad tecnológica (CIU Revisión 4). ⁴⁰ ONUDI (2023). Índice de rendimiento industrial competitivo.

Los productos manufacturados representaron el 20% del total de las exportaciones de mercancías, y entre los principales productos exportados figuran el salmón y el vino embotellado. Por otra parte, el 50% de las exportaciones totales de mercancías fueron minerales y metales (principalmente cobre), seguidos de un 22% de productos alimenticios (no manufacturados), como cerezas frescas.

GRÁFICO 3-3: ESTRUCTURA DE LAS EXPORTACIONES DE BIENES DE CHILE EN 2022



FUENTE: BANCO CENTRAL DE CHILE (2023). EXPORTACIONES INDUSTRIALES; UNCTAD (2023). PERFIL GENERAL DEL PAÍS: CHILE; BANCO MUNDIAL (2023). WITS - CHILE DE UN VISTAZO.

Cadena de valor de la fabricación de hidrógeno ecológico

En los últimos años se han realizado varios estudios para evaluar la preparación de la industria manufacturera chilena para desarrollar vínculos productivos con la cadena de valor del hidrógeno verde.

Un estudio realizado por la GIZ en 2020 identificó los subsectores manufactureros relevantes relacionados con la industria del hidrógeno verde (Tabla 3-3).⁴¹ Dicha clasificación estadística intenta captar la variedad de tecnologías requeridas por el sector del hidrógeno verde, incluyendo paneles fotovoltaicos, torres eólicas, así como tecnologías relacionadas con electrolizadores y pilas de combustible. Aunque la disponibilidad de datos no permite realizar análisis con una desagregación de cuatro dígitos, el Instituto Nacional de Estadística de Chile proporciona datos a nivel de dos dígitos. En 2020, los subsectores manufactureros relacionados con el hidrógeno verde representaban solo el 5,6 % del valor añadido manufacturero total:⁴²

- Productos metálicos, excepto maquinaria y equipo (4%)
- Material eléctrico (1,4%)
- Otros sectores industriales (0,2%)
- Productos informáticos, electrónicos y ópticos (sin producción sensible)

⁴¹ GIZ, HINICIO Chile (2020). Cuantificación del encadenamiento industrial y laboral para el desarrollo del hidrógeno en Chile

⁴² Instituto Nacional de Estadística (2021). Encuesta Nacional de la Industrial Anual 2021

TABLA 3-3: SECTORES MANUFACTUREROS RELACIONADOS CON LA INDUSTRIA DEL HIDRÓGENO VERDE (BASADA EN LA CLASIFICACIÓN INDUSTRIAL INTERNACIONAL UNIFORME DE TODAS LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS - CIII REV 4)

División	Grupo	Clase
25 - Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	251 - Fabricación de productos metálicos estructurales, cisternas, depósitos y generadores de vapor	2511 - Fabricación de productos metálicos estructurales
	259 - Fabricación de otros productos metálicos; actividades de servicios relacionados con el metal	2599 - Fabricación de otros productos metálicos n.e.c.
26 - Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	261 - Fabricación de componentes y placas electrónicas	2610 - Fabricación de componentes y placas electrónicas
	262 - Fabricación de ordenadores y equipos periféricos	2620 - Fabricación de ordenadores y equipos periféricos
	265 - Fabricación de aparatos de medida, verificación, navegación y control; relojería y relojes	2651 - Fabricación de instrumentos de medida, verificación, navegación y control equipo
27 - Fabricación de material eléctrico	271 - Fabricación de motores eléctricos, generadores, transformadores y distribución de electricidad y aparato de control	2710 - Fabricación de motores eléctricos, generadores, transformadores y distribución de electricidad y aparato de control
	273 - Fabricación de cableados y dispositivos de cableado	2732 - Fabricación de otros hilos eléctricos y electrónicos y cables
	279 - Fabricación de otro material y equipo eléctrico	2790 - Fabricación de otro material eléctrico
32 - Otros sectores industriales	329 - Otros sectores industriales n.e.c	3290 - Otros sectores industriales n.e.c

FUENTE: GIZ, HINICIO CHILE (2020). CUANTIFICACIÓN DEL ENCADENAMIENTO INDUSTRIAL Y LABORAL PARA EL DESARROLLO DEL HIDRÓGENO EN CHILE.

El informe de la GIZ también señalaba que, teniendo en cuenta la necesidad de infraestructura, inversión y tiempo para desarrollar los subsectores mencionados con empresas preparadas para producir a escala industrial y competitiva, es poco probable que Chile pueda producir internamente las tecnologías requeridas por el sector del hidrógeno verde en un futuro próximo.

Un estudio realizado para el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en 2023 analizó la disponibilidad de proveedores nacionales de diversos componentes y sistemas relacionados con la cadena de suministro de hidrógeno verde (véase el Cuadro 3-4).

CUADRO 3-4: EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE PROVEEDORES NACIONALES DE COMPONENTES Y SISTEMAS RELACIONADOS CON LA CADENA DE SUMINISTRO DE HIDRÓGENO ECOLÓGICO

LA CAPACIDAD DE INSTALAR, PONER EN SERVICIO, OPERAR Y MANTENER ESTE LOS EQUIPOS/INSTALACIONES NO EXISTEN NECESARIAMENTE EN CHILE		LA CAPACIDAD DE INSTALAR, PONER EN SERVICIO, OPERAR Y MANTENER ESTE EQUIPOS/INSTALACIONES EXISTENTES EN CHILE	
NO SE HAN IDENTIFICADO PROVEEDORES	IMPORTADORES O USUARIOS CON CADENAS DE SUMINISTRO SIMILARES IDENTIFICADAS	IMPORTADORES O USUARIOS CON CADENAS DE SUMINISTRO EXACTAS IDENTIFICADAS	FABRICANTES IDENTIFICADOS
Mezcladores de gas	Compresores de hidrógeno (por ejemplo, Atlas Copco)	Bombas de agua y disolventes (por ejemplo, Koslan)	Válvulas y reguladores GLP (por ejemplo, Cemco Kosangas)
Remolques cisterna criogénicos	Depósitos de hidrógeno licuado (por ejemplo, Air Liquide)	Compresores de aire y otros gases (por ejemplo, Ingersoll Rand)	Intercambiadores de calor (por ejemplo, Intercal, INPPA)
Boquillas de carga de vehículos	Hidrógeno licuado bombas (por ejemplo, Air Liquide)	Purificadores de gas (por ejemplo, Air Liquide, Linde)	Ventiladores (por ejemplo Estrumec, Ati Clima)
	Licuefacción de hidrógeno plantas (por ejemplo, Air Liquide)	Sistemas de nitrógeno (por ejemplo, Air Liquide, Linde)	Transformers (por ejemplo, Rhona, Tusan)
	Bombonas y depósitos de hidrógeno de tipo II, III y IV*.	Válvulas de hidrógeno (por ejemplo, Air Liquide, Linde)	Presión y instrumentos de temperatura (por ejemplo, el veto)
	Remolques tubulares	Sistemas de tratamiento del agua (por ejemplo, Soltex)	Conductos y tubos metálicos (por ejemplo, Inamar/Vapor)
	Paneles de suministro	Inversores, rectificadores, choppers (por ejemplo, Powerinverter).	Componentes eléctricos (por ejemplo, Rhona)
	Mangueras de hidrógeno de alta presión	Cilindros y depósitos de hidrógeno Tipo I30 (por ejemplo, Air Liquide, Linde)	Sistemas de control de incendios (por ejemplo, Rally S.A.)
	Vehículos con pilas de combustible (por ejemplo, Hyundai-Indumotora)	Sistemas de control (por ejemplo, Soltex)	Filtros (por ejemplo, Filtromet)
	Calderas de hidrógeno (por ejemplo, Bosch)	Detectores de hidrógeno y sensores infrarrojos (por ejemplo, Airevital)	
	Turbinas de hidrógeno (por ejemplo, General Electric)	Electrolizadores (por ejemplo, Cummins)	
		Conductos poliméricos (por ejemplo, FastPack/Soluforce)	
		Pilas de combustible (por ejemplo, Grupo TRA-Busso)	

FUENTE: MALUENDA, B. (2023, CUADRO 5). INNOVACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA LA CADENA DE VALOR DEL HIDRÓGENO VERDE EN CHILE. BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID).

El estudio del BID concluyó que *"un número significativo de tecnologías, equipos y sistemas que son tecnológica y comercialmente maduros a nivel mundial y que son necesarios para la cadena de valor del hidrógeno verde no se comercializan actualmente en Chile, y no hay certeza de que existan capacidades para certificarlos, instalarlos, ponerlos en marcha, operarlos y mantenerlos"*.⁴³ Si bien algunos de ellos podrían ser importados por empresas con cadenas de suministro similares y que mantienen relaciones comerciales con proveedores internacionales adecuados, en el caso de otros equipos y sistemas el país no ha establecido necesariamente la capacidad de importación y servicio posventa.⁴⁴

Oportunidades

Sin embargo, existen oportunidades en la cadena de suministro más amplia. El citado informe de la GIZ identificó 817 empresas con potencial para participar en la cadena de suministro de hidrógeno verde en Chile, ofreciendo directamente bienes y servicios necesarios en este sector. Además, se estima que alrededor de 2.000 pequeñas empresas se beneficiarían.⁴⁵ Según el mismo estudio, la fabricación de componentes y sistemas de tecnología de hidrógeno verde presenta el mayor potencial de ventas en el futuro y se espera que sea responsable del 90% del aumento para 2050. Sin embargo, como ya se ha mencionado, no se han encontrado empresas manufactureras nacionales que produzcan actualmente tecnologías básicas relacionadas con la producción, el almacenamiento, el transporte y el uso de hidrógeno verde.⁴⁶

Según estimaciones de la GIZ, el desarrollo de una industria verde del hidrógeno en Chile tiene el potencial de generar hasta 22.000, 87.000 y 94.000 puestos de trabajo para los años 2030, 2040 y 2050, respectivamente. Sin embargo, la mayor parte del empleo se generará durante la fase de construcción de plantas de generación de energía, líneas de transmisión y plantas de producción de hidrógeno, estimándose que el sector de la construcción representará aproximadamente el 75% de la generación total de empleo.⁴⁷

3.3. Aprovechar la producción local de hidrógeno para invertir en fabricación ecológica

Aunque la penetración en el mercado de las nuevas tecnologías de aplicación del hidrógeno verde sigue siendo limitada en el mundo, Chile tiene la oportunidad de aprovechar su hidrógeno verde producido localmente para atraer a industrias manufactureras comprometidas con la descarbonización, ofreciendo una fuente segura de hidrógeno verde de bajo coste.

La AIE predice que la demanda mundial de hidrógeno alcanzará aproximadamente 150 Mt en 2030 y alrededor de 430 Mt en 2050 (Figura 3-4), principalmente a través de nuevos proyectos de hidrógeno de bajas emisiones, incluido el hidrógeno verde y el hidrógeno producido por combustibles fósiles con CCUS. Las aplicaciones industriales, como la producción de combustibles sintéticos a base de hidrógeno (por ejemplo, amoníaco, metanol, combustible sintético para reactores) y el uso directo de hidrógeno en la producción de acero verde, podrían convertirse en importantes fuentes de demanda en el futuro.⁴⁸

⁴³ Maluenda, B. (2023). Innovación y desarrollo tecnológico para la cadena de valor del hidrógeno verde en Chile. Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

⁴⁴ Ibid.

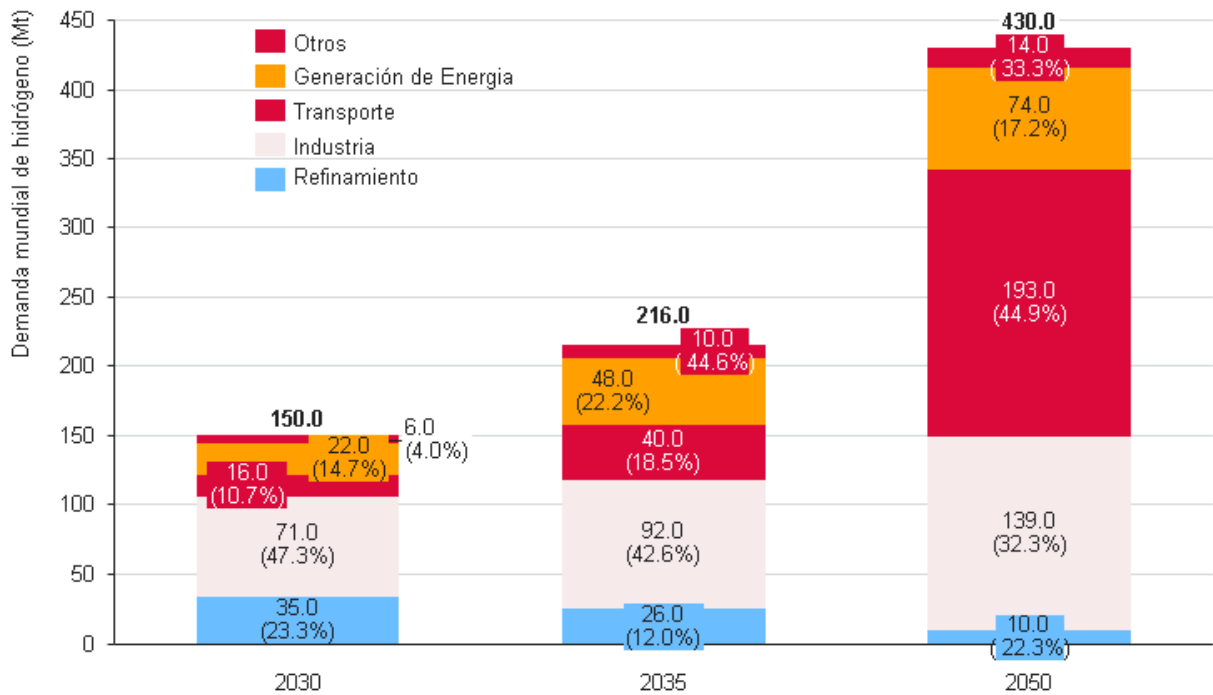
⁴⁵ GIZ, HINICIO Chile (2020). Cuantificación del encadenamiento industrial y laboral para el desarrollo del hidrógeno en Chile.

⁴⁶ Ibid.

⁴⁷ Ibid.

⁴⁸ AIE (2023a). Op. cit.

FIGURA 3-4: DEMANDA MUNDIAL DE HIDRÓGENO POR USO FINAL EN EL ESCENARIO IEA NET-ZERO, 2030-2050



NOTA: "OTROS" INCLUYE LA CONSTRUCCIÓN Y LA MEJORA DE LOS BIOCOMBUSTIBLES; "TRANSPORTE" Y "GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD" INCLUYEN LA DEMANDA DE HIDRÓGENO Y DE COMBUSTIBLES BASADOS EN EL HIDRÓGENO; EL ESCENARIO DE EMISIONES NETAS CERO PARA 2050 (NZE) ES UN ESCENARIO NORMATIVO DE LA IEA QUE MUESTRA UNA VÍA PARA QUE EL SECTOR ENERGÉTICO MUNDIAL ALCANCE UNAS EMISIONES NETAS DE CO2 CERO EN 2050. FUENTE: AIE (2023a). REVISIÓN MUNDIAL DEL HIDRÓGENO 2023.

En este contexto, existen oportunidades para que Chile produzca productos verdes bajos en carbono e integrados en hidrógeno que podrían ser más fáciles de exportar que el hidrógeno, cuya exportación está actualmente limitada por retos tecno-comerciales. El hidrógeno ya se utiliza como materia prima común en varias industrias, como la fabricación de vidrio, la producción de alimentos, los biocombustibles, la síntesis de metanol y la síntesis de amoníaco (Tabla 3-5). Al pasar al hidrógeno con cero o bajas emisiones, estas industrias tienen la oportunidad de descarbonizarse. Chile tiene la oportunidad de atraer empresas a algunos de estos sectores. En particular, el acero verde y los combustibles basados en el hidrógeno podrían representar oportunidades de exportación viables para Chile.

CUADRO 3-5: OPORTUNIDADES PARA EL HIDRÓGENO EN LA FABRICACIÓN ECOLÓGICA

TRATAMIENTO DE METALES	Los métodos tradicionales de fabricación de acero dependen de la reacción del mineral de hierro con el carbón. Se están desarrollando nuevos procesos que utilizan hidrógeno en su lugar.
ALIMENTOS FABRICACIÓN	En la industria alimentaria, el hidrógeno se utiliza para endurecer aceites y grasas semisólidas mediante hidrogenación. Esta demanda podría desplazarse con hidrógeno limpio.
COMBUSTIBLES SINTÉTICOS	El hidrógeno se utiliza para limpiar combustibles y puede emplearse para producir combustibles sintéticos como petróleo, gasóleo, metano y queroseno mediante reacciones con CO2.
VIDRIO FABRICACIÓN	El hidrógeno se utiliza actualmente para proporcionar una atmósfera durante la fabricación que minimice los defectos del vidrio. Esta demanda podría desplazarse con hidrógeno limpio.
AMONIA	El hidrógeno es una materia prima clave para la producción de amoníaco. Esta demanda de hidrógeno podría verse desplazada por el hidrógeno limpio.
PRODUCTOS QUÍMICOS	Varios productos químicos utilizan el hidrógeno como materia prima, como el metanol, las resinas y los polímeros. Esta demanda de hidrógeno podría verse desplazada por el hidrógeno limpio.

FUENTE: CSIRO (2019). INVESTIGACIÓN, DESARROLLO Y DEMOSTRACIÓN DEL HIDRÓGENO. PRIORIDADES Y OPORTUNIDADES PARA AUSTRALIA.

Los datos de la Tabla 3-1 muestran que, de los 59 proyectos de producción de hidrógeno verde 35

anunciados en Chile, 18 deberían producir amoníaco bajo en carbono (todos están actualmente en fase de estudio de concepto o viabilidad), 2 deberían producir metanol (uno está en fase de concepto y otro en fase de estudio de viabilidad) y 2 se centran en la producción de combustibles sintéticos (uno está operativo y otro en fase de estudio de viabilidad). En cuanto a la producción de acero, sólo 1 de los 59 proyectos está destinado a suministrar hidrógeno para la producción de acero. Chile no cuenta con un número significativo de plantas siderúrgicas en comparación con algunos países con industrias siderúrgicas sólidas, y la producción local gira principalmente en torno a pequeñas y medianas fábricas, centradas en productos siderúrgicos específicos y no en plantas siderúrgicas integradas a gran escala. Sin embargo, el bajo coste del hidrógeno hace posible que el país se plantee atraer a productores de acero verde que podrían exportar a un mercado global a un coste superior. Chile produce actualmente 1,2 millones de toneladas de acero al año, equivalentes al 30% de la demanda nacional. Sin embargo, el acero no sólo se utiliza en el sector de la construcción, sino también para fabricar electrolizadores, pilas de combustible y otros segmentos de la cadena de suministro de hidrógeno verde, como recipientes de almacenamiento y tuberías.⁴⁹

Combustibles sintéticos a base de hidrógeno⁵⁰

Los combustibles sintéticos a base de hidrógeno, a menudo denominados e-combustibles o combustibles sintéticos, se producen combinando hidrógeno con dióxido de carbono (CO₂) capturado de diversas fuentes. Estos combustibles se consideran alternativas a los combustibles fósiles tradicionales y pueden utilizarse en las infraestructuras existentes para el transporte, los procesos industriales y la generación de energía. He aquí algunos tipos comunes:

- **Metano sintético (gas natural sintético - GNS):** Producido mediante la combinación de hidrógeno (a partir de electrólisis utilizando energía renovable) con CO₂, el metano sintético se asemeja mucho al gas natural. Puede inyectarse en los gasoductos de gas natural existentes y utilizarse para calefacción o generación de electricidad.
- **Gasóleo sintético y combustible para reactores:** el hidrógeno puede combinarse con CO₂ en la síntesis Fischer-Tropsch para crear hidrocarburos líquidos sintéticos parecidos al gasóleo o al combustible para reactores. Estos hidrocarburos pueden alimentar los motores de combustión interna y las turbinas existentes sin modificaciones significativas.
- **Amoníaco:** Producido mediante la combinación de hidrógeno con nitrógeno (normalmente extraído del aire), el amoníaco es un prometedor portador de hidrógeno para el almacenamiento y el transporte de energía. Puede utilizarse como combustible en sí mismo o como portador de hidrógeno para alimentar pilas de combustible o motores de combustión.
- **Metanol:** La hidrogenación del CO₂ genera metanol, que puede servir como combustible versátil o materia prima química para diversos procesos industriales, el transporte o la generación de energía.
- **Éter dimetílico (DME):** Producido a partir del metanol, el DME es un combustible sintético emergente que puede utilizarse como sustituto del gasóleo en algunas aplicaciones, especialmente en el transporte.

Estos combustibles sintéticos se conocen como combustibles "drop-in" porque pueden sustituir directamente a los combustibles convencionales o mezclarse con ellos sin necesidad de realizar modificaciones significativas en la infraestructura o los vehículos existentes. Ofrecen la posibilidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero cuando se producen utilizando hidrógeno renovable y CO₂ capturado, creando un ciclo cerrado del carbono, especialmente en comparación con sus homólogos de combustibles fósiles. Sin embargo, la producción de estos combustibles suele requerir un importante aporte de energía e infraestructura, lo que hace que su adopción generalizada y su rentabilidad dependan de los avances en energías renovables y de la mejora de la eficiencia de los procesos de producción.

⁴⁹ Maluenda B. (2023). Op, Cit.

⁵⁰ CSIRO (2019). Investigación, desarrollo y demostración del hidrógeno. Prioridades y oportunidades para Australia.

Acero verde⁵¹

El acero verde, también conocido como acero al hidrógeno o acero descarbonatado, se refiere a la producción de acero utilizando hidrógeno como agente reductor en lugar de métodos tradicionales basados en el carbono, como el carbón en los altos hornos. El objetivo de este proceso es reducir significativamente o eliminar las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) asociadas a la producción de acero, haciéndolo más respetuoso con el medio ambiente y sostenible.

La producción tradicional de acero, realizada principalmente mediante la ruta alto horno-horno básico de oxígeno (BF- BOF), implica el uso de carbón metalúrgico como fuente de energía y agente reductor. Este proceso emite grandes cantidades de CO₂, lo que contribuye significativamente a las emisiones mundiales de carbono.

La producción de acero ecológico a partir de hidrógeno implica dos métodos principales:

1. **Reducción directa con hidrógeno:** En este método, el hidrógeno, en lugar del carbono, sirve como agente reductor, reaccionando directamente con el mineral de hierro para producir hierro sin liberar CO₂. El hierro resultante puede utilizarse en hornos de arco eléctrico para producir acero.
2. **Procesos basados en la electrólisis:** Estos procesos implican el uso de electricidad renovable para producir hidrógeno mediante electrólisis, que luego se utiliza como agente reductor en la fabricación de acero. Puede tratarse de una reducción directa con hidrógeno o de la producción de gases sintéticos como el syngas (una mezcla de hidrógeno y monóxido de carbono) para reducir el mineral de hierro.

El objetivo del acero ecológico basado en el hidrógeno es crear un proceso de producción de acero más sostenible y neutro en carbono. Sin embargo, la transición a este método a escala industrial requiere una inversión significativa en fuentes de energía renovables para la producción de hidrógeno, así como ajustes en la infraestructura siderúrgica existente. Los retos incluyen el coste y la disponibilidad de hidrógeno renovable, los avances tecnológicos y la necesidad de políticas de apoyo y demanda del mercado para impulsar esta transición. Varias empresas e iniciativas de todo el mundo están explorando activamente e invirtiendo en la producción de acero ecológico a partir de hidrógeno como parte de los esfuerzos para descarbonizar la industria siderúrgica y mitigar su impacto medioambiental.

⁵¹ Devli, A. y Yang, A. (2022). Cadenas de suministro regionales para descarbonizar el acero: Energy efficiency and green premium mitigation. *Energy Conversion and Management*, 254, 115268.

4. Lecciones de la experiencia política internacional

En esta sección se analizan las ideas extraídas de la experiencia política internacional, tanto del hidrógeno verde como de otros sectores tecnológicos emergentes, que podrían utilizarse para extraer lecciones para el futuro diseño de políticas en Chile.

4.1. Revisión internacional de las estrategias nacionales de hidrógeno verde

En esta sección se analizan las lecciones extraídas de la revisión de las estrategias nacionales de hidrógeno verde de ocho países líderes, incluidas las políticas clave de EE.UU., Australia, Reino Unido, Alemania, Japón, Brasil, Colombia e India. En el Apéndice 2 se presenta un resumen detallado de estas estrategias, organizadas en torno a las siguientes categorías:

- Racionalidad/visión
- Fines y objetivos
- Organismos gubernamentales implicados
- Estrategias/pilares clave
- Áreas de interés declaradas
- Principios rectores
- Instrumentos de política pública
- Prioridades de colaboración internacional

Más de 40 países del mundo habían creado estrategias y hojas de ruta nacionales sobre el hidrógeno verde para finales de 2023, con el fin de ayudarles a navegar y aprovechar las oportunidades derivadas de esta tecnología emergente.⁵² Si bien estas estrategias se adaptan a las características específicas de cada país, como la disponibilidad de recursos naturales, la ubicación geográfica, los puntos fuertes del ecosistema nacional de innovación y la capacidad de fabricación existente, pueden observarse algunos factores comunes en cuanto a los instrumentos de política pública empleados para abordar la tecnología del hidrógeno verde y los retos de desarrollo del mercado. Aunque algunas estrategias nacionales son nuevas, otras existen desde hace tiempo y se han actualizado recientemente para ponerse al día con las últimas tendencias tecnológicas y de mercado, incluidas las de naciones líderes como Japón, Alemania y Australia.

La siguiente discusión resume las oportunidades comunes, las áreas de acción y los instrumentos de política pública observados en las estrategias, hojas de ruta y programas nacionales de hidrógeno verde revisados, con el fin de proporcionar lecciones para el contexto chileno.

Oportunidades

El hidrógeno como vector energético representa un futuro alentador para los objetivos de cero emisiones netas y la descarbonización. Mientras tanto, muchos países se han dado cuenta de que existen oportunidades comunes para explorar el potencial del hidrógeno:

⁵² Centro de Política Energética Global (2023). [Estrategias nacionales sobre hidrógeno y hoja de ruta](#).

- **Aumentar la capacidad de producción de hidrógeno al tiempo que se reducen los costes derivados de la producción y el transporte.** Muchos de los países analizados han articulado públicamente sus objetivos de capacidad y costes de producción de hidrógeno para 2030. Aunque se aplican diferentes unidades de medida, el Gobierno estadounidense ha fijado el objetivo más ambicioso: producir 10 millones de toneladas métricas de hidrógeno limpio al año para 2030 con un coste de producción de 1 USD/kg.

La capacidad nacional de electrólisis desempeña un papel fundamental en el crecimiento de la producción de hidrógeno ecológico. La última estrategia alemana sobre el hidrógeno, actualizada en 2023, eleva el objetivo de producción nacional de electrólisis de 5 a 10 GW para 2030. El suministro de electricidad y agua renovables también es importante para la producción de hidrógeno ecológico, como han puesto de relieve países como Estados Unidos, Reino Unido, Brasil, Australia y Colombia, que han declarado que tienen previsto realizar más análisis y colaborar más con las partes interesadas para comprender mejor las necesidades de capacidad de electrólisis.

La reducción de los costes del hidrógeno verde, tanto para la producción como para el transporte, es uno de los requisitos previos para ampliar los escenarios de aplicación del hidrógeno verde. Además de Estados Unidos, Colombia ha declarado su objetivo de coste de producción de 1,7 USD/kg para 2030 en su estrategia nacional del hidrógeno. Un enfoque distinto es el de Japón, que establece de forma granular los objetivos de coste para las diferentes tecnologías de electrólisis (alcalina o PEM) y los objetivos de coste para el suministro de hidrógeno/amoniaco.

- **Ampliar el alcance de los usos finales del hidrógeno.** Todos los países analizados coinciden en el potencial del hidrógeno en aplicaciones industriales y no industriales. Aunque los sectores del acero, el refino de petróleo y la química son los principales en los que se centran los países, algunos también están explorando las oportunidades del hidrógeno en otras industrias. El Gobierno británico, por ejemplo, adopta un enfoque global para descarbonizar la industria de la destilación mediante el hidrógeno y otras energías renovables.

Los usos finales no industriales del hidrógeno verde se concentran en la industria del transporte, donde las pilas de combustible que utilizan hidrógeno y derivados del hidrógeno son los principales métodos de propulsión de vehículos, embarcaciones y aviones. Al mismo tiempo, países como el Reino Unido y Alemania también están estudiando la viabilidad del consumo de hidrógeno para la calefacción de edificios.

- **Desarrollo de infraestructuras relacionadas con el hidrógeno para la cadena de suministro y la exportación/importación.** Las estrategias de hidrógeno de los ocho países señalan que una infraestructura más desarrollada podría reducir los obstáculos al suministro de hidrógeno desde los centros de producción hasta los consumidores locales, regionales e internacionales. La infraestructura de la cadena de suministro incluye el acondicionamiento del hidrógeno (por ejemplo, la licuefacción), el almacenamiento (por ejemplo, tanques), el transporte (por ejemplo, tuberías) y la utilización (por ejemplo, estaciones de servicio). Países como la India afirman que la convergencia de la infraestructura de la cadena de suministro en zonas geográficamente próximas será una de las ventajas de los grandes centros de hidrógeno previstos.

Crear la infraestructura adecuada para la cadena de suministro es esencial para la exportación e importación de hidrógeno. Alemania, un gran importador potencial de hidrógeno, ha hecho planes para modernizar la infraestructura de gas natural existente y construir nuevas redes de gas para futuras importaciones de hidrógeno. Por otro lado, Colombia, que se ve a sí misma como un exportador competitivo de hidrógeno, pretende desarrollar infraestructuras asociadas de acondicionamiento y almacenamiento de hidrógeno líquido o amoníaco en puertos designados para la exportación de hidrógeno.

Acciones

Las siguientes viñetas resumen las acciones aplicadas por los ocho países para abordar las oportunidades del hidrógeno comentadas anteriormente.

- **Aprovechar las ventajas de los distintos tipos de hidrógeno bajo en carbono para lograr la descarbonización.** Muchos países apuestan por una mezcla de hidrógeno producido a partir de la electrólisis del agua (hidrógeno verde), combustibles fósiles con captura y almacenamiento de carbono (hidrógeno azul) y materias primas de biomasa y residuos para aumentar la popularidad del hidrógeno. El gobierno estadounidense prevé que estos tres tipos de hidrógeno con bajas emisiones de carbono se utilicen en el ámbito nacional al menos hasta 2050, y que su futura capacidad instalada dependa de la evolución de su coste de producción y de la eficacia de las tecnologías de captura de carbono. Además, el amoníaco derivado del hidrógeno se considera tan importante como el hidrógeno bajo en carbono en la última estrategia del hidrógeno de Japón.
- **Apoyar la I+D relacionada con el hidrógeno desde la producción hasta los usos finales.** El desarrollo de tecnologías a lo largo de la cadena de valor del hidrógeno para reducir costes, aumentar la capacidad de producción y reducir los obstáculos de las aplicaciones del hidrógeno es una estrategia obvia, no sólo para las naciones líderes en tecnología como el Reino Unido y Alemania, sino también para las naciones que siguen la tecnología. Por ejemplo, el gobierno indio se ha comprometido a apoyar la I+D relacionada con el hidrógeno centrada en la producción, el almacenamiento, el transporte y la utilización, mientras que Colombia se ha comprometido a apoyar la investigación, el desarrollo y la innovación (I+D+i) pertinentes para mejorar la capacidad tecnológica e industrial nacional en materia de hidrógeno. Brasil, otro país latinoamericano ambicioso respecto a la economía del hidrógeno, tiene un compromiso gubernamental a largo plazo con el hidrógeno bajo en carbono, apoyando la I+D+i durante más de 20 años.⁵³
- **Poner en marcha proyectos piloto y de demostración.** Todos los países analizados favorecen los proyectos piloto y de demostración del hidrógeno. Estos proyectos se centran principalmente en la producción y los usos finales del hidrógeno. Entre 2015 y 2019, el Gobierno australiano gastó unos 45 millones de dólares en proyectos piloto centrados en la cadena de suministro de hidrógeno. Del mismo modo, el Gobierno colombiano está fomentando proyectos piloto de electrólisis, infraestructura de distribución y exportación de hidrógeno y sus derivados. En los últimos años, la India ha emprendido proyectos piloto centrados en la producción de hidrógeno ecológico, aunque el Gobierno indio tiene previsto cambiar el enfoque hacia los usos finales, incluidos los sectores de la siderurgia y el transporte.
- **Establecer centros/clusters regionales de hidrógeno.** La coubicación de la producción de hidrógeno a gran escala con múltiples usuarios finales de hidrógeno en una región

seleccionada puede promover el desarrollo de hidrógeno de bajo coste y la infraestructura asociada para permitir la economía del hidrógeno en importantes segmentos del mercado. Mientras tanto, estos centros podrían incubar agrupaciones industriales relacionadas con el hidrógeno y crear una economía regional competitiva.⁵⁴

El Gobierno estadounidense se ha comprometido a destinar 8.000 millones de dólares a la creación de entre seis y diez centros regionales de hidrógeno limpio en todo el país para conectar la producción, la infraestructura de la cadena de suministro y los usos finales en el marco de la Ley Bipartidista de Infraestructuras. Por su parte, Japón tiene previsto crear ocho agrupaciones nacionales de hidrógeno y amoníaco (tres a gran escala y cinco a mediana escala) en los próximos diez años.

A raíz de su Estrategia Nacional del Hidrógeno, el Gobierno británico puso en marcha una agrupación del hidrógeno en el este de Inglaterra en julio de 2020. En 2023, este clúster había dado cabida a 15 organizaciones del sector privado y debería atraer más de 5 millones de libras de inversión anual en los próximos 3 a 5 años.⁵⁵ Brasil planea instalar varios centros de hidrógeno verde en puertos designados y consolidará estos centros para 2035.

- **Desarrollar la colaboración internacional.** El establecimiento de colaboraciones internacionales es fundamental para el desarrollo del hidrógeno por su implicación en la seguridad energética y los factores geopolíticos. Las colaboraciones internacionales de los ocho países analizados se centran en dos aspectos: el comercio de hidrógeno y los equipos y tecnologías asociados a lo largo de la cadena de suministro de hidrógeno.

Los exportadores potenciales de hidrógeno, como Australia, Colombia y Brasil, centran su colaboración internacional en la exportación de hidrógeno. Por otro lado, países como Alemania y Japón hacen hincapié en sus colaboraciones internacionales para asegurar la cuota de mercado de sus empresas nacionales especializadas en equipos (por ejemplo, electrolizadores) y tecnología (por ejemplo, pilas completas) relacionados con el hidrógeno en otros países. Por ejemplo, Alemania despliega proyectos piloto en los que participan empresas alemanas en países socios como parte de la cooperación alemana al desarrollo.

⁵³ Organización del Hidrógeno Verde. [GH2 Country Portal - Brasil](#).

⁵⁴ Departamento de Energía de EE.UU. (2023). US National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap.

Instrumentos de política pública

Los ocho países analizados aprovechan instrumentos de política pública comunes en sus actuaciones para aprovechar las oportunidades de la economía del hidrógeno, entre los que se incluyen los siguientes:

- **Subvenciones.** La financiación de proyectos relacionados con el hidrógeno y la I+D a través de las cadenas de valor del hidrógeno es la opción común para todos los países analizados. Sin embargo, existen variaciones en la cuantía de los presupuestos asignados a estas subvenciones. Mientras que la mayoría de los países optan por crear nuevos planes de financiación especializados en el hidrógeno, algunos, como Colombia, están ampliando el ámbito de financiación original para el desarrollo de las energías renovables con el fin de incluir el hidrógeno.

La Ley Bipartidista de Infraestructuras (BIL) y la Ley de Reducción de la Inflación (IRA) son los dos vehículos utilizados por el Gobierno estadounidense para proporcionar al menos 9.500 millones de dólares en subvenciones destinadas a apoyar el desarrollo nacional del hidrógeno.

Junto con la Declaración sobre la Neutralidad del Carbono, y como parte de su Fondo de Innovación Verde de 2 billones de yenes, Japón ha comprometido unos 800.000 millones de yenes (unos 5.000 millones de dólares) en tecnologías relacionadas con el hidrógeno para apoyar su desarrollo, demostración y comercialización.

En Europa, el Gobierno alemán ha destinado más de 10.000 millones de euros a I+D sobre hidrógeno y pilas de combustible, comercialización de tecnologías relacionadas con el hidrógeno, infraestructuras, asociaciones internacionales y proyectos en toda la cadena de valor del hidrógeno.

- **Incentivos fiscales y préstamos para fines específicos.** La concesión de incentivos fiscales y préstamos para fines específicos es otro instrumento de política financiera aplicado por algunos países. Por ejemplo, el IRA permite al Gobierno de EE.UU. conceder créditos fiscales y préstamos a las empresas pertinentes en el ámbito de la fabricación de vehículos eléctricos de pila de combustible, la producción de combustible derivado del hidrógeno y la producción/consumo de hidrógeno limpio. El gobierno colombiano ofrecerá incentivos fiscales a las empresas por sus inversiones y compras de maquinaria relacionadas con proyectos de hidrógeno verde. Además, Brasil está estudiando la posibilidad de ofrecer incentivos fiscales federales a las empresas de producción de hidrógeno con bajas emisiones de carbono.⁵⁶
- **Otros instrumentos de política financiera.** El gobierno japonés tiene previsto diseñar un plan financiero para compensar la diferencia de coste entre los combustibles existentes y el hidrógeno/amoniaco, mientras que el gobierno indio pretende llevar a cabo adquisiciones de hidrógeno verde y sus derivados para crear una demanda masiva de hidrógeno.
- **Establecimiento de normas y modificación de reglamentos.** El establecimiento de normas relacionadas con el hidrógeno en la producción, el transporte y los usos finales es

fundamental para reducir los costes del hidrógeno, utilizar eficazmente los instrumentos de política financiera y facilitar el comercio mundial de hidrógeno. En particular, todos los países examinados destacaron la necesidad de alinearse con las normas internacionales a la hora de establecer normas sobre el hidrógeno. El Reino Unido, por ejemplo, actualizó su norma sobre hidrógeno bajo en carbono en abril de 2023. Mientras tanto, ha reiterado la importancia de mantener las normas en línea con los esquemas internacionales mediante la comprensión de las opciones para el transporte global, las redes y el almacenamiento; el seguimiento de las regulaciones internacionales y offshore; y la continuación de la promoción de la cooperación internacional.

Muchos países tienen previsto eliminar los obstáculos reglamentarios para el despliegue en el mercado de las tecnologías del hidrógeno y el crecimiento de la demanda de este combustible. Por ejemplo, Australia modificará la normativa y la legislación pertinentes para incluir el hidrógeno en el régimen nacional de regulación del gas. Entre 2020 y 2023, el Gobierno alemán destinó 600 millones de euros a fomentar el "Regulatory Sandbox for the Energy Transition" para transferir al mercado la tecnología relacionada con el hidrógeno.

- **Otros instrumentos no financieros.** En el marco de la Estrategia Australiana del Hidrógeno, el Gobierno se propone elaborar cinco Códigos Nacionales de Buenas Prácticas en materia de producción de hidrógeno, producción de amoníaco, repostaje de hidrógeno, aparatos, instalaciones y equipos de hidrógeno y aparatos de amoníaco. Además, el Gobierno australiano revisará el sistema de inmigración y las políticas de mano de obra para garantizar el suministro de talento y trabajadores cualificados en el sector del hidrógeno.

Alemania tiene previsto realizar estudios de viabilidad para eximir en gran medida de impuestos, gravámenes y recargos la electricidad utilizada para la producción de hidrógeno ecológico. El Gobierno de Colombia estudiará la viabilidad de conceder créditos fiscales y/o subvenciones para la compra de vehículos impulsados por hidrógeno. Mientras tanto, el Gobierno está promoviendo la realización de un estudio de impacto socioeconómico de las tecnologías del hidrógeno en Colombia.

⁵⁵ Opergy Net Zero (2024). Reunión informativa con las partes interesadas en Hydrogen East.

⁵⁶ Brasil Energy Insight (2023). [La Cámara de Brasil aprueba el proyecto de ley del hidrógeno, pero elimina las subvenciones.](#)

4.2. Revisión internacional de la experiencia política de las industrias emergentes intensivas en tecnología

Las siguientes subsecciones proporcionan un marco para conceptualizar cómo se desarrollan las industrias intensivas en tecnología, seguido de una visión general de los principales instrumentos de política pública y programas observados en todo el mundo para apoyar a los sectores emergentes, incluido el hidrógeno verde.

La información aquí presentada se utiliza en la Sección 5 para proporcionar recomendaciones específicas sobre cómo la experiencia internacional podría informar el desarrollo de nuevas iniciativas o instrumentos para cubrir las lagunas políticas clave en el ecosistema de apoyo industrial chileno, así como recomendaciones sobre prioridades políticas temáticas para abordar las tres áreas de acción identificadas en este estudio.

4.2.1 Reto 1: Reforzar el caso de negocios de los proyectos a gran escala

Existen varias áreas de oportunidad para abaratar la producción de hidrógeno verde y mejorar así la posición de Chile como lugar de elección para proyectos a gran escala. Estas incluyen el establecimiento de una visión viable a largo plazo, la mejora de la infraestructura de transmisión de energías renovables, la creación y mejora de la infraestructura específica para el hidrógeno, la oferta de incentivos fiscales y subvenciones directas a la producción, la creación de zonas especiales de inversión/económicas con una serie de incentivos, y el fomento de la I+D y de los esfuerzos de ampliación centrados en hacer que el hidrógeno sea menos costoso en las condiciones específicas de Chile. Esta sección presenta ejemplos internacionales de políticas relacionadas con estas áreas de oportunidad, que pueden ser informativos para Chile.

- i. **Visión a largo plazo.** Las estrategias nacionales, la definición de objetivos de producción o tecnología y el establecimiento de organizaciones de investigación y tecnología desempeñan un papel crucial a la hora de mostrar el compromiso de los gobiernos con el fomento del desarrollo de una industria concreta. Esto, a su vez, aporta seguridad a las inversiones a largo plazo. Por ejemplo, para apoyar el desarrollo de la industria del hidrógeno verde, distintos países, entre ellos Chile, han publicado estrategias nacionales y fijado objetivos de producción. El Global Hydrogen Review 2023 identifica un total de 41 estrategias nacionales de hidrógeno de los gobiernos.
- ii. **Infraestructura de transmisión de electricidad renovable.** El primer reto importante para Chile es mejorar la infraestructura de transmisión de energía renovable, para garantizar que la energía renovable pueda transmitirse a las instalaciones de producción de hidrógeno de forma fiable y a bajo coste. Los retos que esto plantea varían significativamente entre el norte y el sur del país. En el norte, los parques de energía renovable pueden conectarse a la red nacional, mientras que en el sur los proyectos suelen ser aislados, ya que no es factible conectarse a la red nacional. En el mundo se han llevado a cabo importantes iniciativas para abordar la cuestión de la transmisión de energía, con un fuerte enfoque reciente en la construcción de "redes inteligentes".

- [Grupo de Trabajo Federal sobre Redes Inteligentes del Departamento de Energía](#)

(DoE). Creado por la Ley de Independencia y Seguridad Energéticas (EISA) de 2007, el grupo de trabajo era la principal plataforma para aplicar y coordinar las políticas nacionales de redes inteligentes. La política incluía proyectos de investigación, desarrollo y demostración de tecnología de redes inteligentes, el establecimiento de normas con el Instituto Nacional de Normas y Tecnología (NIST) y la creación de un programa federal de subvenciones de contrapartida a las inversiones en redes inteligentes para reembolsar el 20% de las inversiones en redes inteligentes que cumplieran los requisitos.

- La Ley de Recuperación y Reinversión Estadounidense de 2009, por su parte, pretendía acelerar el desarrollo de las tecnologías de redes inteligentes canalizando 4.500 millones de dólares para el suministro de electricidad y esfuerzos de modernización de la fiabilidad energética. A través de ella, las empresas de servicios públicos y otros inversores podrían solicitar subvenciones de estímulo para pagar hasta el 50% de las inversiones en redes inteligentes que cumplan los requisitos.⁵⁷
- Proyectos italianos de redes inteligentes. Como otra nación que da pasos cruciales en política energética, Italia se ha centrado en modernizar sus redes de transporte y distribución de electricidad para integrar sin fisuras las energías renovables. En 2007, la Comisión Europea aprobó un presupuesto de 1.600 millones de euros para el Programa Operativo "Fuentes de Energía Renovables y Ahorro Energético" en las regiones del sur de Italia. Una de las prioridades de esta iniciativa era mejorar las infraestructuras de las redes de transmisión, en particular en apoyo de las energías renovables y la cogeneración a pequeña y microescala, que recibió una aportación de 100 millones de euros de fondos europeos y estatales italianos. En este contexto, el esfuerzo de colaboración del Ministerio de Desarrollo Económico italiano y Enel Distribuzione dio lugar al proyecto de 77 millones de euros Redes Inteligentes de Media Tensión en el sur de Italia, con el objetivo de optimizar las redes de distribución de media tensión para los sistemas fotovoltaicos (de 100 kW a 1 MW). Además, la Autoridad Reguladora Italiana de la Electricidad y el Gas aprobó ocho proyectos financieros basados en tarifas para redes activas de media tensión, que muestran soluciones avanzadas para la generación distribuida (GD). Además, para promover la GD renovable, el Gobierno italiano garantizó un acceso prioritario a la red para la electricidad renovable y ofreció tarifas de alimentación para la energía solar fotovoltaica. El Cuarto Conto Energia (tarifa de alimentación), introducido en 2011, ofrecía incentivos diferenciados para la energía solar fotovoltaica, con un presupuesto específico para las grandes plantas fotovoltaicas (2011-12) y presupuestos preestablecidos para todas las plantas fotovoltaicas (2013-16). En particular, no se aplican incentivos a las plantas fotovoltaicas que empiecen a funcionar después de 2016.⁵⁸

iii. ***Infraestructura específica para el hidrógeno.*** Otro punto crucial para reforzar el caso de negocios a favor de la producción de hidrógeno en Chile es el desarrollo de infraestructuras específicas para el hidrógeno. Esto incluye garantizar unas instalaciones de transporte y almacenamiento adecuadas para el hidrógeno, como puertos y tuberías.

- a. La red troncal europea del hidrógeno (EHB) de la UE. La iniciativa está formada por una coalición de 33 operadores de infraestructuras energéticas, incluidas empresas públicas, que comparten una visión colectiva de una Europa climáticamente neutra impulsada por un sólido mercado de hidrógeno renovable y bajo en carbono. El objetivo principal de la iniciativa EHB es acelerar los esfuerzos de descarbonización de Europa delineando el papel vital de la infraestructura de hidrógeno, utilizando tanto los conductos existentes como los de nueva creación.

Esta infraestructura se considera un catalizador para crear un mercado competitivo, fluido y paneuropeo de hidrógeno renovable y bajo en carbono. La iniciativa hace hincapié en la promoción de la competencia en el mercado, garantizando la seguridad de la oferta y la demanda y fomentando la colaboración transfronteriza entre los países europeos y sus homólogos vecinos.⁵⁹

- b. El proyecto "LTS Futures" de la SGN británica. Valorado en 30 millones de libras, el proyecto evalúa actualmente la viabilidad de integrar el gas hidrógeno en el sistema de transporte local (LTS) de Gran Bretaña. La empresa está llevando a cabo pruebas para evaluar la viabilidad de reutilizar un gasoducto de 30 km clausurado para una prueba de hidrógeno en vivo.

Este gasoducto se extiende desde la refinería de Grangemouth hasta Granton, situada a las afueras de Edimburgo. La Oficina Reguladora de los Mercados del Gas y la Electricidad (Ofgem) acaba de autorizar el ensayo.⁶⁰

- iv. **Zonas económicas especiales o de inversión**. Las zonas económicas especiales o de inversión han sido históricamente una herramienta importante para los gobiernos que tratan de atraer inversiones extranjeras e impulsar las nacionales. Las características comunes de estas zonas son las siguientes:

1. **Un marco normativo exclusivo**. Normalmente, las zonas funcionan con una normativa económica más permisiva que la norma, sobre todo en ámbitos como la mano de obra, el uso del suelo y la inversión extranjera.
2. **Prestación de servicios públicos**. Las zonas suelen estar equipadas con servicios aduaneros eficientes y procedimientos de registro y concesión de licencias simplificados, a menudo facilitados a través de servicios consolidados de "ventanilla única".
3. **Infraestructuras mejoradas**. Las zonas cuentan con infraestructuras superiores y más fiables, como carreteras, suministro eléctrico e instalaciones de agua, en comparación con el contexto económico nacional más amplio.
4. **Ventajas fiscales**. Los inversores en la zona, especialmente los inversores ancla, suelen beneficiarse de la libertad de capitales y de diversos incentivos y subvenciones fiscales.⁶¹

⁵⁷ [Brown y Zhou \(2012\). Smart-Grid Policies: An International Review.](#)

⁵⁸ [Ibid.](#)

⁵⁹ [Parlamento Europeo \(2021\). Política de hidrógeno de la UE El hidrógeno como vector energético para una economía climáticamente neutra.](#)

Muchos países han recurrido a las zonas económicas especiales (a veces con otros nombres, como zonas especiales de procesamiento, puertos francos o zonas de inversión). Por ejemplo, la Organización Mundial de Zonas Francas -una organización mundial de zonas francas- cuenta con 1.562 miembros de 140 países diferentes.

Aunque las zonas económicas especiales no son específicas para las inversiones en hidrógeno, están surgiendo algunas políticas geográficamente delimitadas para el hidrógeno. EE.UU., por ejemplo, anunció recientemente la creación de siete centros regionales de hidrógeno que recibirán 7 000 millones de dólares de financiación pública.⁶² En Brasil, en 2021, la zona de procesamiento de exportaciones del estado de Ceará (Zona de Processamento de Exportação do Ceará - "ZPE Ceará") puso en marcha su Green Hydrogen HUB. Con sede en el puerto de Pecém, cerca de Fortaleza, el hub es una empresa conjunta del gobierno del estado de Ceará y el puerto de Rotterdam. Ofrece todas las ventajas económicas de la ZPE Ceará, así como la infraestructura de gas, almacenamiento (por ejemplo, tanques de amoníaco) y transporte del puerto de Pecém.⁶³

La Zona Económica del Canal de Suez (SCZONE) de Egipto también está atrayendo inversiones en la producción de hidrógeno ecológico. En octubre de 2023 se firmaron acuerdos para la zona por valor de unos 15.000 millones de dólares con empresas energéticas chinas. En octubre de 2023, el Ministro de Finanzas egipcio anunció que el Gobierno quería impulsar la producción local de hidrógeno verde y que ofrecería incentivos, como rebajas fiscales del 33%-55% para los productores. Egipto ya ha firmado más

más de 20 memorandos de acuerdo sobre el hidrógeno verde, creando un potencial de inversión de 83.000 millones de dólares.⁶⁴

El Gobierno chileno ha realizado estudios, en colaboración con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), para analizar las infraestructuras necesarias para la creación de valles del hidrógeno y puertos en las regiones de Antofagasta y Magallanes.⁶⁵

Dado que muchas plantas de producción de hidrógeno o de procesamiento de amoníaco ya están situadas cerca de los puertos, o dentro de zonas económicas especiales ya existentes, el uso de esta herramienta política parece especialmente pertinente.

⁶⁰ [SGN \(2023\) Ofgem da luz verde a un proyecto de reconversión de gasoductos de gas natural a hidrógeno.](#)

⁶¹ [Zeng \(n.d.\). Zonas Económicas Especiales: lecciones de la experiencia mundial.](#)

⁶² Collins (2023). [EE.UU. revela los siete centros regionales del hidrógeno que recibirán 7.000 millones de dólares de financiación gubernamental. Perspectiva del hidrógeno.](#)

⁶³ [Governo do Estado do Ceará \(2022\) ZPE Ceará apresenta Hub de Hidrogênio Verde para a comunidade internacional de Zonas Francas.](#)

- v. **Incentivos fiscales y subvenciones directas a la producción.** Los créditos fiscales y las subvenciones a la producción también son herramientas poderosas para reducir los costes de producción de los inversores potenciales.
- a. **El crédito fiscal para la producción de hidrógeno limpio (45V) de la Ley de Reducción de la Inflación de Estados Unidos.** Este crédito ofrece incentivos de hasta 3 USD por cada kg de hidrógeno generado, dirigidos específicamente a proyectos con una intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida inferior a 0,45 kg por kg de hidrógeno.
 - b. **Incentivos vinculados a la producción en India.** Estos incentivos se conceden a las empresas en función del incremento de las ventas de determinados productos de fabricación nacional. El hidrógeno ecológico se incluyó como uno de los sectores elegibles en la Misión Nacional de Hidrógeno Ecológico de la India, con un presupuesto de 2 400 millones de dólares y un objetivo de producción anual de 5 millones de toneladas de hidrógeno/amoniaco ecológico para 2030.

- vi. **Apoyo a la I+D.** El apoyo financiero y técnico reduce la incertidumbre y los riesgos e incentiva el descubrimiento de conocimientos. Pueden adoptar la forma de subvenciones a la investigación y el desarrollo (I+D), créditos fiscales, préstamos a bajo interés, garantías de préstamos, acceso a instalaciones de laboratorio y asesoramiento en materia de propiedad intelectual (PI), entre otras medidas políticas. La coordinación entre los agentes de la innovación también puede mejorarse mediante el apoyo a la creación de redes, lo que incluye facilitar la integración de consorcios de investigación.

La Asociación para el Hidrógeno Limpio de la UE es un ejemplo de apoyo a la I+D destinado a desarrollar las industrias del hidrógeno. En enero de 2023 lanzó una convocatoria de investigación sobre el hidrógeno, por un importe total de 1,5 millones de euros.

195 millones de euros disponibles para apoyar la creación de tecnologías punteras del hidrógeno.⁶⁶ Las áreas apoyadas a través de esta convocatoria incluyen: producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno renovable, transporte, energía limpia del hidrógeno y valles del hidrógeno.⁶⁷

Del mismo modo, el Departamento de Energía de Estados Unidos ha creado varios programas que apoyan tanto la investigación y el desarrollo como fases más avanzadas, como la demostración y la comercialización. Entre ellos figura la iniciativa Hydrogen Shot,⁶⁸ diseñada para reducir el coste del hidrógeno limpio en un 80%.

En la Tabla 3-2 se enumeran otros programas de apoyo a la I+D proporcionados por CORFO, entre los que se incluyen: Programa Tecnológico Para el Uso y Adopción de Hidrógeno en la Industria Chilena; Programas Tecnológicos Estratégicos; Innova Alta Tecnología; y Crea y Valida.

⁶⁴ Perspectiva empresarial del Golfo Árabe (2023). [La Zona Económica del Canal de Suez firma acuerdos energéticos por valor de 15.000 millones de dólares.](#)

⁶⁵ Ministerio de Energía (2022). [Antofagasta y Magallanes: Lugares estratégicos para el desarrollo de Hubs de hidrógeno verde.](#)

⁶⁶ Comisión Europea (2023). Asociación para el hidrógeno limpio. [Convocatoria de propuestas 2023.](#)

⁶⁷ Un valle del hidrógeno es una zona geográfica definida, en la que se aplica toda la cadena de valor del hidrógeno, desde su producción, almacenamiento y distribución, hasta su uso final en diversos sectores (industria, movilidad, vivienda, agricultura). [Agenda Estratégica de Investigación e Innovación sobre el Hidrógeno Limpio 2021 - 2027.](#)

⁶⁸ <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-shot>

Otra iniciativa en este espacio es la Ley de Investigación y Desarrollo (I+D) de Chile, diseñada para mejorar la capacidad competitiva de las empresas chilenas mediante el establecimiento de un incentivo fiscal a la inversión en I+D, que permite a las empresas deducir del impuesto de primera categoría hasta el 52,55% de los recursos destinados a actividades de investigación y desarrollo.

- vii. **Apoyo a la ampliación.** El desarrollo de nuevas tecnologías y productos implica incertidumbres y riesgos técnicos. La transferencia de conocimientos puede verse obstaculizada por fallos de coordinación y asimetrías de información. Además, las nuevas tecnologías y procesos de producción requieren la demostración de su funcionalidad, aplicabilidad y rentabilidad a mayores volúmenes de producción.⁷² Las iniciativas y servicios que pueden ayudar a superar estas barreras incluyen: programas piloto y de demostración, infraestructura y servicios de pruebas, apoyo a la concesión de licencias, regulación y normas, programas de incubación y aceleración, acceso a la financiación y apoyo a la creación de redes.

El recuadro 4-1 presenta el caso del Instituto de Investigación de Tecnología Industrial (ITRI) de Taiwán y el papel fundamental que ha desempeñado en el desarrollo de industrias de base tecnológica de éxito en Taiwán.

Históricamente, la Fundación Chile ha desempeñado un papel clave en la difusión de conocimientos en nuevas industrias a través de servicios de consultoría, subvencionando la difusión de tecnología y facilitando la colaboración. Los organismos de investigación y CORFO también han apoyado estos esfuerzos. Por ejemplo, en el sector frutícola, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y sus grupos de transferencia de tecnología (GTT) han facilitado la adopción y difusión de conocimientos y tecnologías extranjeras y locales por parte de los agricultores.⁷³

Chile también ha puesto en marcha la facilidad PFCH2V, que proporcionará financiación a largo plazo en condiciones favorables, así como cobertura contra riesgos financieros para proyectos relacionados con el hidrógeno verde e instalaciones afines, como las energías renovables previas y el tratamiento del agua.⁷⁴

⁶⁹ [Concurso IDeA I+D Tecnologías Avanzadas 2023.](#)

⁷⁰ [Concurso de Fomento a la Vinculación Internacional para Instituciones de Investigación Convocatoria 2023.](#)

⁷¹ <https://www.asdit.cl/en/inicio-english/>

⁷² OCDE (2017). Una revisión internacional de las prioridades y políticas emergentes de I+D en manufactura para la próxima revolución productiva. En: *La próxima revolución de la producción: Implicaciones para los gobiernos y las empresas*. OECD Publishing, París, <https://doi.org/10.1787/9789264271036-14-en>.

En cuanto al apoyo específico a la ampliación del hidrógeno, entre los ejemplos internacionales seleccionados figuran:

- [Dinamarca - Régimen danés de 170 millones de euros](#). El plan apoyará el aumento de la producción de hidrógeno renovable y derivados, como amoníaco, metanol y queroseno electrónico de origen renovable, utilizando tecnologías PtX.⁷⁵ El plan apoyará la construcción de hasta 100-200 MW de capacidad de electrólisis. El apoyo financiero se concederá a través de un proceso de licitación competitiva en forma de subvención directa durante un periodo de 10 años.
- [Alemania - Reallabore der Energiewende](#). El programa sobre laboratorios del mundo real de la transición energética, con una convocatoria específica para el hidrógeno, apoya la demostración industrial con hasta 25 millones de euros, con un máximo de 15 millones disponibles por socio.
- [Países Bajos - Programa de Demostración de la Innovación Energética y Climática \(DEI+\)](#). Un programa de 40 millones de euros para apoyar proyectos piloto y de demostración sobre hidrógeno sostenible y probar infraestructuras.
- [Reino Unido - Programa Acelerador Industrial del Hidrógeno \(IHA\)](#). Este programa financia proyectos de innovación que demuestren el paso del combustible industrial al hidrógeno de principio a fin (26 millones de libras, ~32 millones de dólares). Los solicitantes deben aportar una financiación equivalente.
- [EE.UU. - Programa de electrólisis de hidrógeno limpio](#). Su objetivo es mejorar la eficiencia, aumentar la durabilidad y reducir el coste de la producción de hidrógeno limpio mediante electrolizadores. Los usos elegibles incluyen: demostrar tecnologías que produzcan hidrógeno limpio utilizando electrolizadores; y validar la información sobre el coste, la eficiencia, la durabilidad y la viabilidad del despliegue comercial.

La colaboración en el desarrollo de normas ha demostrado ser crucial en el desarrollo de sectores de alta tecnología, ya que fomenta la interoperabilidad, reduce las incertidumbres y facilita el futuro desarrollo incremental.⁷⁶

Las normas, reglamentos y sistemas de certificación que abordan los atributos medioambientales del hidrógeno se encuentran en una fase incipiente, y sigue habiendo una ausencia de interoperabilidad en los marcos normativos y la certificación. Una iniciativa clave en este ámbito son los esfuerzos de la Asociación Internacional para el Hidrógeno y las Pilas de Combustible en la Economía (IPHE) en el desarrollo de un sistema mundial común de certificación del hidrógeno.

metodología para la contabilización de las emisiones de GEI a lo largo del ciclo de vida del hidrógeno y sus derivados. El IPHE ha finalizado su metodología para determinar las emisiones de GEI asociadas a la producción, conversión y transporte del hidrógeno. Este documento desempeñará un papel crucial en la elaboración de una norma internacional por parte de la Organización Internacional de Normalización (ISO).⁷⁷

⁷³ Lebdioui, A. (2019). La diversificación de las exportaciones de Chile desde 1960: ¿Milagro o espejismo del libre mercado? *Desarrollo y Cambio*, 50(6), 1624-1663.

⁷⁴ Martin (2023). [Chile aumenta el fondo de hidrógeno verde a 1.000 millones de dólares y se compromete a proteger a los productores frente a determinados "riesgos financieros"](#).

La visión del hidrógeno.

⁷⁵ PtX hace referencia a un grupo de tecnologías que convierten la electricidad en combustibles sintéticos neutros en carbono. La tecnología clave de PtX es la electrólisis.

⁷⁶ Gustafsson, R. et al. (2016). Emergence of Industries: A Review and Future Directions. *Revista internacional de revisiones de gestión. IJMR*, 18(1): 28-50.

⁷⁷ Agencia Internacional de la Energía (2023). Informe mundial sobre el hidrógeno 2023.

Recuadro 4-1 Instituto de Investigación Tecnológica Industrial (ITRI): un actor fundamental en el desarrollo de la industria de alta tecnología

El Instituto de Investigación de Tecnología Industrial (ITRI) de Taiwán es un instituto de investigación de tecnología aplicada líder mundial con más de 6.000 empleados. Su misión es impulsar el desarrollo industrial, crear valor económico y mejorar el bienestar social mediante la I+D tecnológica.

Creado en 1973 como instituto público de I+D, el ITRI ha desempeñado un papel fundamental facilitando la transferencia de tecnología, forjando asociaciones estratégicas con colaboradores internacionales y fomentando el crecimiento de industrias basadas en la tecnología, como la de los semiconductores y la biotecnología.

El ITRI ofrece una amplia gama de servicios de colaboración en I+D y consultoría empresarial, entre los que se incluyen: investigación por contrato, producción piloto a pequeña escala, calibración y medición, creación de prototipos y fabricación, transferencia de tecnología, servicios de propiedad intelectual y programas de formación. También gestiona laboratorios abiertos e incubadoras para promover la creación de empresas y el espíritu empresarial.

El éxito del ITRI puede atribuirse a su capacidad para apoyar todo el ciclo de desarrollo de la industria, desde la financiación de la investigación multidisciplinar hasta la prestación de asesoramiento técnico y jurídico para la comercialización y la facilitación de la transferencia de tecnología. A continuación, describimos el papel que desempeñó el ITRI en la creación y el crecimiento de la industria de semiconductores de Taiwán.

El papel del ITRI en el desarrollo de la industria de semiconductores

La industria de semiconductores de Taiwán se remonta a los años sesenta, cuando la Universidad Nacional Chiao-Tung incluyó la tecnología de semiconductores en su plan de estudios y creó un laboratorio en 1964. Durante este periodo, la participación de Taiwán en la cadena de valor de la electrónica se centró principalmente en actividades de ensamblaje.

En 1966 General Instrument estableció una planta, a la que siguieron otras empresas, como Philips, Texas Instruments, Radio Corporation of America (RCA) y Mitsubishi. La primera inversión local en este sector procede de Wan Bang Electronics, fabricante de transistores bipolares que inició su actividad en 1971.

En 1974, el ITRI crea la Organización de Investigación y Servicios Electrónicos (ERSO). En 1975, la ERSO pone en marcha el "Proyecto de construcción de una planta de demostración de circuitos integrados". Para ello, envió a 38 ingenieros a recibir formación de la RCA durante un año, para adquirir conocimientos sobre el funcionamiento de la planta de CI, y contrató a expertos del extranjero. La ERSO completó con éxito su diseño del CI básico para la producción de relojes electrónicos en 1976, y el primer chip de CI se lanzó en 1978 en una planta de demostración.

La participación de organismos públicos de investigación, como el ITRI y la ERSO, agilizó la adquisición de tecnología, minimizó los riesgos potenciales y facilitó la colaboración estratégica con socios extranjeros. La planta de demostración también agilizó la transferencia de tecnología a las empresas locales.

(Continúa en la página siguiente)

En 1979 se creó el Parque Científico de Hsinchu. United Microelectronics Corporation (UMC), una empresa derivada de la planta de demostración, se convirtió en su primer ocupante. UMC, con el apoyo integral del ITRI, comenzó a operar en 1982 como el primer fabricante de obleas de Taiwán. La escisión de UMC desempeñó un papel crucial en la transferencia de recursos humanos y tecnología de los laboratorios gubernamentales al sector privado, infundiendo confianza en los inversores sobre las perspectivas de crecimiento del sector.

Ese mismo año, ERSO creó su segunda empresa derivada, Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC), que es ahora la mayor empresa de semiconductores del mundo. El capital de TSMC procedía del gobierno y del sector privado, incluidos inversores extranjeros como Philips. El ITRI apoyó el desarrollo de TSMC facilitando la transferencia de personal y proporcionando instalaciones de investigación y producción.

Estrategia del ITRI para la industria del hidrógeno

En junio de 2022, el ITRI dio a conocer el Plan Tecnológico de Desarrollo de Aplicaciones del Hidrógeno Taiwán 2050, en consonancia con la estrategia de transformación energética del Gobierno. Este plan se centra en tres ámbitos principales: generación de energía, vehículos e industrias.

El compromiso del ITRI con la investigación sobre pilas de combustible se remonta a 1987. En 2002 creó la Taiwan Fuel Cell Partnership (Asociación de Pilas de Combustible de Taiwán), que reunió diversos aspectos de la industria de las pilas de combustible, mejorando las capacidades técnicas y sentando las bases para las aplicaciones del hidrógeno en Taiwán. En 2006, el ITRI había transferido a la industria una tecnología crucial de placas bipolares, componente fundamental de las pilas de combustible de hidrógeno. Este paso impulsó el desarrollo de la energía del hidrógeno y atrajo mayores inversiones en la producción de pilas de combustible. En 2015, la estación de energía de hidrógeno del ITRI en el Campus de la Región Sur del ITRI logró un hito importante al convertirse en el primer laboratorio asiático en superar la evaluación UL para la prueba y certificación de pilas de combustible, un testimonio del cumplimiento de las normas internacionales. En 2022, el ITRI creó una empresa emergente dedicada al desarrollo de placas bipolares metálicas, promoviendo sus aplicaciones en pilas de combustible de hidrógeno.

El ITRI también ha introducido una serie de tecnologías que abarcan la producción, el almacenamiento y las aplicaciones del hidrógeno. Estas innovaciones incluyen un módulo de purificación por filtración de hidrógeno de bajo coste y alta eficiencia, un sistema de producción de hidrógeno por electrólisis de energías renovables, cilindros de almacenamiento de hidrógeno para vehículos y un sistema de pilas de combustible de hidrógeno. En colaboración con empresas como Asia Hydrogen Energy Corporation y Marketech International Corporation, el ITRI aspira a reforzar las capacidades tecnológicas de Taiwán, establecer una sólida cadena industrial de la energía del hidrógeno y trabajar en pos del ambicioso objetivo de lograr emisiones netas nulas para 2050.

Muchas de estas innovaciones han sido adoptadas por empresas, ayudándolas a conseguir la certificación de energía renovable para la energía del hidrógeno. Además, la tecnología del ITRI de generación de energía a partir de hidrógeno de proceso industrial y de recuperación de la purificación ha encontrado aplicación en la industria de los semiconductores, contribuyendo a la producción de energía limpia adicional. A través de la concesión de licencias tecnológicas, el ITRI facilita la creación de nuevas empresas y ha creado oportunidades de negocio en los ámbitos de los sistemas de generación de energía a partir de hidrógeno residual industrial y los vehículos eléctricos de gran tamaño.

FUENTE: CHANG Y TSAI (2000); HUNG Y CHU (2006); SITIO WEB DEL ITRI.

4.2.2 Reto 2: Desarrollar proveedores de fabricación nacionales

La segunda área de acción clave identificada en este estudio para desbloquear el potencial del hidrógeno verde en Chile está relacionada con el desarrollo de proveedores nacionales de fabricación. Las tres principales oportunidades políticas observadas en la práctica internacional en relación con este ámbito de actuación son los programas de desarrollo de competencias, la imposición de condiciones a las inversiones extranjeras directas entrantes y los programas de desarrollo de proveedores.

- i. **Programas de desarrollo de competencias.** El establecimiento de industrias de base tecnológica exige esfuerzos decisivos para colmar las lagunas de cualificación y promover una mano de obra diversa. Las iniciativas en este sentido van desde la elaboración de hojas de ruta para identificar posibles carencias en materia de competencias y diversidad, hasta acuerdos de colaboración, cursos de formación subvencionados y programas de diversidad e inclusión. Estas iniciativas pueden crearse en colaboración con el sector privado y organizaciones educativas y de investigación. Las asociaciones internacionales también pueden contribuir a acelerar el desarrollo de competencias, sobre todo cuando se dispone de capacidad y tiempo limitados para formar al número necesario de profesionales y técnicos.

Chile ha tenido éxito en la formación de profesionales y técnicos especializados en sectores prioritarios. Por ejemplo, en el sector frutícola, la Universidad de Chile y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) establecieron programas de formación técnica para hacer frente a la escasez de personal cualificado. También se estableció un programa de intercambio entre la Universidad de Chile y la Universidad de California en 1965.⁷⁸ El objetivo del actual plan Capital Humano para la Innovación es también mejorar la capacidad tecnológica de las empresas mediante la contratación de profesionales expertos en materia de I+D que puedan identificar oportunidades de productividad y/o competitividad. Sin embargo, aún faltan programas específicos para el sector del hidrógeno verde.

En cuanto a los programas de desarrollo de aptitudes específicas para el hidrógeno, cabe citar algunos ejemplos internacionales:

- **Australia - Hoja de ruta para el hidrógeno.** El Centro de Hidrógeno de Victoria ha elaborado una hoja de ruta de las cualificaciones en hidrógeno. En ella se evalúan las competencias necesarias para apoyar el desarrollo de la industria del hidrógeno. La hoja de ruta aboga por cursos de formación de formadores, programas comerciales, integración de programas escolares, microcredenciales e iniciativas de participación de la industria y la enseñanza superior.
- La **UE - GreenSkillsforH2.** Asociación entre la industria y organizaciones educativas. Entre sus objetivos figuran la creación de una comunidad para el desarrollo de competencias y la elaboración de programas de formación profesional y educativa. La estrategia incluye la definición de perfiles ocupacionales de hidrógeno muy demandados.
- **Sudáfrica - Marco estratégico de transición justa del ecosistema de EFTP del hidrógeno verde.** El objetivo de este marco y análisis es respaldar la orientación del ecosistema universitario de EFTP de Sudáfrica hacia el desarrollo de la industria verde del hidrógeno. Proporciona información sobre los sectores prioritarios y los plazos para el desarrollo de competencias, así como para la mejora y el reciclaje de las mismas. Las áreas clave cubiertas incluyen la producción ecológica de hidrógeno y amoníaco y la fabricación de pilas de combustible y electrolizadores.

⁷⁸ Ibid.

- Reino Unido - National Energy Skills Accelerator (NESA). NESA es una organización sin ánimo de lucro creada en junio de 2021. Proporciona un único punto de contacto para que la industria energética acceda a una amplia gama de programas de formación y desarrollo de competencias y a las capacidades de I+D de sus instituciones asociadas.
 - Internacional - Mujeres del hidrógeno verde. Organización sin ánimo de lucro y red de mujeres que trabajan en el sector del hidrógeno verde. Su objetivo es aumentar la visibilidad de las mujeres en el sector y amplificar sus voces. Una de sus principales iniciativas es un programa de tutoría.
- ii. *Atracción estratégica de inversión extranjera directa* Atraer estratégicamente la inversión extranjera directa (IED) ha demostrado ser un planteamiento eficaz, sobre todo en las primeras fases de desarrollo del sector. La IED inyecta capital en un sector, introduce tecnologías avanzadas y proporciona acceso a los mercados internacionales. Con los incentivos adecuados, también puede facilitar la transferencia de conocimientos y acelerar la innovación, como ilustra el caso de la industria de semiconductores de Taiwán en el Recuadro 4-1.

Chile también ha aprovechado la colaboración internacional para fomentar el crecimiento de nuevos sectores. Por ejemplo, la expansión de la industria del salmón recibió un apoyo sustancial a través de la transferencia de tecnología de Japón, que buscaba fuentes alternativas de salmón. La IED también fue crucial en la transferencia de tecnología que impulsó el desarrollo del sector vitivinícola.⁷⁹

Algunos ejemplos de medidas para garantizar que la IED contribuya al desarrollo de las capacidades nacionales son: declaraciones de desarrollo de la cadena de suministro, requisitos de contenido local, incentivos fiscales y condicionalidades en los incentivos a la inversión.

A continuación se presentan algunos ejemplos de medidas que se han utilizado para atraer IED estratégica con el fin de apoyar el desarrollo de industrias ecológicas:

- Brasil - Condicionalidad de los préstamos para turbinas eólicas. Para fomentar la fabricación nacional de turbinas eólicas, el Banco Nacional de Desarrollo (BNDES) ofrece préstamos altamente subvencionados, condicionados a un requisito de contenido local del 60%, unido al peso de sus componentes.
- India - Programa de Transición al Hidrógeno Verde. El programa pretende incentivar la fabricación de electrolizadores en la India. Para ello, los incentivos financieros están condicionados a la demostración de un mínimo de valor añadido local que aumente con el tiempo.
- Escocia - Declaración sobre el desarrollo de la cadena de suministro de ScotWind (SCDS). El SCDS está diseñado para proporcionar una estructura para la información de la cadena de suministro específica del proyecto que se comunicará con el gobierno y la industria. El SCDS delinea factores como la ubicación, la magnitud del gasto y las presunciones generales para el compromiso de la cadena de suministro del proyecto potencial. Además, el SCDS exige a los solicitantes que presenten información sobre los gastos de la cadena de suministro

⁷⁹ Ibid.

Varios países han manifestado su intención de promover requisitos de contenido local en las cadenas de suministro de hidrógeno. Sin embargo, dado que el sector se encuentra en las primeras fases de desarrollo, no se han identificado medidas específicas. No obstante, los países deberían actuar con cautela a la hora de aplicar estas medidas, teniendo en cuenta los retos que pueden plantear en el marco del derecho mercantil internacional.⁸⁰

- iii. **Desarrollo de proveedores.** Los gobiernos utilizan diferentes instrumentos de política pública para apoyar el desarrollo de la capacidad de fabricación nacional en nuevas industrias. Entre ellos se encuentran: la vinculación de las empresas locales con las empresas multinacionales (EMN), el asesoramiento técnico, los créditos fiscales, los préstamos a bajo interés, las garantías de préstamos, las reducciones arancelarias a la importación, la regulación y las normas, y la inversión en infraestructuras.

En Irlanda, el Programa Nacional de Vínculos consiguió desarrollar la capacidad de fabricación nacional dentro de la cadena de suministro de productos sanitarios. El programa evaluó las necesidades de las multinacionales y las áreas viables en las que podrían participar las empresas nacionales. Posteriormente, identificó posibles proveedores nacionales y facilitó sus mejoras en términos de normas de calidad y actualizaciones operativas. Para fomentar aún más la creación de conexiones locales, el programa ofrecía incentivos financieros a las EMN que entablaran dicha colaboración. Un factor crítico que contribuyó al éxito del programa fueron sus rigurosos criterios de selección de las empresas locales que participaban en la iniciativa.⁸¹

En Chile, CORFO gestiona un programa similar, *Red de Proveedores*,⁸² , que proporciona apoyo financiero para desarrollar y reforzar las capacidades técnicas y de innovación de los proveedores. El programa ayuda a las empresas a identificar y subsanar deficiencias en las empresas proveedoras y en la cadena de producción, mediante el desarrollo y el refuerzo de las capacidades de gestión, las competencias técnicas y tecnológicas y la innovación.

A continuación se ofrecen ejemplos de cómo los países están desarrollando su capacidad nacional de fabricación en la industria del hidrógeno:

- **Canadá - Crédito fiscal para la fabricación de tecnologías limpias.** Reembolsa el 30% de los costes en maquinaria y equipos nuevos utilizados para fabricar o procesar tecnologías limpias y extraer, procesar o reciclar minerales críticos, incluidos los utilizados en electrolizadores y pilas de combustible.
- **La UE - Ley de Industria Net Zero.** El objetivo de esta ley es reforzar la fabricación para lograr el objetivo de fabricar en el país al menos el 40% de la tecnología necesaria para alcanzar los objetivos climáticos y energéticos de la UE para 2030. Entre las medidas previstas figuran la simplificación del marco normativo, la creación de "cajas de arena" reguladoras, el establecimiento del Banco Europeo del Hidrógeno y la creación de academias de producción neta cero.
- **Estados Unidos - Ley de Reducción de la Inflación (IRA).** La ley incluye varios programas fiscales y de financiación para impulsar la fabricación nacional de tecnologías energéticas limpias, como un crédito fiscal a la producción para la fabricación nacional de componentes a lo largo de la cadena de suministro.

⁸⁰ PAGE (2017). Política industrial y comercio verdes: Una caja de herramientas. ONU Medio Ambiente y ONUDI en el marco de la Alianza para la Acción sobre la Economía Verde (PAGE).

⁸¹ Bamber, P. y Gereffi, G. (2013). *Costa Rica en la cadena de valor global de dispositivos médicos*. Durham: Duke University, Center on Globalization, Governance and Competitiveness, pp. 1-63.

⁸² <https://www.corfo.cl/sites/cpp/inf/red-proveedores>

cadena de suministro de módulos solares, turbinas eólicas, células y módulos de baterías y procesamiento de minerales críticos.

- [EE.UU. - Programa de reciclaje para la fabricación de hidrógeno limpio](#). A través de subvenciones, contratos y acuerdos de cooperación, proporciona ayuda financiera para avanzar en la nueva producción de hidrógeno limpio, procesamiento, entrega, almacenamiento, y el uso de tecnologías y técnicas de fabricación de equipos.

4.2.3 Reto 3: Aprovechar la producción local de hidrógeno para invertir en fabricación ecológica

Una tercera área de acción clave identificada en este estudio es el uso estratégico de hidrógeno verde producido localmente para atraer a las industrias manufactureras que buscan descarbonizarse. Al ofrecer una fuente segura de hidrógeno verde, Chile puede posicionarse como un lugar competitivo a nivel mundial para las industrias comprometidas con la sostenibilidad. Para ello es necesario promover las exportaciones y apoyar el desarrollo de nuevos mercados nacionales.

- **Creación de mercados nacionales.** Para fomentar el desarrollo de mercados nacionales de nuevos productos, pueden emplearse una serie de instrumentos de política pública. Entre ellos figuran: la contratación pública, la elaboración o actualización de reglamentos y normas, la inversión en infraestructuras y los incentivos a los consumidores.

Los contratos a plazo, los sistemas de tarifas reguladas (FIT) y las licitaciones basadas en subastas son instrumentos habituales en la contratación pública, sobre todo en el sector de las energías verdes. Los sistemas FIT se han aplicado ampliamente para apoyar la generación de electricidad a partir de fuentes renovables. Estas iniciativas proporcionan estabilidad financiera a largo plazo para los inversores, ya que implican que los gobiernos adquieran cantidades específicas de electricidad a un precio predeterminado (tarifa) durante un periodo de tiempo fijo. Ejemplos de países en los que se han empleado estos sistemas son: Alemania, Brasil, Canadá, China, Ecuador, India y Sudáfrica.⁸³ En algunos países, como Canadá e India, los regímenes FIT han incluido un requisito de contenido local.

En los últimos años, en varios países se ha pasado de los regímenes FIT a la licitación competitiva, con resultados desiguales.⁸⁴ Por ejemplo, en Alemania, la Ley de Energías Renovables (EEG) estableció un FIT en 2000, garantizando un precio superior al mayorista para la electricidad verde (biomasa, verde y solar) durante 20 años. Este régimen consiguió aumentar la producción de energía verde; sin embargo, se tradujo en un aumento de los costes para los consumidores. Al bajar el precio de las tecnologías renovables, el Gobierno sustituyó en 2017 el sistema FIT por un proceso de licitación competitivo basado en subastas. Se espera que esta transición reduzca los costes y ayude al desarrollo de la red a seguir el ritmo de la generación de energía verde. Sin embargo, se ha expresado la preocupación de que pueda generar una mayor incertidumbre para los inversores y resultar demasiado costoso y burocrático para los agentes más pequeños.⁸⁵

⁸³ PAGE (2017). Política industrial y comercio verdes: Una caja de herramientas. ONU Medio Ambiente y ONUDI en el marco de la Alianza para la Acción sobre la Economía Verde (PAGE).

⁸⁴ Ibid.

⁸⁵ PAGE (2017). Política industrial y comercio verdes: A tool-box. UN Environment and UNIDO under the Partnership for Action on Green Economy (PAGE); Sutton, I. (2021). [Germany: will the end of feed-in tariffs mean the end of citizens-as-energy-producers](#). Energy Post. 3 de junio de 2021.

En la industria del hidrógeno, las políticas del lado de la demanda son de reciente creación y se centran principalmente en las aplicaciones de transporte, entre las que se incluyen: Sistemas FIT, cuotas, objetivos vinculantes, licitaciones competitivas, contratos por diferencia (CfD), incentivos para que los fabricantes adopten procesos respetuosos con el clima y subvenciones para la compra de vehículos eléctricos de pila de combustible y para el desarrollo de estaciones de repostaje de hidrógeno. Algunos ejemplos relacionados son los siguientes:

Normativa y legislación

- [El programa brasileño Próalcohol para el desarrollo del etanol como combustible de automoción.](#) Se trataba de una serie de incentivos, como subvenciones de precios, garantía de adquisición por parte de Petrobras, financiación a los productores que quisieran aumentar su capacidad de producción y reducciones fiscales para los vehículos alimentados con etanol anhidro.⁸⁶ Pero también había que establecer normativas. Por ejemplo, se obligó a las gasolineras a vender etanol y, a partir de 1998, una ley obligó a mezclar una cantidad mínima del 24% de etanol anhidro en cualquier gasolina vendida en Brasil (esta cifra se aumentó al 27% en 2015).⁸⁷ La prominencia del etanol en el país también impulsó a los ingenieros brasileños a llevar a cabo actividades de I+D sobre la tecnología "flex-fuel" en la década de 1990, una tecnología que permite a los coches funcionar con gasolina, etanol o cualquier mezcla de ambos. Tras acordar el gobierno una reducción de impuestos a los coches flex-fuel en 2001, los fabricantes de automóviles empezaron a producir coches flex-fuel a gran escala.⁸⁸ La tecnología fue un gran éxito, y hoy alrededor del 90% de los coches nuevos vendidos en Brasil son flex-fuel.⁸⁹ Todas estas políticas ayudaron a crear y sostener un mercado para el etanol en el país.

Licitación competitiva basada en subastas

- [Corea del Sur - Ley de Promoción Económica del Hidrógeno y Gestión de la Seguridad del Hidrógeno.](#) El mercado se dividió en uno para la generación general de energía de hidrógeno (abierto en 2023) y otro para la generación limpia de energía de hidrógeno (que se abrirá en 2024). En virtud del artículo 25-6, los proveedores de electricidad identificados en el Decreto Presidencial deben comprar y suministrar una determinada cantidad de energía de hidrógeno fijada cada año por el Decreto Presidencial a través del "mercado de subastas de hidrógeno".
- [La UE - Banco Europeo del Hidrógeno \(EHB\).](#) La Comisión Europea pretende que el BHE cubra y reduzca la diferencia de costes entre el hidrógeno renovable y los combustibles fósiles para los primeros proyectos. Esto se logrará mediante un sistema de subastas para la producción de hidrógeno renovable con el fin de apoyar a los productores mediante el pago de un precio fijo por kg de hidrógeno producido durante un máximo de 10 años de funcionamiento.

Objetivos vinculantes

- [La UE: acuerdo provisional.](#) El acuerdo provisional establecía que la industria aumentaría su uso de energías renovables anualmente en un 1,6%. Se acordó que el 42% del hidrógeno utilizado en la industria debería proceder de combustibles renovables de origen no biológico para 2030, y el 60% para 2035.
- [India - Aprovechar el hidrógeno verde.](#) Esta estrategia incluye objetivos vinculantes para pasar del hidrógeno gris al verde en las industrias -como refinerías y productores de fertilizantes- que utilizan el hidrógeno como materia prima.

⁸⁶ Giacomazzi (2012). [Breve historia del programa brasileño PróAlcohol y evolución de los biocombustibles y los productos de base biológica en Brasil.](#)

⁸⁷ Nova Cana (n.a.). [Historia de la legislación sobre el etanol.](#)

⁸⁸ ELLA (n.d.). [Intervención gubernamental para fortalecer el sector del etanol: lecciones de Brasil.](#)

⁸⁹ Paixão (2023). [Jeitinho brasileiro', carro flex completa 20 anos e surge como alternativa barata aos elétricos.](#) *Auto Esporte.*

Incentivos para los fabricantes

- Alemania - Contratos de Cambio Climático (CCfD). El régimen ayuda a las empresas industriales a invertir en instalaciones de producción respetuosas con el clima, como las industrias del acero, el cemento, el papel o el vidrio. El programa de financiación utiliza un procedimiento de subasta. Las empresas subvencionadas reciben una subvención variable, cuyo importe se define en función de los costes adicionales de la instalación respetuosa con el clima en comparación con una instalación convencional.

Incentivos para los consumidores

- Países Bajos - Plan de subvenciones al hidrógeno en la movilidad. Una iniciativa de 150 millones de euros para subvencionar camiones, furgonetas y autobuses impulsados por hidrógeno cubrirá hasta el 80% de los costes subvencionables, con importes máximos predefinidos para cada tipo de vehículo. Además, se ofrece financiación para estaciones de servicio de hidrógeno, que cubre hasta el 40% de los costes subvencionables, con un tope de 2.000.000 de euros.

Inversiones en infraestructura de vehículos

- Canadá - Iniciativa de infraestructuras de recarga y repostaje de hidrógeno. Iniciativa lanzada por el Banco de Infraestructuras de Canadá (BIC). Pone a disposición 500 millones de dólares canadienses para acelerar el despliegue por parte del sector privado de cargadores de vehículos de emisiones cero y estaciones de repostaje de hidrógeno a gran escala.

- ii. **Fomento de las exportaciones.** Los gobiernos pueden apoyar a las empresas que operan en sectores emergentes facilitándoles el acceso a los mercados internacionales. Este apoyo puede incluir la prestación de servicios de asesoramiento, como inteligencia de mercado y asistencia para el cumplimiento de normas y reglamentos. Además, los gobiernos pueden ofrecer instrumentos financieros como préstamos a bajo interés, servicios de factoraje de exportaciones, programas de seguro de crédito y garantías de crédito.

Por ejemplo, el Banco de Exportación e Importación de Estados Unidos (EXIM) ha proporcionado financiación y seguros a la exportación para apoyar la exportación de paneles solares y otras tecnologías de energías renovables fabricadas en Estados Unidos. En 2023, los participantes en el Acuerdo sobre Créditos a la Exportación con Apoyo Oficial de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (de la que EXIM es miembro) alcanzaron un acuerdo de principio. Esto implica:

- Ampliar el alcance de los proyectos ecológicos o respetuosos con el clima que pueden optar a plazos de amortización más largos a los relacionados con (i) la producción de energía ambientalmente sostenible, (ii) la captura, el almacenamiento y el transporte de CO₂, (iii) la transmisión, la distribución y el almacenamiento de energía, (iv) el hidrógeno y el amoníaco limpios, (v) la fabricación con bajas emisiones, (vi) el transporte con cero o bajas emisiones y (vi) los minerales y menas de energía limpia.
- Aumento del plazo máximo de amortización a 22 años para los proyectos subvencionables por la CCSU, y a 15 años para la mayoría de los demás proyectos, introduciendo nuevas flexibilidades de amortización y ajustando los tipos mínimos de las primas por riesgo de crédito para plazos de amortización más largos.⁹⁰

En Chile, CORFO apoya la internacionalización de las empresas con iniciativas como:

- **Red Mercados.** Asistencia técnica y apoyo financiero para potenciar la actividad exportadora. Las convocatorias, el apoyo específico y el enfoque varían según las regiones.
- **Asociación empresarial con Alemania.** El apoyo que presta este programa incluye formación en gestión, un viaje de dos semanas a Alemania para visitar empresas y la participación en un acto de creación de redes.
- **Focal.** Apoyo financiero para mejorar y certificar sistemas de gestión y productos para llegar a nuevos mercados. Las convocatorias, las ayudas específicas y el enfoque varían según las regiones.
- **RED Asociativa.** Asistencia técnica y apoyo financiero para identificar oportunidades de mercado y modernización tecnológica.⁹¹
- **Garantías Corfo Comercio Exterior (COBEX).** Sistema de préstamo-garantía para facilitar el acceso al crédito para financiar actividades de comercio internacional.

La cooperación internacional para el comercio del hidrógeno va en aumento. Desde 2022, gobiernos de todo el mundo han firmado 31 acuerdos bilaterales de cooperación específicos para el hidrógeno, 15 de los cuales se centran en el comercio. Por ejemplo, el Ministerio de Energía y Minería de Chile ha firmado varios memorandos de entendimiento (MoU) con puertos europeos para fomentar la producción de hidrógeno verde.⁹² Además, el hidrógeno se está convirtiendo en un tema más común en los acuerdos de cooperación general. Desde 2022, 31 acuerdos bilaterales de cooperación sobre temas energéticos han incluido el hidrógeno entre las áreas citadas en el acuerdo.⁹³

⁹⁰ EXIM (2023). [EXIM ayuda a EE.UU. a firmar la principal reforma de la OCDE para las agencias de crédito a la exportación.](#)

iii. **I+D para aplicaciones de uso.** Un área importante para la acción gubernamental es también el apoyo a la I+D para aplicaciones de uso del hidrógeno. Esto ayudaría a garantizar que las industrias usuarias del país estén equipadas con las tecnologías, la maquinaria y la mano de obra necesarias para utilizar el hidrógeno verde.

- **Estrategia del hidrógeno del Reino Unido: Uso del hidrógeno.** La Estrategia del Hidrógeno del Reino Unido tiene una sección dedicada a apoyar la I+D para aplicaciones de uso del hidrógeno, como su utilización en la industria, la generación de electricidad, la calefacción y el transporte (por carretera, marítimo, aéreo y multimodal). Hay muchos fondos, como **el Fondo de Transformación Energética Industrial** del Reino Unido (IETF), premios, concursos, **como el Concurso de Planes Locales de Descarbonización Industrial** y el **Concurso Industrial Fuel Switching 2**, y el **Concurso Low Carbon Hydrogen Supply 2** para una solución novedosa de suministro de hidrógeno, así como consultas con la industria y cambios en la normativa y los marcos jurídicos.

⁹¹ Basado en información del sitio web de CORFO.

⁹² <https://www.gob.cl/noticias/chile-firma-memorandum-de-entendimiento-con-dos-puertos-estrategicos-de-europa-para-fomentar-la-produccion-de-hidrogeno-verde/>

⁹³ Agencia Internacional de la Energía (2023). Informe mundial sobre el hidrógeno 2023

Recuadro 4-2 El amanecer de la industria fotovoltaica solar china

China alberga a los 10 principales proveedores mundiales de equipos de fabricación de energía solar fotovoltaica, y su cuota de mercado en todas las fases de fabricación de paneles solares (como polisilicio, lingotes, obleas, células y módulos) supera el 80%. El notable desarrollo de la industria solar fotovoltaica en China puede atribuirse a una combinación de políticas de oferta y demanda.

Políticas de oferta

Por el lado de la oferta, el Gobierno chino ofreció un fuerte apoyo a la fabricación de paneles solares mediante incentivos, subvenciones e inversiones en investigación y desarrollo. Esto permitió a los fabricantes chinos lograr economías de escala, reduciendo los costes de producción de la energía solar fotovoltaica, lo que reportó múltiples beneficios globales para las transiciones hacia energías limpias.

Ejemplos de estas iniciativas son las condicionalidades a la inversión directa extranjera para estimular la transferencia de tecnología y las exenciones fiscales a la importación de tecnologías clave. El Banco de Desarrollo de China también ofreció préstamos a medio y largo plazo para zonas de demostración de energía fotovoltaica distribuida y otros proyectos a gran escala. Otras subvenciones a la producción se concedieron a través del Programa de Demostración Sol de Oro. Lanzado en julio de 2009 por el Ministerio de Finanzas, el Ministerio de Ciencia y Tecnología y la Administración Nacional de Energía, este programa financiaba el 50% del coste total de los sistemas conectados a la red y el 70% del coste total de los sistemas no conectados a la red.

Políticas de demanda

La demanda, por su parte, experimentó un aumento de la adopción de la energía solar, sobre todo a partir de 2008/9, cuando la demanda de energía solar fotovoltaica se contrajo en Europa. Los instrumentos de política pública utilizados para apoyar el desarrollo del mercado nacional incluyen el Programa de Techos Solares, lanzado en marzo de 2009 por el Ministerio de Finanzas y el Ministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano-Rural. Este programa incentivaba la instalación de paneles solares en tejados residenciales y comerciales, aunque a una escala relativamente pequeña. Financiaba proyectos con una capacidad instalada igual o superior a 50 kW.

Las tarifas reguladas y los mecanismos de medición neta también garantizaron que el excedente de energía solar pudiera venderse de nuevo a la red, haciendo que la energía solar resultara económicamente atractiva para los consumidores. En julio de 2011, la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma anunció su primer programa nacional de tarifas de alimentación para el desarrollo de la energía solar fotovoltaica, estableciendo como referencia para las tarifas de energía en red 0,9, 0,95 y 1 RMB por kWh, en función de los recursos de energía solar y los costes de construcción en diferentes zonas de recursos de todo el país. Las ayudas FIT se concedieron por un periodo de 20 años.

La Administración Nacional de Energía dejó de aprobar FIT para nuevos proyectos renovables en 2018, tras lo cual decidió eliminar gradualmente los principales regímenes de ayuda FIT. La medida se debió a los retrasos en los pagos de las primas y a la caída del coste de los módulos fotovoltaicos, que ha hecho que los sistemas sean más asequibles. El 14º Plan Quinquenal del Gobierno, publicado en marzo de 2021, sigue haciendo hincapié en la energía solar fotovoltaica, así como en la integración energética y el almacenamiento de energía, con el objetivo de alcanzar una cuota del 20% de combustibles no fósiles en el mix energético para 2025.

La combinación de estas políticas de oferta y demanda no sólo impulsó el mercado solar nacional chino, sino que consolidó su posición como líder mundial de la industria solar, con un impacto significativo en la adopción de energías limpias en todo el mundo

FUENTE: AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA (2021, 2022); REN21 (2022); WANG (2017); ZHANG Y HE (2013); Y ZHI, ET AL. (2014).

TABLA 4-1: RESUMEN DE LAS HERRAMIENTAS POLÍTICAS

Sistema de innovación función	Ámbito de política pública	Justificación	Instrumentos	Ejemplos específicos del hidrógeno (o relacionados)	Experiencia chilena
Reforzar la rentabilidad de los proyectos a gran escala	Visión a largo plazo	Asimetrías de información, incertidumbre	<ul style="list-style-type: none"> • Estrategias a largo plazo • Objetivos de producción a largo plazo • Establecer organizaciones de investigación y tecnología 	Según el informe Global Hydrogen Review 2023, un total de 41 gobiernos, incluido el de Chile, han adoptado estrategias nacionales sobre el hidrógeno.	La organización público-privada Fundación Chile ha contribuido a dar seguridad a los proyectos a largo plazo. También ha sido fundamental la creación de organizaciones de investigación y tecnología especializadas en sectores específicos. Del mismo modo, la Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde y los objetivos de producción relacionados proporcionan seguridad sobre el compromiso del Gobierno para inversión a largo plazo.
	Infraestructuras de transporte	Limitaciones de capital, fallos de coordinación	<ul style="list-style-type: none"> • Subvenciones de contrapartida • Desarrollo directo (SOEs) 	<ul style="list-style-type: none"> • Grupo de trabajo federal sobre redes inteligentes del Departamento de Energía (DoE) • Ley de Recuperación y Reinversión de Estados Unidos • Proyectos italianos de redes inteligentes 	Este es uno de los principales problemas a la hora de decidir invertir en H2 en Chile. No hay medidas claras para resolver los elevados precios de la red, que van en aumento. La red, en general, es estable y fiable, pero hay que insistir en la necesidad de resolver el problema de la aumento de los costes de la red.
	Infraestructuras específicas para el hidrógeno	Limitaciones de capital, fallos de coordinación	<ul style="list-style-type: none"> • Formación de consorcios • Proyectos de demostración 	<ul style="list-style-type: none"> • La red troncal europea del hidrógeno (EHB) de la UE • Proyecto "LTS Futures" de la SGN británica 	-
	Incentivos fiscales y subvenciones directas a la producción	Limitaciones de capital, riesgo excesivo	<ul style="list-style-type: none"> • Créditos fiscales • Incentivos a las ventas incrementales 	<ul style="list-style-type: none"> • Crédito fiscal para la producción de hidrógeno limpio (45V) de la Ley de Reducción de la Inflación de EE.UU. • Incentivos vinculados a la producción en la India 	-
	Zonas económicas especiales	Falta de atractivo económico de determinados lugares	<ul style="list-style-type: none"> • Un marco normativo exclusivo • Prestación de servicios 	<ul style="list-style-type: none"> • Los centros regionales de hidrógeno de EE.UU. 	El Gobierno de Chile ha encargado un estudio sobre la viabilidad de los valles del hidrógeno en el país.

			<p>públicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejora de las infraestructuras • Ventajas fiscales 	<ul style="list-style-type: none"> • Los valles del hidrógeno de la UE <p>La UE - Asociación para el Hidrógeno Limpio; convocatoria de 195 millones de euros de investigación sobre el hidrógeno para apoyar la creación de tecnologías punteras en este campo</p>	<p>Tradicionalmente, CORFO y las agencias de innovación han desempeñado un papel fundamental en la financiación de la I+D y la adopción de tecnología.</p> <p>La Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) ha venido apoyando actividades de investigación y desarrollo para desarrollar</p>
	Programas de investigación y desarrollo	Externalidades del conocimiento, incertidumbre y riesgos, asimetrías de la información,	<ul style="list-style-type: none"> • Subvenciones de I+D • Créditos fiscales • Préstamos a bajo interés • Garantías de préstamos • Acceso a instalaciones de laboratorio 		

Sistema de innovación función	Ámbito de política pública	Justificación	Instrumentos	Ejemplos específicos del hidrógeno (o relacionados)	Experiencia chilena
		coordinación fallos	<ul style="list-style-type: none"> Asesoramiento sobre propiedad intelectual Apoyo a consorcios de investigación/redes de conocimiento 	EE.UU., Departamento de Energía - La iniciativa Hydrogen Shot reducirá un 80% el coste del hidrógeno limpio	<p>una industria del hidrógeno sostenible y crear mercado local a través de programas como el Concurso Tecnologías Avanzadas 2023 y el Fomento a la Vinculación Internacional para Instituciones de Investigación.</p> <p>Recientemente, CORFO ha impulsado la creación del Instituto de Tecnologías Limpias, que recibirá 125 millones de dólares para I+D en tecnologías limpias.</p>
	Ampliación de las ayudas	Incertidumbre y riesgos, asimetrías de información, fallos de coordinación, economías de escala	<ul style="list-style-type: none"> Demostradores y subvenciones piloto Servicios de creación de prototipos y pruebas Apoyo a la concesión de licencias Reglamentación y normas Programas de incubación y aceleración Incentivos a la inversión de capital Préstamos a bajo interés Garantías de préstamos Organismos intermedios de I+D Apoyo a las redes 	<ul style="list-style-type: none"> Dinamarca - Régimen danés de 170 millones de euros Alemania - Reallabore der Energiewende Países Bajos - Programa de Demostración de la Innovación Energética y Climática (DEI+) Reino Unido - Programa Acelerador Industrial del Hidrógeno (IHA) EE.UU. - Programa de electrólisis de hidrógeno limpio 	<ul style="list-style-type: none"> La Fundación Chile ha desempeñado un papel clave en la difusión de conocimientos en nuevas industrias a través de servicios de consultoría, subvencionando la difusión de tecnología y facilitando la colaboración. Los organismos de investigación y CORFO también han apoyado estos esfuerzos. PFCH2V de CORFO para proporcionar financiación a largo plazo y mitigación de riesgos a los proyectos de hidrógeno verde.
Desarrollo de proveedores nacionales	Atracción estratégica de inversión extranjera directa	Asimetrías de información, fallos de coordinación, disparidades de poder	<ul style="list-style-type: none"> Declaraciones sobre el desarrollo de la cadena de suministro Requisitos de contenido local Incentivos fiscales Condicionales de los incentivos a la inversión 	<ul style="list-style-type: none"> Brasil - condicionalidad de los préstamos para turbinas eólicas India - Programa de Transición al Hidrógeno Verde Escocia - Declaración sobre el desarrollo de la cadena de suministro de ScotWind (SCDS) 	La IED, y la tecnología que la acompañaba, fueron factores cruciales para el desarrollo de los sectores del vino y el salmón. InvestChile es la agencia gubernamental encargada de promocionar Chile en el mercado mundial como destino de inversión extranjera directa. inversión.
	Desarrollo de proveedores	Asimetrías de información, fallos de coordinación	<ul style="list-style-type: none"> Vinculación de las empresas locales con las multinacionales Asesoramiento técnico Créditos fiscales Préstamos a bajo interés Garantías de préstamos 	<ul style="list-style-type: none"> Canadá - Crédito fiscal para la fabricación de tecnologías limpias La UE - Ley de Industria Net Zero EE.UU. - Ley de Reducción de la Inflación (IRA); hidrógeno limpio Programa de reciclado de productos manufacturados 	Los programas de desarrollo de proveedores de CORFO han ayudado a los pequeños productores a adaptar la calidad de sus productos a las normas internacionales.

Sistema de innovación función	Ámbito de política pública	Justificación	Instrumentos	Ejemplos específicos del hidrógeno (o relacionados)	Experiencia chilena
			<ul style="list-style-type: none"> • Reducciones arancelarias • Desarrollo de competencias • Reglamentación y normas • Inversión en infraestructuras 		
<p>Aprovechar la producción local de hidrógeno para la fabricación ecológica</p>	<p>Creación de mercados nacionales</p>	<p>Asimetrías de información, incertidumbre, riesgos, fallos de coordinación, externalidades positivas</p>	<p>Contratación pública:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Normativa y legislación • Contratos a plazo • Sistemas de tarifas reguladas • Contratos por diferencias • Licitación competitiva basada en subastas <p>Objetivos vinculantes</p> <p>Reglamentos y normas</p> <p>Inversión en infraestructuras</p> <p>Incentivos para los consumidores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Subvenciones • Créditos fiscales • Préstamos a bajo interés 	<p>Licitación competitiva basada en subastas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Brasil Programa Próalcohol • Corea del Sur: mercado de subastas de hidrógeno • La UE - Sistema de subastas del Banco Europeo del Hidrógeno <p>Objetivos vinculantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La UE: acuerdo provisional con objetivos vinculantes para la industria sobre el uso de hidrógeno verde • India - Aprovechar el hidrógeno verde. Esta estrategia incluye objetivos vinculantes para pasar del hidrógeno gris al verde en las industrias que utilizan hidrógeno como materia prima. <p>Incentivos para los fabricantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alemania - Contratos de Cambio Climático (CCfD). Este régimen ayuda a las empresas industriales a invertir en instalaciones de producción respetuosas con el clima. <p>Incentivos para los consumidores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Países Bajos - Plan de subvenciones al hidrógeno en la movilidad <p>Inversiones en infraestructura de vehículos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Canadá - Iniciativa de infraestructura de recarga y 	<p>-</p>

				repostaje de hidrógeno	
--	--	--	--	------------------------	--

Sistema de innovación función	Ámbito de política pública	Justificación	Instrumentos	Ejemplos específicos del hidrógeno (o relacionados)	Experiencia chilena
	Exportar promoción	Economías de escala, fallos de coordinación	<p>Servicios de asesoramiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Información de mercado • Cumplimiento y orientación normativa <p>Apoyo financiero:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Préstamos a bajo interés • Servicios de factoring a la exportación • Programas de seguro de crédito • Garantías de crédito <p>Acuerdos comerciales</p>	<p>Reforma del crédito a la exportación de la OCDE</p> <p>Agencias, incluidos el hidrógeno y el amoníaco limpios en el ámbito de los proyectos ecológicos y, por tanto, elegibles para largos plazos de amortización (hasta 15 años).</p>	<p>En Chile, CORFO apoya la internacionalización de negocio con iniciativas como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Red Mercados. Asistencia técnica y apoyo financiero • Asociación empresarial con Alemania. Formación en gestión, un viaje de 2 semanas a Alemania para visitar empresas y participación en un acto de creación de redes. • Focal. Apoyo financiero para mejorar y certificar sistemas de gestión y productos • RED Asociativa. Asistencia técnica y apoyo financiero • COBEX. Sistema de garantía de préstamos
	Desarrollo de competencias	Asimetrías de información, efectos indirectos	<ul style="list-style-type: none"> • Hojas de ruta de las competencias • Programas internacionales de desarrollo • Colaboración entre el gobierno, el sector privado y el mundo académico para actualizar y crear programas de educación y formación. • Iniciativas de diversidad e inclusión 	<ul style="list-style-type: none"> • Australia - Hoja de ruta de las competencias en hidrógeno • La UE - GreenSkillsforH2. • Sudáfrica - Marco Estratégico de Transición Justa del Ecosistema de EFTP del Hidrógeno Verde • Reino Unido - Acelerador Nacional de Competencias Energéticas (NESA) • Internacional - Mujeres del hidrógeno verde 	<p>La colaboración con universidades, organismos de investigación y socios internacionales ha sido fundamental para desarrollar técnicos y profesionales especializados.</p>

FUENTE: BAMBER Y GEREFFI (2013); HUNG Y CHU (2006); AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA (2023); GUSTAFSSON (2016); LEBDIOUI (2019); LEBDIOUI ET AL. (2021); MAZZUCATO Y RODRIK (2023); OCDE (2017); PAGE (2017); ZHANG Y HE (2013); ZHI ET AL. (2014); Y FAY ET AL. (2013).

5. Instrumentos para promover las industrias emergentes y los encadenamientos de fabricación nacional en Chile

Este informe ha revisado las principales tendencias, retos y oportunidades relacionados con el desarrollo de una industria chilena de hidrógeno verde y los vínculos de fabricación nacional. También se ha analizado lo que otros países están haciendo en este ámbito. Esta sección final reúne las conclusiones de todo el informe para ofrecer un resumen de recomendaciones sobre el diseño y la aplicación de medidas políticas adaptadas a las necesidades y objetivos específicos de Chile.

El enfoque principal de esta síntesis se centra en las acciones que son directamente pertinentes a la jurisdicción del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (Minecon), especialmente aquellas que pueden realizarse en un plazo relativamente corto y con los recursos disponibles. Al mismo tiempo, esta sección considera el panorama de política pública más amplio en Chile, proporcionando información sobre las interacciones y colaboraciones del Minecon con otras partes interesadas en Chile para avanzar en la economía verde del hidrógeno.

Esta sección se organiza en torno a los tres retos y áreas de acción clave identificados en la Sección 3: reforzar el argumento comercial de los proyectos a gran escala; desarrollar proveedores nacionales de fabricación; y aprovechar la producción local de hidrógeno para la fabricación ecológica.

CUADRO 5-1: RESUMEN DE LAS RECOMENDACIONES POLÍTICAS

	Reforzar el caso de negocios de los proyectos a gran escala	Desarrollo de proveedores manufactureros nacionales	Aprovechar la producción local de H2V para atraer inversiones en manufactura verde
¿Por qué?	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Es necesario garantizar que los proyectos de hidrógeno verde anunciados lleguen a una decisión final de inversión y atraer más hidrógeno verde a gran escala. proyectos. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La industria chilena del hidrógeno verde tiene la oportunidad de obtener un mayor valor añadido para el país mediante el desarrollo de vínculos de fabricación local. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Existe la oportunidad de aprovechar la transición ecológica mundial para posicionar a Chile como un lugar atractivo para establecer industrias usuarias de hidrógeno y fabricación ecológica.
¿Cómo?	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Abordar los principales factores de coste de la producción de hidrógeno verde, garantizando que los proyectos en Chile alcancen la paridad de precios con sus competidores internacionales. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Desarrollar proveedores nacionales para la propia producción de hidrógeno o para las industrias usuarias de hidrógeno. ➤ Fomentar la capacitación de la mano de obra local para garantizar su adecuación a las necesidades de la industria del hidrógeno verde. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Desarrollar incentivos para el uso de GH2 entre los sectores industriales nacionales. ➤ Diseñar incentivos para atraer a las industrias que utilizan hidrógeno.
¿Cómo?	<p>Recomendaciones para el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (Minecon)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Recomendación 1: Considerar la creación de una zona económica especial para incentivar la ubicación de la generación de energía renovable, la producción de H2 y derivados, y el uso o la exportación de H2 y derivados. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Acción a corto plazo: 1.1) Conceder subvenciones para realizar estudios de viabilidad, desarrollar el marco específico y promoverlo en los sectores público y privado. <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1.2) Implicar al Ministerio de Hacienda para garantizar su participación y aceptación. ▪ Acción a medio y largo plazo: 1.2) Obtener compromisos firmes de inversores potenciales. 	<p>Recomendaciones para el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (Minecon)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Recomendación 3: Establecer un mecanismo para que el Gobierno se comprometa con las cadenas de suministro nacionales y apoye el desarrollo de proveedores de hidrógeno verde. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Acción a corto plazo: 3.1) Crear una base empírica más clara sobre los retos y oportunidades de la cadena de suministro mediante, por ejemplo, un consejo intersectorial de alto nivel de la cadena de suministro encargado de desarrollar un modelo nacional de demanda de la cadena de suministro. ▪ Acción a medio y largo plazo: 3.2) Establecer un programa nacional de desarrollo de proveedores para explorar oportunidades de suministro y desarrollar capacidades, basándose potencialmente en experiencias existentes como la Red Proveedores. <ul style="list-style-type: none"> ▪ 3.3) Considerar condicionalidades y/o incentivos relacionados con los requisitos de contenido local para los productores de hidrógeno a fin de impulsar la demanda de proveedores nacionales. 	<p>Recomendaciones para el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (Minecon)</p> <p>Recomendación 5: Ofrecer incentivos para atraer industrias extranjeras usuarias de hidrógeno y crear una demanda industrial nacional de hidrógeno verde.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Acción a corto plazo: 5.1) Establecer subvenciones a la industria usuaria y/o objetivos vinculantes para ampliar el uso del hidrógeno en industrias nacionales como refinerías, productores de alimentos, productores de fertilizantes, fabricantes de acero, fabricantes de vidrio y el sector químico. ▪ Acción a medio y largo plazo: 5.2) Aprovechar los incentivos de las zonas económicas especiales para reubicar las posibles industrias nacionales existentes usuarias de hidrógeno. <ul style="list-style-type: none"> ▪ 5.3) Aplicar subvenciones al consumo para atraer inversiones extranjeras directas en industrias usuarias de hidrógeno.
	<p>Recomendaciones multipartitas</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Recomendación 2: Crear un grupo de trabajo multipartito que adopte nuevas medidas para abordar los principales factores de coste de los proyectos de hidrógeno verde. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Acción a corto plazo: 2.1) Convocar y coordinar un <i>grupo de trabajo sobre reducción de costes</i> para definir un paquete adecuado de incentivos fiscales, subvenciones y ayudas a la I+D para lograr reducciones de costes relacionadas con la generación y transmisión de energías renovables, CAPEX y OPEX de plantas de GH2, y exportación/transporte de GH2 y derivados. ▪ Acciones a medio y largo plazo: 2.2) Aplicar recomendaciones del grupo de trabajo para la reducción de costes. ➤ Partes interesadas: Ministerio de Energía, CORFO, Minecon, sector privado 	<p>Recomendaciones multipartitas</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Recomendación 4: Invertir en el desarrollo de las competencias de los trabajadores en materia de hidrógeno verde y ámbitos afines. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Acción a corto plazo: 4.1) Elaborar una hoja de ruta de competencias en materia de hidrógeno ecológico junto con un mapa de la cadena de suministro. ▪ Acciones a medio y largo plazo: 4.2) Integrar las competencias en materia de hidrógeno verde en los programas de formación profesional y universitarios existentes. <ul style="list-style-type: none"> ▪ 4.3) Desarrollar un programa especializado de formación de trabajadores centrado en el hidrógeno verde. ➤ Partes interesadas: Ministerio de Educación, Ministerio de Energía, Minecon, sector privado 	

5.1. Reforzar el caso de negocios de los proyectos a gran escala

El principal objetivo de política pública de esta área de acción debería ser *garantizar que los proyectos de hidrógeno verde anunciados alcancen una decisión de inversión final y atraer más proyectos de hidrógeno verde a gran escala*. Para ello es necesario abordar los principales factores de coste de la producción de hidrógeno verde, garantizando que los proyectos en Chile alcancen la paridad de precios con sus competidores internacionales.

Recomendación 1: Considerar la creación de una zona económica especial para incentivar la coubicación de la generación de energía renovable, la producción de H2 y derivados, y el uso o la exportación de H2 y derivados.

Las zonas económicas especiales (ZEE) son un importante instrumento para atraer inversiones nacionales y extranjeras. En todo el mundo hay más de 1.500 ZEE en más de 140 países, y recientemente algunas de estas zonas han atraído proyectos de hidrógeno verde, como el Complejo Industrial y Portuario de Pecém (CIPP) en el estado brasileño de Ceará, la Zona Económica del Canal de Suez (SCZONE) en Egipto, y la Zona Económica Especial de Campeche en México.

Para los proyectos de hidrógeno verde, las ZEE adquieren mayor importancia, ya que pueden obtenerse muchos beneficios de la **ubicación conjunta** de la generación de energía renovable, la producción de H2 y derivados, y el uso (o exportación) de H2 y derivados. Disponer de plantas de producción de H2 cerca geográficamente de la generación de energía renovable permite soluciones fuera de la red, lo que reduce los costes de transmisión de energía. La ubicación conjunta de varias plantas de producción en un mismo lugar también ofrece la posibilidad de realizar economías de escala y ahorrar costes en el desarrollo de infraestructuras, como las de agua, gas, transporte y almacenamiento. Por ejemplo, en un escenario de coubicación, las plantas desalinizadoras de agua (a menudo necesarias para la producción de H2) pueden servir a varias plantas de producción al mismo tiempo. Por último, la coubicación con las industrias usuarias también permite evitar costes en el transporte nacional de H2, una cuestión crítica, aún plagada de incertidumbres sobre su viabilidad técnica y económica.

La ZEE de Chile debería tener las características comunes de las ZEE. Debería incluir lo siguiente

- **Infraestructuras de alta calidad**, incluyendo energía, gas, agua, transporte y almacenamiento. Esto es esencial no sólo para permitir la producción de H2 y derivados a un coste competitivo, sino también para hacer de la ZEE un lugar atractivo para las agrupaciones industriales que deseen utilizar energías renovables e hidrógeno verde (véase la sección 5.3).
- **Servicios normativos agilizados**. Una de las ventajas comunes de las ZEE es la agilización de los servicios normativos en materia de permisos, licencias, certificación industrial, cumplimiento de las políticas, procesos aduaneros, etcétera. Nuestras consultas han demostrado que los procesos normativos son especialmente complicados en Chile, por lo que esta característica es un componente clave de la ZEE recomendada. La creación de servicios de "ventanilla única" para las empresas es un instrumento útil para lograrlo.
- **Ventajas fiscales y subvenciones a la producción**. Es habitual que las ZEE operen en

condiciones fiscales más ventajosas que el resto del país. Esto incluye una reducción de los impuestos y de las tasas y aranceles de importación y exportación. Además, también podría considerarse la posibilidad de conceder subvenciones a la producción, como tarifas de alimentación para la producción de H₂, subvenciones para las ventas incrementales, préstamos subvencionados, garantías de crédito y arrendamiento o adquisición de terrenos subvencionados (véase la Recomendación 2 para ejemplos internacionales de subvenciones a la producción).

La creación de esta ZEE exigiría importantes inversiones de los sectores público y privado y un compromiso a largo plazo. Sin embargo, lo que podría hacerse a corto plazo con parte de este presupuesto inicial es realizar estudios de viabilidad, desarrollar el marco específico y promoverlo entre los sectores público y privado. De este modo se reforzarían los argumentos a favor de la ZEE y, en el mejor de los casos, se obtendrían compromisos firmes de los posibles inversores.

Así pues, se recomienda que el gobierno chileno conceda subvenciones de viabilidad para la realización de estudios sobre agrupaciones industriales ecológicas que integren la generación de energías renovables, la producción de H₂ y derivados y las industrias usuarias de H₂. Estos estudios deberían investigar cómo afecta la demanda local de H₂ al caso empresarial de los proyectos de hidrógeno verde, cuál debería ser la magnitud de esta demanda local, qué sectores industriales usuarios de H₂ encajan mejor en estas agrupaciones industriales integradas y otras cuestiones relacionadas. De este modo, el gobierno dispondría de una hoja de ruta más clara sobre qué industrias deberían ser objeto de atracción y qué instrumentos de política pública serían los más eficaces para ello.

En consonancia con este ámbito de trabajo, un estudio realizado por LBST para el Banco Interamericano de Desarrollo exploró la viabilidad de establecer "centros de hidrógeno" en Chile; identificó dos ubicaciones adecuadas en Antofagasta y la región de Magallanes.⁹⁴ En este estudio también se exploran vías de desarrollo que podrían servir de base para trabajos posteriores en torno al desarrollo de zonas económicas especiales (ZEE) adecuadas.

El interesante caso del HUB de Hidrógeno Verde del Complejo Industrial y Portuario de Pecém, en el estado de Ceará, en la región nordeste de Brasil, se presenta en el recuadro 5-1 a continuación. Este ejemplo ilustra las opciones políticas que podría considerar el gobierno chileno.

⁹⁴ LBST (2022). Vías de desarrollo para los "hubs de hidrógeno" en Chile. Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST).

Recuadro 5-1 Brasil: Complejo Industrial y Portuario de Pecém (CIPP)

CIPP es una empresa conjunta entre el gobierno del estado brasileño de Ceará y el Puerto de Rotterdam. Se compone de un área industrial, el Puerto de Pecém y la ZPE Ceará, una zona franca industrial. La zona industrial alberga algunas de las principales unidades manufactureras del Nordeste de Brasil. El Puerto de Pecém es un puerto de categoría mundial que, en 2022, manipuló más de 22 millones de toneladas de mercancías. La ZPE Ceará alberga la primera acería integrada del Nordeste de Brasil y cuenta con una nueva área de más de 1.900 hectáreas para recibir nuevas inversiones, como las empresas dispuestas a conformar el HUB de Hidrógeno Verde de la CIPP.¹

El HUB del Hidrógeno Verde está situado en la ZPE de Ceará y ofrece infraestructuras, servicios y condiciones favorables para las empresas que se establezcan allí. El CIPP está desarrollando toda la cadena de valor del hidrógeno verde, desde el suministro de energía renovable, el abastecimiento de agua (mediante el tratamiento de aguas usadas y la desalinización del agua), la producción de H₂, el almacenamiento y la distribución de amoníaco, la producción de fertilizantes, los combustibles sintéticos y el transporte final a los compradores.¹ El HUB del Hidrógeno Verde ya cuenta con 32 memorandos de entendimiento (MoU) firmados, algunos de los cuales han evolucionado hasta convertirse en precontratos, que suman compromisos financieros por valor de más de 30 000 millones de USD, todos ellos con el objetivo de producir y exportar hidrógeno verde.

El Ministerio de Desarrollo y Comercio de Brasil, con financiación del Banco Mundial, canalizó 90 millones de dólares para desarrollar algunas infraestructuras críticas en el puerto para dar cabida a las necesidades del HUB de Hidrógeno Verde, como un corredor de servicios públicos, un nuevo lugar de atraque y la ampliación del muelle 2 de la terminal portuaria.¹



FUENTE: CUMBRE DEL HIDRÓGENO DE LAS AMÉRICAS (2022). [EL COMPLEJO INDUSTRIAL Y PORTUARIO DE PECÉM PRESENTA SU HUB DE HIDRÓGENO VERDE EN LA CUMBRE DEL HIDRÓGENO DE LAS AMÉRICAS 2022.](#)

Recomendación 2: Crear un grupo de trabajo multipartito que adopte nuevas medidas para abordar los principales factores de coste de los proyectos de hidrógeno verde.

Aunque una ZEE ayudaría a mitigar los costes de los proyectos de hidrógeno verde en una ubicación específica, es poco probable que sea suficiente para abordar todos los factores de coste en el país, que representan una potencial amenaza existencial para el sector. Por lo tanto, es necesario adoptar nuevas medidas para garantizar que la producción de hidrógeno verde en Chile sea competitiva a escala internacional. Aunque algunas de estas acciones pueden ser competencia del Minecon, otras podrían requerir la coordinación con otros ministerios, organismos y el sector privado (por ejemplo, el Ministerio de Energía, CORFO y las empresas que lideran proyectos de hidrógeno verde a gran escala). Se recomienda la creación de un grupo de trabajo multisectorial para analizar más a fondo el tema y definir una acción colectiva. En particular, el grupo de trabajo podría definir un paquete adecuado de incentivos fiscales, subvenciones y ayudas a la I+D para lograr reducciones de costes relacionadas con la generación y transmisión de energía renovable, CAPEX y OPEX de plantas de GH₂, y exportación/transporte de GH₂ y derivados. Para evitar la fragmentación de esfuerzos y las limitaciones de coordinación, se sugieren dos mecanismos de coordinación horizontal para crear el grupo de trabajo multilateral:

1. **Programas interministeriales/departamentales/de agencias:** se utilizan para lograr la coordinación en temas específicos, que son transdisciplinarios o trascienden los límites organizativos (por ejemplo, la política de cambio climático). Estos programas pueden ser coordinados por una unidad específica de un ministerio anfitrión (patrocinador principal), que reúne a las partes pertinentes externas al ministerio para planificar y gestionar el programa. Del mismo modo, la financiación de los programas puede proceder de distintos ministerios u organismos, del sector privado o de organizaciones internacionales. El actual programa de Desarrollo Productivo Sostenible (DPS) podría aprovecharse para desempeñar este papel en Chile.
2. **Acuerdos de cooperación entre organismos:** destinados a garantizar que cualquier entidad tenga en cuenta las necesidades políticas de otros ministerios u organismos, para limitar el comportamiento competitivo entre organismos cuando los límites no están claros.⁹⁵

Concretamente, el grupo de trabajo dirigiría las acciones necesarias en relación con los siguientes factores de coste:

- **Costes de generación y transmisión de energía renovable.**⁹⁶ El coste de la energía renovable es, con diferencia, el mayor componente del coste final de la producción de hidrógeno verde y derivados. Por lo tanto, es condición necesaria que los proyectos de generación de energía renovable se desarrollen a la escala necesaria y con la eficiencia requerida para permitir que la energía renovable de bajo coste llegue a las instalaciones de producción de hidrógeno verde. Esto probablemente iría más allá del alcance del Minecon y, por tanto, requeriría una estrecha colaboración con otros ministerios y partes interesadas implicadas en los proyectos de generación. Por ejemplo, el Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE) financia actividades de investigación, desarrollo, demostración y despliegue (RDD&D) para reducir el coste de la electricidad renovable para la producción limpia de hidrógeno.

⁹⁵ Pueden encontrarse ejemplos en: Arnold, E. et al. (2003). *Gobernanza de la investigación y la innovación en ocho países*. Tecnópolis.

⁹⁶ En junio de 2023, el precio de la electricidad para las empresas en Chile era de 135 USD/MWh, incluidos todos los componentes de la factura eléctrica, como el coste marginal de la energía, la transmisión, la distribución y los impuestos (fuente: GlobalPetrolPrices [2024] con datos de Chilquinta Energía SA, Comisión Nacional de Energía [CNE], Compañía General de Electricidad [CGE], Enel Distribución Chile y Sociedad Austral de Electricidad [Saesa]). El Departamento de Energía de EE.UU. estima que, para ser competitivo, el hidrógeno verde necesita electricidad verde a menos de 20 USD/MWh, muy por debajo de los precios actuales de la electricidad en Chile.

Otro factor determinante del coste, que sigue estando relacionado con el suministro de energía renovable, es la transmisión de energía. Anteriormente hemos argumentado que la mejor opción sería optar por soluciones aisladas y cubiertas, evitando en gran medida los costes de transmisión. Sin embargo, es probable que también se necesite al menos un cierto nivel de energía renovable en la red. Una vez más, se trata de un área que va más allá de la jurisdicción del Minecon, por lo que la colaboración con otros ministerios es primordial.

- **Desarrollo de la planta (CAPEX) y costes de producción (OPEX).** Los costes de desarrollo de las plantas podrían mitigarse mediante instrumentos como el arrendamiento subvencionado de terrenos, préstamos subvencionados para bienes de equipo y garantías crediticias. La subvención de 50 millones de dólares de CORFO para apoyar proyectos de generación y demanda de hidrógeno verde, incluida la compra e instalación de electrolizadores y sistemas auxiliares, es un buen ejemplo que podría ampliarse a otros elementos clave de CAPEX. Hay que ser prudentes a la hora de incentivar los costes operativos (OPEX), ya que las plantas de producción deberían ser capaces de funcionar con beneficios sin ayuda gubernamental a largo plazo. Sin embargo, un mecanismo útil es recompensar *las ventas incrementales* para incentivar a las empresas a aumentar su producción en el país. Estos beneficios podrían incrementarse si las empresas recurren a proveedores locales o contribuyen a su desarrollo (véase el apartado 5.2). Algunos ejemplos internacionales son el crédito fiscal para la producción de hidrógeno limpio de la Ley de Reducción de la Inflación de EE.UU. (véase el recuadro 5-2) y el crédito fiscal para la fabricación de tecnologías limpias de Canadá.
- **Costes de transporte de H₂ y derivados.** Al igual que ocurre con los costes de transmisión de energía, una solución cubierta también evitaría la necesidad de transporte nacional de larga distancia de hidrógeno verde y derivados. Sin embargo, no es imposible que siga siendo necesario cierto transporte nacional. Además, si el hidrógeno verde y sus derivados llegaran a exportarse, habría que tener en cuenta los considerables costes del transporte marítimo internacional, sobre todo teniendo en cuenta la distancia relativamente desfavorable de Chile con respecto a los grandes mercados de exportación.⁹⁷ Los proyectos piloto de transporte de hidrógeno verde, como el proyecto LTS Futures de la SGN en el Reino Unido, que utiliza gasoductos desmantelados, serían un ejercicio útil para mantenerse informado sobre los últimos avances en este ámbito. El desarrollo de instalaciones portuarias adaptadas a la exportación de hidrógeno y derivados también será esencial si los mercados extranjeros acaban convirtiéndose en una importante fuente de demanda.

Costes de los permisos. Nuestras consultas revelaron que los procesos de concesión de permisos en Chile son costosos y lentos. Una medida útil para mejorar esta situación sería revisar el marco regulador del hidrógeno verde en el país, basándose en las iniciativas Sistema Inteligente de Permisos y Evaluación Ambiental 2.0.⁹⁸ Por ejemplo, el Gobierno colombiano se ha comprometido, en su estrategia nacional del hidrógeno, a reducir los trámites administrativos para los proyectos de hidrógeno bajo en carbono. Entre las medidas asociadas se incluyen la aprobación combinada de proyectos y la agilización de los procedimientos para la construcción o modernización de tuberías. Además, Chile debería tratar de participar en el establecimiento de normas internacionales para el hidrógeno verde, como el Programa de Colaboración Tecnológica del Hidrógeno de la AIE o la Asociación Internacional para el Hidrógeno y las Pilas de Combustible en la Economía (IPHE H2CM TF)

⁹⁷ Se prevé que el coste de producir hidrógeno verde se reduzca a 1-1,3 USD/kgH₂ para la mayoría de las regiones en 2050, mientras que el coste de transportar amoníaco disminuirá de 8 USD/kgH₂ a 0,8 USD/kg H₂ (sobre la base de 20.000 km) durante el mismo periodo. Si esta proyección se materializa, la mayoría de los países tendrán múltiples socios comerciales potenciales con una pequeña penalización en los costes de cambio y, por tanto, los socios comerciales podrían definirse no sólo por el coste, sino también por la seguridad energética y la geopolítica.

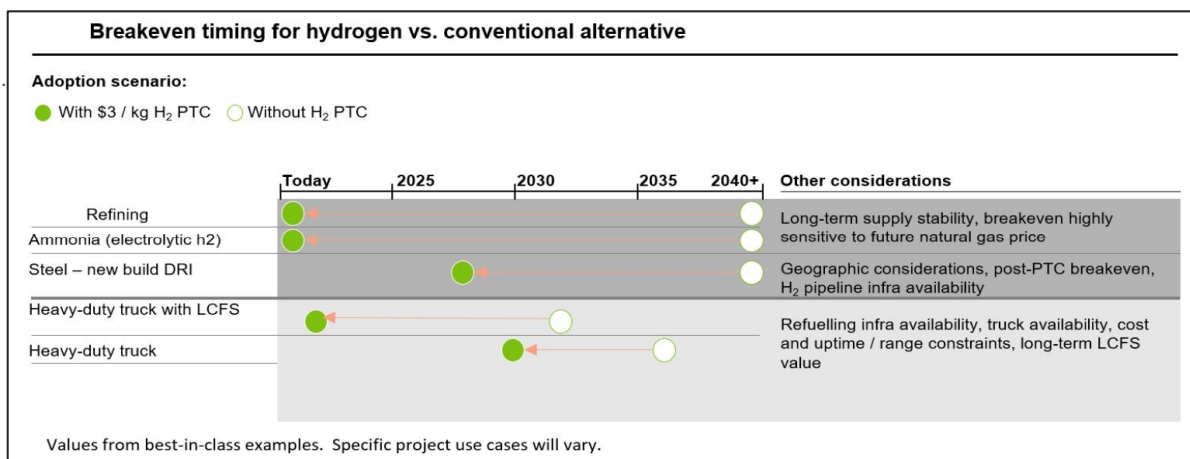
⁹⁸ Gobierno de Chile (2024). [Presentamos proyectos que aceleran la inversión pública y privada junto al cuidado del medioambiente](#); Gobierno de Chile (2024). [Gobierno presenta proyecto de Sistema Inteligente de Permisos](#); El Mostrador (2024). [Gobierno presenta proyecto contra la "permisología": se elimina el comité de ministros](#).

- **Garantizar la demanda.** Aunque no está directamente relacionada con ningún factor de coste específico, la certidumbre de la demanda es posiblemente uno de los determinantes más importantes de las inversiones. Algunos instrumentos de política pública pueden contribuir a ello, como las tarifas de alimentación a la red (es decir, la adquisición por parte del Gobierno de cantidades específicas de hidrógeno a un precio predeterminado durante un periodo de tiempo fijo), los contratos de demanda de energía proporcionados a través de licitaciones competitivas basadas en subastas y la firma de memorandos de entendimiento y contratos de demanda con posibles importadores de hidrógeno verde. La situación ideal, sin embargo, sería que la demanda procediera de industrias manufactureras ecológicas establecidas localmente, ya que esto aumentaría los beneficios económicos para la economía chilena al diversificar su base manufacturera. En la sección 5.3 se analizan los instrumentos de política pública que pueden utilizarse para atraer a estas empresas de fabricación ecológica.

Cuadro 5-2 EE.UU.: Crédito fiscal para la producción de hidrógeno limpio (PTC) de la Ley de Reducción de la Inflación (IRA)

En agosto de 2022, el Presidente Biden firmó la Ley de Reducción de la Inflación, que proporciona incentivos adicionales para el hidrógeno, incluido un Crédito Fiscal a la Producción (PTC) que ha promovido aún más un mercado estadounidense para el hidrógeno limpio. El PTC reducirá los costes de capital para la producción de hidrógeno ecológico durante la próxima década y acelerará las economías de escala, haciendo que el precio umbral del hidrógeno esté al alcance de más usuarios finales.

En concreto, el PTC del hidrógeno limpio ofrece una serie de valores de crédito basados en la intensidad de carbono del proceso de producción, con un máximo de 3 USD/kg para el hidrógeno, con emisiones de pozo a puerta inferiores a 0,45 kg CO₂e/kg H₂, sujeto a otras condiciones. El siguiente gráfico ilustra el impacto del PTC en las aplicaciones del hidrógeno en la industria y fuera de ella, que adelanta los tiempos de equilibrio para el hidrógeno limpio que compite con las alternativas fósiles tradicionales. Por ejemplo, los créditos fiscales utilizados por el gobierno estadounidense podrían permitir que los camiones impulsados por hidrógeno (mediante pilas de combustible) fueran competitivos antes de 2025.



FUENTE: DEPARTAMENTO DE ENERGÍA DE EE.UU. (2023). ESTRATEGIA NACIONAL DE HIDRÓGENO LIMPIO Y HOJA DE RUTA.

5.2. Desarrollo de proveedores nacionales

El principal objetivo de esta área de acción es *garantizar que la industria del hidrógeno verde de Chile desarrolle vínculos de fabricación local*. Esto significa desarrollar proveedores para la propia producción de hidrógeno o para las industrias usuarias de hidrógeno que posiblemente se verán atraídas (véase el apartado 5.3). También significa desarrollar las capacidades de la mano de obra local para garantizar que se ajustan a las necesidades de la industria del hidrógeno verde y, por lo tanto, se benefician del empleo de alta calidad que se está creando.

Recomendación 3: Establecer un mecanismo para que el gobierno se comprometa con las cadenas de suministro nacionales y apoye el desarrollo de proveedores para el hidrógeno verde.

Como se ha comentado en la Sección 3, en los últimos años se han llevado a cabo varios estudios para evaluar la preparación de la industria manufacturera chilena para desarrollar vínculos productivos con la cadena de valor del hidrógeno verde. Un estudio realizado por la GIZ en 2020 identificó los subsectores manufactureros relevantes relacionados con la industria del hidrógeno verde, que representaban solo el 5,6 % del valor añadido manufacturero total en Chile:^{99,100}

- Productos metálicos, excepto maquinaria y equipo (4%)
- Material eléctrico (1,4%)
- Otros sectores industriales (0,2%)
- Productos informáticos, electrónicos y ópticos (sin producción sensible)

Un estudio independiente realizado para el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en 2023 analizó la disponibilidad de proveedores nacionales para una serie de componentes y sistemas relacionados con la cadena de suministro del hidrógeno verde (véase el Cuadro 3-4). Aunque este estudio concluyó que muchas de las tecnologías, equipos y sistemas necesarios para la cadena de valor del hidrógeno verde no se comercializan actualmente en Chile, hay otros en los que se identificaron fabricantes e importadores nacionales.¹⁰¹ El informe de la GIZ identificó 817 empresas con potencial para participar en la cadena de suministro del hidrógeno verde en Chile ofreciendo directamente bienes y servicios necesarios en este sector. Además, se estima que se beneficiarán unas 2.000 pequeñas empresas.¹⁰²

Como primer paso, es necesario crear una base de pruebas más clara sobre los retos y oportunidades de la cadena de suministro, y evaluar si puede mejorarse la capacidad del gobierno para generar y difundir estas pruebas. En concreto, la creación de un consejo intersectorial de alto nivel de la cadena de suministro encargado de desarrollar un modelo nacional de demanda de la cadena de suministro para el hidrógeno verde podría servir para crear una lista de materiales detallada para identificar las oportunidades de la cadena de suministro en las que podrían centrarse tanto el sector público como el privado.

En segundo lugar, una vez que se disponga de un mejor diagnóstico de las empresas nacionales que podrían participar en la cadena de suministro de hidrógeno verde, podría crearse un programa nacional de desarrollo de proveedores para prestar apoyo a la cadena de suministro y reforzar el apoyo a las PYME. Este programa podría basarse en la actual Red Proveedores de CORFO, con un enfoque ligeramente más práctico basado en Ejemplos internacionales como el Programa Nacional de Vínculos de Irlanda, la Iniciativa de Desarrollo de Proveedores (SDI) de Singapur y las Redes de Búsqueda de Proveedores y de Empresa a Empresa de EE.UU. (véanse los recuadros 5-3, 5-4 y 5-5).

A diferencia de los Proveedores Rojos, un programa renovado de desarrollo de proveedores establecería un equipo de expertos de todos los organismos gubernamentales y ministerios encargado de evaluar las necesidades de los promotores de proyectos de hidrógeno verde a gran escala y las áreas viables en las que podrían participar las empresas nacionales, en lugar de dejar esto a la iniciativa de las empresas del sector privado. Por ejemplo, un rasgo distintivo de la IDE de Singapur es el alto nivel de integración entre SIMTech (es decir, una organización de investigación y tecnología) y otros organismos gubernamentales, para garantizar que se recopila información suficiente sobre las necesidades de la cadena de suministro de las grandes empresas recién establecidas en el país. Entre estos organismos figuran la Junta de Desarrollo Económico (EDB, encargada de la promoción de la IED y las exportaciones), SPRING (la agencia de desarrollo empresarial) y JTC (el principal promotor y gestor de polígonos industriales del país). Al aunar los servicios de estos y otros organismos, las empresas reciben un apoyo personalizado y coordinado para garantizar que los proveedores locales (principalmente PYME) desarrollen las capacidades necesarias para abastecer a las multinacionales con las especificaciones y a la escala requeridas. Los requisitos de abastecimiento local de las multinacionales también informan la estrategia de atracción de IED del país. En el caso de Chile, esta estrategia podría seguirse para centrarse en la atracción de IED en segmentos de la cadena de suministro de hidrógeno verde que actualmente están ausentes en el país.

Otra forma de impulsar a los proveedores nacionales a través de este programa es garantizar que, si el Gobierno empieza a conceder beneficios financieros a los productores de hidrógeno verde a gran escala, las empresas beneficiarias inviertan en la economía local y reciban más incentivos financieros a cambio de crear vínculos locales. Una herramienta común utilizada por los gobiernos es poner condiciones a los beneficios concedidos. Éstas pueden adoptar la forma de requisitos de contenido local, el requisito de realizar inversiones en I+D a nivel local o incluso requisitos de transferencia de tecnología (como la concesión obligatoria de licencias de tecnologías a empresas locales).

En este sentido, los requisitos de contenido local parecen más relevantes para el caso del hidrógeno verde en Chile. La lógica que subyace a estas condicionalidades es garantizar la creación de proveedores locales que, a largo plazo, puedan convertirse en empresas eficientes y competitivas a escala internacional. Sin embargo, la evidencia sobre la eficacia de los requisitos de contenido local es variada, con experiencias poco exitosas (por ejemplo, la política de Sudáfrica para la localización de la fabricación de componentes de turbinas eólicas),¹⁰³ así como otras muy exitosas (China y España en energía eólica y solar).¹⁰⁴ Un factor que parece ser crucial para el éxito de esta política es la preexistencia de una base manufacturera sólida que sólo sea *apalancada* por los requisitos de contenido local, en lugar de *depender* de ellos.¹⁰⁵ Este no es necesariamente el caso de Chile; por lo tanto, cualquier requisito de contenido local tendría que ser bajo y realista en cuanto al volumen y tipo de suministros nacionales que podrían incluirse. Otro aspecto importante del éxito de este tipo de política es el establecimiento simultáneo de un *apoyo directo* y una *supervisión del rendimiento* de los proveedores locales. Los proveedores locales no deben depender simplemente de los requisitos de contenido local para su rentabilidad, sino avanzar visiblemente hacia una mayor eficiencia y competitividad internacional, lo que puede medirse a través de indicadores como la productividad y los resultados de exportación.

Así, a corto plazo, cualquier requisito de contenido local podría dirigirse únicamente a las áreas limitadas en las que el país ya cuenta con proveedores locales de alta calidad. Como se ha mencionado anteriormente, habría que llevar a cabo una revisión en profundidad para identificar los segmentos de la cadena de suministro de hidrógeno verde que están suficientemente desarrollados en el país, basándose en los estudios de la GIZ y el BID comentados anteriormente,

para identificar las áreas relevantes de la cadena de suministro que podrían aprovecharse y ampliarse con el uso de requisitos de contenido local.¹⁰⁶

A largo plazo, sin embargo, Chile podría ser más ambicioso. Desde el principio, debería exigir planes de inversión a las empresas que se benefician de los incentivos del gobierno para que sus insumos, maquinaria, servicios y mano de obra pasen gradualmente de ser extranjeros a locales. El Irish National Linkages Programme es un buen ejemplo de cómo el gobierno puede ayudar a vincular las multinacionales con las empresas nacionales. Es importante señalar que este proceso de "localización" no tiene por qué limitarse a las fases posteriores y anteriores de la cadena de valor del hidrógeno verde, sino que también podría incluir los procesos básicos de la producción de hidrógeno verde, como la electrólisis y el acondicionamiento del hidrógeno. Esto coincide con el compromiso de algunos países cuyas empresas pueden desempeñar un papel importante en la producción de hidrógeno verde. Por ejemplo, la Estrategia del Hidrógeno de Alemania establece que los proyectos de hidrógeno en los que participen empresas alemanas en países socios deben ofrecer a estos países nuevas oportunidades de creación de valor sostenible, energía y empleo, así como incentivos para descarbonizar sus economías y establecer cadenas de suministro sostenibles. Deben buscarse asociaciones con empresas de países con este tipo de compromiso.

⁹⁹ GIZ, HINICIO Chile (2020). Cuantificación del encadenamiento industrial y laboral para el desarrollo del hidrógeno en Chile

¹⁰⁰ Instituto Nacional de Estadística (2021). Encuesta Nacional de la Industrial Anual 2021.

¹⁰¹ Maluenda B. (2023). [Innovación y desarrollo tecnológico para la cadena de valor del hidrógeno verde en Chile. Banco Interamericano de Desarrollo \(BID\).](#)

¹⁰² GIZ, HINICIO Chile (2020). Cuantificación del encadenamiento industrial y laboral para el desarrollo del hidrógeno en Chile.

¹⁰³ Hansen, U.E., Nygaard, I., Morris, M. y Robbins, G. (2020). [The effects of local content requirements in auction schemes for renewable energy in developing countries: A literature review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 127.](#)

¹⁰⁴ Scheifele, F., Bräuning, M. y Probst, B. (2022). [The impact of local content requirements on the development of export competitividad de las tecnologías solar y eólica. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 168.](#)

¹⁰⁵ La literatura académica sobre los requisitos de contenido local en las energías renovables muestra que las pruebas sobre la eficacia de estas políticas en la creación de empresas manufactureras locales son dispares. Hay casos de éxito, como China, España y, en cierta medida, Brasil, y casos de efectos más limitados, como Sudáfrica e India. La bibliografía ha identificado cuatro factores que pueden afectar a la eficacia de las políticas de contenido local: (i) el tamaño y la estabilidad del mercado; (ii) el diseño y la coherencia de las políticas; (iii) el carácter restrictivo de las LCR; y (iv) la base industrial nacional (Hansen et al., 2020). También se destaca que el éxito de las políticas de contenido local suele combinarse con el

¹⁰⁶ Ver: GIZ, HINICIO Chile (2020). Cuantificación del encadenamiento industrial y laboral para el desarrollo del hidrógeno en Chile; y Maluenda, B. (2023). [Innovación y desarrollo tecnológico para la cadena de valor del hidrógeno verde en Chile. Banco Interamericano de Desarrollo \(BID\).](#)

Cuadro 5-3 Programa Nacional de Vínculos - Irlanda

A principios de la década de 1980, los hacedores de política pública irlandeses admitieron que, mejorando únicamente el lado de la oferta, los proveedores irlandeses no estaban consiguiendo crear vínculos con las empresas multinacionales (EMN). La IDA (Agencia Irlandesa de Inversión Extranjera Directa [IED]) creó entonces el Programa Nacional de Vínculos, mediante el cual trataba activamente de poner en contacto a los proveedores nacionales establecidos y con gran potencial con las empresas extranjeras que operaban en el país.

El programa pretendía desarrollar la capacidad de fabricación nacional dentro de la cadena de suministro de productos sanitarios mediante la evaluación de las necesidades de las multinacionales, la identificación de áreas viables en las que pudieran participar empresas nacionales, la selección de posibles "ganadores" y la prestación a estos proveedores nacionales de asistencia en materia de mejora y normas de calidad. También proporcionó incentivos financieros a las multinacionales que creaban vínculos locales. Un factor clave del éxito fue el estricto criterio de selección de las empresas locales para participar en el programa. Al hacer hincapié en primer lugar en los proveedores de calidad fiables, pudieron aprovechar el efecto de demostración de estos modelos para otros vínculos. Los vínculos fueron más importantes entre las pequeñas y medianas empresas extranjeras que entre las grandes empresas con presencia mundial, cuya escala hacía ineficaz el uso de proveedores locales. Las empresas más pequeñas no solían tener ni la capacidad interna ni las redes mundiales para abastecerse de proveedores internacionales.

Cuadro 5-4 Iniciativa de Desarrollo de Proveedores (SDI), Instituto de Tecnología de Fabricación de Singapur (SIMTech) - Singapur

El Centro de Innovación en Ingeniería de Precisión (PE COI) del Instituto de Tecnologías de Fabricación de Singapur (SIMTech) se centra en el avance de las competencias en ingeniería de precisión, considerada la "columna vertebral" de las industrias manufactureras. El objetivo de la iniciativa es aprovechar un grupo de 2.700 empresas identificadas que suministran componentes, sistemas y servicios de ingeniería para explotar las oportunidades de suministro nacional.

La Iniciativa de Desarrollo de Proveedores (SDI) del centro proporciona mano de obra técnica, equipos e instalaciones para ayudar a las empresas a aventurarse en industrias de "alto crecimiento". La iniciativa apoya a grandes empresas de sectores como los equipos semiconductores, el aeroespacial, la tecnología médica y la electrónica para ayudarles a desarrollar cadenas de suministro locales en Singapur. Así pues, aunque el conjunto de empresas con las que trabaja la iniciativa procede de diversos sectores y subsectores, el apoyo se dirige deliberadamente a subsanar las carencias de capacidad en determinadas cadenas de valor sectoriales.

En el marco de la IDE, las PYME colaboran con grandes empresas en áreas de desarrollo de capacidades y codesarrollo de nuevos productos. El Gobierno financia hasta el 70% de los costes subvencionables de estos proyectos de colaboración. Una característica distintiva de la iniciativa es el alto nivel de integración entre SIMTech y otros organismos gubernamentales, para garantizar que se recopila información suficiente sobre las necesidades de la cadena de suministro de las grandes empresas recientemente establecidas en el país. Entre estos organismos figuran la Junta de Desarrollo Económico (EDB, encargada de la promoción de la IED y las exportaciones), SPRING (la agencia de desarrollo empresarial) y JTC (el principal promotor y gestor de polígonos industriales del país). Al aunar los servicios de estos y otros organismos, las empresas reciben un apoyo personalizado y coordinado para garantizar que los proveedores locales (principalmente PYME) desarrollen las capacidades necesarias para abastecer a las multinacionales con las especificaciones y a la escala requeridas. Las necesidades de abastecimiento local de las multinacionales también informan la estrategia de atracción de IED del país.

Programas / actividades

Las actividades de desarrollo de capacidades apoyadas por la IDE incluyen:

- La iniciativa Partnerships for Capability Transformation (PACT): proyectos de colaboración entre grandes fabricantes y PYME locales:
 - Transferencia de conocimientos de una gran empresa a al menos una PYME;
 - Mejora de la capacidad de los proveedores nuevos o existentes de una gran empresa; y
 - Desarrollo y ensayo de soluciones innovadoras entre una gran empresa y al menos una PYME.
- La Subvención para el Desarrollo de Capacidades (CDG): apoyo para ampliar las capacidades de las PYME y garantizar la sostenibilidad empresarial. Los proyectos se centran en áreas como el desarrollo de productos, el desarrollo del capital humano, la mejora de los procesos empresariales para aumentar la productividad y la transformación del modelo empresarial.

FUENTE: EDB (ND). INGENIERÍA DE PRECISIÓN. EDB FACT SHEET; SIMTECH (2014). CENTRO DE INNOVACIÓN EN INGENIERÍA DE PRECISIÓN. FOLLETO DEL CENTRO; SPRING SINGAPORE (2017). ASOCIACIONES PARA LA TRANSFORMACIÓN DE CAPACIDADES (PACT).

SITIO WEB DEL PROGRAMA; PRIMAVERA SINGAPUR (2017). RESUMEN DE LA SUBVENCIÓN PARA EL DESARROLLO DE CAPACIDADES (CDG). SITIO WEB DEL PROGRAMA; SPRING SINGAPUR (2016A). CREACIÓN DE EMPRESAS PARA EL CRECIMIENTO. INFORME ANUAL 2015/16; DEPARTAMENTO DE ESTADÍSTICAS DE SINGAPUR (2016). INFORME SOBRE EL CENSO DE ACTIVIDADES MANUFACTURERAS; SPRING SINGAPORE (2016B).

LA GUÍA PRÁCTICA PARA LAS EMPRESAS. MEJORAR LOS PROCESOS INTERNOS. CREAR CAPACIDADES EMPRESARIALES PARA EL CRECIMIENTO.

Recuadro 5-5 Búsqueda de proveedores y redes entre empresas: EE.UU.

El objetivo del programa de búsqueda de proveedores y de las redes entre empresas es ayudar a los fabricantes a encontrar proveedores estadounidenses con las capacidades adecuadas para satisfacer las necesidades de su cadena de suministro. Ambos programas forman parte de la Manufacturing Extension Partnership (MEP, véase el apartado 4.4) y funcionan a través de la red de 30.000 fabricantes de MEP.

En concreto, el Supplier Scouting ha ayudado a las agencias a localizar proveedores con atributos demográficos específicos, como pequeñas empresas propiedad de veteranos o de veteranos discapacitados. El proyecto se centra en subsanar carencias específicas de suministro más que en cuestiones de productividad o competitividad.

El escultismo de proveedores ha establecido una serie de asociaciones con organismos federales, entre ellos:

- Departamento de Transportes de EE.UU.
- Departamento de Energía de EE.UU.
- Departamento de Comercio de EE.UU.
- Departamento de Defensa de EE.UU.

Las redes de empresa a empresa son proyectos de redes regionales en línea de empresa a empresa para apoyar el emparejamiento de mercados en 10 centros del Parlamento Europeo.

Programas/actividades

Tres ejemplos de proyectos de redes entre empresas son:

- Corporación de Investigación de Georgia Tech - GA MEP (Atlanta, GA). El objetivo de este proyecto es construir un modelo con una solución de base de datos de plataforma impulsada por la aportación humana y la búsqueda de socios; el proyecto incluye socios de la cadena de suministro, soluciones tecnológicas y mejora de la mano de obra. El proyecto se centra en la red sudoriental de proveedores y tecnología del automóvil dentro de los estados de Mississippi, Tennessee, Alabama, Carolina del Sur y Georgia.
- California Manufacturing Technology Consultants - CMTC (Torrance, CA). Este proyecto consiste en una asociación de comercio electrónico diseñada para poner en contacto oportunidades de negocio y tecnologías nacionales e internacionales con pequeños y medianos fabricantes de California.
- Universidad Estatal de Boise - Idaho TechHelp (Boise, ID). El objetivo de este proyecto es desarrollar y mejorar herramientas electrónicas y servicios en tiempo real, de persona a persona, para ofrecer una búsqueda coordinada y oportuna de oportunidades de negocio, tecnología, proveedores y marketing. Se centra en atender las necesidades específicas de crecimiento de los clusters de fabricantes aeroespaciales y de fabricación de metales de las zonas rurales de Idaho.

FUENTE: MP (ND). MEP SUPPLIER SCOUTING; NIST (2016). BUY AMERICA TRANSIT SUPPLY CHAIN CONNECTIVITY FORUM; NIST (2014). EL NIST CONCEDE SUBVENCIONES POR VALOR DE 2,5 MILLONES DE DÓLARES A CENTROS MEP PARA REDES PILOTO ENTRE EMPRESAS; NIST (2014). ANUNCIO DE OPORTUNIDAD DE FINANCIACIÓN FEDERAL (FFO) PILOTOS DE RED DE EMPRESA A EMPRESA; LA OFICINA EJECUTIVA DEL PRESIDENTE Y EL DEPARTAMENTO DE COMERCIO DE LOS ESTADOS UNIDOS (2015) SUPPLY CHAIN INNOVATION: STRENGTHENING AMERICA'S SMALL MANUFACTURERS.

Recomendación 4: Invertir en el desarrollo de las competencias de los trabajadores en materia de hidrógeno verde y ámbitos afines

Un instrumento importante para garantizar la creación de vínculos con la economía local es la creación de programas de desarrollo de competencias. Esto incluye la elaboración de hojas de ruta de competencias para evaluar las necesidades del sector, como la Hoja de ruta de competencias en hidrógeno de Australia, y la integración de las competencias en hidrógeno verde en los planes de estudios de las escuelas técnicas y los centros de enseñanza superior de Chile (por ejemplo, cursos de ingeniería). GreenSkillsforH2 de la UE es un ejemplo de

asociación entre la industria y las organizaciones educativas para ayudar a crear una comunidad de desarrollo de competencias y programas de formación profesional en hidrógeno verde (véase el recuadro 5-6).

El desarrollo de competencias también implica desarrollar programas especializados de formación de trabajadores centrados en el hidrógeno verde. En el Reino Unido, el National Energy Skills Accelerator cumple esta función al ofrecer un punto de contacto para que la industria energética acceda a programas de formación y desarrollo de competencias. En Brasil, el Sistema Nacional de Aprendizaje Industrial (SENAI) ha creado programas de formación en hidrógeno verde, como un curso de posgrado y un curso de desarrollo profesional conjunto con universidades e institutos federales de educación (H2Brasil).

Estos programas suelen incluir el equilibrio de género y la diversidad como características clave, incluida la generación de datos relacionados con el género y la creación de mecanismos para atraer a mujeres y minorías infrarrepresentadas. La iniciativa Women in Green Hydrogen podría servir de referencia al respecto.

Como se ha comentado en las secciones 3 y 4, Chile ha formado con éxito a profesionales y técnicos especializados en sectores prioritarios en el pasado, y cualquier nuevo programa de capacitación en hidrógeno verde puede basarse en esa experiencia. Por ejemplo, en el sector frutícola, la Universidad de Chile y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) establecieron programas de formación técnica para hacer frente a la escasez de competencias. También se estableció un programa de intercambio entre la Universidad de Chile y la Universidad de California en 1965.¹⁰⁷ El objetivo del actual plan Capital Humano para la Innovación de CORFO es mejorar la capacidad tecnológica de las empresas mediante la contratación de profesionales expertos en I+D que puedan identificar oportunidades de productividad y/o competitividad. Sin embargo, aún faltan programas específicos para el sector del hidrógeno verde.

Recuadro 5-6 La UE: GreenSkillsforH2

El proyecto Green Skills for Hydrogen (GreenSkillsforH2) contribuye al desarrollo de una mano de obra cualificada en Europa para la emergente economía del hidrógeno, abordando las carencias de cualificación e impartiendo formación para impulsar la industria. El consorcio que gestiona esta iniciativa está dirigido por el Instituto de Tecnología de Karlsruhe y cuenta con un total de 34 socios de 15 Estados miembros de la UE. Estos socios componen seis paquetes de trabajo (PT) que coordinarán conjuntamente las diversas actividades y tareas que se llevarán a cabo a lo largo del proyecto. Las principales actividades del proyecto son:

1. diseñar y aplicar una estrategia de cualificación en el ámbito del hidrógeno para satisfacer las necesidades actuales y futuras de la cadena de valor del hidrógeno y consolidar el crecimiento del sector de las energías renovables en Europa;
2. desarrollar, probar e implantar en toda Europa programas de formación profesional y educativa (EFP) acordes con las últimas necesidades del mercado para capacitar a trabajadores y profesionales técnicos;
3. crear la Comunidad Europea de Competencias sobre el Hidrógeno; y
4. establecer una Alianza Europea de Competencias en Hidrógeno, una asociación duradera entre la industria y la educación.

¹⁰⁷ UC Davis (s.f.). [Chile y UC Davis: Juntos hacia un crecimiento transformador](#).

Aprovechar la producción local de hidrógeno para atraer inversiones en fabricación ecológica

El principal objetivo de política pública de esta área de acción debería *ser aprovechar la transición verde mundial para posicionar a Chile como un lugar atractivo para establecer industrias usuarias de hidrógeno y fabricación verde*. Para ello sería necesario garantizar un suministro de hidrógeno verde de bajo coste y reducir los costes de producción y exportación para las industrias usuarias (tema tratado en la sección 5.1).

Recomendación 5: Ofrecer incentivos para atraer a industrias extranjeras usuarias de hidrógeno y crear una demanda industrial nacional de hidrógeno verde.

Con o sin coubicación en zonas económicas especiales (ZEE), la atracción de IED en industrias usuarias de hidrógeno y la creación de una demanda industrial nacional de hidrógeno verde son objetivos que persiguen la mayoría de los países líderes, como se muestra en la sección 4.1. En el caso de Chile, la consecución de estos objetivos ayudaría a diversificar la base manufacturera del país y reforzaría el caso de negocios de los proyectos de producción de hidrógeno verde, ya que proporcionarían a los inversores una mayor certidumbre en cuanto a la demanda.

En cuanto a la atracción de IED para las industrias usuarias de hidrógeno, se recomienda proseguir con la creación de la ZEE, tal y como se describe en la Recomendación 1. Sin embargo, podría crearse un paquete específico de atracción de IED para las industrias usuarias de hidrógeno, que incluya *subvenciones a las industrias usuarias*. Se trata del equivalente en hidrógeno verde de *las subvenciones a los consumidores*, utilizadas por muchos países para incentivar la adopción (e indirectamente la producción) de tecnologías sostenibles, como las conocidas subvenciones alemanas a los paneles solares y los vehículos eléctricos. En otras palabras, el Gobierno chileno podría crear planes de subvenciones para las empresas que se establezcan en Chile y que hagan un uso intensivo del hidrógeno verde chileno. Algunos ejemplos internacionales comparables son el programa alemán de Acuerdos de Protección del Clima (véase el recuadro 5-7) y el programa neerlandés de subvenciones al hidrógeno en la movilidad.

Sin embargo, estos planes de subvenciones a la industria usuaria no tienen por qué limitarse a las empresas extranjeras. De hecho, pueden ser un mecanismo importante para incentivar a las industrias nacionales que actualmente utilizan hidrógeno no verde, como las refinerías y los productores de fertilizantes. También pueden aplicarse a las industrias que tienen vías viables para adoptar el hidrógeno como materia prima, como la fabricación de acero, la fabricación de vidrio, la producción de alimentos y los productores de productos químicos que ya operan en Chile, tal como se expone en la sección 3. Al pasar al hidrógeno verde, estas industrias tienen la oportunidad de descarbonizarse y representan oportunidades viables de exportación verde para Chile.¹⁰⁸

Si estas subvenciones a la industria usuaria no son suficientes, otro instrumento que podría considerarse para desarrollar la demanda nacional de hidrógeno verde es la introducción de *objetivos vinculantes*. Se trata de un instrumento habitual, a menudo introducido para eliminar tecnologías o prácticas obsoletas, inseguras o ineficaces. En Brasil, por ejemplo, desde 1998, toda la gasolina vendida en el país debe mezclarse con un porcentaje mínimo de etanol (inicialmente el 24%, y más tarde el 27%), lo que hace que los vehículos sean menos contaminantes al tiempo que incentiva a los productores nacionales de etanol. En cuanto al hidrógeno verde, la UE e India han

establecido objetivos vinculantes para pasar del hidrógeno gris al verde en las industrias que actualmente utilizan hidrógeno como insumo.

¹⁰⁸ La gran mayoría del consumo actual de hidrógeno en Chile corresponde a una empresa estatal (ENAP, refino), por lo que las subvenciones podrían no serles aplicables.

Recuadro 5-7 Alemania: Acuerdos de protección del clima

El objetivo del régimen de Acuerdos de Protección del Clima es reembolsar a las empresas que consumen mucha energía los gastos adicionales que les supone construir y explotar instalaciones respetuosas con el medio ambiente en comparación con las convencionales. Se basa en el concepto de Contratos de Carbono por Diferencias. La ayuda se concede únicamente para cantidades de producción en las que el solicitante complete todos los pasos de producción esenciales necesarios para fabricar el producto en los lugares especificados cubiertos por el Acuerdo de Protección del Clima, incluida la producción de calor de proceso. Los productos elaborados a partir de productos intermedios no producidos en estos emplazamientos no pueden optar a la ayuda.

En el caso de los proyectos que utilicen hidrógeno, el hidrógeno utilizado deberá cumplir los criterios del hidrógeno verde o azul. La agencia gestora podrá especificar ubicaciones para electrolizadores con una capacidad superior a

10 MW para adquirir hidrógeno verde, garantizando un funcionamiento compatible con el sistema. Los derivados del hidrógeno podrán sustituir al hidrógeno verde o azul si son equivalentes en cuanto a su contribución a la protección del clima y cumplen los requisitos de sostenibilidad señalados en los actos jurídicos vinculantes aplicables durante la convocatoria de financiación.

FUENTE: MINISTERIO FEDERAL DE ECONOMÍA Y ACCIÓN POR EL CLIMA (2021). RÉGIMEN DE AYUDAS PARA EL FOMENTO DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN NEUTROS PARA EL CLIMA EN LA INDUSTRIA MEDIANTE ACUERDOS DE PROTECCIÓN DEL CLIMA. CONSULTADŌ EN ENERO DE 2024
< [HTTPS://WWW.BMWK.DE/REDAKTION/EN/DOWNLOADS/G/GUIDELINE-CLIMATE-PROTECTION-AGREEMENTS.PDF? BLOB=PUBLICATIONFILE&V=4](https://www.bmwk.de/redaktion/en/downloads/g/guideline-climate-protection-agreements.pdf?blob=publicationfile&v=4) >

Apéndice 1: Lista de partes interesadas consultadas

El estudio se basa en consultas específicas con representantes de la industria, el mundo académico y las autoridades públicas, realizadas en Chile durante noviembre de 2023. Como parte del estudio se entrevistó a más de 23 expertos de las siguientes organizaciones:

- APRIMIN
- ASQUIM
- COPEC
- CORFO
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) (Sociedad Alemana de Cooperación Internacional)
- ECIT
- H2Chile
- InvestChile
- Linde plc
- Ministerio de Economía, Fomento y Turismo (Minecon)
- Siemens Energía
- TotalEnergies SE
- Universidad Santa María

Apéndice 2: Revisión internacional de las estrategias nacionales de hidrógeno verde

EE.UU. -Estrategia nacional de hidrógeno limpio y hoja de ruta (2023)

Justificación	<ul style="list-style-type: none"> • Ley de Inversión en Infraestructuras y Empleo (Ley Bipartidista de Infraestructuras (LBI)) • Ley de Reducción de la Inflación
Visión	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrógeno limpio y asequible para un futuro con cero emisiones netas de carbono y una economía sostenible, resiliente y equitativa.
Agencias gubernamentales	<ul style="list-style-type: none"> • Ministerio de Agricultura • Departamento de Comercio • Ministerio de Defensa • Departamento de Energía • Departamento del Interior • Ministerio de Trabajo • Departamento de Estado • Departamento de Transportes • Departamento del Tesoro • Agencia de Protección del Medio Ambiente • Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio • Fundación Nacional de la Ciencia • Oficina de Política Científica y Tecnológica • Oficina Ejecutiva del Presidente

Metas	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de emisiones (reducir las emisiones de EE.UU. en aproximadamente un 10% para 2050, respecto a 2005) • Crecimiento del empleo de calidad (100.000 nuevos empleos netos directos e indirectos de aquí a 2030) • Seguridad y resistencia energéticas • Impacto positivo en la comunidad
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • 1 USD por 1 kg en 1 década ("1 1 1") • 10 MMT (millones de toneladas métricas) anuales en 2030 • 20 MMT anuales en 2040 • 50 MMT anuales en 2050
Estrategias/pilares clave	<ul style="list-style-type: none"> • Centrarse en usos estratégicos y de gran impacto para el hidrógeno limpio, <i>como</i> el sector industrial, el transporte pesado, el almacenamiento de energía de larga duración y la exportación de hidrógeno limpio. • Reducir el coste del hidrógeno limpio, <i>incluido el</i> coste de producción y el coste de suministro • Centrarse en las redes regionales <i>para</i> reducir el impacto ambiental, crear empleo, garantizar contratos de suministro a largo plazo e impulsar la fabricación nacional y el sector privado. inversión
Áreas de interés declaradas	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de hidrógeno • Almacenamiento y suministro de hidrógeno • Usos finales y adopción por el mercado
Principios rectores	<ul style="list-style-type: none"> • Permitir una profunda descarbonización a través de medidas estratégicas de gran impacto utiliza • Catalizar la innovación y la inversión • Fomentar la diversidad, la equidad, la inclusión y la accesibilidad • Promover la energía y la justicia medioambiental • Aumentar el empleo de calidad • Impulsar la fabricación nacional y cadenas de suministro sólidas • Permiten asequibilidad y versatilidad • Enfoque holístico

<p>Instrumentos de política pública</p>	<p>Reforzar el caso de negocios de los proyectos a gran escala</p> <ul style="list-style-type: none"> • 8.000 millones de dólares para centros regionales de hidrógeno limpio • Créditos fiscales competitivos para las instalaciones que fabriquen tecnologías de hidrógeno y pilas de combustible, incluidos los vehículos de pila de combustible y la infraestructura de repostaje. • Préstamos para ayudar a reequipar, repotenciar, reconvertir o sustituir infraestructuras energéticas para evitar, reducir, utilizar o secuestrar contaminantes atmosféricos o emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero. • Subvenciones y préstamos para que las fábricas de automóviles fabriquen vehículos limpios, incluidos vehículos eléctricos de pila de combustible (FCEV). • Subvenciones para reducir las emisiones en los puertos, que podrían financiar el despliegue de pilas de combustible • Subvenciones para vehículos pesados limpios, incluidos los FCEV • Un crédito fiscal para producir combustibles de aviación sostenibles • Crédito fiscal a la producción limpia de hidrógeno (PTC) para incentivar la producción de hidrógeno limpio <p>Desarrollo de proveedores nacionales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mil millones de dólares para un programa de electrólisis de hidrógeno limpio • 500 millones de dólares para actividades de I+D+i sobre fabricación y reciclado de hidrógeno limpio • Desarrollar una norma de producción limpia de hidrógeno <p>Aprovechar la producción local de hidrógeno para la fabricación ecológica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Subvenciones para proyectos de demostración industrial, incluidas las tecnologías del hidrógeno para el sector industrial • 8.000 millones de dólares para centros regionales de hidrógeno limpio • Un crédito fiscal tecnológicamente neutro para los combustibles limpios, que puede incluir materia prima de hidrógeno en el proceso de producción
--	--

**Prioridades
de
colaboración
internacional**

- Creación y gestión de la demanda
 - Explorar la colaboración de los sectores público y privado para garantizar que los responsables y las cadenas de suministro reduzcan el riesgo
- Financiación e inversión
 - Aumentar la inversión de los sectores público y privado, en particular facilitando la inversión y la coordinación con los países en desarrollo.
- Investigación e innovación
 - Acelerar la innovación para reducir costes y aumentar la escala
 - Aprovechar las iniciativas existentes para aumentar la diversidad y escalabilidad de los proyectos de demostración.
- Normas reglamentarias y certificación
 - Conectar el trabajo existente entre entidades, identificar y abordar las lagunas, elevar y ampliar el apoyo político.

EE.UU. - centros regionales de hidrógeno limpio (H2Hubs)

Justificación	<ul style="list-style-type: none"> • Ley de Inversión en Infraestructuras y Empleo (Ley Bipartidista de Infraestructuras (LBI))
Visión	<ul style="list-style-type: none"> • Lograr un despliegue de hidrógeno limpio a gran escala y comercialmente viable, haciendo coincidir la ampliación de los suministros de hidrógeno limpio con una demanda regional concomitante y creciente.
Gubernamental agencias	<ul style="list-style-type: none"> • Departamento de Energía • Departamento de Trabajo • Otros organismos gubernamentales
Metas	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrógeno limpio producido y utilizado a escala en demostraciones reproducibles y con modelos de negocio sostenibles para el despegue del mercado. • Reducción de emisiones y contaminación • Nuevos puestos de trabajo sostenibles, incluidos empleos sindicales bien remunerados • Ventajas evidentes para los desfavorecidos comunidades • Modelos ejemplares de capacitación, diversidad, equidad e inclusión • Fabricación nacional • Crecimiento económico sostenido y mayor uso de hidrógeno limpio • Inversión adicional y sostenida del sector privado
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer de seis a diez limpio regional de la Costa del Golfo de Estados Unidos; <u>ejemplos de regiones identificados incluyen:</u> <ul style="list-style-type: none"> ○ Noroeste del Pacífico ○ California ○ Suroeste ○ Alaska y Hawai ○ Hidrógeno ○ Apalaches ○ Nueva Inglaterra ○ Grandes Lagos ○ Centro de EE.UU.
Estrategias/pilares clave	<ul style="list-style-type: none"> • Productores de hidrógeno limpio; recursos y materias primas regionales • Infraestructuras de conexión situadas en las proximidades • Consumidores de hidrógeno limpio; industria, energía, transporte y edificios
Áreas de interés declaradas	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de hidrógeno limpio • Procesamiento de hidrógeno limpio • Suministro de hidrógeno limpio • Almacenamiento de hidrógeno limpio • Uso final del hidrógeno limpio

Principios rectores	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de la mano de obra • Seguridad, códigos, normas y permisos • Políticas e incentivos 	<ul style="list-style-type: none"> • Estimular la inversión del sector privado • Participación significativa de las partes interesadas • Energía y justicia medioambiental
Política instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión: hasta 7.000 millones de los 8.000 millones de dólares programa de centros de hidrógeno 	
Internacional prioridades de colaboración	-	

Japón: la estrategia básica del hidrógeno (actualización de 2017 y 2023)

Justificación	<ul style="list-style-type: none"> • Estrategia de crecimiento ecológico mediante la neutralidad de carbono en 2050 • Apoyo a las nuevas tecnologías con el Fondo de Innovación Verde • El sexto plan estratégico de energía
Visión	<ul style="list-style-type: none"> • La introducción y difusión de tecnologías individuales posiciona al hidrógeno como una nueva opción energética libre de carbono y representa una política que dirige a todo el gobierno a aplicar las medidas pertinentes. Basándose en la estrategia básica, Japón resolverá simultáneamente los retos de la seguridad energética y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, realizará esfuerzos nacionales para utilizar el hidrógeno y se convertirá en el primer país del mundo en realizar una sociedad basada en el hidrógeno. para liderar el uso del hidrógeno en el mundo.
Agencias gubernamentales	<ul style="list-style-type: none"> • Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI)
Metas	<ul style="list-style-type: none"> • Diversificación de las fuentes de suministro/compra para reducir fundamentalmente los riesgos de adquisición/suministro. • Reducción del carbono en la generación de electricidad, el transporte, el uso del calor y los procesos industriales • Contribuciones a la comunidad internacional a través de la innovación líder mundial

<p>Objetivos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de producción <ul style="list-style-type: none"> ○ 3 millones de toneladas anuales en 2030 ○ 12 millones de toneladas anuales (incluido el amoníaco) de aquí a 2040 ○ 20 millones de toneladas anuales en 2050 • Coste del suministro de hidrógeno <ul style="list-style-type: none"> ○ ¥30/Nm³ (¥334/kg) para 2030 ○ 20 yenes por metro cuadrado³ (222 yenes/kg) para 2050 • Coste de suministro de amoníaco <ul style="list-style-type: none"> ○ ¥15-20/Nm³ para 2030 (en términos de H₂) • Coste de los electrolizadores de agua en 2030 <ul style="list-style-type: none"> ○ ¥52.000/kW para alcalinas ○ ¥65.000/kW para PEM ○ El objetivo de capacidad mundial de electrólisis del agua de las empresas japonesas se fija en 15 GW para 2030
<p>Estrategias/pilares clave</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estrategia de la industria del hidrógeno dirigida al mercado nacional y mundial en los ámbitos de: <ul style="list-style-type: none"> ○ Suministro de hidrógeno (producción de hidrógeno, construcción de una cadena de suministro de hidrógeno) ○ Descarbonización de la generación de energía ○ Pilas de combustible ○ Utilización directa del hidrógeno (acero descarbonizado, productos químicos descarbonizados, buques propulsados por hidrógeno) ○ Uso eficaz de compuestos de hidrógeno (amoníaco combustible, productos reciclados de carbono) • Estrategia de seguridad del hidrógeno <ul style="list-style-type: none"> ○ Recopilar datos y pruebas científicas mediante el desarrollo tecnológico ○ Racionalizar y adaptar las normas para una implantación social gradual del hidrógeno • Desarrollar condiciones propicias para el uso del hidrógeno

<p>Declarado áreas de interés</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Oferta <ul style="list-style-type: none"> ○ Construir una cadena de suministro de hidrogeno en Japón ○ Construir una cadena Internacional de Suministro de hidrogeno • Demanda <ul style="list-style-type: none"> ○ Crear demanda ○ Desarrollar normas institucionales para sustitución de fósiles fuentes de energía con infraestructuras fuentes de energía ○ Utilizar el hidrógeno como hidrógeno compuesto (combustibles sintéticos) • Adelantar desarrollo de tecnología innovadora <p style="text-align: right;"> Establecer esquemas de apoyo para construir cadenas de suministro a gran escala <ul style="list-style-type: none"> ○ Desarrollar instituciones para la construcción de cadenas de suministro resistentes de grandes escalas ○ Desarrollar instituciones para la construcción de infraestructura de suministro eficiente decisiva para creación de demanda </p> <ul style="list-style-type: none"> • Coordinación internacional • Aceptación publica • Aumentar el uso l hidrógeno y coordinación con las administraciones locales
<p>Principios rectores</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Principios S (seguridad) + 3E (seguridad energética, eficiencia económica y medio ambiente)
<p>Instrumentos de política pública</p>	<p>Reforzar el caso de negocios de los proyectos a gran escala</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fomentar la creación de seguros privados y desarrollar un entorno empresarial en el que las organizaciones públicas puedan asumir una parte del riesgo para allanar el camino a una inversión más fácil por parte de los operadores empresariales cuando los riesgos sean elevados. • Desarrollar un sistema de apoyo (parcial o total) a la diferencia entre el precio de ejercicio (al que una empresa obtiene un beneficio adecuado recuperando los costes) y el precio de referencia (el precio de paridad del combustible existente) del hidrógeno/amoniaco. • Establecer medidas de orientación reglamentaria para el hidrógeno bajo en carbono • Aviones de última generación por valor de ~140 millones de dólares (21.100 millones de yenes) • ~240 millones de dólares para buques de nueva generación (35.000 millones de yenes) • ~470 millones de dólares para la producción de hidrógeno ecológico (70.000 millones de yenes)

	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar tres agrupaciones de hidrógeno/amoníaco a gran escala, situadas principalmente en regiones metropolitanas, y cinco agrupaciones de hidrógeno/amoníaco a mediana escala en los próximos 10 años. • ~135.000 millones de dólares (20 billones de yenes) del Gobierno para atraer a los sectores público y privado hacia la inversión en transformación verde (GX), incluidos los proyectos relacionados con el hidrógeno. <p><i>Desarrollo de proveedores nacionales</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Apoyar el desarrollo de infraestructuras de abastecimiento, incluidos depósitos y oleoductos. • Inversión de ~100.000 millones de dólares (15 billones de yenes) de los sectores público y privado en las cadenas de suministro de hidrógeno y amoníaco en 15 años. • ~2.000 millones de dólares para cadenas de suministro de hidrógeno (300.000 millones de yenes) • ~400 millones de dólares para cadenas de suministro de amoníaco combustible (59.800 millones de yenes) <p><i>Aprovechar la producción local de hidrógeno para la fabricación ecológica</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • ~1.300 millones de dólares para apoyar la aplicación del hidrógeno en la siderurgia (193.500 millones de yenes)
<p>Prioridades de colaboración internacional</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Normalización de estaciones de hidrógeno, electrolizadores de agua, metodologías de cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la producción de hidrógeno, tecnologías relacionadas con el amoníaco y otras. • Modificar las cláusulas de los contratos comerciales internacionales para equilibrar los derechos de vendedores y compradores • Actividades en marcos multilaterales para articular planes de acción que establezcan un mercado mundial del hidrógeno. • Concluir acuerdos de alianza con licenciarios extranjeros para proyectos de diseño, adquisición y construcción de instalaciones de producción de amoníaco, con el objetivo de expandirse en el mercado internacional. • En las cadenas de suministro internacionales, favorecer el suministro basado en la participación de las empresas japonesas en los intereses previos, la fabricación, el transporte y la construcción de plantas en el extranjero; adoptar productos relacionados con las empresas japonesas. en la producción de hidrógeno

Reino Unido - Estrategia del hidrógeno (2021) y actualización de la Estrategia del hidrógeno para el mercado (2023)

Justificación	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de diez puntos para una Revolución Industrial Verde (2020) • Sexto presupuesto de carbono del Reino Unido (2021)
Visión	<ul style="list-style-type: none"> • En 2030, el Reino Unido será líder mundial en hidrógeno, con 5 GW (actualizados a 10 GW) de capacidad de producción de hidrógeno con bajas emisiones de carbono que impulsarán la descarbonización de toda la economía y planes claros para la futura ampliación hacia un presupuesto de carbono 6 y cero emisiones netas, apoyando nuevos puestos de trabajo y la creación de empleo. crecimiento limpio en todo el Reino Unido
Gubernamental agencias	<ul style="list-style-type: none"> • Departamento de Empresa, Energía y Estrategia Industrial
Metas	<ul style="list-style-type: none"> • Avances hacia la ambición de 2030 • Descarbonización del actual suministro de hidrógeno del Reino Unido para 2030 • Menor coste de la producción de hidrógeno • Sistema de hidrógeno de extremo a extremo con diversos usuarios • Mayor concienciación pública • Promover el crecimiento económico y las oportunidades en el Reino Unido, incluido el empleo • Reducción de emisiones con los presupuestos de carbono 4 y 5 • Preparación para el aumento de la producción después de 2030: camino hacia cero emisiones netas • Elaboración de políticas basadas en pruebas
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de producción <ul style="list-style-type: none"> ○ 1 GW de hidrógeno verde en funcionamiento o construcción para 2025 ○ 10 GW de hidrógeno bajo en carbono para 2030 (al menos 50% para el hidrógeno verde)
Estrategias/pilares clave	<ul style="list-style-type: none"> • Creación de una cadena de suministro de categoría mundial • Creación de empleo y mejora de las cualificaciones de la industria • Aprovechar al máximo los puntos fuertes de la investigación y la innovación • Atraer inversiones • Aprovechar las oportunidades de exportación

<p>Áreas de interés declaradas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de hidrógeno • Almacenamiento y distribución de hidrógeno • Usos finales del hidrógeno <ul style="list-style-type: none"> ○ Industria ○ Generación de energía ○ Calefacción en edificios ○ Transporte • Crear un mercado del hidrógeno
<p>Principios rectores</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rentabilidad a largo plazo para contribuyentes y consumidores • Crecimiento económico y reducción de emisiones • Ventajas estratégicas para el Reino Unido • Minimizar las molestias y los costes para los consumidores y los hogares • Mantener las opciones abiertas y adaptarse a la evolución del mercado • Un enfoque holístico
<p>Instrumentos de política pública</p>	<p>Reforzar el caso de negocios de los proyectos a gran escala</p> <ul style="list-style-type: none"> • 68 millones de libras Almacenamiento de energía de larga duración Concurso de demostración • 120 millones de libras para iniciar la entrega de 4.000 nuevos autobuses de emisiones cero, de hidrógeno o eléctricos de batería. • 20 millones de libras en el diseño de pruebas para un sistema eléctrico de carreteras y vehículos pesados de pila de hidrógeno • Concurso de demostración marítima limpia de 20 millones de libras para buques con cero emisiones • 15 millones de libras para el proyecto HyFlyer de propulsión por pila de hidrógeno en aviación • Proyecto FlyZero de 15 millones de libras para aviones con cero emisiones de carbono • Programa H2GEAR de 27 millones de libras para sistemas de propulsión de hidrógeno líquido en la aviación • Concurso "Combustibles ecológicos, cielos verdes", dotado con 15 millones de libras, para producción de combustibles de aviación sostenibles (SAF) • 3 millones de libras para un centro de transporte de hidrógeno en Tees Valley • 4,8 millones de libras para otro centro de hidrógeno en Gales • Diseñar una norma británica para el hidrógeno bajo en carbono en consonancia con los sistemas internacionales • Garantía de préstamo de 2.000 millones de libras de UK Export Finance para financiar proyectos de crecimiento limpio en el extranjero • 240 millones de libras del Fondo de Hidrógeno Neto Cero (NZHF) para la producción de hidrógeno bajo en carbono • Diseñar un modelo de negocio del hidrógeno que

	proporcione ingresos a largo plazo a los productores de hidrógeno
	<p>Desarrollo de proveedores nacionales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concurso "Low Carbon Hydrogen Supply 2", dotado con 60 millones de libras, para una novedosa solución de suministro de hidrógeno
	<p>Aprovechar la producción local de hidrógeno para la fabricación ecológica</p> <ul style="list-style-type: none"> • UKRI Industrial Decarbonisation Challenge, dotado con 170 millones de libras y 261 millones aportados por la industria, para desarrollar infraestructuras de descarbonización industrial, incluido el hidrógeno bajo en carbono. • El Fondo de Transformación de la Energía Industrial, dotado con 315 millones de libras, apoyará el cambio del combustible al hidrógeno en la industria • Concurso de 20 millones de libras para el cambio de combustible industrial • Concurso "Industrial Fuel Switching 2", dotado con 55 millones de libras • Fondo de 10 millones de libras para destilerías ecológicas • Concurso de 40 millones de libras para la sustitución del gasóleo rojo por hidrógeno u otros combustibles bajos en carbono en la maquinaria móvil no de carretera (por ejemplo, para canteras y minería). • Concurso de planes locales de descarbonización industrial, dotado con 5 millones de libras, para desarrollar plantas estratégicas de descarbonización industrial
Prioridades de colaboración internacional	<ul style="list-style-type: none"> • Compartir los resultados de la investigación puntera • Desarrollar códigos y normas técnicas y de emisiones comunes • Aunar la actividad política y reguladora

Colombia - Hoja de ruta del hidrógeno (2021)

Justificación	<ul style="list-style-type: none"> • Compromiso del Gobierno con el Acuerdo de París de 2015
Visión	<ul style="list-style-type: none"> • Aprovechar la oportunidad del hidrógeno y convertirse en líder regional de la transición energética
Agencias gubernamentales	<ul style="list-style-type: none"> • Ministerio de Energía • Ministerio de Medio Ambiente • Ministerio de Transportes • Ministerio de Ciencia • Ministerio de Trabajo • Ministerio de Asuntos Exteriores • Ministerio de Comercio • Ministerio de Educación • Ministerio de Hacienda

Metas	<ul style="list-style-type: none"> • 2020-30: El hidrógeno bajo en carbono penetra sólo en las aplicaciones más competitivas. Este periodo destaca por una estrecha colaboración público-privada que permitirá y fomentará el desarrollo del mercado. • 2030-50: El hidrógeno es competitivo en muchas aplicaciones, lo que provocará un gran aumento de la demanda, tanto nacional como internacional. Durante este periodo, la exportación a otros y se habilitarán aplicaciones con una menor madurez tecnológica actual.
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de producción para 2030 <ul style="list-style-type: none"> ○ 1000-1500 pilas de combustible para Vehículos pesados ○ 50-100 estaciones públicas de llenado de hidrogeno ○ 40% de hidrogeno bajo en carbono usado en la industria • Puestos de trabajo creados para el 2030 <ul style="list-style-type: none"> ○ 7.000 directos y 15.000 indirectos • Reducción de CO2 para 2030: 2,5-3 millones de toneladas de CO2 • 1-3 GW electrolizadores Instalados <ul style="list-style-type: none"> ○ 50 kt de hidrógeno fuentes fósiles equipado con captura de carbono (CCUS) • Costo <ul style="list-style-type: none"> ○ 1,7 USD/kg para ○ 1,1 USD/kg por hidrógeno verde para 2050 • Demanda para 2030 <ul style="list-style-type: none"> ○ 1500-2000 pilas de combustible para Vehículos ligeros
Estrategias/pilares clave	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de emisiones: el hidrógeno como elemento clave para lograr la neutralidad de carbono en Colombia • Crecimiento económico: desarrollo de la cadena de valor del hidrógeno como vía hacia una economía de exportación baja en carbono • Transición justa: el hidrógeno como facilitador de una transición energética justa • Objetivos nacionales: el Gobierno se compromete a implantar el hidrógeno bajo en carbono • Comunidades locales: el hidrógeno como medio de integración territorial y herramienta de desarrollo integrador
Áreas de interés declaradas	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrógeno verde y azul • Aplicaciones en el transporte, la industria y la construcción
Principios rectores	NA
Instrumentos de política pública	<p>Reforzar el caso de negocios de los proyectos a gran escala</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fomentar la coordinación institucional y asignar responsabilidades frente al hidrógeno • Definir los conceptos de hidrógeno verde y azul de acuerdo con el marco jurídico nacional • Diseñar un sistema de garantías de hidrógeno y certificaciones de origen • Reforzar la posición de Colombia y la cooperación internacional en materia de hidrógeno • Desarrollar y actualizar la normativa técnica sobre hidrógeno

	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer mecanismos de apoyo para mejorar la competitividad del hidrógeno • Adaptar la normativa a nuevas aplicaciones, como las mezclas • Simplificar y adaptar los procedimientos administrativos • Adaptar la normativa del sistema eléctrico para que sea más compatible con la producción de hidrógeno • Consolidar la Asociación Colombiana del Hidrógeno y otras organizaciones relacionadas con el hidrógeno. • Diseñar y aplicar señales de mercado que estimulen la adopción del hidrógeno • Establecer nuevos mecanismos de financiación para proyectos de hidrógeno con bajas emisiones de carbono • Promover agrupaciones de producción y consumo de hidrógeno • Supervisar y actualizar la hoja de ruta del hidrógeno • Evaluar el potencial CCUS, el almacenamiento geológico de hidrógeno y la disponibilidad de agua • Estudiar la disponibilidad de recursos naturales para la producción de hidrógeno bajo en carbono en Colombia • Analizar la posibilidad de mezclar hidrógeno en la red existente de gasoductos de gas natural • Desplegar de forma coordinada una red de estaciones de servicio de hidrógeno • Planificar un despliegue de infraestructuras coordinado con los sistemas de generación de energía y gas. • Desarrollar infraestructuras para la exportación de hidrógeno y derivados • Estructurar y crear espacios aislados de regulación • Desarrollar herramientas de gestión del conocimiento en el ecosistema del hidrógeno de Colombia • Formar al personal técnico y profesional de toda la cadena de valor del hidrógeno • Mitigar el riesgo tecnológico mediante proyectos piloto • Controlar la producción y el consumo de hidrógeno por tipo y sector • Los beneficios fiscales y el fondo (Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE)) son aplicables a los proyectos de hidrógeno verde en todo el valor cadena
	<p><i>Desarrollo de proveedores nacionales</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Entre 2.500 y 5.500 millones de dólares de inversión para desarrollar la capacidad de los electrolizadores, principalmente del sector privado. • Mejorar las capacidades industriales locales en tecnologías del hidrógeno • Evaluar la contribución del hidrógeno a la diversificación económica del carbón <p><i>Aprovechar la producción local de hidrógeno para la fabricación ecológica</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fomentar el consumo de hidrógeno bajo en carbono y sus derivados en los sectores de la industria, el transporte y la construcción.
<p>Prioridades de colaboración internacional</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Explorar acuerdos internacionales de colaboración en materia de hidrógeno • Mayor participación en foros y comités internacionales sobre hidrógeno • Desarrollar campañas de divulgación sobre los recursos renovables de Colombia y el potencial del hidrógeno verde local. • Promover el papel de Colombia como posible centro logístico en el Caribe

Nota sobre la Hoja de Ruta del Hidrógeno de Colombia (2021):

- La Ley 2099, aprobada en julio de 2021, modificó la legislación anterior (la Ley 1715) para incluir el hidrógeno verde como Fuente de Energía Renovable No Convencional (FNCER). Tras esta modificación, los proyectos relacionados con el hidrógeno verde pueden optar a los incentivos y beneficios fiscales pertinentes. Además, el Fondo de Energías Renovables y Eficiencia Energética (FENOGE), creado en virtud de la Ley 1715, cubre desde entonces los proyectos de hidrógeno verde.
- En virtud de la Ley 2099, los proyectos relativos a inversiones, equipos y maquinaria para la producción, almacenamiento, acondicionamiento y distribución de hidrógeno verde disfrutarán de deducciones en el impuesto sobre la renta, exenciones del IVA, exenciones de derechos y amortización acelerada.
- Además del fondo y de los beneficios tributarios antes mencionados, la Ley 2099 también autoriza al Gobierno Nacional a financiar la "participación de las entidades territoriales en los proyectos de generación, distribución, comercialización" de hidrógeno verde con cargo a los aportes del Presupuesto General de la Nación y del Sistema General de Regalías.
- La Hoja de Ruta Nacional del Hidrógeno de Colombia articula que evaluará nuevos instrumentos financieros como préstamos a bajo interés, bonos verdes emitidos por empresas nacionales y financiación pública para proyectos de hidrógeno de bajo contenido en carbohidratos para apoyar a empresas y consorcios nacionales e internacionales en el desarrollo de proyectos en el país, incluyendo I+D, producción, almacenamiento, distribución y usos finales.
- En cuanto a la hoja de ruta nacional del hidrógeno, se movilizará una inversión de entre 2.500 y 5.500 millones de dólares para alcanzar el objetivo de entre 1 y 3 GW de capacidad de electrólisis en 2030. La inversión "procederá principalmente del sector privado, aunque se proporcionará apoyo público cuando sea necesario".
- En cuanto al "aprovechamiento de la producción local de hidrógeno para la fabricación ecológica", los incentivos y beneficios fiscales de la Ley 2099 son aplicables a los proyectos relacionados con los usos finales del hidrógeno ecológico. Mientras tanto, la hoja de ruta nacional del hidrógeno menciona que "el Gobierno evaluará si se requieren mayores incentivos para la transición de las tecnologías basadas en combustibles fósiles a las tecnologías del hidrógeno con bajas emisiones de carbono".
- La estrategia nacional del hidrógeno contempla la modificación de la normativa pertinente relativa al transporte de gas natural, lo que permitiría mezclar hidrógeno en la red de gas natural y repercutiría en las industrias que consumen gas natural para la fabricación.

Alemania - la Estrategia Nacional del Hidrógeno (actualización 2020 y 2023)

Justificación	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de Acción para el Clima 2030 • Acuerdo de París • Objetivo de cero emisiones netas para 2050
Visión	<ul style="list-style-type: none"> • El Gobierno Federal reconoce la responsabilidad de Alemania en la reducción global de las emisiones de gases de efecto invernadero. Mediante el desarrollo del mercado del hidrógeno y la promoción del hidrógeno como opción de descarbonización, Alemania puede hacer que una contribución clave a la mitigación del cambio climático a escala mundial.
Agencias gubernamentales	<ul style="list-style-type: none"> • Comité de Secretarios de Estado para el Hidrógeno, compuesto por los ministerios competentes • Consejo Nacional del Hidrógeno, compuesto por expertos de alto nivel de la industria y el mundo académico
Metas	<ul style="list-style-type: none"> • Fase 1 para 2023: iniciar la expansión del mercado y aprovechar las oportunidades. • Fase 2 para 2030: reforzar la expansión del mercado a escala nacional e internacional
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Al menos 10 GW de capacidad nacional de electrólisis en 2030 • Más de 1800 km de conducciones de hidrógeno reconvertidas y de nueva construcción en Alemania, 4500 km más de conducciones en toda Europa de aquí a 2027/28 • Los principales proveedores de tecnologías del hidrógeno, desde la producción (por ejemplo, electrolizadores) hasta los usos finales (por ejemplo, pilas

	de combustible) de aquí a 2030.
Estrategias/pilares clave	<ul style="list-style-type: none"> • Garantizar la disponibilidad de hidrógeno suficiente • Construir una infraestructura de hidrógeno eficiente • Establecer aplicaciones del hidrógeno (industria, transporte, electricidad, calor) • Crear condiciones marco eficaces
Áreas de interés declaradas	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de hidrógeno • Demanda de hidrógeno en el transporte, el sector industrial y el mercado del calor
Principios rectores	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplir los objetivos climáticos alemanes • Crear nuevas cadenas de valor para la economía alemana • Fomentar la cooperación en política energética a escala internacional
Instrumentos de política pública	<p>Reforzar el caso de negocios de los proyectos a gran escala</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2.100 millones de euros del Fondo de Energía y Clima en ayudas a la compra de vehículos eléctricos • 900 millones de euros con cargo al Fondo de Energía y Clima en ayudas a la compra de vehículos utilitarios propulsados con tecnología de transmisión alternativa y respetuosa con el clima. • 600 millones de euros con cargo al Fondo de Energía y Clima para la compra de autobuses con sistemas de propulsión alternativos. • 1.100 millones de euros con cargo al Fondo de Energía y Clima para instalaciones de producción de combustibles a base de electricidad • 3.400 millones de euros con cargo al Fondo de Energía y Clima para el construcción de una infraestructura de repostaje y recarga • 700 millones de euros en el marco del Programa de Incentivos a la Eficiencia Energética para calefacción de edificios y sistemas de calefacción por pilas de combustible. • 25 millones de euros del Programa de Investigación Marítima de la UE para un buque de emisiones cero • 2.000 millones de euros del "Paquete para el futuro" para fomentar las asociaciones internacionales <p>Desarrollo de proveedores nacionales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Financiación de 1 400 millones de euros en el marco del Programa Nacional de Innovación sobre tecnología del hidrógeno y las pilas de combustible • La financiación del Programa de Investigación Energética para construir un panorama de investigación excelente • 310 millones de euros del Fondo de Energía y Clima

	<p>para investigación básica orientada a la práctica sobre hidrógeno verde</p> <ul style="list-style-type: none"> • 200 millones de euros de financiación para la investigación energética orientada a la práctica sobre la tecnología del hidrógeno • 600 millones de euros para fomentar el "Regulatory Sandbox for the Energy Transition" para la transferencia de tecnología al mercado • 25 millones de euros con cargo al Programa de Investigación Aeronáutica para tecnologías del hidrógeno • 7.000 millones de euros del "Paquete para el futuro" para acelerar el despliegue comercial de la tecnología del hidrógeno • Proyecto Importante de Interés Común Europeo (IPCEI) Hidrógeno para una capacidad adicional de electrólisis doméstica de 2,5 GW • Aplicación nacional de la Directiva europea modificada sobre energías renovables (RED II) en Alemania para una capacidad nacional adicional de electrólisis de 2 GW • Otros programas nacionales y financiación para alcanzar el objetivo de 10 GW adicionales de capacidad de electrólisis doméstica de aquí a 2020. 2030
	<p>Aprovechar la producción local de hidrógeno para la fabricación ecológica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Más de 1.000 millones de euros de financiación en el marco del programa alemán de descarbonización para tecnologías e instalaciones industriales a gran escala que utilicen hidrógeno para descarbonizar sus procesos de fabricación. • Otros programas para fomentar el uso del hidrógeno en la fabricación y con el fin de eliminar y aprovechamiento de las emisiones de carbono en la industria de materiales básicos
<p>Prioridades de colaboración internacional</p>	<p>A nivel internacional</p> <ul style="list-style-type: none"> • Integrar el hidrógeno en las asociaciones energéticas existentes y en el establecimiento de nuevas asociaciones con países exportadores e importadores estratégicos. • Avanzar en la cooperación con los países socios en el contexto de una alianza del hidrógeno en coordinación con las iniciativas de la UE. • Reforzar las actividades internacionales existentes, especialmente en el contexto de las asociaciones energéticas y la cooperación multilateral. • Proyectos piloto en países socios • Intensificar el diálogo con vistas a una transición energética mundial gradual que incluya el hidrógeno. <p>UE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intensificar la inversión en investigación, desarrollo y demostración de hidrógeno verde

	<ul style="list-style-type: none"> • Acelerar la aplicación de las iniciativas de la UE sobre el hidrógeno y apoyar la elaboración de una Estrategia de la UE sobre el hidrógeno. • Crear una empresa europea del hidrógeno • Establecer normas de sostenibilidad y calidad en el ámbito del hidrógeno
--	---

Australia - Estrategia Nacional del Hidrógeno de Australia (revisión de 2019 y 2023 para una Estrategia Nacional del Hidrógeno revisada)

Justificación	<ul style="list-style-type: none"> • Legislación sobre el objetivo neto cero • Mejorar la fiabilidad del sistema energético
Visión	<ul style="list-style-type: none"> • Una industria del hidrógeno limpia, innovadora, segura y competitiva • Beneficiar a todos los australianos • Ser uno de los principales actores mundiales en 2030
Agencias gubernamentales	<ul style="list-style-type: none"> • Consejo de Gobiernos Australianos (COAG) Consejo de Energía
Metas	<ul style="list-style-type: none"> • Uno de los tres principales exportadores de hidrógeno a los mercados asiáticos • Tener un excelente historial de seguridad relacionada con el hidrógeno • Proporcionar beneficios económicos y puestos de trabajo en Australia • Disponer de un sistema de certificación de procedencia sólido y aceptado internacionalmente.
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Ser líder mundial del hidrógeno en 2030 • Permitir la descarbonización doméstica mediante el desarrollo de la industria del hidrógeno • Garantizar el beneficio económico de todos los australianos mediante el desarrollo de la industria del hidrógeno <p><i>*No se han fijado objetivos específicos de producción o demanda de hidrógeno</i></p>
Estrategias/pilares clave	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar un enfoque adaptativo • Crear centros de hidrógeno como trampolín para ampliar la escala • Acciones para el crecimiento interno <ul style="list-style-type: none"> ○ Apoyar la investigación, los proyectos piloto, los ensayos y las demostraciones a lo largo de la cadena de suministro. ○ Uso de hidrógeno limpio en las redes de gas y aplicaciones industriales australianas ○ Primeros pasos hacia el uso del hidrógeno en el transporte
Áreas de interés declaradas	<ul style="list-style-type: none"> • Coordinación nacional • Innovación e I+D • Desarrollar la capacidad de producción, apoyándose en la demanda local • Cualificaciones y mano de obra • Normativa sensible • Confianza comunitaria • Compromiso internacional

<p>Principios rectores</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Adoptar un enfoque adaptable y coordinado a escala nacional para apoyar el desarrollo de la industria, incluidas revisiones periódicas. • Dar prioridad a la coherencia normativa y a un enfoque coordinado de la aprobación de proyectos • Apoyar las asociaciones para activar el mercado • Dar prioridad a la seguridad, la sostenibilidad medioambiental y los beneficios para los australianos
<p>Instrumentos de política pública</p>	<p>Reforzar el caso de negocios de los proyectos a gran escala</p> <ul style="list-style-type: none"> • ~330 millones de USD (500 millones de AU\$) del Gobierno australiano, y 263 millones de USD (400 millones de AU\$) de los estados y territorios, para apoyar el desarrollo de centros regionales del hidrógeno • ~Programa de contratos para la producción de hidrógeno (<i>Programa Headstart</i>), dotado con unos 1.300 millones de dólares estadounidenses (2.000 millones de dólares australianos), para apoyar la ampliación de la producción de hidrógeno ecológico. • Entre 2015 y 2019, ~45 millones de dólares estadounidenses (146 millones de dólares australianos) comprometidos en proyectos relacionados con el hidrógeno a lo largo de la cadena de suministro <ul style="list-style-type: none"> ○ 67,83 millones de dólares australianos para I+D ○ 4,88 millones de dólares australianos para el estudio de viabilidad ○ 5,04 millones de dólares australianos para demostración ○ 68,57 millones de dólares australianos para el piloto • Anunciar cinco códigos nacionales de buenas prácticas en materia de producción de hidrógeno, producción de amoníaco, repostaje de hidrógeno, aparatos, instalaciones y equipos de hidrógeno, aparatos, instalaciones y equipos de amoníaco. • Eliminar las barreras normativas al uso del hidrógeno y fomentarlo mediante políticas que ayuden a los pioneros a superar los obstáculos a la inversión.
	<p>Desarrollo de proveedores nacionales</p> <ul style="list-style-type: none"> • El Fondo de Reconstrucción Nacional y el Fondo de Energía para las Regiones apoyarán el desarrollo del sector nacional de fabricación de electrolizadores. • Considerar el apoyo a las capacidades locales de fabricación relacionadas con la cadena de suministro de hidrógeno, como la fabricación de pilas de combustible y la fabricación relacionada con el transporte de hidrógeno. • Revisar el sistema de migración y las políticas de personal para garantizar la seguridad de la cadena de suministro de hidrógeno.

	<p>Aprovechar la producción local de hidrógeno para la fabricación ecológica</p> <ul style="list-style-type: none"> • ~25 millones de dólares (38,2 millones de dólares australianos) para crear un sistema de garantía de origen que certifique las energías renovables y controle y verifique las emisiones de los productos energéticos limpios, empezando por el hidrógeno. • Modificación de la Ley Nacional del Gas, la Ley Nacional de Comercialización de Energía y el Reglamento para introducir el hidrógeno y otros gases. en el régimen nacional de regulación del gas
Prioridades de colaboración internacional	<ul style="list-style-type: none"> • Asociaciones para un mercado mundial del hidrógeno • Asociaciones bilaterales para crear mercados • Foros multilaterales para fomentar el comercio eficiente del hidrógeno y la innovación • Certificación del hidrógeno • Crear confianza en la comunidad

Brasil - Programa Nacional de Hidrógeno (2021) y Plano De Trabalho Trienal 2023-2025 (2023)

Justificación	<ul style="list-style-type: none"> • Resolución nº 6 del Consejo Nacional de Política Energética (CNPE)
Visión	<ul style="list-style-type: none"> • Contribuir de forma significativa al camino del país hacia el desarrollo sostenible, aumentando la competitividad y la participación del hidrógeno en la matriz energética brasileña, teniendo en cuenta su impacto económico, social y ambiental. importancia para el desarrollo
Agencias gubernamentales	<ul style="list-style-type: none"> • Ministerio de Minas y Energía • Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación • Ministerio de Desarrollo Regional • Ministerio de Educación • FINEP (Autoridad de Financiación de Estudios y Proyectos)
Metas	<ul style="list-style-type: none"> • Acelerar la economía del hidrógeno bajo en carbono en el país y aprovechar las oportunidades del mercado mundial de productos bajos en carbono y su cadena de suministro en la transición energética. Además, hacer que el hidrógeno bajo en carbono sea competitivo en el país y ofrecer una alternativa para sectores difíciles de abandonar. en Brasil y en el mercado mundial.
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Para 2025: diseminar plantas piloto de bajas emisiones de carbono en todas las regiones de Brasil • Para 2030: consolidar a Brasil como el productor de hidrógeno bajo en carbono más competitivo del mundo • Para 2035: consolidar centros de hidrógeno bajo en carbono en Brasil

Estrategias/pilares clave	<ul style="list-style-type: none"> • Reforzar las bases científico-tecnológicas • Formación en recursos humanos • Planificación energética • Marco jurídico y reglamentario • Apertura del mercado y crecimiento y competitividad • Cooperación internacional
Áreas de interés declaradas	<ul style="list-style-type: none"> • Definir una visión a largo plazo del hidrógeno en el sistema energético nacional • Identificar oportunidades a corto plazo y apoyar la implantación inicial de tecnologías clave. • Apoyar los planes de financiación y reducir los riesgos de inversión desde las primeras fases del proyecto. • Centrarse en apoyar los programas de I+D y las cualificaciones profesionales para cosechar beneficios colectivos más allá de la reducción de gases de efecto invernadero. • Adoptar sistemas de certificación para incentivar el hidrógeno bajo en carbono, creando oportunidades de mercado, evitando el bloqueo o la preselección tecnológica y unificando la liquidez del mercado. • Apoyar la cooperación a nivel regional y mundial, como forma de posicionar a América Latina en el hidrógeno global.
Principios rectores	<ul style="list-style-type: none"> • Valorar el potencial nacional de recursos energéticos • Sea exhaustivo • Alinearse con las ambiciones de descarbonización de la economía • Valorar y fomentar el desarrollo tecnológico nacional • Desarrollar un mercado competitivo • Buscar sinergias y coordinación con otros países • Reconocer la contribución de la industria nacional
Instrumentos de política pública	<p><i>Reforzar el caso de negocios de los proyectos a gran escala</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Apoyo al Congreso Brasileño del Hidrógeno • Elaboración de estudios y diagnósticos • Reconfiguración de los marcos reguladores del hidrógeno bajo en carbono en Brasil • Contribuciones a foros internacionales sobre hidrógeno ecológico, como Hydrogen TCP, un foro técnico dirigido por la AIE con un grupo de trabajo sobre certificaciones, Reglamentos Delegados de la UE y H2 Global. • Aprovechamiento de la financiación de los Fondos de Inversión en el Clima - Programa de Integración de Energías Renovables (CIF-REI), para la instalación del HUB de Hidrógeno Verde en el Puerto de Pecém, en Estado de Ceará

	<p>Desarrollo de proveedores nacionales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crear un curso de postgrado en hidrógeno verde a través del SENAI • Programa de formación de trabajadores Proyecto H2Brasil de 120h, formando 300 profesionales. Realizado por el SENAI en colaboración con universidades e institutos federales de educación • Clases magistrales sobre el hidrógeno, con más de 700 personas suscritas • Convocatorias públicas de ayudas a la I+D a través de FINEP • Subvenciones para universidades y laboratorios que investiguen el hidrógeno • Incentivos para nuevas empresas relacionadas con el hidrógeno a través del Programa de Innovación en Hidrógeno Verde (iH2Brasil).
<p>Prioridades de colaboración internacional</p>	<p>Aprovechar la producción local de hidrógeno para la fabricación ecológica</p> <p>-</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mapa y lista del tratamiento global del hidrógeno en la planificación energética y las políticas sectoriales correspondientes • Desarrollar y profundizar el diálogo y la cooperación internacionales • Estimular y facilitar las alianzas industriales y productivas en la cadena del hidrógeno, con el objetivo de atraer inversiones e insertar al país en las cadenas de valor mundiales. • Participar, de forma soberana, en los debates internacionales relacionados con la definición de la cadena de producción y uso del hidrógeno y la configuración del mercado mundial del hidrógeno. • Identificar fuentes e instrumentos de financiación internacional • Promover los intercambios entre instituciones brasileñas e instituciones y centros de estudio internacionales

India - Misión Nacional del Hidrógeno Verde (2023)

Justificación	<ul style="list-style-type: none"> • Independencia energética en 2047 • Cero emisiones netas en 2070
Visión	<ul style="list-style-type: none"> • El centro mundial para la producción, uso y exportación de hidrógeno verde y sus derivados
Agencias gubernamentales	<ul style="list-style-type: none"> • Ministerio de Energías Nuevas y Renovables • Ministerio de Energía • Ministerio de Petróleo y Gas Natural • Ministerio de Productos Químicos y Fertilizantes • Ministerio de Transporte por Carretera y Autopistas • Ministerio de Acero • Ministerio de Puertos, Navegación y Vías Navegables • Ministerio de Hacienda • Ministerio de Comercio e Industria • Ministerio de Ferrocarriles • Departamento de Promoción de la Industria y Comercio Interior, Oficina de Normas Indias • Y otros gobiernos centrales y estatales agencias
Metas	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar la producción y utilización de hidrógeno ecológico en múltiples sectores y adaptarse a las tendencias mundiales en materia de tecnología, aplicaciones, política y reglamentación. • Descarbonización significativa de la economía, reducción de la dependencia de las importaciones de combustibles fósiles, y permitir a la India asumir el liderazgo tecnológico y de mercado en hidrógeno verde
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Creación de empleo <ul style="list-style-type: none"> ○ Más de 0,6 millones de empleos a tiempo completo en 2030 • Producción <ul style="list-style-type: none"> ○ 5 millones de toneladas métricas (MMT) de hidrógeno verde al año en 2030 ○ Aumento a 10 MMT anuales con el crecimiento del mercado de exportación • Exportar <ul style="list-style-type: none"> ○ 10 MMT hidrógeno verde/verde de amoníaco al año de aquí a 2030 • Capacidad adicional de energía renovable generada <ul style="list-style-type: none"> ○ ~125 GW para 2030 • Emisiones de CO2 que deben evitarse <ul style="list-style-type: none"> ○ 50 MMT anuales en 2030 • Coste de la producción ecológica de hidrógeno <ul style="list-style-type: none"> ○ Entre los más bajos del mundo

Estrategias/pilares clave	<ul style="list-style-type: none"> Recursos I+D Facilidad para hacer negocios Infraestructuras y cadena de suministro Reglamentación y normas Desarrollo de competencias y sensibilización pública
Declarado áreas de interés	<ul style="list-style-type: none"> Creación de demanda <ul style="list-style-type: none"> Exportar Sustitución de importaciones (por ejemplo, combustibles fósiles y fertilizantes) Demanda interna Incentivar la oferta <ul style="list-style-type: none"> Fabricación de electrolizadores Producción ecológica de hidrógeno
Guía principios	-
Instrumentos de política pública	<p>Reforzar el caso de negocios de los proyectos a gran escala</p> <ul style="list-style-type: none"> ~1.600 millones de dólares para apoyar la producción ecológica de hidrógeno de aquí a 2030 ~47 millones de dólares para otras áreas en hidrógeno verde Adquisición de hidrógeno verde para lograr escala y estabilidad en los acuerdos a largo plazo <ul style="list-style-type: none"> Plantas de fertilizantes a base de hidrógeno verde/amoniaco verde Centros verdes de hidrógeno que apoyen la producción y/o utilización de hidrógeno a gran escala <ul style="list-style-type: none"> Establecer al menos dos centros en la fase inicial Cerca de los principales puertos Crear un marco normativo y reglamentario que permita el ecosistema del hidrógeno, en consonancia con las normas internacionales. <p>Desarrollo de proveedores nacionales</p> <ul style="list-style-type: none"> ~500 millones de dólares para apoyar la fabricación nacional de electrolizadores de aquí a 2030 ~48 millones de dólares para I+D centrada en la producción, almacenamiento, transporte y utilización <p>Aprovechar la producción local de hidrógeno para la fabricación ecológica</p> <ul style="list-style-type: none"> ~177 millones de dólares invertidos en proyectos piloto de aquí a 2030, centrados en la transición ecológica en la producción de acero, la movilidad pesada de larga distancia, el almacenamiento de energía, el transporte marítimo, el ferrocarril y la aviación. Promover el uso de hidrógeno verde y sus derivados en las industrias pertinentes como cuota mínima de consumo de energía y materias primas procedentes de combustibles no fósiles. fuentes
Prioridades de colaboración internacional	<ul style="list-style-type: none"> Inversiones conjuntas, proyectos de colaboración y acuerdos comerciales a largo plazo centrados en tecnología, financiación, normativa, comercio y política Cooperación entre el mundo académico, las universidades, las instituciones técnicas, la industria y los laboratorios de investigación

DOCUMENTO ELABORADO PARA:



Quiénes somos

Cambridge Industrial Innovation Policy (CIIP) es un grupo de políticas públicas global sin ánimo de lucro con sede en el Institute for Manufacturing (IfM) de la Universidad de Cambridge. El CIIP colabora con gobiernos y organizaciones mundiales para promover la competitividad industrial y la innovación tecnológica. Ofrecemos nuevas pruebas, ideas y herramientas basadas en las últimas ideas académicas y las mejores prácticas internacionales.

Este informe ha sido elaborado por IfM Engage, la rama de transferencia de conocimientos del Institute for Manufacturing (IfM) de la Universidad de Cambridge.

17 Charles Babbage Road, Cambridge, CB3 0FS, Reino Unido

www.ciip.group.cam.ac.uk/

2024 IfM Engage

