



CORE
Consejo Regional
REGION DE ANTOFAGASTA

hoja de ruta
HIDROGENO H₂
VERDE

HOJA DE RUTA DE HIDRÓGENO VERDE

REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Gobierno Regional de Antofagasta





HOJA DE RUTA DE HIDRÓGENO VERDE

REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Gobierno Regional de Antofagasta





Gobierno Regional de Antofagasta©

Reseña:

La Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde (2026-2035) es un instrumento estratégico y de gestión desarrollado por el Gobierno Regional de Antofagasta para fomentar el desarrollo regional de esta incipiente industria. Se alinea con las metas nacionales de descarbonización y los objetivos regionales de diversificación productiva, mediante la promoción de una industria que emplea agua y energías renovables para la producción de hidrógeno. El instrumento se organiza en 4 dimensiones –social, ambiental, económica y de gobernanza–, 14 objetivos estratégicos, 33 metas y 46 acciones orientadas a resolver brechas críticas y mitigar sus externalidades.

Este instrumento se encuentra plenamente vigente para el decenio 2026-2035, tras ser validado técnicamente por el Comité Ejecutivo de la Comisión Regional de Hidrógeno Verde el 12 de enero de 2025. Su ratificación oficial fue sancionada por el Consejo Regional de Antofagasta en la sesión ordinaria N°793 celebrada el 15 de enero de 2026, asegurando su legitimidad y respaldo institucional.

- **Gobernador Regional de Antofagasta:** Ricardo Díaz Cortés
- **Equipo Gobierno Regional:**
 - Freddy Arteaga Valdés, jefe de División de Planificación y Desarrollo Regional
 - Pablo Rojas Varas, ex jefe Diplader, actual jefe de División de Fomento e Industria
 - Rodrigo Mella Figueroa, contraparte técnica titular
 - Tomás Barra Tarraza, contraparte técnica suplente
 - Jazmín Núñez Rivera, jefa Unidad de Gobernanza y Participación Ciudadana
 - Zimry Navarro Blanco, profesional Unidad de Gobernanza y Participación Ciudadana
 - Juan Sepúlveda Araya, administrador de contrato
- **Edición/Revisión Técnica/Fotografías:** Rodrigo Mella Figueroa
- **Consultora Principal:** Aiguasol
- **Consultoras Colaboradoras:** Impact Hydrogen y Calden
- **Equipo consultor:**
 - Alfredo González, jefe de proyecto
 - Agustina Ravotti, especialista en materia ambiental e hidrógeno
 - María Cristina Acuña, especialista en planificación territorial y SIG
 - Judith Mendoza, especialista en participación ciudadana
 - Sharon Becker, especialista en economía de procesos industriales
 - Ramiro Rodríguez, especialista en energías renovables
 - Nicolás Sanz, especialista en energías renovables
 - Daniel Mardini, especialista en energías renovables
 - Daniel González, especialista en energías renovables
- **Diseño gráfico:** Camilo Acuña, Felipe Rabuco, Juan González, Marcelo Canales.
- **Fotografías:** Ricardo Rodríguez, Conaf, Sernatur.

Consejo Regional:

- Provincia de Antofagasta
 - Alejandro Cifuentes Mancilla
 - Duzanka Flores Rojas
 - Andrea Merino Díaz
 - Paula Celis Sierralta
 - Gonzalo Santolaya Goicovic
 - Paula Orellana Uribe
 - Yasna Meneses González
 - Víctor Guzmán Rojas
 - Provincia de El Loa
 - Sandra Berna Martínez
 - Emilio Mavrakis Assad
 - Jorge Berna Mendoza
 - Dinka López Durán
 - Luis Payero Cruz
 - Provincia de Tocopilla
 - Humberto Fuentes Lagos
 - Gustavo Carrasco Ortiz
 - Patricio Tapia Julio
- Comité Ejecutivo de la Comisión Regional de Hidrógeno Verde:**
- Ricardo Díaz Cortés, Gobernador Regional y Presidente del Comité
 - Paula Orellana Uribe, Consejera Regional
 - Luis Payero Cruz, Consejero Regional
 - Marcelino Carvajal Ferreira, Alcalde de Mejillones
 - Dafne Pino Riff, Seremi de Energía
 - Melissa Gajardo Castillo, Directora Ejecutiva Comité CORFO Antofagasta
 - Sandra Pastenes, Directora Ejecutiva AMRA
 - Kenis Aguirre, Director Ejecutivo H2 Antofagasta
 - Freddy Arteaga, Jefe División de Planificación y Desarrollo Regional y Secretario Ejecutivo del Comité
 - Jean Pierra Buisan, representante COSOC Regional
 - Patricio Tapia Julio, Consejero Regional (suplente)
 - Duzanka Flores Rojas, Consejera Regional (suplente)
 - Juan Ignacio Zamorano, Subdirector Regional Comité CORFO Antofagasta (suplente)
 - Aaron Oliveros, Director de Obras Municipales Mejillones (suplente)
 - Oriana Heuser, profesional Seremi de Energía (suplente)

CONTENIDO

1. RESUMEN EJECUTIVO.....	7
1.1. Hoja de Ruta e Hidrógeno Verde	8
1.2. ¿Por qué Desarrollar una Hoja de Ruta en Antofagasta?.....	9
1.3. ¿Qué es el programa transforma?.....	9
2. INTRODUCCIÓN.....	23
2.1. Hoja de Ruta, Camino al Futuro	24
2.2. ¿Cómo se construyó la Hoja de Ruta?	26
2.2.1. Etapa de Diagnóstico.....	27
2.2.2. Etapa de Propuesta.....	28
3. HIDRÓGENO VERDE, DERIVADOS Y VENTAJAS COMPARATIVAS.....	31
3.1. ¿Qué es el hidrógeno verde?.....	32
3.2. Ventajas Comparativas de la Región.....	37
4. DIAGNÓSTICO Y BRECHAS	43
4.1. Dimensión Social	44
4.1.1. Eje 1: Capital humano e infraestructura social.....	44
4.1.2. Eje 2: Percepción de la comunidad frente a la industria del H2V	47
4.2. Dimensión Ambiental	48
4.2.1. Eje 1: Uso del agua	48
4.2.2. Eje 2: Impacto ambiental.....	49
4.2.3. Eje 3: Líneas base ambientales.....	50
4.3. Dimensión Económica.....	51
4.3.1. Eje 1: Infraestructura compartida.....	51
4.3.2. Eje 2: Mercado	54
4.4. Dimensión Gobernanza y Normativa.....	57
4.4.1. Eje 1: Acceso a información.....	57
4.4.2. Eje 2: Gobernanza	57
4.4.3. Eje 3: Normativa.....	58
5. IMAGEN OBJETIVO	61
5.1. Caracterización de Escenarios Estratégicos 2035-2050.....	62
5.2. Visión de Desarrollo.....	64
5.3. Lineamientos.....	65
5.4. Objetivos, Metas, Acciones e Indicadores de Desempeño.....	66
5.4.1. Dimensión Social	68
5.4.2. Dimensión Ambiental	70
5.4.3. Dimensión Económica	72
5.4.4. Dimensión de Gobernanza y Normativa.....	74
5.4.5. Indicaciones de desempeño	76
6. AGENDA DEL PROGRAMA TRANSFORMA.....	79
6.1. ¿Cómo haremos realidad esta Hoja de Ruta?.....	80
6.2. Plan de Implementación y Seguimiento	81
6.3. Fichas de Acción de Corto Plazo.....	83
7. BIBLIOGRAFÍA.....	85





Antofagasta - foto Rodrigo Mella

RESUMEN EJECUTIVO





1 RESUMEN EJECUTIVO

1.1 HOJA DE RUTA E HIDRÓGENO VERDE

¿Qué es una hoja de ruta?

La Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde (H2V) es un instrumento de planificación estratégica que permite ordenar, orientar y coordinar el desarrollo de esta nueva industria en la Región de Antofagasta. Su objetivo principal es definir una visión compartida de futuro y establecer los pasos necesarios para que el hidrógeno verde se desarrolle de manera sustentable, segura y beneficiosa para todos. Se estructura en torno a diferentes preguntas clave, tales como:

- ¿Qué oportunidades ofrece el hidrógeno verde para la región?
- ¿Cuáles son los principales desafíos que se deben enfrentar?
- ¿Qué acciones se deben priorizar en el corto, mediano y largo plazo?
- ¿Cómo asegurar que el desarrollo de la industria sea compatible con el cuidado del medio ambiente y el bienestar de las personas?

De esta manera, la Hoja de Ruta permite alinear los esfuerzos del sector público, el sector privado, la academia y la sociedad civil, promoviendo la coordinación entre actores y la toma de decisiones informadas.

Este instrumento se vincula con el Plan de Acción Nacional de Hidrógeno Verde 2023-2030 (Ministerio de Energía, 2024), que en su Acción 2 considera la elaboración de Hojas de Ruta regionales. Al respecto, se ha trabajado en forma coordinada con el Ministerio de Energía, definiendo parámetros comunes para la modelación de escenarios tanto de la presente Hoja de Ruta, como de la actualización de la Estrategia de Hidrógeno Verde nacional que se publicará a inicios de 2026.

¿Qué es el hidrógeno verde?

El hidrógeno es un elemento químico muy abundante en la naturaleza y contiene una gran cantidad de energía. Actualmente, el hidrógeno ya se utiliza en diversas industrias, como en las refinerías de petróleo o en la producción de ciertos productos químicos. Sin embargo, en la mayoría de los casos se produce a partir de combustibles fósiles, lo que genera emisiones contaminantes. A este tipo de hidrógeno se le conoce como hidrógeno gris. Por el contrario, el hidrógeno verde se produce utilizando energías renovables, como la energía solar y la energía eólica, recursos que la Región de Antofagasta posee en abundancia. Su principal característica es que su producción no genera emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que se trata de una alternativa limpia y sustentable.

El hidrógeno verde se obtiene a partir del agua mediante un proceso llamado electrólisis. En términos simples, este proceso utiliza electricidad de origen renovable para separar la molécula de agua en hidrógeno y oxígeno. El hidrógeno resultante puede almacenarse y utilizarse más adelante como fuente de energía.

A partir del hidrógeno verde pueden producirse otros compuestos, conocidos como derivados, que facilitan su uso y transporte. Entre los más importantes se encuentran el Metanol, el Dimetil éter, los combustibles sintéticos como el e-diésel y el Amoníaco. Este último es uno de los derivados más relevantes ya que se utiliza actualmente para la fabricación de fertilizantes y explosivos, y también tiene potencial como combustible para el transporte marítimo. Además, el amoníaco puede reconvertirse nuevamente en hidrógeno y es más fácil de almacenar y transportar.

1.2 ¿POR QUÉ DESARROLLAR UNA HOJA DE RUTA EN ANTOFAGASTA?

La Región de Antofagasta cuenta con ventajas comparativas únicas para el desarrollo del hidrógeno verde, entre ellas uno de los mayores potenciales de energía solar del mundo, capacidades instaladas en materia de desalación de agua, infraestructura industrial y portuaria existente, experiencia en proyectos de gran escala y un ecosistema productivo vinculado a la minería, la energía y la industria. Estas condiciones posicionan a la región como un territorio clave para impulsar una nueva industria energética limpia, con impacto local y proyección internacional.

La elaboración de una Hoja de Ruta regional permite ordenar y coordinar este potencial, articulando el rol del Gobierno Regional, de Corfo, de la Comisión Regional de Hidrógeno Verde y de otros actores clave del sector público, privado, académico y de la sociedad civil. Esta gobernanza compartida es fundamental para asegurar un desarrollo planificado, con foco territorial y beneficios para la región.

Asimismo, la Hoja de Ruta se vincula y alinea con las principales políticas y planes vigentes, tales como:



Este enfoque busca fortalecer el diálogo entre niveles nacionales y regionales, promover el uso de parámetros comunes y asegurar coherencia entre las políticas públicas, facilitando la toma de decisiones, la atracción de inversiones y el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde de manera sustentable y coordinada en la Región de Antofagasta.

¿Cómo Abordaremos la Hoja de Ruta?

Para que este instrumento estratégico sea implementado, se requiere de un equipo profesional con dedicación exclusiva que impulse las acciones, coordine a las personas y asegure el financiamiento. Ese equipo se conformará a través del programa Transforma de Corfo.

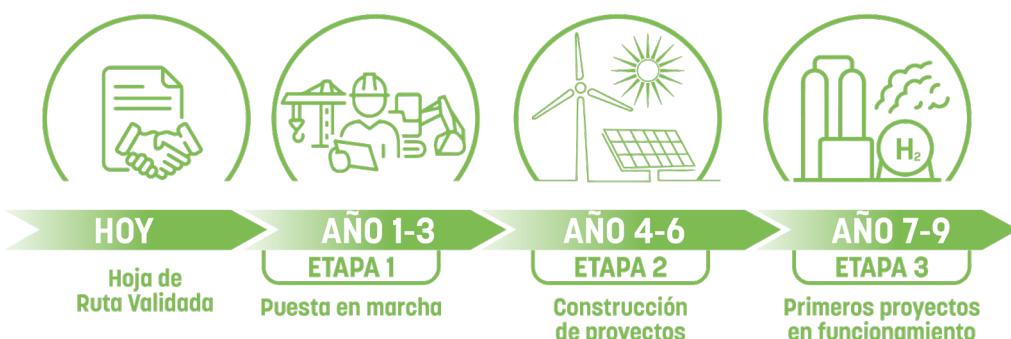
1.3 ¿QUÉ ES EL PROGRAMA TRANSFORMA?

Este programa es una iniciativa de Corfo diseñada para mejorar la competitividad de nuestra economía, pero con un enfoque colaborativo. No se trata de un proyecto tradicional donde una sola entidad decide todo; es una plataforma que reúne al sector público, a las empresas privadas, a la academia y a la sociedad civil para trabajar juntos hacia una meta común. Su misión principal es resolver problemas, denominadas brechas, que ningún organismo podría solucionar por sí solo, facilitando que todos los actores se pongan de acuerdo y coordinen sus esfuerzos.



El desarrollo del hidrógeno verde es un desafío de largo plazo. La metodología Transforma organiza el trabajo en ciclos de tres años (trienios), permitiendo una ejecución ordenada y financiada progresivamente hasta completar un horizonte de 9 años.

Línea de Tiempo de Implementación de la Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde



¿Cuáles son las brechas identificadas?

El estudio para la construcción de la hoja de ruta se basó en un diagnóstico de la situación actual del mercado y las condiciones de la región en relación con esta incipiente industria. Las principales brechas identificadas a partir de dicho diagnóstico se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 1. Brechas identificadas en el diagnóstico.

DIMENSIÓN SOCIAL	DIMENSIÓN AMBIENTAL	DIMENSIÓN ECONÓMICA	DIMENSIÓN GOBERNANZA Y NORMATIVA
1 Déficit de infraestructura social, vivienda y servicios básicos en especial en comunas industriales y propicias al desarrollo de la industria de Hidrógeno Verde.	1 Percepción ciudadana de que la industria del H2V contribuirá a aumentar el déficit hídrico de la región.	1 Falta de coordinación e incentivos para desarrollar infraestructura compartida.	1 Falta de acceso a datos actualizados de monitoreo ambiental, social, territorial y económicos, que permitan garantizar la transparencia de la industria del hidrógeno verde.
2 Ausencia de una estrategia y mecanismos que permitan atraer y retener capital humano en la región.	2 Ausencia de un marco normativo claro para la desalación y el manejo ambiental de salmueras	2 Carencia de proveedores locales y PyMEs en la región que puedan ser parte de la cadena de valor de la industria del H2V.	2 Necesidad de actualizar y mejorar la representatividad y rol de la gobernanza regional del hidrógeno verde, de tal forma de garantizar la participación más activa y permanente de la academia, la industria y la sociedad civil, además del sector público.
3 Falta de políticas y mecanismos que prioricen la contratación y provisión de fuerza laboral regional.	3 Percepción ciudadana de que la industria del H2V y en especial las plantas de energía solar generan un impacto ambiental importante y gran cantidad de residuos al final de su vida útil	3 Demanda interna de H2V regional con bajo desarrollo y alta dependencia de mercados externos.	3 Instrumentos estratégicos, de planificación y de ordenamiento territorial inexistentes o desactualizados y sin consideraciones explícitas para el desarrollo de la industria del H2V y derivados.

DIMENSIÓN SOCIAL	DIMENSIÓN AMBIENTAL	DIMENSIÓN ECONÓMICA	DIMENSIÓN GOBERNANZA Y NORMATIVA
4 Persistente brecha de género en especial en sectores industriales y relacionadas con las STEM.	4 Falta de confianza, en especial desde las comunidades del real impacto ambiental y de la implementación de medidas de mitigación efectivas por parte de la industria del hidrógeno verde	4 Bajo desarrollo de acciones internacionales que permitan atraer el interés de offtakers para el H2V a generar en la región.	4 Falta de normativas técnicas específicas para la industria del H2V que además se potencia con una débil coordinación entre los niveles políticos y técnicos central y regional.
5 Percepción ciudadana de inseguridad relativa a los puestos laborales y el entorno de la industria del H2V	5 Falta de apoyo público en la generación de líneas base ambientales de sitios priorizados para el desarrollo de proyectos de H2V, disponibles para desarrolladores privados y que permitan agilizar los tiempos de tramitación de los proyectos.	5 Percepción de largos tiempos promedio de tramitación de proyectos de H2V en el SEA.	
6 Falta de alineación entre la oferta educativa existente y las necesidades futuras de la industria del H2V, en especial en procesos electroquímicos.		6 Falta de instrumentos financieros que permitan fomentar y viabilizar la inversión extranjera en proyectos de H2V y derivados.	
7 Falta de programas de estimulación temprana y difusión científica enfocados en las tecnologías del Hidrógeno Verde y energías renovables en educación escolar y técnica.		7 El costo de producción del hidrógeno verde en el corto plazo no es competitivo en sus distintos usos.	
8 Percepción ciudadana de que los beneficios de la industria solo serán percibidos por el sector privado y no por las comunidades, en una región donde el desarrollo industrial históricamente ha generado impactos socio-ambientales		8 Falta de incentivos para el uso de hidrógeno verde y sus derivados orientado a la descarbonización de sectores productivos con potencial en la región.	
9 Falta de conocimiento en la región de los beneficios y reales impactos de la industria del H2V y derivados.			



VISIÓN, LINEAMIENTOS, OBJETIVOS, METAS Y ACCIONES DE LA HOJA DE RUTA

La Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde de la Región de Antofagasta se construye a partir de una visión compartida al año 2050, que reconoce al hidrógeno verde y sus derivados como un eje estratégico para el desarrollo regional, la diversificación económica y la transición energética justa. Esta visión surge de un proceso participativo que integró análisis técnicos, evaluación de brechas, construcción de escenarios y talleres con actores públicos, privados, académicos y comunidades del territorio.



Figura 1: Visión de la Hoja de Ruta de H2V de la región de Antofagasta a 2050.



Figura 2: Arquitectura de la Hoja de Ruta.

Finalmente, las Figuras 3 a la 6 representan el resumen de todos los objetivos planteados por dimensión, junto con las respectivas metas propuestas para el año 2035 y las acciones a ser implementadas con su entidad responsable (G: Gobierno Regional (GORE), T: Programa Transforma, C: Comisión Regional de Hidrógeno Verde) más un diagrama de Carta Gantt resumido para el período 2026–2035 que durará el programa Transforma.

Para traducir esta visión en un marco operativo, la Hoja de Ruta se estructura en cuatro lineamientos estratégicos, alineados con las cuatro dimensiones del desarrollo regional: social, ambiental, económica, y de gobernanza y normativa. Estos lineamientos orientan la definición de prioridades, la articulación de acciones y el seguimiento de avances, asegurando coherencia entre los objetivos de largo plazo y las decisiones de implementación. Los objetivos, metas y acciones establecidos en esta Hoja de Ruta, por otra parte, tienen como horizonte de planificación el año 2035. Esto responde a las brechas y oportunidades de corto y mediano plazo que deben abordarse para alcanzar la visión al año 2050. En este marco, se definieron 14 objetivos estratégicos, distribuidos en 4 objetivos de la dimensión social, 4 de la dimensión ambiental, 4 de la dimensión económica y 2 de la dimensión de gobernanza y normativa.

La operacionalización de estos objetivos se concreta mediante 33 metas específicas, que permiten establecer resultados esperados y facilitar el monitoreo del avance de la Hoja de Ruta. Cada meta se encuentra asociada a objetivos y brechas específicas, utilizando un sistema de codificación que asegura la trazabilidad entre visión, objetivos, brechas, metas y acciones.

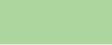
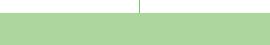
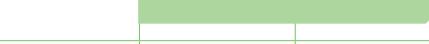
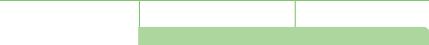
La implementación de la Hoja de Ruta se materializa a través de 46 acciones, distribuidas entre las cuatro dimensiones (15 sociales, 7 ambientales, 16 económicas y 8 de gobernanza y normativa). Estas acciones se organizan en un horizonte de diez años, estructurado en tres períodos temporales: primer trienio (2026-2028), segundo trienio (2029-2031) y cuatrienio final (2032-2035).

La Figura 2 sintetiza de manera gráfica la arquitectura de la Hoja de Ruta, mostrando la relación entre visión, lineamientos, brechas, objetivos, metas y acciones, y reflejando la coherencia interna del instrumento como hoja de navegación estratégica para el desarrollo del hidrógeno verde en la Región de Antofagasta.



Figura 3: Resumen de objetivos, metas y acciones de la Hoja de Ruta, para la dimensión social.

	Nº	Objetivo asociado		Brechas Identificadas		Metas al 2035
SOCIAL	1	Colaborar en el acceso equitativo a vivienda, servicios básicos y equipamiento urbano, de modo que el crecimiento poblacional se gestione de forma ordenada, resiliente y centrado en las personas.	B.S.1	Déficit de infraestructura social, vivienda y servicios básicos en especial en comunas industriales y propicias al desarrollo de la industria de Hidrógeno Verde.	1.1	Actualizar cada 5 años la información relativa a provisión de servicios públicos y vivienda, considerando el crecimiento poblacional de la industria de H2V y derivados.
			B.S.2	Ausencia de una estrategia y mecanismos que permitan atraer y retener capital humano en la región.	1.2	Aspirar a que el 50% de los nuevos residentes asociados a la industria del H2V y derivados se instalen de forma definitiva en los territorios.
	2	Fortalecer el empleo local y la salud ocupacional, la seguridad laboral y los planes de emergencia, promoviendo un entorno laboral justo, seguro y sostenible.	B.S.3	Falta de políticas y mecanismos que prioricen la contratación y provisión de fuerza laboral regional.	2.1	Propender a un 65% de participación de mano de obra local en proyectos de H2V y derivados.
			B.S.4	Persistente brecha de género en especial en sectores industriales y relacionadas con las STEM.	2.2	Alcanzar un 50% de participación femenina en puestos de trabajo de H2V y derivados.
			B.S.5	Percepción ciudadana de inseguridad relativa a los puestos laborales y el entorno de la industria del H2V.	2.3	Mantener la Tasa Total de Incidentes Registrables (TRIR) inferior a 1
	3	Impulsar el desarrollo de capacidades locales mediante educación ambiental, formación técnica y profesional pertinente al H2V y derivados.	B.S.6	Falta de alineación entre la oferta educativa existente y las necesidades futuras de la industria del H2V, en especial en procesos electroquímicos.	3.1	Diseñar programas formativos especializados en H2V.
			B.S.7	Falta de programas de estimulación temprana y difusión científica enfocados en las tecnologías del Hidrógeno Verde y energías renovables en educación escolar y técnica.	3.2	Capacitar al menos 2.500 personas en temas de la cadena de valor del H2V y derivados.
	4	Promover un desarrollo de la industria del Hidrógeno Verde que genere beneficios sociales y ambientales.	B.S.8	Percepción ciudadana de que los beneficios de la industria solo serán percibidos por el sector privado y no por las comunidades, en una región donde el desarrollo industrial históricamente ha generado impactos socio-ambientales.	4.1	Incorporar planes de inversión social, comunitaria y cultural en el 100% de los proyectos de H2V y derivados ingresados al SEIA, elaborados en conjunto con las comunidades.
			B.S.9	Falta de conocimiento en la región de los beneficios y reales impactos de la industria del H2V y derivados.	4.2	Implementar 3 instrumentos para difusión pública y levantamiento de intereses ciudadanos relativos a la industria del H2V y derivados.

SOCIAL	Indicador (V1.4)	Nº	Acciones	TRIENIO 2026-2028	TRIENIO 2029-2031	TRIENIO 2032-2035	COOP.
	S1	1	Estudio quinquenal de brechas de infraestructura y servicios urbanos, a nivel comunal.				G
S2		2	Financiamiento regional para políticas habitacionales y desarrollo de equipamientos urbanos				G
		3	Instancia público-privada para explorar mecanismos corporativos que incentiven la residencia habitual en la región y la descarbonización por disminución de comutación interregional.				C
S3/S4		4	Acuerdo público-privado para fortalecer la empleabilidad local y la participación femenina en proyectos regionales de H2V y derivados.				C
		S5					
S6		5	Monitoreo anual de estandares de seguridad ocupacional y protocolos de respuesta ante emergencias para proyectos de H2V y derivados.				T
		57	Diagnóstico de oferta formativa y diseño curricular asociado a H2V a partir de perfiles de Chile Valora.				T
58		7	Plan regional de capacitación, reconversión laboral y educación continua en el marco de la transición socio-ecológica justa				G
		8	Programa de becas para capacitación en temáticas asociadas a la cadena de valor de H2V.				G
59		9	Módulo piloto con fines educativos centrado en estudiantes de educación básica y media de la región.				T
		10	Módulo piloto con fines educativos centrado en estudiantes de formación técnica de la región.				T
510		11	Mesa de diálogo para la coordinación entre actores públicos, privados y comunitarios, orientada a definir líneas de acción conjuntas a implementar en planes de inversión de proyectos de H2V y derivados.				C
		12	Financiamiento privado para la puesta en valor de al menos 2 sitios patrimoniales y/o de interés cultural				T
511		13	Plan de difusión ciudadana para reducir brechas de conocimiento en relación con la industria del H2V y sus derivados				T
		14	Encuesta trianual con representatividad provincial o regional para medición de la percepción comunitaria respecto de la industria del H2V y sus derivados				T
	15	Firma de acuerdo voluntario de participación ciudadana temprana para al menos 1 proyecto de H2V y/o derivados en etapa de diseño					C

G: Gobierno Regional de Antofagasta. C: Comisión Regional de Hidrógeno Verde. T: Gobernanza del Programa Transforma.

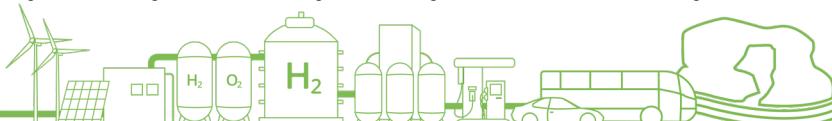


Figura 4: Resumen de objetivos, metas y acciones de la Hoja de Ruta, para la dimensión ambiental.

AMBIENTAL	Nº	Objetivo asociado		Brechas Identificadas		Metas al 2035
	5	Gestionar el agua, proveniente del reuso o la desalación, de manera sostenible, eficiente y equitativa.	B.A.1	Percepción ciudadana de que la industria del H2V contribuirá a aumentar el déficit hídrico de la región.	5.1	Asegurar que el 100% del agua utilizada en proyectos de H2V y derivados provenga de fuentes no continentales limpias.
	6	Promover la economía circular y la valorización de residuos en toda la cadena del H2V y derivados.	B.A.2	Ausencia de un marco normativo claro para la desalación y el manejo ambiental de salmueras.	5.2	Garantizar que el 60% de los proyectos de desalación asociados a H2V y derivados implementen medidas de valorización de la salmuera.
	7	Levantar periódicamente datos de monitorización de los impactos ambientales asociados a la industria del H2V y derivados, de acceso público y definiendo medidas de mitigación y compensación.	B.A.3	Percepción ciudadana de que la industria del H2V y en especial las plantas de energía solar generan un impacto ambiental importante y generarán gran cantidad de residuos al final de su vida útil.	6.1	Incorporar la valorización de al menos 50% de residuos generados por la industria del H2V y sus derivados.
			B.A.4	Falta de confianza, en especial desde las comunidades del real impacto ambiental y de la implementación de medidas de mitigación efectivas por parte de la industria del hidrógeno verde.	7.1	Publicar anualmente un informe ambiental regional consolidado de la industria del H2V y derivados, con acceso abierto a datos de emisiones, consumo de recursos, impactos y medidas de mitigación.
					7.2	Traducir el 100% de las brechas identificadas en el informe ambiental en medidas de mitigación y compensación faltantes.
	8	Promover el resguardo de ecosistemas, biodiversidad, paisajes, cielos astronómicos y sitios culturalmente sensibles.	B.A.5	Falta de apoyo público en la generación de líneas base ambientales de sitios priorizados para el desarrollo de proyectos de H2V, disponibles para desarrolladores privados y que permitan agilizar los tiempos de tramitación de los proyectos.	8.1	Garantizar que el 100% de los proyectos de H2V y derivados incorporen iniciativas de protección de ecosistemas y biodiversidad.
					8.2	Levantar cada 5 años información de base en zonas priorizadas por instrumentos de planificación.

Indicador (V1.4)	Nº	Acciones	TRIENIO 2026-2028	TRIENIO 2029-2031	TRIENIO 2032-2035	CORD
AMBIENTAL	A1/A2	16 Protocolo regional para el uso exclusivo de agua desalada o reuso de agua en actividades productivas y fomento de infraestructura compartida.				G
	S2	17 Programa público-privado de escalamiento tecnológico para la valorización integral de salmuera y mitigación de impactos marinos de la desalación.				T
	A4	18 Plan regional para la valorización de residuos industriales, con énfasis en reciclaje de paneles solares.				T
	A6	19 Publicación de informe ambiental integrado de proyectos de H2V y derivados en construcción y operación con identificación de brechas en medidas de mitigación.				T
	A7	20 Desarrollo de Acuerdos de Producción Limpia (APL) para proyectos de H2V y derivados, con foco en monitoreo integrado e implementación de medidas de mitigación				C
	A8	21 Formulación de medidas ambientales eficaces para la protección ecosistémica y biodiversidad aplicables a proyectos H2V y derivados				T
		22 Estudio quinquenal de Líneas de Base Públicas, con levantamiento de información primaria y secundaria				G

G: Gobierno Regional de Antofagasta. C: Comisión Regional de Hidrógeno Verde. T: Gobernanza del Programa Transforma.



Figura 5: Resumen de objetivos, metas y acciones de la Hoja de Ruta, para la dimensión económica.

Nº	Objetivo asociado	Brechas Identificadas	Metas al 2035	
ECONÓMICO	9 Impulsar el desarrollo de infraestructura compartida para el H2V, derivados y otras actividades productivas, asociadas a Corredor Bioceánico Capricornio y las industrias de minería metálica y no metálica, entre otras.	B.E1	Falta de coordinación e incentivos para desarrollar infraestructura compartida.	9.1 Desarrollar al menos 1 nueva infraestructura compartida e interoperable asociada a H2V, derivados y otras actividades productivas asociadas a Corredor Bioceánico Capricornio y las industrias de minería metálica y no metálica
				9.2 Impulsar que al menos 1 de la infraestructura construida para H2V y/o derivados sea interoperable con otras industrias.
				9.3 Ejecutar una iniciativa logística para la exportación, distribución y/o almacenamiento de H2V y sus derivados.
	10 Contribuir a diversificar el tejido productivo regional, promoviendo el desarrollo de PyMEs locales e impulsando productos derivados del H2V con valor agregado para su consumo en el mercado local, nacional y global.	B.E2	Carencia de proveedores locales y PyMEs en la región que puedan ser parte de la cadena de valor de la industria del H2V	10.1 Integrar un 30% de PyMEs a la cadena de valor del H2V
				10.2 Implementar al menos 2 proyectos piloto de reconversión y sustitución energética en sectores prioritarios.
				10.3 Desarrollar al menos 4 instancias con alcance interregional y/o internacional de promoción de la demanda externa de H2V y derivados de la Región de Antofagasta.
	11 Promover la instalación de un polo de H2V y sus derivados en la región, mediante la provisión de garantías financieras transitorias y la reducción de los plazos de otorgamiento de permisos.	B.E5	Percepción de largos tiempos promedio de tramitación de proyectos de H2V en el SEA.	11.1 Propender a reducir en un 30% los tiempos promedio de tramitación de proyectos de H2V en el SEA.
				11.2 Haber implementado instrumentos financieros transitorios para proyectos estratégicos que permitan fomentar la inversión extranjera.
				11.3 Posicionar a la Región de Antofagasta como una de las tres zonas con menor costo nivelado de producción de hidrógeno verde (LCOH) de Sudamérica.
12	Impulsar la descarbonización local mediante sinergias entre la industria del H2V, la minería, el transporte y otras economías del territorio, promoviendo articulaciones productivas que generen beneficios y contribuyan a la transición energética regional y nacional.	B.E8	Falta de incentivos para el uso de hidrógeno verde y sus derivados orientado a la descarbonización de sectores productivos con potencial en la región.	Reducir en un 20 % las emisiones locales de CO ₂ asociadas a sectores intensivos en energía mediante el uso de H2V y derivados.

ECONÓMICO	Indicador (V1.4)	Nº	Acciones	TRIENIO 2026-2028	TRIENIO 2029-2031	TRIENIO 2032-2035	CORD
E1	23	Estudio quinquenal de brechas de infraestructura y servicios urbanos, a nivel comunal.					T
	24	Financiamiento regional para políticas habitacionales y desarrollo de equipamientos urbanos					G
E2	25	Articulación público-privada o privada-privada para la constitución de acuerdos de interoperabilidad de infraestructura.					G
E3	26	Un proveedor logístico ofreciendo servicios para la exportación, distribución y/o almacenamiento de H2V y derivados.					T
E4	27	Programa Regional para la Promoción y Buenas Prácticas en la Contratación de Proveedores Locales para la cadena de valor de la Industria de H2V y sus derivados.					T
	28	Acompañamiento de al menos un proyecto de H2V y/o derivados en su proceso de contratación de proveedores locales y verificación del cumplimiento de buenas prácticas.					T
E5/E6	29	Identificación y compromiso de al menos 2 actores de los sectores minería, movilidad, energía y/o servicios para desarrollar pilotos de reconversión.					T
	30	Gestión de financiamiento y desarrollo de 2 pilotos específicos de reconversión a H2V.					T
E7/E8	31	Desarrollo de al menos 2 eventos en la región para promover intercambios comerciales, científicos y/o tecnológicos con actores interregionales y/o internacionales.					T
	32	Gestión de al menos 2 viajes de delegaciones regionales a zonas de interés					T
E9	33	Instancias de socialización temprana con OAECA de proyectos ingresados al SEA, como presentaciones, visitas a terreno, entre otros.					T
	34	Grupos de trabajo para crear o clarificar instructivos del SEA para proyectos de H2V, capacitar a titulares en instrumentos de planificación y ordenamiento territorial, entre otros.					T
E10	35	Gestión para canalizar mecanismos financieros nacionales y/o internacionales para catalizar inversiones privadas en proyectos de H2V y derivados.					T
E11/E12/ E13/E14	36	Bien Público para estudio de la estructura de costo del hidrógeno en la región, identificando los principales drivers técnicos, regulatorios y económicos que permitan la reducción paulatina de costos.					T
E15	37	Difusión de sistema de compensación de emisiones y su beneficio en el uso de H2V y derivados.					T
	38	Dos proyectos de la región establecen metas de reducción de CO ₂ en el marco de procesos de Transición Socio-Ecológica Justa y el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero.					C

G: Gobierno Regional de Antofagasta. C: Comisión Regional de Hidrógeno Verde. T: Gobernanza del Programa Transforma.



Figura 6: Resumen de objetivos, metas y acciones de la Hoja de Ruta, para la dimensión gobernanza y normativa.

		Objetivo asociado	Brechas Identificadas		Metas al 2035	
		Nº				
13		Impulsar y fortalecer una gobernanza multiactor que asegure una participación ciudadana efectiva, temprana y garantice transparencia en sus acciones.	B.G.1	Falta de acceso a datos actualizados de monitoreo ambiental, social, territorial y económicos, que permitan garantizar la transparencia de la industria del hidrógeno verde.	13.1	Implementar un Sistema Integrado de Datos Públicos como herramienta de transparencia activa para el monitoreo ciudadano de variables ambientales, sociales, territoriales, económicas, entre otras.
			B.G.2	Necesidad de actualizar y mejorar la representatividad y rol de la gobernanza regional del hidrógeno verde, de tal forma de garantizar la participación más activa y permanente de la academia, la industria y la sociedad civil, además del sector público.	13.2	Consolidar la Comisión Regional de Hidrógeno Verde bajo un modelo de gobernanza multiactor —con representación de comunidades, academia, sector público y privado—, garantizando que el 100% de sus decisiones estratégicas cuenten con actas públicas, trazabilidad y mecanismos efectivos de retroalimentación.
14		Fortalecer la planificación territorial integrada y promover el desarrollo de normativa que permita generar certezas y habilitar inversiones responsables asociadas al desarrollo del H2V y derivados.	B.G.3	Instrumentos estratégicos, de planificación y de ordenamiento territorial inexistentes o desactualizados y sin consideraciones explícitas para el desarrollo de la industria del H2V y derivados.	14.1	Considerar en la actualización de instrumentos de planificación y ordenamiento territorial la incorporación explícita de criterios asociados a H2V y derivados.
			B.G.4	Falta de normativas técnicas específicas para la industria del H2V que además se potencia con una débil coordinación entre los niveles políticos y técnicos central y regional.	14.2	Asegurar el alineamiento de los proyectos de H2V y derivados con el Sistema de Planificación Regional y sus diferentes instrumentos.
					14.3	Promover el establecimiento de un marco regulatorio para proyectos de H2V.

GOBERNANZA Y NORMATIVA	Indicador (V1.4)	Nº	Acciones	TRIENIO 2026-2028	TRIENIO 2026-2028	TRIENIO 2026-2028	CORD
	G1	39	Observatorio regional del H2V y sus derivados para el monitoreo de variables ambientales, sociales, territoriales, económicas, entre otras. Considerará plataforma web y sistemas de información geográfica.				T/G
G2/G3/G4		40	Definición de modificaciones a la gobernanza vigente para la ejecución efectiva de las acciones de la Hoja de Ruta, sea en materias de estructura, estatutos, roles, responsabilidades, entre otros.				T/G
		41	Reporte semestral del desempeño de la gobernanza, considerando el cumplimiento de objetivos, la representatividad y la efectividad en la toma de decisiones.				T/G
	G2/G3	42	Constitución del Consejo Directivo, con participación multiactor				T
	G5	43	Desarrollo del Plan Regional de Ordenamiento Territorial, considerando zonas aptas y de exclusión asociadas a la industria del H2V y sus derivados				G
	G6	44	Compromiso de desarrolladores de proyectos ingresados al SEIA de declarar compatibilidad con el Sistema de Planificación Regional y sus diferentes instrumentos.				C
	G	45	Definir las prioridades regionales de actualización normativa de acuerdo a los lineamientos del PLAN DE TRABAJO DE REGULACIONES HABILITANTES PARA EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA DE HIDRÓGENO EN CHILE 2024 – 2030.				T
		46	Participación como gobernanza regional en las instancias nacionales de desarrollo de normativa asociada a la industria del H2V, en base al plan de trabajo del Ministerio de Energía o la institucionalidad pública o público-privada ad hoc.				C

G: Gobierno Regional de Antofagasta. C: Comisión Regional de Hidrógeno Verde. T: Gobernanza del Programa Transforma.





Ollagüe - foto Rodrigo Mella

INTRODUCCIÓN



2 INTRODUCCIÓN

HOJA DE RUTA

Camino al futuro

Ricardo Díaz Cortés
Gobernador Regional



El futuro de Chile está en nuestra región: Contamos con la mayor radiación solar del planeta, con la planta eólica más grande del país y tras la puesta en marcha de nuevos proyectos el 2025, somos la región con la mayor producción eólica de Chile. Nuestro país tiene entre 9,2 y 11 millones de toneladas métricas de reservas de litio y hemos sabido aprovechar esa reserva en el Salar de Atacama, donde se concentra la mayor cantidad. Y como es conocido, Chile es el mayor productor de cobre del mundo, representando aproximadamente el 20-23% de la producción global y la región de Antofagasta aporta el 50% de esa producción nacional.

Esa riqueza minera es la que ha permitido contar con una red de infraestructura vial, ferroviaria y portuaria madura, y una capacidad instalada de desalación que nos posiciona a la vanguardia de la innovación hídrica, pues nuevamente, la región de Antofagasta concentra la mayor cantidad de plantas desalinizadoras del país. Además, contaremos con la primera planta de reúso de agua de Latinoamérica. Este

dynamismo industrial, sumado a una demanda interna anclada en una minería que avanza hacia procesos más sostenibles y busca activamente insumos “verdes”, nos otorga una ventaja competitiva inigualable para producir, transformar y exportar hidrógeno verde y sus derivados.

Sin embargo, el potencial técnico y productivo, por sí solo, no es suficiente si no se traduce en bienestar concreto para las familias de nuestras nueve comunas. Debemos ser capaces de fomentar el desarrollo productivo y propender a mejorar la calidad de vida de quienes habitan el territorio, pues nos enfrentamos a brechas históricas en salud, educación, vivienda y seguridad, así como a desafíos estructurales que esta Hoja de Ruta del Hidrógeno Verde de la Región de Antofagasta reconoce como centrales: avanzar hacia una Transición Socio-Ecológica Justa, diversificar su matriz productiva, generar crecimiento económico sostenible y asegurar una redistribución efectiva de los beneficios en la población.

El Gobierno Regional de Antofagasta, atendiendo a sus facultades legales en materia de planificación territorial, desarrollo económico y social, ha impulsado este instrumento estratégico con el objetivo de orientar el desarrollo de la industria del hidrógeno verde hacia un modelo que fortalezca el empleo local, la innovación regional y el encadenamiento productivo. Esto busca evitar la reproducción de economías de enclave, considerando el peligro de la dependencia de un solo recurso o sector que perjudica a otras industrias locales y el equilibrio interno. Además, puede derivar en explotación ambiental y social, así como en contaminación, tal como ocurrió en el pasado, cuando existía una débil fiscalización, escaso control efectivo y ausencia de reglas claras. Por último, también se identifica como un riesgo la fuga de beneficios, ya que en modelos anteriores estos terminaban concentrándose en el extranjero.

La Hoja de Ruta del Hidrógeno Verde de la Región de Antofagasta es pionera al instalar una mirada integral del desarrollo. Se concibe como una carta de navegación para la próxima década, que armoniza el crecimiento económico con la justicia social, la protección ambiental y el resguardo del patrimonio. El instrumento aborda de manera explícita los desafíos socioambientales asociados al desarrollo de una nueva industria a gran escala, aprendiendo de las experiencias industriales del pasado y estableciendo lineamientos claros

para la protección de la biodiversidad, el uso responsable del suelo, la gestión sostenible del agua y la protección de la salud de las comunidades. También pone énfasis en que el capital humano que opere esta nueva industria y los proveedores que la sostengan, deben ser, prioritariamente, parte del tejido productivo regional.

En este sentido, el hidrógeno verde producido en Antofagasta aspira a ser un “producto premium”, no solo por su competitividad en costos, sino por su estándar ético, social y ambiental.

Y finalmente destacamos que esta Hoja de Ruta sea el resultado de un proceso que se sustenta en lo colectivo, que se ha construido de forma participativa, pues el valor del diálogo es algo que cuidamos sobremanera en todo lo que hacemos como gobierno regional. Es por eso, que invitamos a la Comisión Regional de Hidrógeno Verde, a la academia, al sector privado, a los gobiernos locales y a la sociedad civil a seguir siendo parte activa de esta visión compartida. Juntos, podemos hacer de Antofagasta no solo el motor energético de Chile, pues fortaleciendo nuestras relaciones económicas y comerciales podemos transformarnos también en un referente internacional, demostrando cómo una industria del futuro puede desarrollarse en armonía con su territorio, su identidad y su gente.



Ricardo Díaz Cortés
Gobernador Regional
Región de Antofagasta



2.2 ¿CÓMO SE CONSTRUYÓ LA HOJA DE RUTA?

La elaboración de la Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde de la Región de Antofagasta se sustentó en un proceso participativo amplio, progresivo y estructurado, concebido como un itinerario que combinó instancias de difusión, levantamiento territorial, contraste técnico-sectorial, co-construcción y validación. Esta metodología permitió recoger visiones, expectativas y conocimientos de una diversidad de actores regionales y comunales, asegurando que la propuesta final tuviera anclaje territorial, legitimidad social y coherencia técnica.

El proceso se organizó en dos grandes etapas: Diagnóstico participativo y Construcción y validación de la Propuesta, cada una con objetivos, formatos e intensidades diferenciadas, pero articuladas entre sí. La etapa de diagnóstico priorizó la apertura, la cobertura territorial y la socialización, alcanzando altos niveles de participación ciudadana y comunal, mientras que la etapa de propuesta se enfocó en la co-construcción estratégica, la gobernanza y la validación técnica.

Este enfoque permitió transitar desde un levantamiento amplio y diverso hacia una propuesta consensuada y técnicamente robusta, fortaleciendo la legitimidad del instrumento y su coherencia con las capacidades, expectativas y desafíos del territorio regional.

Tabla 2. Resumen instancias participativas de la Hoja de Ruta.

TIPO DE INSTANCIA	COBERTURA TERRITORIAL	PARTICIPACIÓN DIRECTA
Seminario inicio/lanzamiento	Antofagasta (regional)	147 personas
Talleres comunales de diagnóstico	9 comunas	116 personas
Difusión territorial en espacios públicos	9 comunas	257 personas
Visitas a establecimientos educacionales	9 comunas	361 personas
Instancias sectoriales + focus group (Comisión, Academia, Privado #1 y #2, Sector público, 3 focus)	Regional/Virtual	74 personas
Talleres comunales de Imagen Objetivo	9 comunas	48 personas
Instancias regionales/sectoriales (Comisión Regional, Comité Ejecutivo, talleres sectoriales, CORE, mesa diálogo)	Regional / Virtual / Antofagasta	156 personas
Total de participaciones directas	Regional + 9 comunas	1.159 personas

2.2.1. ETAPA DE DIAGNÓSTICO

La etapa de diagnóstico tuvo como propósito principal informar, activar y levantar información desde el territorio, combinando participación ciudadana, actores locales y validación especializada. Para ello, se diseñó una secuencia de instancias multiactor, que integró actividades presenciales intensivas en la región con espacios de profundización técnica, tanto presenciales como remotos.

El proceso se inició formalmente con un Seminario de lanzamiento que convocó a 147 asistentes. Esta instancia marcó la apertura pública del proceso y reunió a autoridades regionales, servicios públicos, empresas, academia, organizaciones sociales y público general. Incluyó representación de organizaciones indígenas y actores vinculados al borde costero y a la pesca artesanal de comunas como Tocopilla, Taltal, Antofagasta y Mejillones. El seminario permitió presentar los objetivos de la Hoja de Ruta, contextualizar el hidrógeno verde a nivel regional y nacional, y transparentar el enfoque participativo del proceso.



Figura 7. Seminario de Inicio Hoja de Ruta.

Posteriormente, se desplegó un ciclo territorial presencial en las 9 comunas de la región, orientado a la difusión, el levantamiento de percepciones y la participación ciudadana directa. Este ciclo consideró tres tipos de acciones complementarias:

- **Puntos de difusión en espacios públicos**, donde se contactó a 257 personas, a quienes se informó sobre el proceso de la Hoja de Ruta, se reforzó la convocatoria a talleres participativos y se entregó material infográfico.
- **Visitas a establecimientos educacionales**, que permitieron contactar aproximadamente a 361 personas entre estudiantes, docentes y directivos, en escuelas y liceos que en conjunto albergan una matrícula de más de 7.000 estudiantes, ampliando el alcance informativo hacia comunidades educativas.
- **Talleres ciudadanos de diagnóstico comunal**, realizados de manera presencial en recintos comunales, que consolidaron la participación efectiva de 116 asistentes y la representación de 68 organizaciones sociales, funcionales, educativas y productivas.





En conjunto, este ciclo territorial sumó 734 participaciones directas, evidenciando una cobertura regional completa.

De forma complementaria, el diagnóstico incorporó un contraste estratégico y técnico-sectorial con actores clave. Para ello se realizaron talleres presenciales con la Comisión Regional de Hidrógeno Verde y con representantes de la Academia, además de cuatro instancias remotas orientadas a identificar brechas sectoriales relevantes para el desarrollo de la industria. Estas incluyeron talleres y focus group temáticos sobre competencias laborales, agua y desalación e infraestructura compartida, con participación de actores del sector público, privado y académico. Este bloque técnico-sectorial totalizó 74 participaciones efectivas.

En su conjunto, **la etapa de diagnóstico alcanzó 955 participaciones directas**, combinando una amplia socialización territorial y ciudadana con espacios de deliberación comunal y validación especializada. Esta etapa se caracterizó por su énfasis en la activación del territorio, la difusión masiva y el levantamiento de visiones diversas, sentando una base sólida para la construcción de la propuesta.

2.2.2. ETAPA DE PROPUESTA

La segunda etapa del proceso se orientó a la construcción, ajuste y validación de la Hoja de Ruta, poniendo el foco en la priorización de lineamientos, medidas e iniciativas, así como en su factibilidad, gobernanza e implementación. En esta fase, la participación evolucionó hacia formatos más focalizados, con menor volumen total, pero mayor densidad de articulación estratégica.

Metodológicamente, esta etapa combinó:

- **Talleres de priorización**, basados en criterios definidos colectivamente.
- **Mesas técnicas sectoriales**, para ajustar medidas habilitantes en ámbitos como normativa, infraestructura, capital humano, permisos y logística.
- **Instancias de validación**, orientadas a asegurar la trazabilidad entre los resultados del diagnóstico y las propuestas finales.

La participación de esta etapa se organizó en dos grandes unidades. En primer lugar, los talleres comunales de Imagen Objetivo, realizados en 9 comunas, que sumaron 48 participaciones. Estas instancias permitieron construir visiones comunitarias de futuro en torno al hidrógeno verde, reflejando las particularidades productivas, sociales e identitarias de cada territorio.



En segundo lugar, se desarrollaron instancias regionales y sectoriales de gobernanza y co-construcción, que concentraron 156 participaciones. Estas actividades se realizaron mayoritariamente en modalidad virtual, lo que facilitó la articulación de actores especializados y con presencia tanto regional como nacional. Destacó la participación de la Comisión Regional de Hidrógeno Verde, talleres de construcción de Imagen Objetivo con sector privado y academia, instancias del Comité Ejecutivo y del Consejo Regional, así como una Mesa de Diálogo Público-Privado en la comuna de Mejillones, de carácter multi-actor y con proyección estratégica local.

En total, la etapa de propuesta registró 204 participaciones, equivalentes a aproximadamente 136 personas únicas, evidenciando una transición hacia un trabajo más concentrado en acuerdos, validación técnica y definición de roles institucionales.





Tocopilla Ruinas Gótico - foto Sernatur

HIDRÓGENO VERDE, DERIVADOS Y VENTAJAS COMPARATIVAS



3 HIDRÓGENO VERDE, DERIVADOS Y VENTAJAS COMPARATIVAS

3.1 ¿QUÉ ES EL HIDRÓGENO VERDE?

El hidrógeno es un elemento químico muy abundante en la naturaleza y contiene una gran cantidad de energía. Actualmente, el hidrógeno ya se utiliza en diversas industrias, como en las refinerías de petróleo o en la producción de ciertos productos químicos. Sin embargo, en la mayoría de los casos se produce a partir de combustibles fósiles, lo que genera emisiones contaminantes. A este tipo de hidrógeno se le conoce como hidrógeno gris.

Por el contrario, el hidrógeno verde se produce utilizando energías renovables, como la energía solar y la energía eólica, recursos que la Región de Antofagasta posee en abundancia. Su principal característica es que su producción no genera emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que se trata de una alternativa limpia y sustentable.

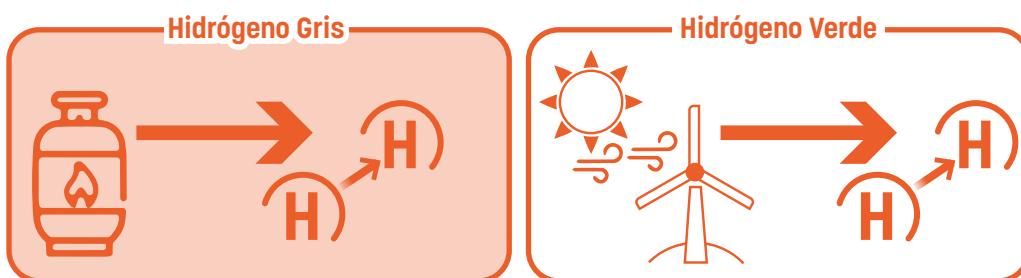


Figura 8. Hidrógeno gris y verde.

¿Cómo se produce?

El hidrógeno verde se obtiene a partir del agua mediante un proceso llamado electrólisis. En términos simples, este proceso utiliza electricidad de origen renovable para separar la molécula de agua en hidrógeno y oxígeno. El hidrógeno resultante puede almacenarse y utilizarse más adelante como fuente de energía.

Cuando el hidrógeno se vuelve a combinar con oxígeno, por ejemplo, en una celda de combustible, se libera energía y se genera agua como único residuo. Este proceso permite producir electricidad o calor sin generar contaminación.

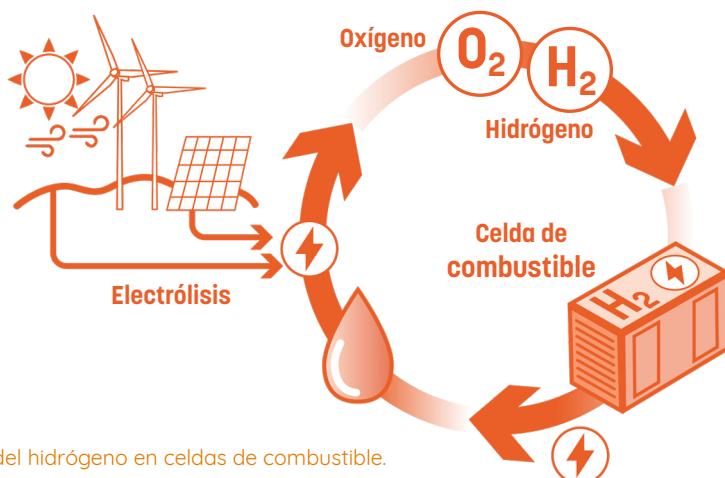


Figura 9. Electrólisis y uso del hidrógeno en celdas de combustible.

Derivados del Hidrógeno Verde

A partir del hidrógeno verde pueden producirse otros compuestos, conocidos como derivados, que facilitan su uso y transporte. Entre los más importantes se encuentran:

- **Metanol**
- **Dimetil éter**
- **Combustibles sintéticos, como el e-diésel**
- **Amoníaco**

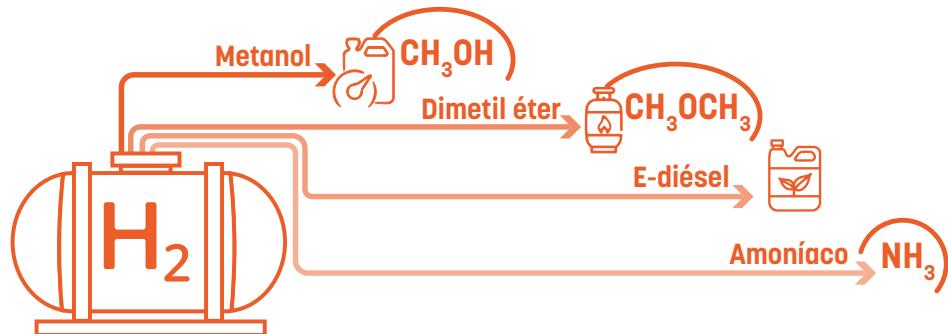


Figura 10. Principales derivados del hidrógeno verde.

El amoníaco es uno de los derivados más relevantes. Se utiliza actualmente para la fabricación de fertilizantes y explosivos, y también tiene potencial como combustible para el transporte marítimo. Además, el amoníaco puede reconvertirse nuevamente en hidrógeno y es más fácil de almacenar y transportar, ya que requiere temperaturas mucho menos extremas que el hidrógeno puro. De hecho, la logística de transporte de amoníaco hoy en día ya está establecida y opera en forma regular en todo el mundo.

¿Para qué se puede usar el hidrógeno verde?

El hidrógeno verde, junto a sus derivados como el amoníaco verde, se presenta como una oportunidad para la transición energética global, particularmente como elemento clave en la descarbonización de sectores productivos de la economía mundial en los cuales actualmente no existen alternativas competitivas y/o tecnológicamente maduras. En términos de sus funciones principales, el hidrógeno verde se proyecta como un vector transversal con aplicaciones en distintos sectores productivos, pudiendo categorizar sus usos potenciales en tres grandes ámbitos:

- Sustitución de insumos fósiles en procesos industriales, ya sea como materia prima o agente reductor en la producción de químicos básicos (amoníaco, metanol) y en industrias intensivas en calor como el cemento, la cal o la metalmecánica.
- Aporte de energía limpia mediante celdas de combustible, tanto en aplicaciones estacionarias (respaldo eléctrico, micro-cogeneración), como móviles (buses interurbanos, camiones de carga, equipos de manejo de materiales, transporte ferroviario y maquinaria minera), donde la electrificación directa presenta limitaciones técnicas y operativas.
- Producción de combustibles derivados como metanol, amoníaco o e-fuels, orientados al transporte pesado, marítimo y a procesos industriales de alta temperatura, con un impacto directo en los polos logísticos, portuarios y manufactureros de la región.

Con este marco de referencia, la siguiente tabla sintetiza los sectores productivos preliminarmente identificados y las principales aplicaciones del hidrógeno verde:



Tabla 3: Rol del hidrógeno en los sectores identificados.

SECTOR	APLICACIONES DEL HIDRÓGENO VERDE
(1) Industria Minera	(a) Sustitución de diésel en camiones y equipos auxiliares; (b) producción de explosivos verdes a base de amoníaco. (c) Blending de H ₂ en procesos térmicos de fundición y calcinación; (d) vehículos de apoyo y flota ligera con FCEV.
(2) Industria Manufacturera (sin pesca)	(a) Hornos y calderas a H ₂ en la producción de cemento y cal (sustitución de coque, carbón y diésel en procesos de clíker y calcinación); (b) uso de H ₂ como fuente de calor y gas reductor en la industria del litio y derivados (secado, síntesis, purificación, materiales avanzados para baterías); (c) procesos metalmeccánicos como tratamiento térmico, soldadura y recubrimientos; (d) potencial desarrollo de amoníaco y metanol para usos industriales; (e) producción de e-fuels (metanol, SAF, combustibles sintéticos)
(3) Pesca e industria asociada	(a) Producción de fertilizantes verdes para acuicultura; provisión de energía limpia y continua en plantas de procesamiento costero; (b) aplicación en frío industrial y (c) logística de exportación.
(4) Generación Energética	(a) Co-combustión H ₂ /GN en turbinas de ciclo combinado en Mejillones; (b) inyección de H ₂ en redes de gas; (c) generación remota en localidades aisladas con sistemas FV + electrolizadores + fuel cells; (d) almacenamiento estacional para respaldo de red.
(5) Edificación y Construcción (incluye Vivienda e Inmobiliaria)	(a) Calderas y cogeneración (CHP) en edificios públicos y privados; (b) integración de microgrids FV + H ₂ en condominos y viviendas aisladas; (c) maquinaria de construcción (retroexcavadoras, grúas, mixers) convertidas a H ₂ ; (d) suministro térmico limpio en obras.
(6) Transporte (Logística y Comunicaciones)	(a) Buses urbanos (ej. TransAntofagasta) (b) buses Interurbanos y de trabajadores mineros, (c) camiones de carga y de residuos urbanos, (d) locomotoras y flota ferroviaria de FCAB; (e) grúas horquilla en centros logísticos y puertos; (f) red de hidrolineras regionales, (g) descarbonización del transporte marítimo, (h) operaciones de exportación, integración de H ₂ en equipos portuarios.
(7) Comercio	(a) Flotas logísticas de retail (distribución urbana y regional); (b) respaldo energético con fuel cells en supermercados, malls y centros de distribución; (c) logística de última milla con equipos a H ₂ .
(8) Turismo	(a) Buses turísticos a H ₂ en circuitos regionales (ej. San Pedro de Atacama); (b) eco-lodges y hoteles remotos abastecidos con microgrids FV + H ₂ ; (c) movilidad limpia en parques naturales y áreas protegidas.
(9) Servicios	(a) Centros de datos y telecomunicaciones con respaldo fuel cells; (b) hospitales y servicios críticos con suministro de emergencia a H ₂ ; (c) servicios portuarios (grúas, reach stackers, cargadores) convertidos a H ₂
(10) Otros Ej: Agricultura	(a) Producción de fertilizantes verdes (amoníaco); (b) maquinaria agrícola a H ₂ (tractores, bombas de riego); (c) microgrids FV + H ₂ para sistemas de riego en comunidades rurales (ej. Toconao, oasis interiores).

Desde el punto de vista de la mitigación del cambio climático, la necesidad de desarrollar tecnologías para enfrentar la descarbonización de estos sectores es urgente, y es ahí donde el hidrógeno verde y sus derivados cobran sentido, y con ello el potencial de la región para desarrollar esta industria en forma competitiva. Por otro lado, el hidrógeno verde también tiene el potencial de convertirse en una vía de exportación de energía renovable hacia mercados que requieren descarbonizar su matriz eléctrica y procesos productivos pero que no cuentan con dichos recursos renovables, utilizando el hidrógeno verde (o sus derivados) como una batería con alta densidad energética para transportar esta energía en largas distancias.

Con respecto a la demanda interna de la región de Antofagasta, esta concentra polos industriales y logísticos, con preeminencia de la industria minera, generación energética, puertos y logística, y una densa red de servicios empresariales, que la posicionan como territorio prioritario para la adopción del hidrógeno verde y sus derivados. Se han identificado tres sectores estratégicos dentro de la economía regional con alta prioridad para la incorporación de hidrógeno verde y derivados en sus procesos:

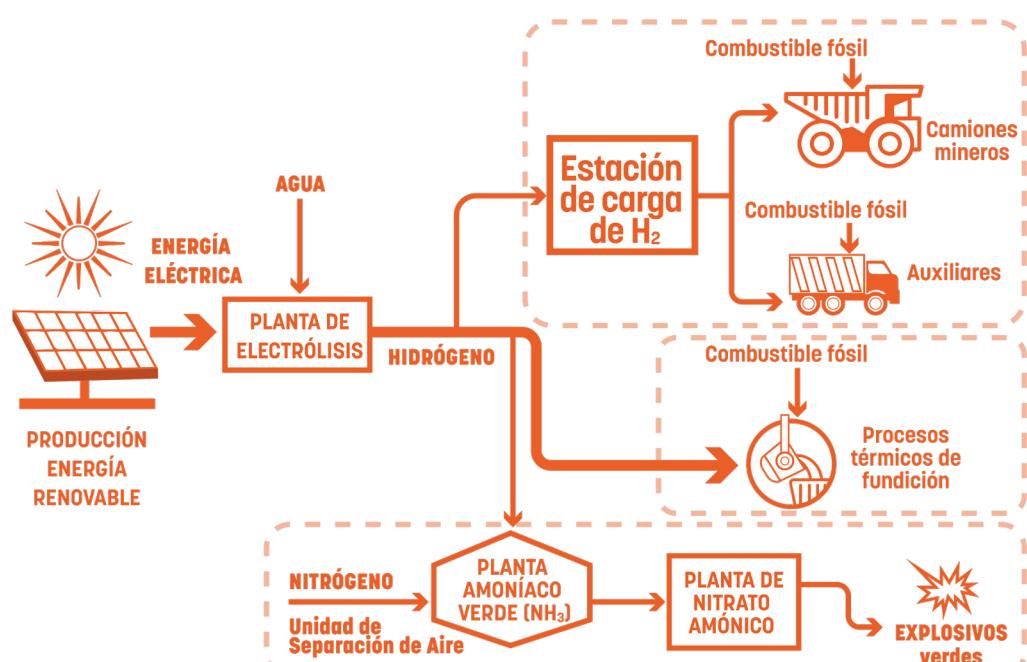
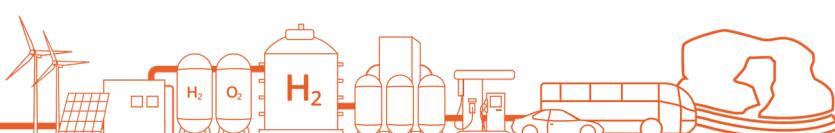


Figura 11: Rol del hidrógeno en el sector minero.



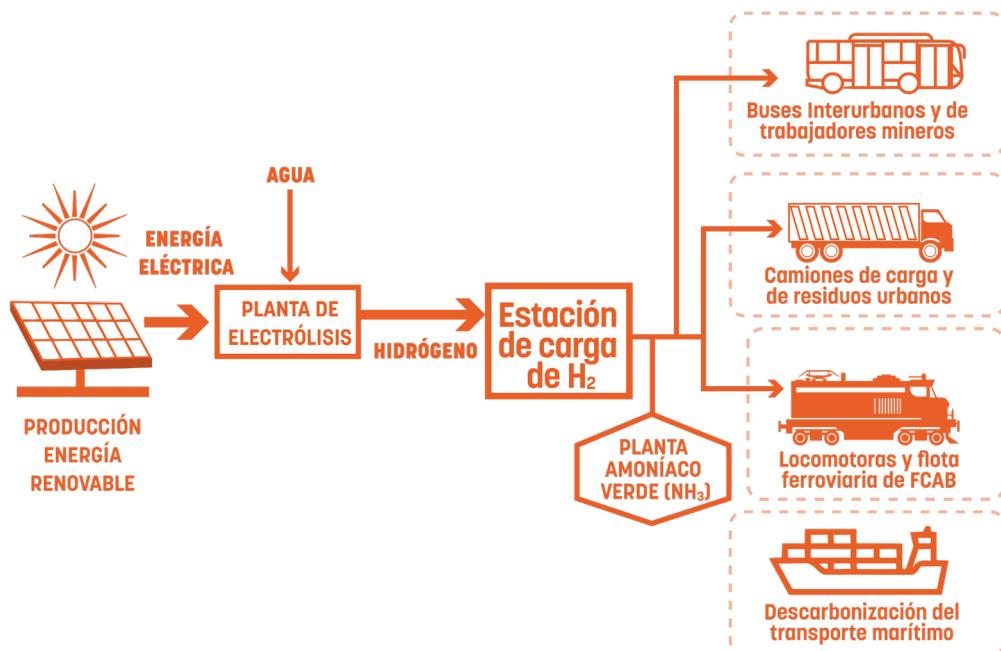


Figura 12: Rol del hidrógeno en el sector transporte.

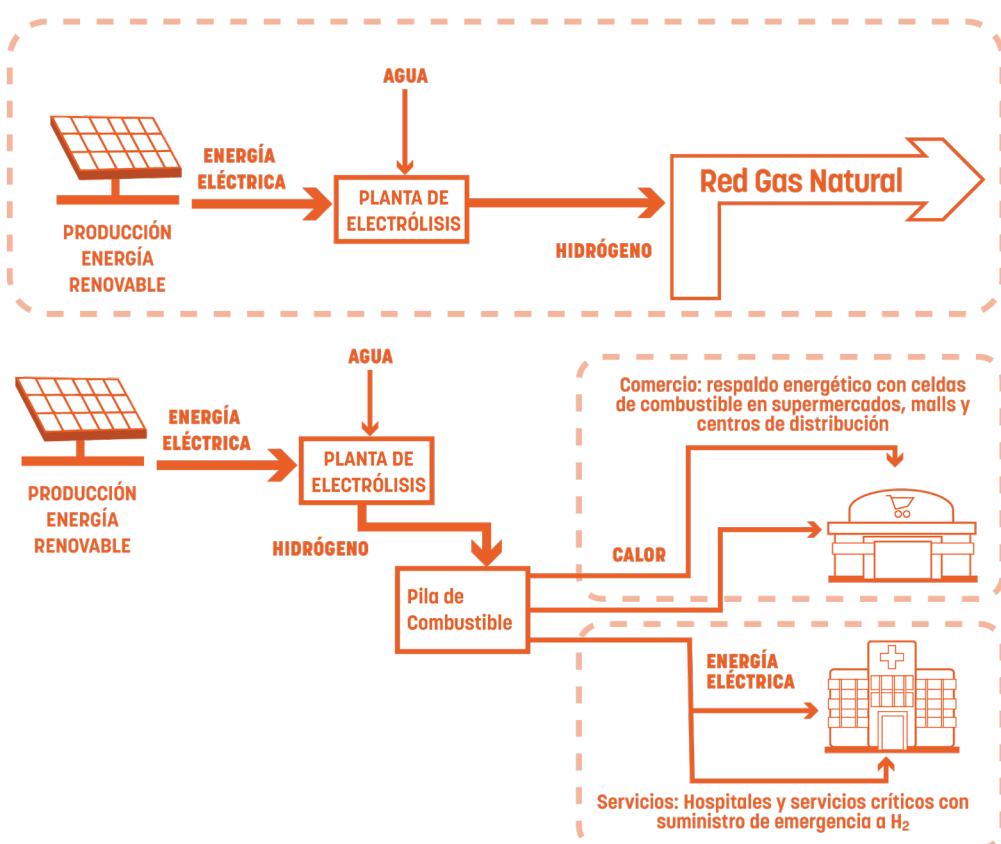


Figura 13: Rol del hidrógeno en el sector generación de energía.

3.2 VENTAJAS COMPARATIVAS DE LA REGIÓN

La Región de Antofagasta destaca por la combinación de condiciones naturales, técnicas y humanas que, en conjunto, la convierten en uno de los territorios con mayor potencial para producir hidrógeno verde a gran escala, tanto para el mercado nacional como internacional.

1. Ventaja energética estructural: sol y viento en abundancia

Una de las mayores fortalezas de la región es su enorme disponibilidad de energías renovables, especialmente solar y eólica. Estas fuentes son fundamentales para producir hidrógeno verde de manera limpia y a costos competitivos.

La Figura 14 muestra el mapa de radiación solar global, donde se observa que la Región de Antofagasta presenta los niveles más altos del país y entre los más altos del mundo. Las zonas interiores y del desierto alcanzan valores excepcionalmente elevados, lo que permite que las plantas solares generen energía de forma muy eficiente durante gran parte del año.

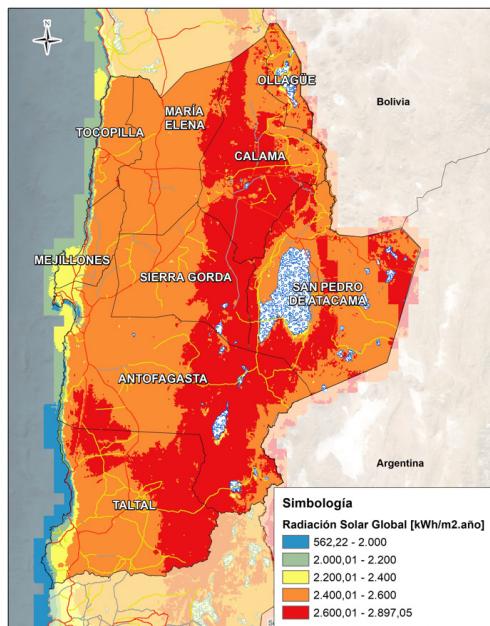


Figura 14: Radiación Solar Global en la Región de Antofagasta. Fuente: Explorador Solar (Ministerio de Energía, 2025)

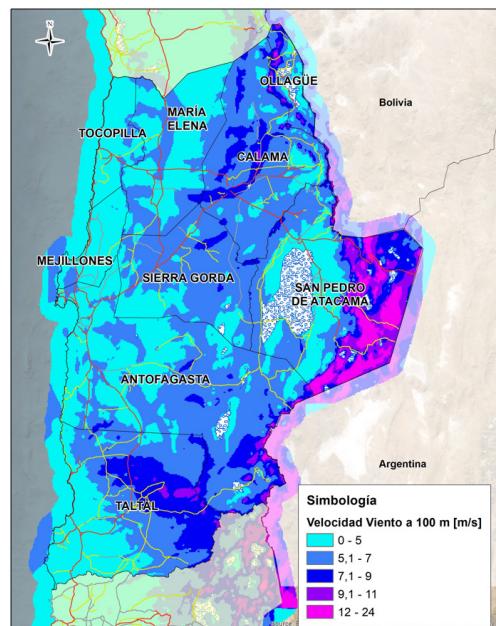


Figura 15: Velocidad del viento a 100m en la Región de Antofagasta. Fuente: Explorador Eólico (Ministerio de Energía, 2025)

Incluso en sectores costeros, como la península de Mejillones, la radiación solar sigue siendo muy alta en comparación con otras regiones del país. Esto significa que prácticamente todo el territorio regional ofrece condiciones favorables para la generación solar.

De manera complementaria, la Figura 15 muestra la velocidad del viento a 100 metros de altura. En ella se identifican corredores eólicos importantes en zonas costeras y precordilleranas. En varias comunas se alcanzan velocidades de viento que resultan muy atractivas para la generación eléctrica mediante aerogeneradores.



La combinación de sol durante el día y viento en distintos horarios permite desarrollar sistemas de generación híbridos. Esto reduce la variabilidad del suministro eléctrico y mejora la continuidad de la energía necesaria para operar los equipos que producen hidrógeno. Esta complementariedad es una ventaja relevante frente a otros territorios que dependen casi exclusivamente de una sola fuente renovable.

2. Amplio territorio disponible para el desarrollo industrial

Otra ventaja clave de la región es la disponibilidad de grandes extensiones de terreno aptas para proyectos energéticos e industriales. Muchas de estas zonas tienen baja densidad poblacional, poca interferencia con áreas urbanas y condiciones físicas adecuadas para la instalación de infraestructura.

Los análisis territoriales muestran que una parte significativa del suelo regional puede destinarse a plantas solares, electrolizadores y otras instalaciones asociadas al hidrógeno verde, sin generar conflictos importantes con usos residenciales o productivos existentes. Esto facilita la localización de proyectos y reduce costos asociados a restricciones de suelo.

La Figura 16 ilustra la relación entre la energía solar disponible y el potencial máximo teórico de producción de hidrógeno verde. Esta relación es directa: a mayor disponibilidad de energía renovable y mayor eficiencia tecnológica, mayor es la cantidad de hidrógeno que puede producirse.

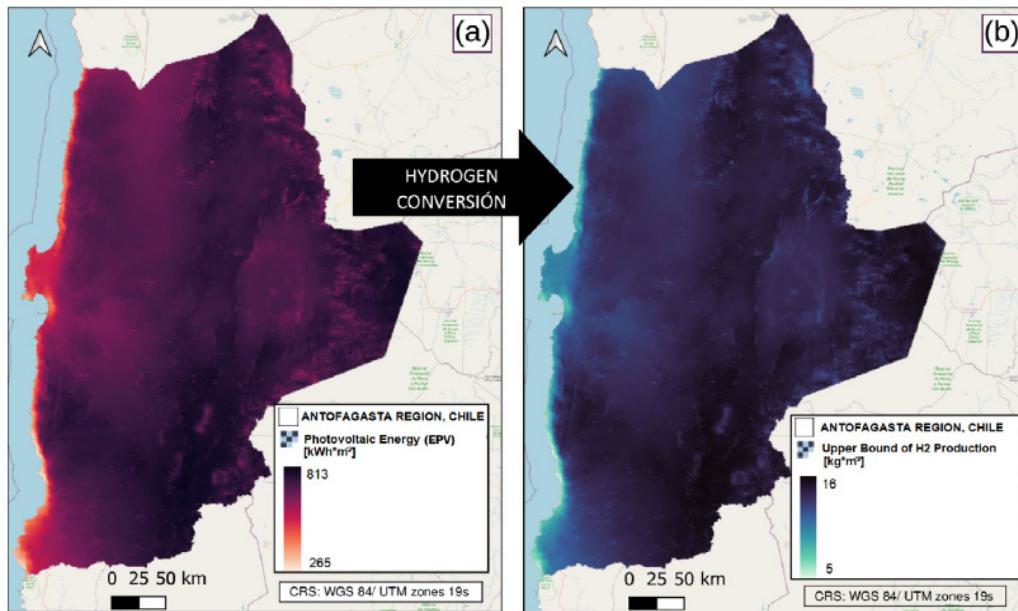


Figura 16: Mapa de conversión de energía fotovoltaica al límite superior de H2V.
Fuente: (Isidora Abasolo Farfán, 2024).

3. Consideraciones socioambientales integradas

El diagnóstico también incorpora un análisis socioambiental que identifica variables sensibles, como áreas protegidas, comunidades originarias, patrimonio cultural y zonas residenciales. Estas variables son fundamentales para asegurar que el desarrollo energético se realice de manera responsable y sostenible.

Al integrar los factores técnicos con las restricciones socioambientales, se logra identificar zonas donde es posible instalar proyectos fotovoltaicos minimizando impactos y conflictos. Este enfoque permite planificar el desarrollo del hidrógeno verde de forma ordenada y con mayor aceptación social.

La Figura 17 muestra, por un lado, las zonas aptas para la instalación de plantas fotovoltaicas y, por otro, el potencial máximo de producción de hidrógeno verde en esas áreas.

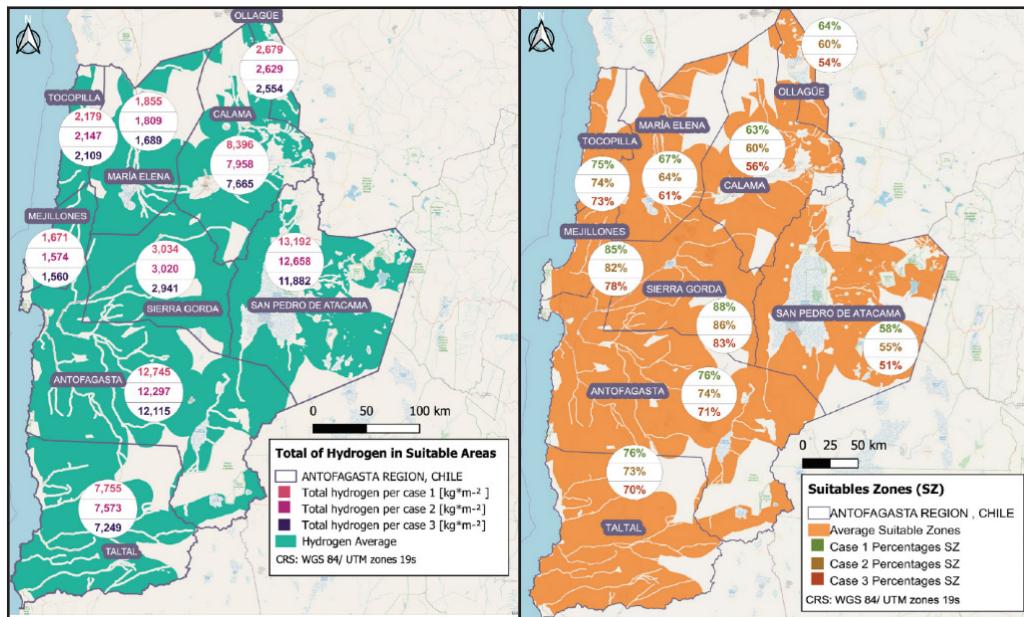


Figura 17: Indicadores de zonas aptas para la instalación fotovoltaica y límite superior de H2V (UBGH) en zonas aptas para la instalación fotovoltaica. Nota: En el UBGH las comas indican separador de decimales. Fuente: (Isidora Abasolo Farfán, 2024).

Los resultados indican que una gran parte del territorio regional sigue siendo adecuada para estos proyectos, incluso excluyendo áreas protegidas y otras con valor natural. Este análisis debe complementarse en los procesos de planificación territorial con otros factores como biodiversidad y paisaje.

Un aspecto relevante es que la exclusión de áreas sensibles no reduce de manera significativa el potencial total de producción de hidrógeno, lo que refuerza la viabilidad del desarrollo a gran escala en la región.

4. Infraestructura logística y portuaria existente

La Región de Antofagasta cuenta con una infraestructura logística sólida, construida a partir del gran desarrollo productivo e industrial que ha caracterizado históricamente a la región. Esta infraestructura representa una ventaja importante para el hidrógeno verde, ya que reduce las inversiones iniciales necesarias.

Las Figuras 18 y 19 muestran la red ferroviaria, los gasoductos de la región.



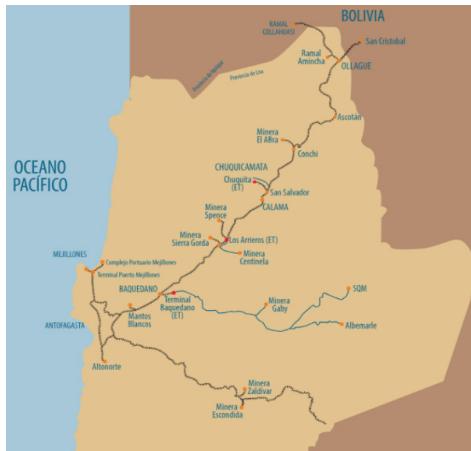


Figura 18 Red Ferroviaria de FCAB.
Fuente: (FCAB, 2025)



Figura 19 Red de Gasoductos Principales de Gas Natural en Antofagasta. Fuente: (La Nación, 2002)

Destaca especialmente el sistema portuario de Mejillones, que presenta condiciones técnicas favorables para la exportación de amoníaco y otros derivados del hidrógeno, y también la existencia de puertos, caminos y redes energéticas ya operativas que facilitan la conexión entre las zonas de producción y los mercados de destino, tanto nacionales como internacionales. Esto posiciona a la región en una situación ventajosa frente a territorios que no tienen acceso directo al mar o carecen de infraestructura consolidada.

5. Capital humano y capacidades institucionales

Además de las ventajas físicas y técnicas, la región cuenta con un ecosistema de actores diverso y activo, en el que participan empresas energéticas y mineras, universidades, centros de investigación, organismos públicos y proveedores tecnológicos.

Este conjunto de actores aporta experiencia, conocimiento y capacidades clave para el desarrollo del hidrógeno verde. La existencia de instituciones formativas y de investigación facilita la preparación de capital humano especializado y el desarrollo de innovación local.

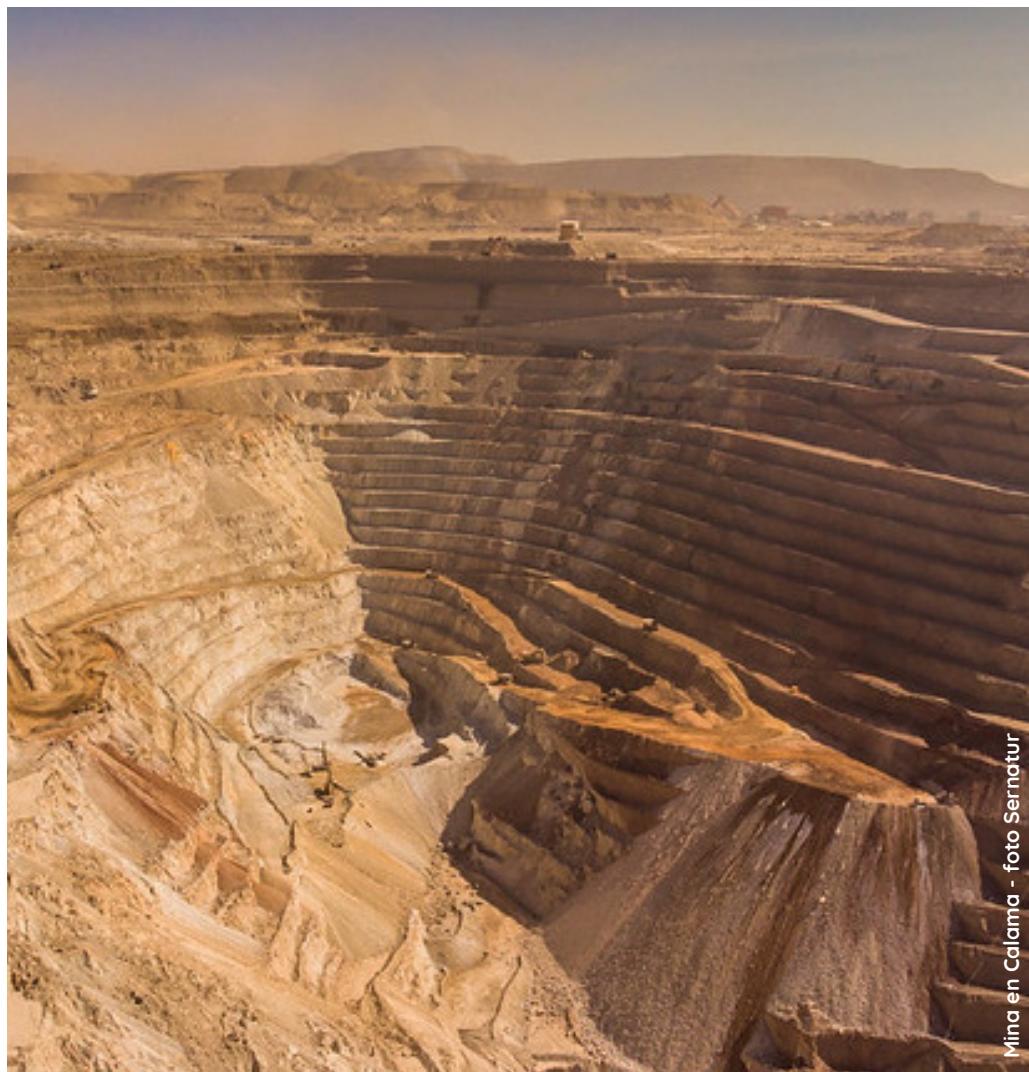
La coordinación entre estos actores, junto con su capacidad de influencia y toma de decisiones, constituye una ventaja menos visible, pero muy relevante, ya que permite acelerar procesos, reducir riesgos y mejorar la gobernanza del sector.

6. Proyección estratégica a nivel nacional e internacional

Finalmente, los escenarios de desarrollo analizados muestran que la Región de Antofagasta puede jugar un rol protagónico en el futuro del hidrógeno verde a nivel mundial. A mediano y largo plazo, la región podría cubrir una parte importante de la demanda nacional y participar activamente en mercados internacionales.

Los resultados indican que, utilizando una fracción acotada del territorio, el hidrógeno verde podría generar recursos económicos comparables a los de sectores tradicionales como la minería, fortaleciendo la base productiva regional y su competitividad en el largo plazo.

En conjunto, estas condiciones confirman que la Región de Antofagasta cuenta con ventajas comparativas sólidas para liderar el desarrollo del hidrógeno verde, combinando recursos naturales excepcionales, territorio disponible, infraestructura existente y un ecosistema humano e institucional preparado para enfrentar este desafío.





La Portada de Antofagasta - foto Ricardo Rodríguez

DIAGNÓSTICO Y BRECHAS





4 DIAGNÓSTICO Y BRECHAS

La construcción de esta Hoja de Ruta se basa en un diagnóstico en 4 dimensiones de la situación actual de la región en relación con los requerimientos de la industria del Hidrógeno Verde para su instalación. A continuación, se presentan -para cada una de estas dimensiones- las brechas específicas identificadas y una síntesis del respectivo diagnóstico que las respalda.

4.1 DIMENSIÓN SOCIAL

4.1.1. EJE 1: CAPITAL HUMANO E INFRAESTRUCTURA SOCIAL

Brecha BS1: Déficit de infraestructura social, vivienda y servicios básicos en especial en comunas industriales y propicias al desarrollo de la industria de Hidrógeno Verde.

La Región de Antofagasta presenta una distorsión estructural: según el Censo 2017 y las proyecciones del Instituto Nacional de Estadísticas del año 2024, la Región posee una de las tasas de urbanización más altas de Chile (94,1% - 95%), concentrada en Antofagasta y Calama, lo que genera una presión crítica sobre los servicios de comunas industriales más pequeñas como Mejillones, Tocopilla y Taltal, que tienen potencial de transformarse en el futuro en centros operativos del H2V.

En la etapa de diagnóstico de esta Hoja de Ruta, se estimó que el desarrollo de la industria del H2V y sus derivados inducirá la contratación de más de 3.000 nuevos trabajadores permanentes para el año 2035, asociados a etapas de operación de los proyectos, cifra que escalaría a más de 14.000 trabajadores hacia el año 2050. Considerando que, de acuerdo a las metas de esta Hoja de Ruta, cerca de un tercio de estos trabajadores provendrá de otras regiones, se proyecta una demanda de aproximadamente 5.000 nuevas viviendas permanentes solo para absorber el crecimiento habitacional inducido por esta industria. Esto sin considerar la necesidad de viviendas para la población no permanente asociada a los períodos de construcción de las plantas, que se estima sea 4 veces superior a la cifra previamente señalada. Según el Informe de Déficit Habitacional (2022) del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), la Región de Antofagasta presenta ya un déficit de aproximadamente 37.000 viviendas, por lo tanto, la industria del H2V llega a un territorio que posee una de las crisis habitacionales más agudas del país, lo que eleva el riesgo de aumento en el precio de los arriendos y proliferación de asentamientos informales.

Por otra parte, la red asistencial actual ya presenta déficits críticos en salud mental y rehabilitación. Tomando como base la carga actual de 10.590 habitantes por establecimiento de salud, el crecimiento poblacional asociado al H2V exigirá la creación cerca de 6 nuevos centros de salud equivalentes hacia el 2050 para evitar el colapso de las prestaciones básicas. En comunas como Mejillones, la ciudadanía ya percibe que los servicios actuales están "al límite", según lo levantado en las instancias participativas.

En términos de espacios públicos y áreas verdes, de acuerdo al Sistema de Indicadores y Estándares de Desarrollo Urbano (Siedu, 2018), Antofagasta, la comuna más poblada de la región, presenta una dotación actual de 2,31 m² de áreas verdes por habitante, muy distante del estándar nacional de 10 m². Esta situación se replica con mayor o menor magnitud en otras comunas de la región y se entiende que se acentuará con el aumento poblacional proyectado para la industria del hidrógeno verde y sus derivados.

Brecha BS2: Ausencia de una estrategia y mecanismos que permitan atraer y retener capital humano en la región

La Región de Antofagasta es el principal polo de inversión minera y energética del país, pero no logra consolidar a su fuerza laboral como residentes permanentes, alimentando una “economía de enclave” que drena el capital intelectual y económico hacia otras regiones.

La brecha más crítica se evidencia en la incapacidad de la región para absorber el nuevo empleo de manera local. Según datos del Observatorio Laboral (2024), el empleo comunitante interregional aumentó un 29,0% en solo 12 meses, alcanzando un total de 89.700 ocupados que trabajan en la región, pero no residen en ella. Esto demuestra la ausencia de mecanismos efectivos para que el talento se asiente en la región, prefiriendo el sistema de turnos y residencia en otras zonas del país.

El diagnóstico indica que sin incentivos económicos o de calidad de vida, el capital humano optará por sectores ya consolidados o por mantener la comutación.

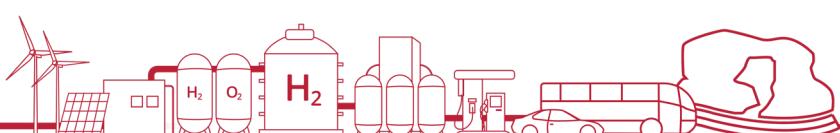
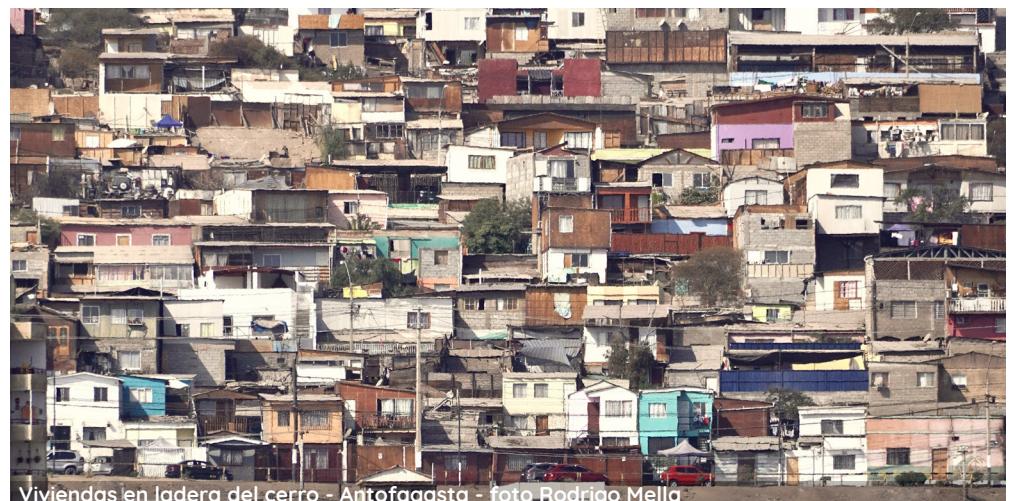
Brecha BS3: Falta de políticas y mecanismos que prioricen la contratación y provisión de fuerza laboral regional.

Esta brecha refleja la desconexión entre el crecimiento industrial de la región y el beneficio económico directo para sus habitantes. A pesar de ser un polo de inversión, la Región de Antofagasta presenta distorsiones laborales relevantes debido al fenómeno de la comutación y la falta de incentivos para el arraigo local. Cabe destacar que, de todo el nuevo empleo generado en el año 2023 en el territorio, un 67,7% fue cubierto por trabajadores no residentes, esto según Observatorio Laboral de Antofagasta (2024), reporte: “Termómetro Laboral Región de Antofagasta”. Sin políticas de contratación regional, la mayoría de los nuevos puestos de trabajo asociados a la industria del H2V corre el riesgo de seguir el patrón de “enclave”, donde el conocimiento y el salario no permanezcan en el territorio.

Si no se establecen mecanismos de retención y formación, podría caer la meta actual del 65% de participación de mano de obra local, ya que el mercado crecerá más rápido que la capacidad de absorción de la población residente.

Brecha BS4: Persistente brecha de género en especial en sectores industriales y relacionadas con las STEM.

La Región de Antofagasta presenta una segregación laboral de género importante, donde la matriz productiva centrada en la minería y la energía ha perpetuado entornos predominantemente masculinos. Esta brecha se manifiesta desde la formación técnica hasta la toma de decisiones y la remuneración salarial.



Según la Encuesta Casen del año 2022, la tasa de participación laboral femenina en la región es del 47,5% frente al 66,2% de los hombres, lo que representa una brecha de 18,7 puntos porcentuales. En términos de influencia, la participación de mujeres en puestos de alta dirección o toma de decisiones en el sector energético es inferior al 20%, de acuerdo con el Plan Nacional Energía + Mujeres (Ministerio de Energía 2025). En las comunas estratégicas para el H2V, la participación de la mujer en la minería no supera el 10% (Sernageomin, 2021).

En relación con la formación STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas, por su sigla en inglés), el origen de la brecha técnica se observa en la educación superior regional, donde solo el 21% de las matrículas en carreras de ingeniería corresponden a mujeres, como indica el Informe Matrícula en Educación Superior del “Sistema de Información de Educación Superior (SIES)”, realizado en 2021 por el Ministerio de Educación. Sin una intervención en la base formativa, la industria del H2V, (altamente dependiente de ingenierías y procesos electroquímicos, corre el riesgo de heredar esta exclusión. El reporte de la Alianza CCM-Eleva (2023) sobre el sector minero indica que, para alcanzar la meta de participación femenina del 30% al 2030, se requiere triplicar el ingreso de mujeres a liceos técnicos industriales, los cuales hoy tienen una matrícula femenina inferior al 15% en especialidades de mecánica y electricidad en el norte de Chile.

Brecha BS5: Percepción ciudadana de inseguridad relativa a los puestos laborales y el entorno de la industria del H2V.

Esta brecha se fundamenta en una desconfianza estructural de la población regional hacia los grandes proyectos industriales, alimentada por experiencias históricas con la minería y las termoeléctricas que no siempre se han traducido en bienestar o seguridad laboral.

Durante la etapa de diagnóstico de esta Hoja de Ruta, se constató que el 10% de las consultas totales de los estudiantes en establecimientos educacionales se centran específicamente en la seguridad y riesgos de la industria (explosiones, fugas y peligros en el traslado). Esta inquietud es transversal en las 9 comunas, donde el 33% de las preguntas técnicas reflejan un desconocimiento que se traduce en temor.

Brecha BS6: Falta de alineación entre la oferta educativa existente y las necesidades futuras de la industria del H2V, en especial en procesos electroquímicos.

Esta brecha representa un obstáculo crítico para la sostenibilidad de la industria, ya que la magnitud de la demanda laboral proyectada contrasta con una oferta formativa que aún es incipiente y carece de la profundidad técnica necesaria en las ciencias básicas que sustentan la tecnología del hidrógeno.

El levantamiento de línea base regional realizado en el marco de esta Hoja de Ruta, reveló que a 2025 se registran 3 programas educativos (específicos o complementarios) enfocados en H2V, impulsados por actores públicos y privados como el Diplomado en Hidrógeno Solar impartido por la Universidad de Antofagasta (2 ediciones) y Curso de Seguridad en instalaciones de H2V del CEIM. Estas iniciativas son pioneras, sin embargo, resultan insuficientes para satisfacer los requerimientos en formación de técnicos y profesionales requerida por la industria a futuro. Mientras que ChileValora ha definido inicialmente 3 perfiles ocupacionales básicos para la operación de plantas, estudios técnicos de referencia (FIBS RILL y la Cámara Chileno-Alemana AHK) señalan que se requieren al menos 15 nuevos perfiles técnicos especializados para cubrir adecuadamente las etapas de montaje, instrumentación y mantenimiento avanzado.

Finalmente, El diagnóstico técnico identifica que las mallas curriculares actuales de carreras ligadas a energías renovables en la región presentan una omisión crítica de contenidos en electroquímica y termodinámica de gases. Esta formación es el “núcleo” de la industria, ya que es indispensable para operar y reparar electrolizadores y celdas de combustible, competencias que hoy no están integradas de forma masiva en los Liceos Técnicos ni en los Centros de Formación Técnica locales. Se observa como oportunidad incorporar en el currículum del futuro CFT de Tocopilla, actualmente en etapa de prefactibilidad, desarrollado por el Gobierno Regional de Antofagasta.

Brecha BS7: Falta de programas de estimulación temprana y difusión científica enfocados en las tecnologías del Hidrógeno Verde y energías renovables en educación escolar y técnica

A pesar de ser el territorio con la radiación solar más alta del planeta, el sistema educativo local no cuenta con una estructura de difusión científica que transforme esta ventaja comparativa en vocaciones tecnológicas tempranas.

Durante los talleres en establecimientos de las 9 comunas, se detectó que el 33% de las consultas de los estudiantes tienen relación sobre aspectos básicos de funcionamiento y seguridad, lo que evidencia la ausencia de una base de conocimientos previa en el currículo escolar. Además, se observó ausencia de infraestructura pedagógica en los establecimientos educacionales. Si bien existen docentes motivados en temáticas como robótica y electricidad, carecen de módulos demostrativos prácticos para la enseñanza técnica que permitan generar estimulación temprana en estudiantes.

El reporte de la UNESCO (2022) sobre educación STEM destaca que la “estimulación temprana”, es decir, antes de los 12 años, es el factor predictor más importante para la elección de carreras técnicas en el futuro.

4.1.2. EJE 2: PERCEPCIÓN DE LA COMUNIDAD FRENTE A LA INDUSTRIA DEL HIDRÓGENO VERDE

Brecha BS8: Percepción ciudadana de que los beneficios de la industria solo serán percibidos por el sector privado y no por las comunidades, en una región donde el desarrollo industrial históricamente ha generado impactos socio-ambientales.

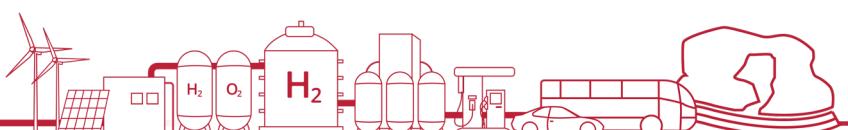
Esta brecha refleja una crisis de legitimidad y confianza hacia el modelo de desarrollo industrial en la región. La ciudadanía percibe el despliegue del hidrógeno verde no como una solución ambiental, sino como la posible replicación de un modelo de “enclave” que históricamente ha externalizado costos ambientales en el territorio mientras centraliza las ganancias económicas en el sector privado y el nivel central.

La desconfianza ciudadana tiene sustento por una parte en las cifras de empleo. Según el diagnóstico, de todo el nuevo empleo generado en la región recientemente, un 67,7% fue cubierto por trabajadores no residentes, esto según Observatorio Laboral de Antofagasta (2024), reporte: “Termómetro Laboral Región de Antofagasta”. Esta fuga de capital humano y masa salarial refuerza la percepción de que la riqueza industrial no se ancla en las comunidades locales. Así también, en comunas como Mejillones, la población percibe que la industria satura la infraestructura, mientras los beneficios se perciben como ajenos a la calidad de vida de los residentes.

El reporte de la Fundación Heinrich Böll (2023) sobre el hidrógeno en Chile destaca que existe un temor fundado a que el H2V profundice la “colonialidad energética”, donde la región aporta el suelo y los recursos (sol y agua) para satisfacer metas de descarbonización globales o nacionales, sin que existan mecanismos de compensación territorial directa como un “royalty verde” regional. Así también, estudios de la Fundación Tanti (2024) advierten que la etiqueta de “verde” del hidrógeno no mitiga para la comunidad el impacto físico de la ocupación de 1,5% a 7,3% del territorio regional con paneles fotovoltaicos si no se garantiza que una fracción de esa energía y agua desalada sea para consumo local a bajo costo.

Brecha BS9: Falta de conocimiento en la región de los beneficios y reales impactos de la industria del H2V y derivados.

Esta brecha constituye una barrera para la “licencia social” de la industria, manifestándose como una asimetría de información entre los actores técnicos y las comunidades locales, lo que alimenta la desconfianza y la incertidumbre sobre el retorno social de los proyectos.





Durante los puntos de difusión en espacios públicos, así como en los talleres realizados en establecimientos escolares de las 9 comunas, se constató que la gran mayoría de las personas no había oído hablar del hidrógeno verde, con excepción de aquellos ciudadanos directamente vinculados al sector minero.

El diagnóstico identifica que la relación entre las comunidades de la Región de Antofagasta y las grandes industrias (minería y energía) ha estado marcada por conflictos ambientales no resueltos y una percepción de beneficios desiguales. Esta “distancia histórica” actúa como una barrera crítica para la industria del Hidrógeno Verde, ya que las comunidades tienden a verla como una extensión del modelo extractivista tradicional más que como una oportunidad de desarrollo sostenible.

4.2 DIMENSIÓN AMBIENTAL

4.2.1. EJE 1: USO DEL AGUA

Brecha BA1: Percepción ciudadana de que la industria del H2V contribuirá a aumentar el déficit hídrico de la región.

Esta brecha se sustenta en una asimetría de información importante: mientras los datos técnicos indican que el consumo de agua del hidrógeno verde (H2V) es marginal comparado con la minería, la población —que vive en un entorno de escasez hídrica estructural— percibe cualquier nueva industria como una amenaza directa a la disponibilidad del recurso. Cabe señalar que dicha comparación se realizó a partir de datos de Cochilco (2024) y la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde vigente.

Según el balance productivo, la industria del H2V requiere aproximadamente 31 litros de agua por cada kilogramo de hidrógeno producido, considerando 9 litros para electrólisis y 22 para sistemas de refrigeración, según los parámetros empleados en la actualización de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. Para un escenario de producción al año 2050 de 2,4 MTPA, el consumo de agua sería de 74,4 Hm³/año. En comparación, la minería regional consume actualmente 311 Hm³/año. De esta forma, para generar el mismo nivel de PIB, la industria del H2V requiere 4 veces menos agua que la minería.

Más allá de estos datos, existe una denuncia ciudadana persistente respecto a que los proyectos de H2V no siempre transparentan de forma clara la fuente de agua en sus ingresos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), lo que alimenta la percepción de “despojo” del recurso.

El Consejo Regional ha reafirmado el Acuerdo N° 14796-18, que exige priorizar el uso de agua de mar desalada en toda actividad industrial para proteger los acuíferos continentales. La percepción de déficit aumenta porque la ciudadanía ve que, a pesar de estos acuerdos, persisten comunas rurales dependientes de camiones aljibe mientras la industria asegura su suministro.

Brecha BA2: Ausencia de un marco normativo claro para la desalación y el manejo ambiental de salmueras.

La Región de Antofagasta lidera la capacidad de desalación en Chile, sin embargo, esta infraestructura crítica opera en un vacío legal específico que obliga a evaluar los proyectos caso a caso bajo normativas generales, lo que genera incertidumbre técnica y riesgos para los ecosistemas marinos.

La región cuenta actualmente con 15 plantas desaladoras en operación que suman una capacidad instalada aproximada de 7.000 l/s, según catastro desarrollado por la Asociación Chilena de Desalación y Reúso en 2025 que identifica 13 plantas, a las que se suman dos adicionales (Hornitos y Noracid) que no aparecen en ese registro por tener una capacidad individual menor a 20 litros por segundo. Por otra parte, se han presentado 5 nuevos proyectos al SEIA que buscan duplicar esta capacidad instalada. Estos proyectos deben ingresar al SEIA, pero al no existir una ley de desalación vigente, la descarga de salmuera se

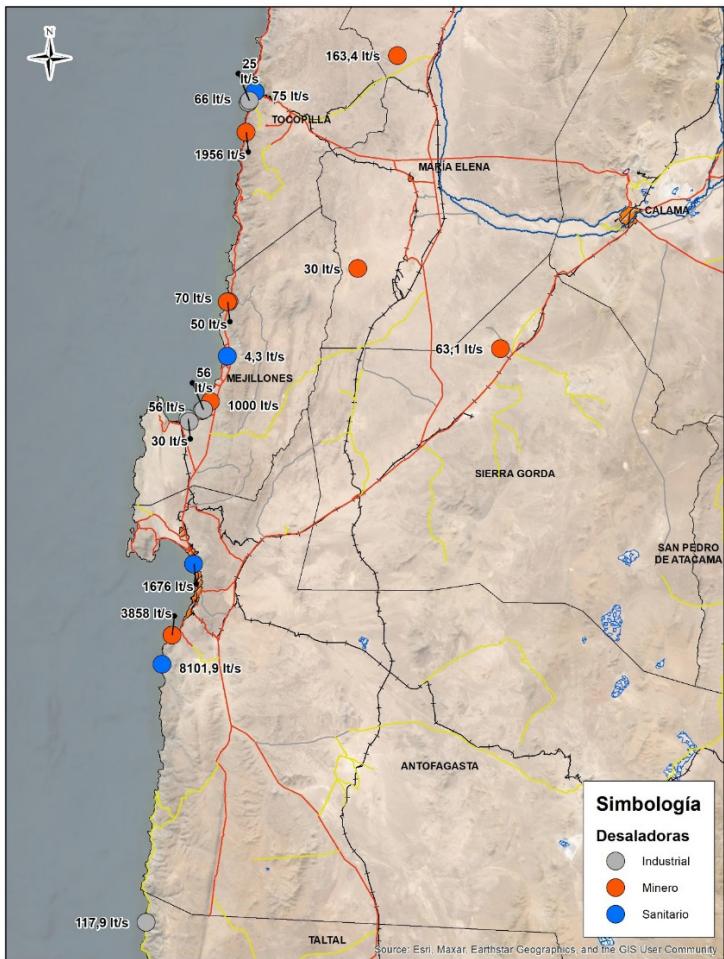


Figura 20. Georreferenciación de plantas desaladoras existentes y proyectadas. Fuente: Elaboración propia.

evalúa sin una mirada estratégica global.

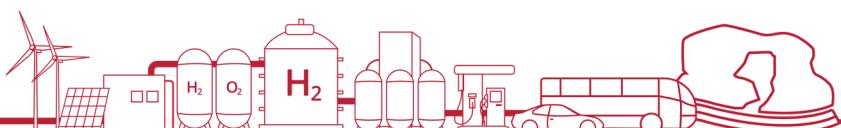
De acuerdo con investigaciones globales (Jones et al., 2019), por cada litro de agua desalinizada producida, se generan en promedio 1,5 litros de salmuera con una salinidad que duplica la del agua de mar y contiene residuos químicos de pretratamiento. Sin una normativa de vertido clara, el escalamiento proyectado para el H2V en Antofagasta podría implicar la descarga de importantes cantidades de salmuera anualmente en bahías cerradas.

En materia regulatoria, destaca un proyecto de ley en tramitación desde 2018 que busca establecer una Estrategia Nacional de Desalinización y definir al agua desalada como bien nacional de uso público. Su avance permitiría superar el actual enfoque de evaluación caso a caso y avanzar hacia una planificación estratégica del sector, reduciendo conflictos socioambientales y habilitando un desarrollo más sostenible de la desalinización y del H2V en la región.

4.2.2. EJE 2: IMPACTO AMBIENTAL

Brecha BA3: Percepción ciudadana de que la industria del H2V y en especial las plantas de energía solar generan un impacto ambiental importante y gran cantidad de residuos al final de su vida útil.

Esta brecha se sustenta en la preocupación por la escala masiva de ocupación territorial necesaria para la industria y la falta de claridad sobre la gestión de pasivos ambientales futuros en una región que ya se percibe como saturada por la actividad industrial y por las propias plantas de energía solar fotovoltaica.



En la etapa de diagnóstico de esta Hoja de Ruta, se calculó que, al año 2050, la industria del H2V requerirá ocupar aproximadamente el 1,5% del territorio de la Región de Antofagasta (1.628 km²) exclusivamente con paneles fotovoltaicos, lo que representa un impacto visual relevante para las comunidades. En María Elena, existe una “alta preocupación” manifestada por la comunidad debido a la masificación de plantas fotovoltaicas. Los ciudadanos exigen estudios de terceros independientes que evalúen la capacidad de carga del territorio ante la sobrecarga de proyectos. Así también, en los talleres territoriales, los ciudadanos consultaron explícitamente sobre la duración de las plantas fotovoltaicas y los tipos de residuos generados al finalizar su vida útil. Actualmente, la línea base de proyectos que implementan medidas de valorización de residuos es insuficiente, planteándose como meta que solo el 50% de estos sean valorizados a futuro.

Aunque en Chile la Ley 20.920 (Ley REP) incluye a los aparatos eléctricos y electrónicos, existe una falta de infraestructura específica de reciclaje de paneles solares en el norte del país, lo que refuerza el temor ciudadano de que los parques abandonados se conviertan en nuevos pasivos ambientales similares a los relaves mineros [Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, Estado de la Gestión de Residuos en Chile 2023].

Brecha BA4: Falta de confianza, en especial desde las comunidades del real impacto ambiental y de la implementación de medidas de mitigación efectivas por parte de la industria del hidrógeno verde.

Esta brecha se origina en una crisis de credibilidad de las comunidades locales hacia el marco regulatorio y el comportamiento corporativo histórico en la región. La ciudadanía asocia la llegada del hidrógeno verde (H2V) con la persistencia de un modelo de “enclave” que externaliza daños ambientales mientras centraliza beneficios económicos.

La región arrastra una carga histórica de grandes conflictos socioambientales activos o recientes, vinculados principalmente a la minería y la energía termoeléctrica. Estos conflictos incluyen polución por metales pesados, sobreexplotación de acuíferos y derrames de hidrocarburos, lo que alimenta el temor de que la industria del H2V sea “más de lo mismo” bajo una etiqueta verde.

El 33% de las consultas ciudadanas en talleres territoriales se centran en el desconocimiento de los impactos y la efectividad de las tecnologías de mitigación. Existe una denuncia explícita de que muchos estudios de impacto financiados por privados no son públicos, lo que impide una vigilancia ciudadana efectiva y refuerza la desconfianza.

4.2.3. EJE 3: LÍNEAS BASE AMBIENTALES

Brecha BA5: Falta de apoyo público en la generación de líneas base ambientales de sitios priorizados para el desarrollo de proyectos de H2V, disponibles para desarrolladores privados y que permitan agilizar los tiempos de tramitación de los proyectos.

Esta brecha identifica que la inexistencia de datos ambientales públicos y validados por el Estado obliga a cada desarrollador privado a generar su propia información desde cero, lo que encarece los proyectos, aumenta la incertidumbre de las comunidades y satura la capacidad evaluadora del sistema público con revisiones redundantes.

El indicador de desempeño (Tiempos promedios de obtención de permisos SEA) establece una línea base de 19 a 20 meses para proyectos con Estudio de Impacto Ambiental (EIA). La Hoja de Ruta se ha fijado como meta estratégica reducir estos tiempos en un 30%, lo cual se hace muy difícil sin la provisión pública de apoyos como líneas base que simplifiquen el ingreso al sistema.

Según el informe de la Comisión Nacional de Evaluación y Productividad (CNEP, 2023), los proyectos de inversión en Chile pueden requerir hasta 400 permisos diferentes de 53

instituciones distintas. El tiempo de tramitación para proyectos de energía a gran escala se ha duplicado en la última década, identificándose la falta de líneas base estandarizadas como una de las causas principales de las “solicitudes de aclaraciones, rectificaciones y ampliaciones” (Adendas) que extienden los plazos legales.

4.3 DIMENSIÓN ECONÓMICA

4.3.1. EJE 1: INFRAESTRUCTURA COMPARTIDA

Brecha BE1: Falta de coordinación e incentivos para desarrollar infraestructura compartida.

Esta brecha identifica una falla de coordinación crítica, que mientras la industria busca eficiencia, el desarrollo actual es inorgánico, lo que obliga a cada proyecto a financiar su propia infraestructura (ductos, plantas de desalación), elevando el CAPEX y multiplicando los impactos en el territorio.

El transporte de hidrógeno por hidroductos dedicados se estima entre 0,10 y 0,58 USD/kg, mientras que el transporte por camión (tube trailers) oscila entre 0,96 y 3,87 USD/kg (Bloomberg, 2020). La falta de una red troncal compartida obliga a considerar opciones que son hasta 6 veces más costosas, restando competitividad al LCOH regional.

Por otra parte, la sostenibilidad de un terminal marítimo de exportación de amoníaco (NH₃) a largo plazo requeriría de flujos cercanos a los 4 Mt NH₃/año para cargar buques de tamaño mediano de forma eficiente, según fuentes privadas consultadas durante la consultoría. Proyectos individuales actuales (como Volta o INNA) solo cubrirían una fracción de esta capacidad, lo que incrementaría la repercusión del costo portuario si no se operan bajo un modelo de infraestructura compartida.

Sin una planificación de corredores de infraestructura compartida (“Common Carrier”), la proliferación de líneas de transmisión y acueductos individuales generaría una fragmentación del suelo que compromete la licencia social y ambiental. Según el Hydrogen Council (2021), el despliegue de infraestructura compartida en clusters industriales (hubs) puede reducir los costos totales del sistema en un 25% a 30% en comparación con proyectos aislados.

No obstante, la infraestructura compartida presenta importantes desafíos, como la coordinación entre distintos niveles de gobierno al interior del Estado, la articulación público-privada, la compatibilización de plazos y mecanismos de financiamiento, entre otros. Debido a este tipo de barreras, la realidad actual de la región dista de este objetivo, con casos de saturación de líneas eléctricas muy notorios en zonas como Mejillones y María Elena o la forma descoordinada en que se ejecutan los proyectos de plantas desaladoras.

En la siguiente imagen se presenta un resumen de la infraestructura logística disponible en la región:

Finalmente, la siguiente tabla resume las capacidades actuales, limitaciones y oportunidades de cada red para la industria del hidrógeno verde:

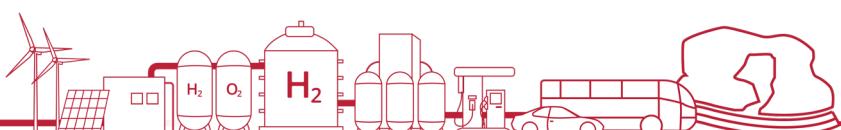




Figura 21. Red de Infraestructura Logística de la región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Resumen de capacidades actuales, limitaciones y oportunidades de la infraestructura logística.

RED LOGÍSTICA	CAPACIDADES ACTUALES	LIMITACIONES	OPORTUNIDADES PARA LA INDUSTRIA DEL HIDRÓGENO VERDE
Red portuaria	Puertos profundos (Mejillones), experiencia en manejo de graneles y líquidos; conectividad con centros urbanos e industriales.	Antofagasta urbano limita expansión; Tocopilla enfrenta restricciones de espacio y sociales.	Desarrollo de terminales dedicados a hidrógeno y derivados; Mejillones como hub logístico; infraestructura compartida público-privada.
Red vial	Conectividad longitudinal (Ruta 5) y transversal costa-interior; acceso a puertos y polos mineros.	Tramos saturados por transporte minero; deterioro por clima y carga; seguridad vial.	Transporte de insumos, equipos y productos; integración multimodal con ferrocarril y puertos; planificación de corredores para ductos.
Red aeroportuaria	Aeropuertos Andrés Sabella y El Loa: conectividad nacional e internacional; transporte de personal y equipos especializados.	Capacidad limitada de carga; infraestructura enfocada en pasajeros; necesidad de ampliaciones para servicios logísticos.	Movilización de capital humano, expertos y técnicos; traslado rápido de equipos críticos; vinculación con inversionistas y cooperación internacional.
Red ferroviaria	Transporte eficiente de grandes volúmenes; conexión entre centros mineros y puertos; experiencia en logística industrial.	Adaptación necesaria para hidrógeno; capacidad limitada; interconexión parcial con otras redes.	Transporte masivo de hidrógeno y derivados; reducción de costos y emisiones; integración en corredores multimodales.
Red eléctrica	Alta capacidad instalada (más de 9.000 MW) principalmente solar, con buena infraestructura de transmisión y cercanía a grandes centros industriales.	Existen cuellos de botella en transmisión, baja flexibilidad para suministro continuo y vulnerabilidad ante variabilidad renovable y retrasos en obras eléctricas.	La abundante energía solar y nuevos proyectos de almacenamiento y transmisión posicionan a la región como polo estratégico para producir hidrógeno verde competitivo a escala global.
Red de gaseoductos	Corredores industriales existentes; experiencia en operación y seguridad de gas natural; conectividad con plantas y puertos.	No diseñada para hidrógeno puro; capacidad insuficiente para grandes volúmenes; regulación específica pendiente.	Reutilización o adaptación de trazados; referencia tecnológica para ductos de hidrógeno; integración con planta-producto-puerto.
Proveedores de agua industrial	Plantas desaladoras y redes de agua de proceso disponibles; experiencia en abastecimiento industrial.	Escasez hídrica; costos energéticos altos; permisos y regulación estrictos.	Suministro para electrólisis; modelos de infraestructura compartida; coordinación público-privada para asegurar disponibilidad sostenible.



4.3.2. EJE 2: MERCADO

Brecha BE2: Carencia de proveedores locales y PyMEs en la región que puedan ser parte de la cadena de valor de la industria del H2V.

La Región de Antofagasta cuenta con un ecosistema robusto de proveedores para la minería, pero existe una desconexión crítica entre esa base instalada y los requerimientos técnicos específicos del H2V. Esta brecha impide que el valor económico de las grandes inversiones se ancle en el tejido empresarial local, favoreciendo la contratación de empresas foráneas.

Según el mapa de actores levantado en el marco de esta Hoja de Ruta, solo el 3% de las organizaciones identificadas pertenecen al segmento de “Insumos” de la cadena de valor del H2V y apenas el 1% al segmento de “Producción y Acondicionamiento”. En contraste, el 54% de los actores se concentra en el “Entorno” (academia, sector público, sociedad civil), lo que evidencia un déficit de empresas productivas y de servicios especializados integradas directamente en la cadena industrial.

El diagnóstico identifica que la región se comporta actualmente como una “integradora de tecnología”, es decir, compradora de equipos, y no como desarrolladora. Esta debilidad se traduce en que componentes críticos (electrolizadores, compresores, válvulas de alta presión) dependen de fabricantes extranjeros, dejando a las PyMEs locales relegadas a servicios de bajo valor agregado.

Según un estudio de la Asociación Chilena de Hidrógeno (H2 Chile, 2024), el contenido local en proyectos de hidrógeno renovable en Chile se estima por debajo del 15% en la fase de inversión (CAPEX), concentrándose mayoritariamente en obras civiles básicas. Para que las PyMEs locales capturen el valor de las fases de instrumentación y mantenimiento avanzado, se requiere un cierre de brechas en certificación ISO y estándares de seguridad de gases que hoy la mayoría de las PyMEs mineras no poseen.

Brecha BE3: Demanda interna de H2V regional con bajo desarrollo y alta dependencia de mercados externos.

Producto de esta tensión entre la importancia del hidrógeno verde para la transición energética y sus altos costos actuales, la incertidumbre que existe con respecto a la demanda internacional es alta. Actualmente, la demanda mundial de hidrógeno gris es del orden de los 100 millones de toneladas anuales (IEA, 2024). Dado que el hidrógeno verde presenta usos potenciales adicionales al reemplazo del hidrógeno gris, se espera que su demanda alcance una magnitud notablemente superior. Las últimas proyecciones de la Agencia Internacional de la Energía indican una demanda mundial de hidrógeno verde, en forma pura o como derivados, de 49 millones de toneladas anuales al año 2030 y entre 250 y 500 millones de toneladas anuales al año 2050, siendo los principales mercados compradores la Unión Europea y el Asia Pacífico (IEA, 2024).

Durante el estudio para la construcción de la presente hoja de ruta, se cuantificó la demanda interna potencial de la región, resultando en un orden de magnitud de 600 mil toneladas de hidrógeno verde anuales, que contribuirían a sustituir un 27% del consumo de energía de la región, lo cual representa poco más de un 1% de la demanda mundial proyectada a corto plazo (2030).

De esta demanda identificada, el 96% del potencial energético total por sustituir entre todos los sectores identificados corresponde a usos para transporte, siendo el 87% exclusivamente referido al consumo energético de camiones de extracción minera (CAEX), con consumos diarios de 3.000-4.000 litros de diésel por unidad, sumando más de 1.200 equipos en

operación regional (Sernagomin, 2021). Esto resulta en una demanda interna potencial alta desde el punto de vista netamente energético, correspondiente al 41% del consumo total de energía de la región, no obstante, el reemplazo del diésel directamente por hidrógeno no es técnicamente viable, y la adecuación de los equipos para su operación mediante este combustible es altamente costosa, con costos de inversión 2 a 4 veces superiores a camiones diésel comparables (Cleantech Group, 2023), además de presentar incertidumbres tecnológicas en torno a durabilidad y desempeño (Patsnap Eureka, 2025), y también en relación a restricciones de seguridad propias de la actividad principalmente minera en la región; mientras que el uso de derivados de hidrógeno para este fin aún enfrenta desafíos en su desarrollo científico y tecnológico.

Con mayor potencial de mediano plazo se vislumbra el uso de hidrógeno verde y derivados en procesos químicos, no obstante, la región no presenta una industria química de alta demanda para este efecto, salvo excepciones puntuales como la producción de explosivos para la minería que actualmente importa amoníaco para su producción, por lo cual su impacto sería marginal en términos de magnitud energética y de mercado.

Estos factores obligan a los proyectos a depender de contratos de exportación de largo plazo para asegurar su viabilidad.

Brecha BE4: Bajo desarrollo de acciones internacionales que permitan atraer el interés de offtakers para el H2V a generar en la región.

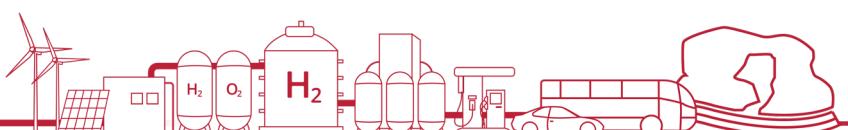
Esta brecha es crítica dado que la industria de H2V en Antofagasta debe diseñarse a una escala que sobrepasa largamente la capacidad de absorción interna, si pretende ser competitiva en precios a nivel internacional. Sin contratos de compra a largo plazo con actores internacionales, los proyectos regionales enfrentan dificultades para alcanzar la Decisión Final de Inversión (FID), lo que mantendrá a la mayoría de las iniciativas en etapas de calificación o aprobación sin materialización.

A la fecha, no se han concretado compromisos de compra de H2V en la región, que asegure la bancabilidad de los proyectos de gran escala. La Unión Europea, a través de la Directiva de Energías Renovables (RED III), exige que el hidrógeno importado cumpla con criterios estrictos de adicionalidad y correlación temporal/geográfica. Chile aún no ha consolidado un sistema de certificación nacional plenamente armonizado con estas normas, lo que actúa como una barrera técnica para atraer a los offtakers europeos. Las primeras subastas del mecanismo H2Global (Alemania) fijaron precios de compra de amoníaco verde en torno a los 1.000 €/t CIF Europa. La región de Antofagasta requiere acciones internacionales proactivas para integrar sus proyectos en estas subastas, ya que el costo de transporte desde el Pacífico añade una desventaja logística frente a productores del Norte de África o Medio Oriente (H2Global Stiftung, 2024).

Brecha BE5: Percepción de largos tiempos promedio de tramitación de proyectos de H2V en el SEA.

Esta brecha identifica que la complejidad técnica de los proyectos de H2V —que suelen integrar generación renovable, plantas desaladoras, ductos y plantas químicas— choca en algunas ocasiones con un sistema de evaluación que los trata de forma fragmentada, extendiendo los plazos mucho más allá de lo previsto por los inversionistas.

El indicador base de desempeño regional establece que el tiempo promedio para la obtención de una Resolución de Calificación Ambiental (RCA) para proyectos de H2V que ingresan mediante un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) es de 19 a 20 meses.



Durante el período de diagnóstico, los desarrolladores señalan que la carencia de datos ambientales públicos validados por el Estado obliga a cada proyecto a realizar estudios desde cero, lo que representa una falla de coordinación que extiende la fase de preparación y revisión de los EIA.

Brecha BE6: Falta de instrumentos financieros que permitan fomentar y viabilizar la inversión extranjera en proyectos de H2V y derivados.

Esta brecha representa otro obstáculo para que los proyectos en la región alcancen la Decisión Final de Inversión (FID). La industria local enfrenta un escenario de altos costos iniciales y riesgos de mercado que los instrumentos financieros actuales no logran cubrir en su totalidad, dejando a Antofagasta en desventaja frente a otros polos globales altamente subsidiados.

El costo nivelado del hidrógeno (LCOH) en Antofagasta se sitúa actualmente sobre los 3 USD/kg, según la Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde de Chile (Ministerio de Energía, 2020). Para alcanzar la paridad con los combustibles fósiles y ser atractivos para los inversionistas sin subsidios permanentes, este costo debe reducirse a menos de 1,5 USD/kg, lo que representa una brecha de costo del 50% que hoy no cuenta con mecanismos de cobertura de diferencial.

Mientras Chile ofrece incentivos tributarios transitorios (como el crédito contra el Impuesto de Primera Categoría con un fondo de 2.800 MUSD a repartir a nivel nacional), competidores directos cuentan con mecanismos más agresivos. Estados Unidos, a través de la Inflation Reduction Act (IRA), otorga un crédito fiscal directo de hasta 3 USD/kg de H2V, lo que puede cubrir la totalidad del LCOH actual de Antofagasta, atrayendo capital extranjero que de otro modo vendría a Chile.

La falta de mecanismos de “de-risking” (mitigación de riesgo) o contratos por diferencia (CfD) similares a los del Banco Europeo de Hidrógeno mantiene el riesgo financiero en niveles que dificultan la entrada de banca comercial y fondos de inversión extranjeros.

Brecha BE7: El costo de producción del hidrógeno verde en el corto plazo no es competitivo en sus distintos usos.

La viabilidad económica de esta industria es aún incierta, dado que los costos de producción del hidrógeno verde hoy son considerablemente superiores a los del hidrógeno gris, y también superiores a los del diésel para un mismo contenido energético útil, sumado a que en su proceso de conversión y reconversión para uso como “vector energético” (exportación de energía) se producen muchas ineficiencias que redundan en costos de energía finales aún prohibitivos para la realidad de los mercados actuales. Una forma de reducir los costos de producción de este energético es aumentar la escala de producción, lo cual a su vez requiere que exista una demanda que justifique las inversiones asociadas, por lo tanto, se está en una situación donde el rol de los Estados puede ser altamente relevante en la generación de incentivos y otros mecanismos que permitan coordinar a los distintos actores.

La actualización de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde por parte del Ministerio de Energía considerará preliminarmente un costo nivelado del hidrógeno verde (LCOH) al 2030 de entre 2,936 a 4,173 USD/kg, disminuyendo hasta un rango de 1,439 a 2,274 USD/kg al 2060. Se estima como valor económicamente competitivo un LCOH entre 1 y 2 USD/kg, que corresponde al rango de costo nivelado actual del hidrógeno gris (Montel, 2025).

Brecha BE8: Falta de incentivos para el uso de hidrógeno verde y sus derivados orientado a la descarbonización de sectores productivos con potencial en la región.

Ante la incertidumbre con respecto a la demanda interna, hacen falta incentivos públicos y privados para el uso de hidrógeno verde y sus derivados orientado a la descarbonización de sectores productivos con potencial en la región, tales como el transporte pesado y la minería. Existe un proyecto de ley de “Fomento a la Industria del Hidrógeno Verde” que constituye un primer paso en esta dirección.

Chile cuenta con un impuesto al carbono de 5 USD/ton de CO₂, el cual es calificado como “demasiado bajo” para incentivar la descarbonización efectiva (Benigna Cortés Leiss, 2023). Fuentes señalan que se requiere elevar este impuesto al menos a 35 USD/ton de CO₂ para que el H2V comience a ser una alternativa financiera real frente al diésel y el gas natural.

El potencial de descarbonización local mediante el uso de H2V en sectores estratégicos es de 4,84 Mt CO₂/año. A un costo social de carbono estimado de 5.000 CLP/ton, la falta de incentivos para capturar este beneficio representa una pérdida de valor ambiental de 43 BCLP/año en el largo plazo.

4.4 DIMENSIÓN GOBERNANZA Y NORMATIVA

4.4.1. EJE 1: ACCESO A INFORMACIÓN

Brecha BG1: Falta de acceso a datos actualizados de monitoreo ambiental, social, territorial y económicos, que permitan garantizar la transparencia de la industria del hidrógeno verde.

Esta brecha identifica una asimetría de información entre las empresas desarrolladoras, el Estado y las comunidades locales. La falta de un repositorio público y centralizado impide la vigilancia ciudadana y dificulta la toma de decisiones basadas en evidencia científica.

En la etapa de diagnóstico de esta Hoja de Ruta, se observó que existe una percepción ciudadana de que diversos estudios de impacto financiados por privados no son de conocimiento público. Esto es especialmente sensible en el caso de las plantas desaladoras, donde la percepción de falta de transparencia sobre la composición de las salmueras y su dispersión genera desconfianza en el 19% de la ciudadanía, cuya preocupación principal es el impacto hídrico.

Según la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2024), para que el hidrógeno verde de Antofagasta pueda acceder a los mercados europeos, debe cumplir con protocolos de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) que exigen una transparencia total sobre la huella de carbono del ciclo de vida. La falta de datos locales verificables impide que los proyectos chilenos demuestren el umbral de reducción del 70% de emisiones exigido por la normativa RFNBO de la Unión Europea.

4.4.2. EJE 2: GOBERNANZA

Brecha BG2: Necesidad de actualizar y mejorar la representatividad y rol de la gobernanza regional del hidrógeno verde, de tal forma de garantizar la participación más activa y permanente de la academia, la industria y la sociedad civil, además del sector público.





La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2024) destaca que los “Valles de Hidrógeno” exitosos a nivel mundial (como HEAVENN en Países Bajos) basan su competitividad en un modelo de gobernanza de cuádruple hélice, donde la academia y la sociedad civil tienen voto en la planificación de la infraestructura compartida para evitar el rechazo social.

De ese modo, se detecta un desafío de coordinación institucional que requiere la modificación de la actual composición y funcionamiento de la Comisión Regional de Hidrógeno Verde y su Comité Ejecutivo. Es imperativo ampliar el abanico de representación para consolidar una gobernanza multiactor efectiva, que integre formalmente en la toma de decisiones estratégicas al sector público, al sector privado, tanto grandes empresas como PyMEs locales, la academia y a la sociedad civil organizada. Esto es esencial para validar los acuerdos, propender a la licencia social e implementar las metas y acciones de esta Hoja de Ruta.

En este contexto, resulta prioritario establecer vínculos estrechos con la industria minera, actor clave dado su alto potencial de reconversión tecnológica y su rol como cliente ancla para la demanda interna de hidrógeno verde. Para operacionalizar esta sinergia, la Estrategia Minera de la Región de Antofagasta (EMRA) se posiciona como la instancia de articulación idónea, permitiendo alinear los objetivos de descarbonización sectorial con el desarrollo de este nuevo polo productivo regional.

Por otra parte, la resolución que constituye dicha Comisión carece de estatutos y reglas de funcionamiento, haciéndose necesario establecer un reglamento interno para la toma de decisiones.

4.4.3. EJE 3: NORMATIVA

Brecha BG3: Instrumentos estratégicos, de planificación y de ordenamiento territorial inexistentes o desactualizados y sin consideraciones explícitas para el desarrollo de la industria del H2V y derivados.

Esta brecha identifica que la normativa que rige el uso del suelo no ha seguido el ritmo de la transición energética, lo que genera una distribución inorgánica de los proyectos basada en la disponibilidad de terrenos fiscales y no en una planificación estratégica regional.

En ese sentido, los instrumentos de planificación territorial, tanto de escala comunal como intercomunal, deben ser actualizados incorporando dentro de sus propuestas de zonificación y usos de suelo criterios explícitos asociados a hidrógeno verde y sus derivados. De particular relevancia son los instrumentos que están en proceso de actualización, como el Plan Regulador Intercomunal del Borde Costero y los Planes Reguladores Comunales de Antofagasta y Mejillones, ya que pueden incorporar en el corto plazo dichos criterios, además de otras comunas cuyos PRC están desactualizados.

Lo mismo debe ocurrir con los instrumentos estratégicos y de ordenamiento territorial a cargo del Gobierno Regional. Actualmente se está actualizando la Estrategia Regional de Desarrollo, instrumento rector de la planificación regional que definirá la visión de desarrollo para las próximas décadas, y la Zonificación del Borde Costero que es vinculante para las concesiones marítimas. Por último, se observa que la región no cuenta con el Plan Regional de Ordenamiento Territorial, debido a que su reglamento no ha sido tomado de razón por la Contraloría General de la República. Este es un instrumento esencial ya que permitiría regular usos en áreas rurales de la región que, en base a información del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, asciende a cerca del 99% del territorio regional.

Brecha BG4: Falta de normativas técnicas específicas para la industria del H2V que además se potencia con una débil coordinación entre los niveles políticos y técnicos central y regional.

Esta brecha representa un riesgo de incertidumbre jurídica que desincentiva la inversión de largo plazo. Mientras la tecnología avanza a nivel global, el marco normativo chileno avanza a un ritmo más lento que las necesidades de la industria, lo que genera cuellos de botella en la aprobación de proyectos y conflictos en el uso del suelo regional.

El Ministerio de Energía ha desarrollado y se encuentra trabajando en el “Plan de trabajo de regulaciones habilitantes para el desarrollo de la industria de hidrógeno en Chile 2024 – 2030”, que define la hoja de ruta normativa necesaria para habilitar la cadena de valor del hidrógeno verde en el país. Este plan establece plazos y acciones concretas que involucran a los ministerios de Energía, Economía, Salud, Transporte y Minería, buscando transitar desde una regulación que trataba al hidrógeno solo como sustancia peligrosa hacia una que lo considere un vector energético. Su implementación es fundamental para brindar certeza técnica y legal a los inversionistas.

Ante la falta de normas como por ejemplo la relativa a estaciones de carga (hidrolineras) y redes de transporte, el 100% de estas iniciativas deben tramitarse como “proyectos especiales” ante la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC). Este proceso obliga a evaluaciones caso a caso, lo que genera inconsistencias técnicas y discrecionalidad administrativa, elevando el riesgo regulatorio.

Se han identificado también en el pasado desconexiones importantes entre el nivel central y regional, como el caso del programa nacional “Ventana al Futuro” del Ministerio de Bienes Nacionales, que otorgó concesiones de terrenos fiscales para H2V que, en la práctica, presentaban restricciones ambientales y territoriales previas no detectadas por el nivel central. Esta falta de articulación técnica genera proyectos inviables desde su origen.





Taltal- foto Sernatur

IMAGEN OBJETIVO



5 IMAGEN OBJETIVO

5.1 CARACTERIZACIÓN DE ESCENARIOS ESTRATÉGICOS 2035-2050

La Hoja de Ruta define dos horizontes temporales que deberán marcar la evolución de la industria del H2V en la Región de Antofagasta, transitando desde una etapa de despliegue temprano hasta uno de largo plazo donde se busca consolidación de un nuevo pilar económico regional.

Para cada uno de estos escenarios se plantea una meta de producción esperada de Hidrógeno Verde en millones de toneladas anuales (Mtpa) y cabe señalar que la hoja de ruta se posicionará principalmente en el primer periodo hasta el año 2035, sin embargo, es de relevancia contemplar un escenario a más largo plazo (2050) que permita dar continuidad para alcanzar una industria consolidada y con relevancia en el mercado internacional:

Escenario 2035 - Referencia Temprana

Este escenario proyecta una producción anual de **0,5 millones de toneladas anuales de hidrógeno verde**, basada en la concreción de la cartera de proyectos que actualmente cuentan con aprobación ambiental o se encuentran en etapas avanzadas de factibilidad, los cuales totalizan una producción de este orden de magnitud.

Escenario 2050 - Consolidación Industrial

Representa la madurez de la industria con una producción de **2,4 millones de toneladas anuales de hidrógeno verde**, con lo cual se alcanzaría un volumen del mercado equivalente al 30% de la minería actual.

La siguiente gráfica muestra la curva de Escenarios Estratégicos de Producción definidos a partir de estos dos puntos y la situación actual sin producción:

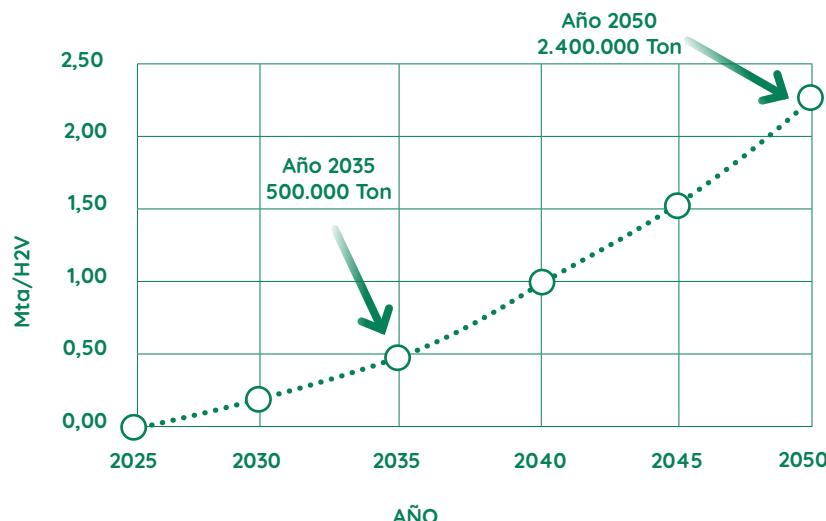


Figura 22. Curva de Escenarios Estratégicos de Producción.

La Tabla 5 presenta, por un lado, externalidades positivas, tales como la generación de empleo, el aporte al PIB y la reducción de emisiones de CO₂, y por otro, las externalidades negativas, entre ellas el uso de suelo y el consumo de agua. Adicionalmente, se incluyen otras métricas relevantes que permiten comparar los escenarios seleccionados entre sí. Cabe señalar que se han considerado los siguientes parámetros y valores de referencia en los cálculos presentados:

- **Precio de mercado:** el Ministerio de Energía considera rangos de costo nivelado de producción de hidrógeno verde (LCOH, por sus siglas en inglés) en la actualización de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde para los años 2030, 2035, 2045, 2050 y 2060. Las proyecciones promedio para los años 2035 y 2050 son de 3,0795 USD/kg y 2,0385 USD/kg, respectivamente. Para efectos de estimación de precios de mercado, se ha considerado un 10% de utilidad sobre estos costos nivelados promedio, además de un tipo de cambio de 1.000 CLP/USD, lo cual explica los valores indicados en la Tabla 5.
- **Consumo de energía:** se han considerado los parámetros definidos en la actualización de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde por parte del Ministerio de Energía, es decir, un consumo de energía de 60,5 kWh/kgH₂ en la planta de electrólisis y un consumo de energía de 4,7 kWh/m³H₂O en el proceso previo de desalinización y suministro de agua.
- **Factor de carga de planta de electrólisis:** se han considerado 5.000 horas de operación anuales, para efectos de cálculo de la potencia instalada de electrólisis requerida.
- **Factor de planta ERNC:** se han considerado 2.500 horas de operación anuales equivalentes a potencia nominal, lo cual corresponde a un factor de planta del 28,5%, el cual es alcanzable en la región mediante tecnologías fotovoltaicas actuales con celdas bifaciales y sistemas de seguimiento.
- **Densidad territorial de potencia:** se ha considerado una densidad de potencia fotovoltaica de 2,8 ha/MW, valor promedio de una revisión estadística realizada por el Ministerio de Energía e informada para efectos del desarrollo de esta hoja de ruta.
- **Consumo de agua:** se han considerado los parámetros definidos en la actualización de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde por parte del Ministerio de Energía, es decir, un consumo de agua de 9,0 l/tH₂O/kgH₂ en el proceso de electrólisis más 22,0 l/tH₂O/kgH₂ para refrigeración, totalizando un consumo efectivo de 31,0 l/tH₂O/kgH₂.
- **Uso local:** se ha considerado como supuesto que un 5% de la producción de hidrógeno verde se emplee en usos locales. Para estimar el potencial de reducción local de emisiones de CO₂, se considera un factor de 71,7 tCO₂eq/tH₂, el cual se deriva del estudio de potencial de demanda interna realizado en el marco de la construcción de esta hoja de ruta.
- **Generación de empleo:** tras revisar distintas fuentes, se ha constatado que no existe una metodología única para estimar el empleo asociado al hidrógeno verde, no obstante, la comparación de referencias realizada permite identificar órdenes de magnitud consistentes. Así, para efectos de estimar los impactos laborales, sin pretensión de predicción exacta, se han considerado 2 empleos a tiempo completo (ETC, contando empleos directos e indirectos) por año por MW de electrólisis en la fase de construcción y 0,5 empleos a tiempo completo por año por MW en la fase de operación.



Tabla 5: Caracterización de escenarios a 2035 y 2050.

VARIABLE	UNIDAD	Escenario 2035	Escenario 2050
PARÁMETROS ECONÓMICOS			
Precio de mercado	USD/kgH2	3,387	2,242
Producción de H2V	MtH2/año	0,5	2,4
PIB	BCLP	1,7	5,4
DIMENSIONAMIENTO TÉCNICO			
Energía renovable requerida	GWh/año	30.323	145.550
Potencia renovable requerida	MW	12.129	58.220
Potencia electrólisis requerida	MW	6.065	29.110
EXTERNALIDADES TERRITORIALES Y AMBIENTALES			
Ocupación del territorio	km ²	340	1.630
Consumo de agua	Hm ³ /año	15,5	74,4
Reducción de emisiones locales	MtCO2eq/año	1,8	8,6
EXTERNALIDADES SOCIALES (EMPLEO)			
Generación de empleo en fase de construcción	ETC/año	12.129	58.220
Generación de empleo en fase de operación	ETC/año	3.032	14.555

5.2 VISIÓN DE DESARROLLO

Como se ha evidenciado a lo largo del análisis de brechas, la evaluación de escenarios y el desarrollo de los talleres participativos de imagen-objetivo, el proceso de construcción de visión ha permitido profundizar en la identidad regional y en la forma en que el desarrollo del hidrógeno verde en la Región de Antofagasta se proyecta desde dicha identidad. Estas instancias, que integraron ideas fuerza provenientes de comunidades, actores públicos y privados, instituciones regionales y especialistas sectoriales, permitieron validar percepciones, clarificar prioridades y contrastar alternativas de futuro coherentes con la trayectoria productiva del territorio y sus aspiraciones a largo plazo.

En este contexto, se elaboraron y evaluaron distintas alternativas de visión regional al año 2050. Estas propuestas fueron sometidas a revisión técnica y a contraste en espacios deliberativos, con el objetivo de arribar a una visión única que oriente la Hoja de Ruta hacia un horizonte estratégico común. La visión propuesta busca capturar el carácter transformador del hidrógeno verde, su alineación con los desafíos climáticos y productivos del país, y su capacidad de generar valor social, económico, ambiental y territorial de manera sostenible.

Finalmente, se ha consensuado la siguiente visión para el desarrollo de la economía del hidrógeno en la Región de Antofagasta, la cual orienta la definición de objetivos, metas y acciones:

Al 2050, la Región de Antofagasta será líder nacional y polo mundial en producción de hidrógeno verde y sus derivados, tanto para uso local como para exportación, diversificando su matriz productiva e impulsando una transición energética justa y sostenible.

5.3 LINEAMIENTOS

La visión consensuada constituye el marco orientador para el desarrollo de la economía del hidrógeno verde en la región y se operacionaliza a través de cuatro lineamientos prioritarios. En este marco, la visión y los objetivos se proyectan al año 2050, mientras que las metas se establecen al año 2035, configurándose como la matriz de referencia para la definición y articulación de acciones de corto plazo (primer trienio 2026-2028), mediano plazo (segundo trienio 2029-2030) y largo plazo (tercer cuatrienio 2031-2035), en coherencia con la temporalidad del Programa Transforma.

Tal como se presenta en la Figura 23, la Hoja de Ruta se estructura en cuatro dimensiones, a partir de las cuales se definieron cuatro lineamientos estratégicos, uno por cada dimensión, que orientan la implementación de acciones y el seguimiento de avances.

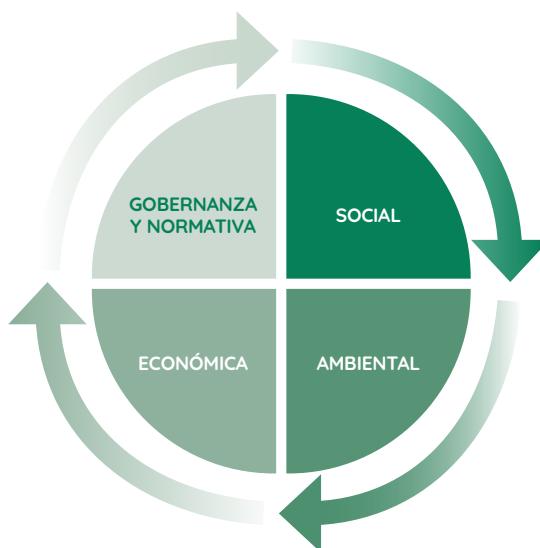


Figura 23. Dimensiones de la Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde de la Región de Antofagasta.

Lineamiento de la dimensión social: Transición justa centrada en las personas

Promover el hidrógeno verde como motor de bienestar social, generando empleo de calidad, fortaleciendo capacidades locales y asegurando una distribución equitativa de los beneficios, mediante participación temprana, inclusión territorial y diálogo permanente con las comunidades.

Lineamiento de la dimensión ambiental: Protección del territorio y uso responsable de los recursos

Garantizar un desarrollo sostenible del hidrógeno verde mediante una gestión eficiente del agua, la energía y el suelo, el resguardo del patrimonio cultural y ambiental, y una planificación territorial que armonice las actividades productivas con la conservación de los ecosistemas y la resiliencia territorial.

Lineamiento de la dimensión económica: Competitividad e innovación industrial

Impulsar una matriz productiva diversificada basada en innovación, pilotaje y articulación



público-privada, promoviendo el desarrollo de industrias emergentes, infraestructura compartida y marcos habilitantes que fortalezcan la competitividad regional en hidrógeno verde y sus derivados.

Lineamiento de la dimensión gobernanza y normativa: Coordinación, regulación eficiente y gestión integrada

Consolidar una gobernanza robusta que articule al Estado, el sector privado, la academia y las comunidades, fortaleciendo capacidades institucionales, regulaciones claras, mecanismos de monitoreo territorial y espacios de coordinación que aseguren eficiencia, transparencia y coherencia en la implementación de la Hoja de Ruta.

5.4 OBJETIVOS, METAS, ACCIONES E INDICADORES DE DESEMPEÑO

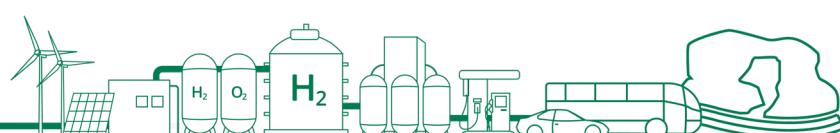
A continuación, se presentan las cuatro secciones correspondientes a cada una de las dimensiones abordadas en la Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde introducidas en la Figura 23. En cada sección se detallan los objetivos, las metas, las acciones y los indicadores de desempeño asociados, con el fin de entregar una visión integrada y trazable del proceso de implementación.

En términos de objetivos, se definió un total de 14 objetivos, distribuidos en 4 objetivos para la dimensión social, 4 para la dimensión ambiental, 4 para la dimensión económica y 2 para la dimensión de gobernanza y normativa. A estos objetivos se asocian 33 metas específicas, las cuales fueron acordadas de manera participativa y asignadas a cada objetivo correspondiente. Con el propósito de facilitar el seguimiento, la trazabilidad interna y el monitoreo de avances, se propone la implementación de un sistema de codificación, en el cual el primer número identifica el objetivo al que la meta da seguimiento y el segundo corresponde a un número secuencial que distingue cada meta asociada a un mismo objetivo. Esta información se presenta en cada una de las secciones correspondientes a las distintas dimensiones.

Adicionalmente, se definió un total de 46 acciones, cada una de las cuales cuenta con una entidad responsable de su coordinación. Estas responsabilidades se asignan al Gobierno Regional de Antofagasta (identificado con la letra G), a la Comisión Regional de Hidrógeno Verde (C) o a la gobernanza del Programa Transforma (T). Del total de acciones, 15 corresponden a la dimensión social, 7 a la dimensión ambiental, 16 a la dimensión económico-productiva y 8 a la dimensión de gobernanza y normativa.

Las acciones se organizan y presentan en cuatro tablas, una por dimensión, las cuales constituyen los respectivos diagramas de Gantt para su ejecución en un horizonte total de diez años, estructurado en tres períodos temporales: primer trienio (2026-2028), segundo trienio (2029-2031) y cuatrienio final (2032-2035). Este esquema se ha estructurado bajo una lógica de árbol que vincula objetivo, meta, acción, horizonte temporal y entidad coordinadora, facilitando la lectura y el seguimiento del plan de implementación (Ver Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9).

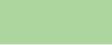
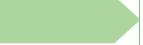
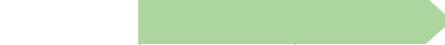
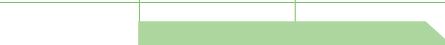
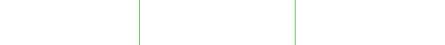
Finalmente, este capítulo incorpora el conjunto de indicadores de desempeño definidos para cada una de las dimensiones. A cada meta acordada se le ha asignado un indicador específico, totalizando 40 indicadores, distribuidos en 11 para la dimensión social, 8 para la dimensión ambiental, 14 para la dimensión económico-productiva y 7 para la dimensión de gobernanza y normativa. Estos indicadores se presentan de manera sistematizada en cuatro tablas resumen, junto con sus respectivas metas asociadas, permitiendo el monitoreo periódico del avance y el cumplimiento de la Hoja de Ruta (Ver Tabla 10, Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13).



5.4.1. Dimensión Social

Tabla 6 : Resumen de objetivos, metas y acciones de la Hoja de Ruta, para la dimensión social.

	Nº	Objetivo asociado		Brechas Identificadas		Metas al 2035
SOCIAL	1	Colaborar en el acceso equitativo a vivienda, servicios básicos y equipamiento urbano, de modo que el crecimiento poblacional se gestione de forma ordenada, resiliente y centrado en las personas.	B.S.1	Déficit de infraestructura social, vivienda y servicios básicos en especial en comunas industriales y propicias al desarrollo de la industria de Hidrógeno Verde.	1.1	Actualizar cada 5 años la información relativa a provisión de servicios públicos y vivienda, considerando el crecimiento poblacional de la industria de H2V y derivados.
			B.S.2	Ausencia de una estrategia y mecanismos que permitan atraer y retener capital humano en la región.	1.2	Aspirar a que el 50% de los nuevos residentes asociados a la industria del H2V y derivados se instalen de forma definitiva en los territorios.
2		Fortalecer el empleo local y la salud ocupacional, la seguridad laboral y los planes de emergencia, promoviendo un entorno laboral justo, seguro y sostenible.	B.S.3	Falta de políticas y mecanismos que prioricen la contratación y provisión de fuerza laboral regional.	2.1	Propender a un 65% de participación de mano de obra local en proyectos de H2V y derivados.
			B.S.4	Persistente brecha de género en especial en sectores industriales y relacionadas con las STEM.	2.2	Alcanzar un 50% de participación femenina en puestos de trabajo de H2V y derivados.
			B.S.5	Percepción ciudadana de inseguridad relativa a los puestos laborales y el entorno de la industria del H2V.	2.3	Mantener la Tasa Total de Incidentes Registrables (TRIR) inferior a 1
3		Impulsar el desarrollo de capacidades locales mediante educación ambiental, formación técnica y profesional pertinente al H2V y derivados.	B.S.6	Falta de alineación entre la oferta educativa existente y las necesidades futuras de la industria del H2V, en especial en procesos electroquímicos.	3.1	Diseñar programas formativos especializados en H2V.
			B.S.7	Falta de programas de estimulación temprana y difusión científica enfocados en las tecnologías del Hidrógeno Verde y energías renovables en educación escolar y técnica.	3.2	Capacitar al menos 2.500 personas en temas de la cadena de valor del H2V y derivados.
4		Promover un desarrollo de la industria del Hidrógeno Verde que genere beneficios sociales y ambientales.	B.S.8	Percepción ciudadana de que los beneficios de la industria solo serán percibidos por el sector privado y no por las comunidades, en una región donde el desarrollo industrial históricamente ha generado impactos socio-ambientales.	4.1	Incorporar planes de inversión social, comunitaria y cultural en el 100% de los proyectos de H2V y derivados ingresados al SEIA, elaborados en conjunto con las comunidades.
			B.S.9	Falta de conocimiento en la región de los beneficios y reales impactos de la industria del H2V y derivados.	4.2	Implementar 3 instrumentos para difusión pública y levantamiento de intereses ciudadanos relativos a la industria del H2V y derivados.

SOCIAL	Indicador (V1.4)	Nº	Acciones	TRIENIO 2026-2028	TRIENIO 2029-2031	TRIENIO 2032-2035	COOP.
	S1	1	Estudio quinquenal de brechas de infraestructura y servicios urbanos, a nivel comunal.				G
S2		2	Financiamiento regional para políticas habitacionales y desarrollo de equipamientos urbanos				G
		3	Instancia público-privada para explorar mecanismos corporativos que incentiven la residencia habitual en la región y la descarbonización por disminución de comutación interregional.				C
S3/S4		4	Acuerdo público-privado para fortalecer la empleabilidad local y la participación femenina en proyectos regionales de H2V y derivados.				C
	S5						
S6	5		Monitoreo anual de estandares de seguridad ocupacional y protocolos de respuesta ante emergencias para proyectos de H2V y derivados.				T
57	6		Diagnóstico de oferta formativa y diseño curricular asociado a H2V a partir de perfiles de Chile Valora.				T
58		7	Plan regional de capacitación, reconversión laboral y educación continua en el marco de la transición socio-ecológica justa				G
		8	Programa de becas para capacitación en temáticas asociadas a la cadena de valor de H2V.				G
59		9	Módulo piloto con fines educativos centrado en estudiantes de educación básica y media de la región.				T
		10	Módulo piloto con fines educativos centrado en estudiantes de formación técnica de la región.				T
510		11	Mesa de diálogo para la coordinación entre actores públicos, privados y comunitarios, orientada a definir líneas de acción conjuntas a implementar en planes de inversión de proyectos de H2V y derivados.				C
		12	Financiamiento privado para la puesta en valor de al menos 2 sitios patrimoniales y/o de interés cultural				T
511		13	Plan de difusión ciudadana para reducir brechas de conocimiento en relación con la industria del H2V y sus derivados				T
		14	Encuesta trianual con representatividad provincial o regional para medición de la percepción comunitaria respecto de la industria del H2V y sus derivados				T
		15	Firma de acuerdo voluntario de participación ciudadana temprana para al menos 1 proyecto de H2V y/o derivados en etapa de diseño				C

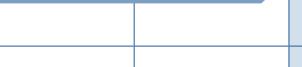
G: Gobierno Regional de Antofagasta. C: Comisión Regional de Hidrógeno Verde. T: Gobernanza del Programa Transforma.



5.4.2. Dimensión Ambiental

Tabla 7: Resumen de objetivos, metas y acciones de la Hoja de Ruta, para la dimensión ambiental.

AMBIENTAL	Nº	Objetivo asociado		Brechas Identificadas		Metas al 2035
	5	Gestionar el agua, proveniente del reuso o la desalación, de manera sostenible, eficiente y equitativa.	B.A.1	Percepción ciudadana de que la industria del H2V contribuirá a aumentar el déficit hídrico de la región.	5.1	Asegurar que el 100% del agua utilizada en proyectos de H2V y derivados provenga de fuentes no continentales limpias.
	6	Promover la economía circular y la valorización de residuos en toda la cadena del H2V y derivados.	B.A.2	Ausencia de un marco normativo claro para la desalación y el manejo ambiental de salmueras.	5.2	Garantizar que el 60% de los proyectos de desalación asociados a H2V y derivados implementen medidas de valorización de la salmuera.
	7	Levantar periódicamente datos de monitorización de los impactos ambientales asociados a la industria del H2V y derivados, de acceso público y definiendo medidas de mitigación y compensación.	B.A.3	Percepción ciudadana de que la industria del H2V y en especial las plantas de energía solar generan un impacto ambiental importante y generarán gran cantidad de residuos al final de su vida útil.	6.1	Incorporar la valorización de al menos 50% de residuos generados por la industria del H2V y sus derivados.
	7		B.A.4	Falta de confianza, en especial desde las comunidades del real impacto ambiental y de la implementación de medidas de mitigación efectivas por parte de la industria del hidrógeno verde.	7.1	Publicar anualmente un informe ambiental regional consolidado de la industria del H2V y derivados, con acceso abierto a datos de emisiones, consumo de recursos, impactos y medidas de mitigación.
	8	Promover el resguardo de ecosistemas, biodiversidad, paisajes, cielos astronómicos y sitios culturalmente sensibles.	B.A.5	Falta de apoyo público en la generación de líneas base ambientales de sitios priorizados para el desarrollo de proyectos de H2V, disponibles para desarrolladores privados y que permitan agilizar los tiempos de tramitación de los proyectos.	8.1	Garantizar que el 100% de los proyectos de H2V y derivados incorporen iniciativas de protección de ecosistemas y biodiversidad.
					8.2	Levantar cada 5 años información de base en zonas priorizadas por instrumentos de planificación.

Indicador (V1.4)	Nº	Acciones	TRIENIO 2026-2028	TRIENIO 2029-2031	TRIENIO 2032-2035	CORD
AMBIENTAL	A1/A2	16 Protocolo regional para el uso exclusivo de agua desalada o reuso de agua en actividades productivas y fomento de infraestructura compartida.				G
	S2	17 Programa público-privado de escalamiento tecnológico para la valorización integral de salmuera y mitigación de impactos marinos de la desalación.				T
	A4	18 Plan regional para la valorización de residuos industriales, con énfasis en reciclaje de paneles solares.				T
	A6	19 Publicación de informe ambiental integrado de proyectos de H2V y derivados en construcción y operación con identificación de brechas en medidas de mitigación.				T
	A7	20 Desarrollo de Acuerdos de Producción Limpia (APL) para proyectos de H2V y derivados, con foco en monitoreo integrado e implementación de medidas de mitigación				C
	A8	21 Formulación de medidas ambientales eficaces para la protección ecosistémica y biodiversidad aplicables a proyectos H2V y derivados				T
		22 Estudio quinquenal de Líneas de Base Públicas, con levantamiento de información primaria y secundaria				G

G: Gobierno Regional de Antofagasta. C: Comisión Regional de Hidrógeno Verde. T: Gobernanza del Programa Transforma.



5.4.3. Dimensión Económica

Tabla 8: Resumen de objetivos, metas y acciones de la Hoja de Ruta, para la dimensión económica.

Nº	Objetivo asociado	Brechas Identificadas	Metas al 2035	
9	Impulsar el desarrollo de infraestructura compartida para el H2V, derivados y otras actividades productivas, asociadas a Corredor Bioceánico Capricornio y las industrias de minería metálica y no metálica, entre otras.	B.E.1	Falta de coordinación e incentivos para desarrollar infraestructura compartida.	9.1 Desarrollar al menos 1 nueva infraestructura compartida e interoperable asociada a H2V, derivados y otras actividades productivas asociadas a Corredor Bioceánico Capricornio y las industrias de minería metálica y no metálica
				9.2 Impulsar que al menos 1 de la infraestructura construida para H2V y/o derivados sea interoperable con otras industrias.
				9.3 Ejecutar una iniciativa logística para la exportación, distribución y/o almacenamiento de H2V y sus derivados.
10	Contribuir a diversificar el tejido productivo regional, promoviendo el desarrollo de PyMEs locales e impulsando productos derivados del H2V con valor agregado para su consumo en el mercado local, nacional y global.	B.E.2	Carenicia de proveedores locales y PyMEs en la región que puedan ser parte de la cadena de valor de la industria del H2V	10.1 Integrar un 30% de PyMEs a la cadena de valor del H2V
			B.E.3	10.2 Implementar al menos 2 proyectos piloto de reconversión y sustitución energética en sectores prioritarios.
			B.E.4	10.3 Desarrollar al menos 4 instancias con alcance interregional y/o internacional de promoción de la demanda externa de H2V y derivados de la Región de Antofagasta.
11	Promover la instalación de un polo de H2V y sus derivados en la región, mediante la provisión de garantías financieras transitorias y la reducción de los plazos de otorgamiento de permisos.	B.E.5	Percepción de largos tiempos promedio de tramitación de proyectos de H2V en el SEA.	11.1 Propender a reducir en un 30% los tiempos promedio de tramitación de proyectos de H2V en el SEA.
			B.E.6	11.2 Haber implementado instrumentos financieros transitorios para proyectos estratégicos que permitan fomentar la inversión extranjera.
			B.E.7	11.3 Posicionar a la Región de Antofagasta como una de las tres zonas con menor costo nivelado de producción de hidrógeno verde (LCOH) de Sudamérica.
12	Impulsar la descarbonización local mediante sinergias entre la industria del H2V, la minería, el transporte y otras economías del territorio, promoviendo articulaciones productivas que generen beneficios y contribuyan a la transición energética regional y nacional.	B.E.8	Falta de incentivos para el uso de hidrógeno verde y sus derivados orientado a la descarbonización de sectores productivos con potencial en la región.	12.1 Reducir en un 20 % las emisiones locales de CO ₂ asociadas a sectores intensivos en energía mediante el uso de H2V y derivados.

ECONÓMICO	Indicador (V1.4)	Nº	Acciones	TRIENIO 2026-2028	TRIENIO 2029-2031	TRIENIO 2032-2035	CORD
E1		23	Estudio quinquenal de brechas de infraestructura y servicios urbanos, a nivel comunal.				T
		24	Financiamiento regional para políticas habitacionales y desarrollo de equipamientos urbanos				G
E2		25	Articulación público-privada o privada-privada para la constitución de acuerdos de interoperabilidad de infraestructura.				G
E3		26	Un proveedor logístico ofreciendo servicios para la exportación, distribución y/o almacenamiento de H2V y derivados.				T
E4		27	Programa Regional para la Promoción y Buenas Prácticas en la Contratación de Proveedores Locales para la cadena de valor de la Industria de H2V y sus derivados.				T
		28	Acompañamiento de al menos un proyecto de H2V y/o derivados en su proceso de contratación de proveedores locales y verificación del cumplimiento de buenas prácticas.				T
E5/E6		29	Identificación y compromiso de al menos 2 actores de los sectores minería, movilidad, energía y/o servicios para desarrollar pilotos de reconversión.				T
		30	Gestión de financiamiento y desarrollo de 2 pilotos específicos de reconversión a H2V.				T
E7/E8		31	Desarrollo de al menos 2 eventos en la región para promover intercambios comerciales, científicos y/o tecnológicos con actores interregionales y/o internacionales.				T
		32	Gestión de al menos 2 viajes de delegaciones regionales a zonas de interés				T
E9		33	Instancias de socialización temprana con OAECA de proyectos ingresados al SEA, como presentaciones, visitas a terreno, entre otros.				T
		34	Grupos de trabajo para crear o clarificar instructivos del SEA para proyectos de H2V, capacitar a titulares en instrumentos de planificación y ordenamiento territorial, entre otros.				T
E10		35	Gestión para canalizar mecanismos financieros nacionales y/o internacionales para catalizar inversiones privadas en proyectos de H2V y derivados.				T
E11/E12/ E13/E14		36	Bien Público para estudio de la estructura de costo del hidrógeno en la región, identificando los principales drivers técnicos, regulatorios y económicos que permitan la reducción paulatina de costos.				T
		37	Difusión de sistema de compensación de emisiones y su beneficio en el uso de H2V y derivados.				T
E15		38	Dos proyectos de la región establecen metas de reducción de CO ₂ en el marco de procesos de Transición Socio-Ecológica Justa y el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero.				C

G: Gobierno Regional de Antofagasta. C: Comisión Regional de Hidrógeno Verde. T: Gobernanza del Programa Transforma.



5.4.4. Dimensión gobernanza y Normativa

Tabla 9: Resumen de objetivos, metas y acciones de la Hoja de Ruta, para la dimensión gobernanza y normativa.

		Objetivo asociado	Brechas Identificadas		Metas al 2035
GOBERNANZA Y NORMATIVA	Nº	Objetivo asociado	B.G.1	Falta de acceso a datos actualizados de monitoreo ambiental, social, territorial y económicos, que permitan garantizar la transparencia de la industria del hidrógeno verde.	13.1 Implementar un Sistema Integrado de Datos Públicos como herramienta de transparencia activa para el monitoreo ciudadano de variables ambientales, sociales, territoriales, económicas, entre otras.
			B.G.2	Necesidad de actualizar y mejorar la representatividad y rol de la gobernanza regional del hidrógeno verde, de tal forma de garantizar la participación más activa y permanente de la academia, la industria y la sociedad civil, además del sector público.	13.2 Consolidar la Comisión Regional de Hidrógeno Verde bajo un modelo de gobernanza multiactor —con representación de comunidades, academia, sector público y privado—, garantizando que el 100% de sus decisiones estratégicas cuenten con actas públicas, trazabilidad y mecanismos efectivos de retroalimentación.
GOBERNANZA Y NORMATIVA	13	Impulsar y fortalecer una gobernanza multiactor que asegure una participación ciudadana efectiva, temprana y garantice transparencia en sus acciones.	B.G.3	Instrumentos estratégicos, de planificación y de ordenamiento territorial inexistentes o desactualizados y sin consideraciones explícitas para el desarrollo de la industria del H2V y derivados.	14.1 Considerar en la actualización de instrumentos de planificación y ordenamiento territorial la incorporación explícita de criterios asociados a H2V y derivados.
			B.G.4	Falta de normativas técnicas específicas para la industria del H2V que además se potencia con una débil coordinación entre los niveles políticos y técnicos central y regional.	14.2 Asegurar el alineamiento de los proyectos de H2V y derivados con el Sistema de Planificación Regional y sus diferentes instrumentos.
GOBERNANZA Y NORMATIVA	14	Fortalecer la planificación territorial integrada y promover el desarrollo de normativa que permita generar certezas y habilitar inversiones responsables asociadas al desarrollo del H2V y derivados.			14.3 Promover el establecimiento de un marco regulatorio para proyectos de H2V.

GOBERNANZA Y NORMATIVA	Indicador (V1.4)	Nº	Acciones	TRIENIO 2026-2028	TRIENIO 2026-2028	TRIENIO 2026-2028	CORD
	G1	39	Observatorio regional del H2V y sus derivados para el monitoreo de variables ambientales, sociales, territoriales, económicas, entre otras. Considerará plataforma web y sistemas de información geográfica.				T/G
G2/G3/G4		40	Definición de modificaciones a la gobernanza vigente para la ejecución efectiva de las acciones de la Hoja de Ruta, sea en materias de estructura, estatutos, roles, responsabilidades, entre otros.				T/G
		41	Reporte semestral del desempeño de la gobernanza, considerando el cumplimiento de objetivos, la representatividad y la efectividad en la toma de decisiones.				T/G
	G2/G3	42	Constitución del Consejo Directivo, con participación multiactor				T
	G5	43	Desarrollo del Plan Regional de Ordenamiento Territorial, considerando zonas aptas y de exclusión asociadas a la industria del H2V y sus derivados				G
	G6	44	Compromiso de desarrolladores de proyectos ingresados al SEIA de declarar compatibilidad con el Sistema de Planificación Regional y sus diferentes instrumentos.				C
	G	45	Definir las prioridades regionales de actualización normativa de acuerdo a los lineamientos del PLAN DE TRABAJO DE REGULACIONES HABILITANTES PARA EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA DE HIDRÓGENO EN CHILE 2024 – 2030.				T
		46	Participación como gobernanza regional en las instancias nacionales de desarrollo de normativa asociada a la industria del H2V, en base al plan de trabajo del Ministerio de Energía o la institucionalidad pública o público-privada ad hoc.				C

G: Gobierno Regional de Antofagasta. C: Comisión Regional de Hidrógeno Verde. T: Gobernanza del Programa Transforma.



5.4.5. Indicaciones de Desempeño

Tabla 10: Indicadores de desempeño para las metas de la dimensión social.

SOCIAL		
	INDICADOR	Metas
S1	Porcentaje de ejecución de acciones del estudio de servicios públicos y vivienda	1.1
S2	Total residencias definitivas	1.2
S3	Mano de obra declarada fase de construcción en proyectos aprobados en el SEA por año	2.1
S4	Mano de obra declarada durante operación en proyectos aprobados en el SEA por año	2.1
S5	Relación de participación en empleo femenina vs masculina en los proyectos de H2V	2.2
S6	Tasa Total de Incidentes Registrables (TRIR)	2.3
S7	Número de programas anuales de educación focalizada en H2V	3.1
S8	Número de personas en edad laboral capacitadas en temáticas de la cadena de valor del H2V	3.2
S9	Número de proyectos piloto educativos en H2V implementados	3.3
S10	Ratio de sitios culturales financiados por H2V en relación a proyectos H2V	4.1
S11	Percepción ciudadana sobre el desarrollo de proyectos H2V	4.2

Tabla 11: Indicadores de desempeño para las metas de la dimensión ambiental.

AMBIENTAL		
	INDICADOR	Metas
A1	Consumo de agua para la producción de H2V	5.1
A2	Capacidad de desalación instalada total	5.1
A3	Porcentaje de valorización de residuos generados en proyectos H2V	5.2
A4	Porcentaje de proyectos H2V con valorización de salmuera implementada	6.1
A5	Índice de Calidad Ambiental Regional (ICAR)	7.1
A6	Porcentaje de brechas ambientales traducidas en medidas de mitigación y compensación	7.2
A7	Porcentaje de proyectos H2V que incorporan iniciativas de protección de ecosistemas y biodiversidad	8.1
A8	Ocupación de terreno para planta de producción de H2V	8.2

Tabla 12: Indicadores de desempeño para las metas de la dimensión económica.

ECONÓMICA		
	INDICADOR	Metas
E1	Número de infraestructuras H2V compartidas entre proyectos de hidrógeno operativas	9.1
E2	Porcentaje de infraestructura H2V interoperable con sectores industriales distintos al hidrógeno	9.2
E3	Estado de implementación de la iniciativa logística de H2V y derivados	9.3
E4	Número de empresas locales que participan en la cadena de valor del H2V	10.1
E5	Inversión Pública y Privada en I+D+i para el H2V en la Región	10.2
E6	Consumo anual local de H2V y derivados	10.2
E7	Número de acuerdos internacionales H2V firmados	10.3
E8	Producción anual de H2V	10.3
E9	Tiempos promedios de obtención de permisos SEA	11.1
E10	Numero de mecanismos de garantías financieras implementados	11.2
E11	Capacidad de electrólisis instalada total	11.3
E12	Precio Promedio de Venta del H2V (LCOH)	11.3
E13	Tasa de reducción del precio LCOH por Instrumentos de Fomento	11.3
E14	Consumo energético específico de producción kWh/kgH2	11.3
E15	Tasa de reducción de CO2e emitidos	12.1

Tabla 13: Indicadores de desempeño para las metas de la dimensión de gobernanza y normativa.

GOBERNANZA Y NORMATIVA		
	INDICADOR	Metas
G1	Frecuencia anual de actualización del Sistema Integrado de Datos Públicos	13.1
G2	Número de personas asistentes vs total de la población de la comuna	13.2
G3	Nivel de Liderazgo de la gobernanza de la ejecución de la HdR de H2V	13.2 13.3
G4	Número de sesiones de la Comisión Regional de Hidrógeno Verde y del Consejo Directivo	13.2 13.3
G5	Porcentaje de instrumentos de planificación y ordenamiento territorial actualizados que incorporan criterios H2V	14.1
G6	Porcentaje de proyectos H2V con compromiso firmado de compatibilidad territorial	14.2
G7	Número de sesiones, instancias legislativas o iniciativas regulatorias en las que se participó o promovió participación	14.3





Tocorrie - autor Rodrigo Melia

AGENDA DEL PROGRAMA TRANSFORMA



6 AGENDA DEL PROGRAMA TRANSFORMA

6.1 ¿CÓMO HAREMOS REALIDAD ESTA HOJA DE RUTA?

Para que el plan escrito en este informe no se quede solo en el papel, se requiere de un “motor” que impulse las acciones, coordine a las personas y asegure el financiamiento. Ese motor es el programa Transforma de Corfo.

¿Qué es el Programa Transforma?

El programa Transforma es una iniciativa de Corfo diseñada para mejorar la competitividad de nuestra economía, pero con un enfoque colaborativo. No se trata de un proyecto tradicional donde una sola entidad decide todo; es una plataforma que reúne al sector público, a las empresas privadas, a la academia y a la sociedad civil para trabajar juntos hacia una meta común.

Su misión principal es resolver problemas, denominadas brechas, que ninguna institución podría solucionar por sí sola, facilitando que todos los actores se pongan de acuerdo y coordinen sus esfuerzos.

Programa Transforma CRDP Corfo Antofagasta



Figura 24. El programa transforma: la colaboración en resultados.

¿En qué ayuda el Programa Transforma?

Este programa persigue metas claras, que para la región de Antofagasta y la industria del hidrógeno verde se podrían resumir en:

- **Mejorar la competitividad:** Ayudar a que las empresas y proveedores locales tengan las capacidades necesarias para participar en esta nueva industria global.
- **Unir fuerzas:** Crear un espacio de confianza (gobernanza) donde el gobierno regional, las empresas y la comunidad tomen decisiones conjuntas y mantengan una visión a largo plazo.
- **Ejecutar la Hoja de Ruta:** Su objetivo no es volver a diagnosticar, sino poner en marcha las iniciativas y proyectos que ya hemos definido en este informe.

Movilizar recursos: Buscar y asegurar financiamiento, tanto público como privado, para materializar los proyectos de infraestructura, tecnología y capacitación necesarios.

6.2 PLAN DE IMPLEMENTACIÓN Y SEGUIMIENTO

Una Hoja de Ruta es tan buena según su capacidad de ejecución. Para garantizar que las iniciativas de hidrógeno verde en Antofagasta no sean solo ideas, se utilizará el modelo de gestión probado de los programas Transforma de Corfo. Este modelo asegura financiamiento, establece responsables claros y mide el avance año a año.

Este programa considera tres pilares para la implementación: Gobernanza, Etapas de Trabajo y Seguimiento.

Gobernanza: ¿Quiénes lideran el cambio?

Para ejecutar este plan, no basta con una sola institución. Se requiere una estructura organizada que tome decisiones y ejecute tareas diariamente. Se propone entonces una gobernanza, centrada en personas, que se organice en tres niveles:

- **Comité Ejecutivo:** Es el grupo directivo que toma las decisiones estratégicas. Estaría compuesto por líderes del Gobierno Regional, empresas privadas, la academia y representantes de la sociedad civil. Su misión es aprobar los planes de trabajo y asegurar el financiamiento.
- **Equipo Gestor:** Liderado por un Gerente, es un equipo de profesionales dedicados 100% al programa. Su trabajo es coordinar, gestionar proyectos y hacer que las cosas pasen en el día a día.
- **Mesas Técnicas y Consejo Consultivo:** Grupos de trabajo específicos (por ejemplo: mesa de capital humano, mesa de infraestructura) donde técnicos y ciudadanos colaboran para resolver problemas puntuales identificados en la Hoja de Ruta.



Figura 25. Gobernanza: Pirámide de acción.



Etapas de Implementación

El desarrollo del hidrógeno verde es una carrera de largo aliento. La metodología Transforma organiza el trabajo en ciclos de tres años (trienios), permitiendo una ejecución ordenada y financiada progresivamente hasta completar un horizonte de 9 años.

Las etapas son las que se presentan en la siguiente línea de tiempo.

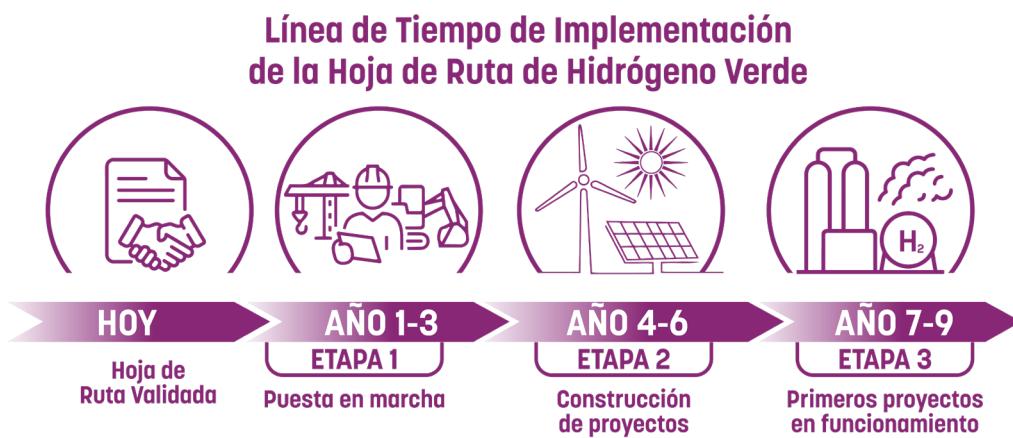


Figura 26. Línea de tiempo de implementación de la Hoja de Ruta mediante el Programa Transforma.

Estas etapas están reflejadas en la visión objetivo de la hoja de ruta en donde cada objetivo con sus metas y acciones se han planteado divididas en estas 3 etapas, consideradas a su vez como acciones de corto, mediano y largo plazo.

Seguimiento y Control: Lo que no se mide, no avanza

Para asegurar la transparencia y el éxito, el programa se someterá a evaluaciones permanentes. No se deberá esperar al final para saber si funcionó, por lo que el control será constante e incluirá:

- **Hito Anual de Cumplimiento:** Una vez al año, el programa deberá rendir cuentas ante Corfo y el Comité de Desarrollo Productivo Regional. Se revisará si se cumplieron las metas técnicas y financieras. De este examen anual el programa recibirá o no fondos para el año siguiente.
- **Indicadores Clave (KPIs):** Se medirá el éxito con datos concretos, tales como:
 - Cierre de Brechas: ¿Se solucionaron los problemas detectados (ej. falta de técnicos)?
 - Apalancamiento: Por cada peso que pone el Estado, ¿cuántos pesos invierte el sector privado?
 - Resultados de Impacto: Toneladas de CO₂ reducidas, empleos creados y nuevos proyectos de inversión materializados.



Figura 27. Tablero de Control para el Seguimiento de la Hoja de Ruta.

Este plan de implementación permite pasar de la intención a la acción. Al utilizar el instrumento Transforma, se garantiza que la Hoja de Ruta de Antofagasta tenga el soporte financiero, la estructura legal y la validación social necesaria para operar durante la próxima década, con el objetivo de transformar la matriz productiva de la región y convertir a Antofagasta en un líder nacional y mundial de Hidrógeno Verde.

6.3 FICHAS DE ACCIÓN DE CORTO PLAZO

Como parte fundamental de la etapa de “Propuesta de la Hoja de Ruta”, se ha procedido a la operacionalización de los lineamientos estratégicos mediante la formulación de acciones concretas. Estas iniciativas, diseñadas para cerrar las brechas detectadas durante el diagnóstico y aprovechar las oportunidades territoriales, han sido sistematizadas específicamente para las acciones de corto plazo, en un formato estandarizado denominado Fichas de Acción.

El objetivo de estas fichas es transformar los objetivos y metas en una cartera de proyectos y gestiones ejecutables en el corto plazo (primeros dos años del Programa Transforma), identificando claramente a los responsables, los recursos necesarios y los plazos estimados para su implementación.

Para asegurar la viabilidad técnica y administrativa de cada iniciativa, se desarrolló un formato único para las fichas que permite caracterizar cada acción en profundidad. Las fichas, disponibles en su totalidad en el Anexo 1 de este informe, contienen los siguientes campos estructurales:

- Identificación: Nombre de la acción, dimensión a la que pertenece (Social, Ambiental, Económica o Gobernanza) y su vinculación directa con un Objetivo y una Meta específica de la Hoja de Ruta.
- Breve Descripción: Resumen ejecutivo que detalla el alcance técnico, la justificación basada en el diagnóstico y la metodología propuesta para su ejecución.
- Gobernanza y Actores Clave: Identificación del responsable principal (generalmente el Gobierno Regional o el Programa Transforma) y los organismos colaboradores públicos, privados y de la sociedad civil necesarios para el éxito de la iniciativa.
- Financiamiento: Definición de las fuentes de recursos, ya sean fondos regionales (FNDR), sectoriales, programas de Corfo o aportes privados.
- Temporalidad y Seguimiento: Estimación del tiempo de ejecución, la recurrencia de la acción y el estado de avance para su monitoreo (pendiente, en proceso, finalizado).





San Pedro de Atacama - foto Ricardo Rodriguez

BIBLIOGRAFÍA



7 BIBLIOGRAFÍA

- Abasolo et al (2025).** Strategic Zone Classification for Photovoltaic Hydrogen Production Assessing Socio-Environmental Conflicts in Antofagasta, Chile.
- Abasolo Farfán, I. (2024).** Socio-environmental and technical factors assessment of photovoltaic hydrogen production in Antofagasta, Chile. Energy Strategy Reviews, 53, 101373.
- ACADES - Asociación Chilena de Desalación y Reúso A.G. (7 de Enero de 2026).** CATASTRO PLANTAS Y PROYECTOS.
- Aedo, M., Correo, J., & Schaeffer, C. (2023).** Policy Brief: Consideraciones y recomendaciones en torno a la industria del hidrógeno verde en Chile. España: Fundación Ciudadana Inteligente.
- AGCID (2024).** Cadena de Valor del RH2 en Chile. Agencia de Cooperación Internacional para el Desarrollo.
- AgenciaSE (2025).** Evaluación Viabilidad Técnico-Económica en la Implementación de Hidrógeno Verde en el Transporte Pesado de Carga y Pasajeros.
- AgenciaSE y Minenergía (2025).** Plataforma OrientaH2: Radar del H2 en Chile.
- Aleksander A. Kondratenko, M. (2025).** Existing technologies and scientific advancements to decarbonize shipping by retrofitting. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 212, 115430.
- Antonella Sola, R. (2024).** Green Hydrogen and Its Supply Chain. A Critical Assessment of the Environmental Impacts. Advanced Sustainable Systems Advanced Sustainable Systems.
- ANZ. (2024).** THE ANZ HYDROGEN HANDBOOK VOL II END USES.
- Asociación Chilena de Hidrógeno (2023).** Mapa de Proyectos (H2 Chile)
- Asociación Chilena de Hidrógeno (H2 Chile). (2023).** Estudio H2 Chile: Capital humano de la industria del hidrógeno renovable: desafíos actuales y futuros. Santiago de Chile.
- Banco Central de Chile (2025).** Datos de PIB.
- Benigna Cortés Leiss, L. (2023).** Paving the road for competitive green hydrogen hubs in Chile. Rice university's baker institute for public policy.
- Berger, R., & Partnership, C. H. (2022).** Mission Innovation Hydrogen Valley Platform.
- BID (2023).** Hoja de ruta del hidrógeno en Colombia.
- BIGHIT (s.f.).** Building Innovative Green Hydrogen Systems in Isolated Territories.
- Bloomberg (2020).** Hydrogen Economy Outlook.
- Bluerisk, I. (2023).** Water for hydrogen production, International Renewable Energy Agency.
- Cabaña, G. (2024).** Modelo industrial del Hidrógeno proyectado para Chile. Chile: Fundación Chile Sustentable.
- Cabaña, I. (2023).** Diálogos sobre el desarrollo del hidrógeno verde en Antofagasta y Magallanes, Chile. Chile: Heinrich Boll Stiftung.
- Caponi, R. (2023).** Hydrogen refueling stations and fuel cell buses four year operational analysis under real-world conditions. International Journal of Hydrogen Energy, 48(54), 20957-20970.
- Carmona, R. (2024).** Assessment of the green hydrogen value chain in cases of the local industry in Chile applying an optimization model. Energy, 300, 131630.
- Centro de Energía UC (2020).** Proposición de Estrategia Reguladora del Hidrógeno para Chile.

- Centro de Innovación UC (2024).** Impulsando un Portafolio Estratégico Público-Privado Territorial. Antofagasta; Mejillones: Mankuk.
- Chávez, A. (2023).** Exploring the Potential of Green Hydrogen Production and Application in the Antofagasta Region of Chile. Energies 16(11):4509.
- Chavez-Angel, E., Castro-Alvarez, A., Sapunar, N., Henriquez, F., Saavedra, J., Rodriguez, S., Maxwell, L. (2023).** Exploring the Potential of Green Hydrogen Production and Application in the Antofagasta Region of Chile. Energies, 16(11).
- Chris Rumley, P. (2025).** Update on Korean clean ammonia market.
- CICITEM, Fraunhofer (2023).** Levantamiento de Casos de Uso y Servicios Tecnológicos para el Desarrollo de un Hub de Hidrógeno Regional. Antofagasta: CORFO Antofagasta; Gobierno Regional de Antofagasta; ERI.
- Clean Hydrogen Partnership (2025).** Get involved, Hydrogen Valleys.
- CNEP (2023).** Análisis de Permisos Críticos para la Inversión. Comisión Nacional de Evaluación y Productividad.
- COCHILCO. (2024).** Consumo de agua en la Minería del Cobre. Santiago: COCHILCO.
- Colbun (2024).** Un horizonte para la región de Antofagasta. Chile: Criteria.
- Comisión Europea (2023).** Renewable hydrogen.
- Comité de Desarrollo Productivo Regional (2025).** Fomento Antofagasta.
- Coordinador eléctrico nacional (2024).** Estudio Prospectivo H2V 2024. Chile: Gerencia de Planificación y Desarrollo de la Red.
- CORFO (2020).** Estudio para definir esquemas de financiamiento para acelerar la adopción tecnológica e implementación de proyectos de generación, almacenamiento, transporte, consumo y exportación de Hidrógeno Verde en Chile. Santiago.
- CORFO (2025).** Crédito Verde. Obtenido de https://corfo.cl/sites/cpp/convocatoria/credito_verde/
- Corporación Alta Ley, SAMMI Cluster Andino. (2023).** Roadmap para la implementación del Hidrógeno Verde en la Minería de Chile y Perú 2023. Santiago.
- Díaz, C. (2023).** Efectos socioambientales de la Industria del Hidrógeno Verde en Chile: Una revisión crítica en la implementación de proyectos sobre la Región de Antofagasta y Magallanes. Santiago de Chile: UNIVERSIDAD DE CHILE.
- Estratégicos, S. d. (2023).** Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno.
- Europe, H. (2023).** CORDIS - EU research results. Obtenido de NORTH ADRIATIC HYDROGEN VALLEY: <https://cordis.europa.eu/project/id/10111927>
- European Commission. (2022).** Hydrogen.
- FCAB (2025).** Nuestra RED ferroviaria.
- FCH, Roland Berger. (2020).** Fuel Cells Hydrogen Trucks: Heavy-Duty's High Performance Green Solution. Bruselas.
- Flechas, L. (2024).** Development pathways to establishing a hydrogen Hub in Mejillones, Chile. Mejillones: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK).
- Cabaña, G. (2024).** ¿Zonas de sacrificio verde en Chile? Amenazas y riesgos de la expansión minera y energética en territorios y ecosistemas del Desierto de Atacama. Fundacion Tanti.
- García, P., Aninat, M., & Bravo, C. (2025).** Industria del hidrógeno

verde en Chile: Desafíos para su implementación. Chile: Escuela de Negocios UAI.

Gemma Raluy (FHa), A. H. (2023). D5.3. A preliminary report into the environmental & socio-economic impacts of the project. Groningen: Clean Hydrogen Partnership.

Gischler, C., Boeck Daza, E. F., Galeano, P., Ramírez, M., Gonzalez, J., Cubillos, F., Juarez Hermosillo, J. (2023). Unlocking Green and Just Hydrogen in Latin America and the Caribbean. Latin America: IDB.

GIZ (2021). Estudio de prefactibilidad técnica y económica de la producción de hidrógeno verde mediante electrólisis para la entidad GNA.

GIZ (2023). Disponibilidad del recurso hídrico en el desarrollo del hidrógeno verde en Chile. Chile: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.

GIZ (2024). Estudio de cuantificación de la capacidad de infraestructura portuaria chilena para proyectos de hidrógeno. Chile: Projecto TeamEurope Desarrollo del Hidrógeno Renovable en Chile (RH2).

GIZ (2024). Solar NH₃-Pool Chile: Conceptos para el desarrollo de un parque industrial sostenible de hidrógeno/amoníaco verde en la región de Antofagasta (Chile).

GORE Antofagasta (2023). Estrategia Minera para el Bienestar de la Región de Antofagasta EMRA 2023- 2050.

GORE Antofagasta (2025). Fondo Regional para la Productividad y el Desarrollo - Año 2025.

Ministerio de Hacienda (2023). Medidas de impulso al plan de acción de hidrógeno verde 2023-2030.

H2Global Stiftung (2024). First Auction Results for Renewable Ammonia.

H2V Biobío (2024). Hoja de Ruta 2024-2050 H2V BIOBIO. Programa Estratégico Regional Hidrógeno Verde de Biobío.

Hydeploy (2023). Pioneering the safe use of blended hydrogen in gas networks to reduce carbon emissions.

Hydrogen Council (2020). Path to hydrogen competitiveness. A cost perspective.

IEA (2021). Ammonia Technology Roadmap. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/ammonia-technology-roadmap>

IEA (2024). Global Hydrogen Review 2024. Agencia Internacional de la Energía.

INE (2025). Repositorio de estadísticas regionales.

INE (2025). Sistema de Indicadores de Calidad de Vida Rural.

INE (2025). Sistema de Indicadores y Estándares de Desarrollo Urbano.

INE (s.f.). Banco de datos de la Encuesta Nacional de Empleo.

IRENA (2023). Water for hydrogen production.

IRENA (2024). Global Hydrogen Governance: Frameworks for a Sustainable Transition.

IRENA (2025). Analysis of the potential for green hydrogen and related commodities trade. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.

IRENA & METHANOL INSTITUTE (2021). Innovation Outlook: Renewable Methanol. Abu Dhabi. International Renewable Energy Agency.

Jones et al (2019). The state of desalination and brine production: A global outlook. Journal of Science of The Total Environment. Volume 657, 20 March 2019, Pages 1343-1356

Lama, R. (2025). Green hydrogen storage: Technologies and economic perspectives. The Annapurna express.

Lindsay, T. (2022). Oportunidades en la cadena de valor del H2V. Chile: Fraunhofer Chile.

Mahmood Khaja Muheittheen, A. (2025). Exploring hydrogen storage: A review of technologies, challenges, policy incentives, and future directions in renewable integration. Next Research, 225, 116119.

Marina Paradela et al. (2025). Propuesta estratégica para sistema de certificación de sostenibilidad de hidrógeno y derivados en Chile.

Martinez-Villarreal, S. (2023). The critical role of hydrogen in the development of new biofuels. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 39, 100716.

McKinsey & Company (2024). Hydrogen Insights 2024. Hydrogen Council.

MIEM (2022). Hoja de ruta del Hidrógeno Verde en Uruguay.

Ministerio de Energía (2020). Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. Santiago.

Ministerio de Energía (2023). Plan de acción de hidrógeno verde 2023-2030. Chile.

Ministerio de Energía (2024). Explorador de Hidrógeno Verde. Recuperado el Agosto de 2025, de [https://hydrogenoverde\[minenergia.cl\]/proyectos/](https://hydrogenoverde[minenergia.cl]/proyectos/)

Ministerio de Energía (2024). Plan de Trabajo de Regulaciones Habilitantes para el Desarrollo de la Industria de Hidrógeno en Chile 2024-2030.

Ministerio de Energía, Centro de Energía UC, & GIZ (2020). Proposición de Estrategia Reguladora del Hidrógeno para Chile.

Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. (2025). Informe de Planificación energética de largo plazo (PELP). Chile: División de Planificación Estratégica y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Bienes Nacionales (2024). Proyecto SIET-Chile: Indicadores y Estándares Territoriales.

Monaco, B. (2025). North Adriatic Hydrogen Valley. Area Science Park. Area Science Park: NAHV.

Nagebassadri, S., Walsh, M., & Smailes, M. (2025). An Overview of the Green Hydrogen Value Chain Technologies and Their Challenges for a Net-Zero Future. Hydrogen MDPI, 6, 26.

New-Energy-Coalition, I.-H. (2022). From HEAVENN to Sustainable Hydrogen Valleys. GRONINGEN: RVO / Ministry of Economic Affairs & Climate Policy from the Netherlands.

Pino Zúñiga, F. (2023). Aterrizando la transición: Regulación espacial del "hidrógeno verde" y su potencial como herramienta de transición justa. [Tesis de Magíster, Pontificia Universidad Católica de Chile].

PwC (2025). Quantifying the opportunity in green hydrogen.

Scheepers, F. (2023). Cost-optimized design point and operating strategy of polymer electrolyte membrane electrolyzers. International Journal of Hydrogen Energy, 12185-12199.

Scholvin, S. (2025). La industria de hidrógeno verde en Antofagasta: Oportunidades y desafíos para el desarrollo regional. Revista de Geografía Norte Grande(90), 0.

SEA (2025). Proyectos de Hidrógeno Verde en el SEIA.

Sollai, S. (2023). Renewable methanol production from green hydrogen and captured CO₂: A techno-economic assessment. Journal of CO₂ Utilization, 68, 102345.

Treasury, U. D. (Enero de 2025). U.S. Department of the Treasury Releases Final Rules for Clean Hydrogen Production Tax Credit.

U.S. Department of the Treasury (2025). Final rules include significant changes and flexibilities to provide investment certainty and drive deployment of clean hydrogen.

World Economic Forum (2023). Green Hydrogen in China: A Roadmap for Progress. White Paper.

Hurwitz, Z. & Bujak, N. (2023). Key aspects for managing the environmental and social risks of green hydrogen. blogs.iadb.org.

Zhou, A. (2024). The price of green hydrogen: How and why we estimate future production costs.

Zúñiga, F. (2023). Aterrizando la transición: Regulación espacial del "hidrógeno verde" y su potencial como herramienta de transición justa. Pontificia Universidad Católica de Chile.





CORE
Consejo Regional
REGIÓN DE ANTOFAGASTA

hoja de ruta
HIDROGENO H₂
VERDE



H2
Antofagasta

COSOC
Consejo de la Sociedad Civil
Región de Antofagasta



CORFO
REGIÓN DE ANTOFAGASTA



- 📞 +56 55 2 357623
- 📍 Arturo Prat 384, 5° piso
- ✉️ www.goreantofagasta.cl

Gobierno Regional de Antofagasta

ISBN: 978-956-8157-01-2

