

Cadena de Valor del RH2 en Chile

Proveedores de bienes y servicios de la industria del hidrógeno renovable

Ingeniería y Ciencias ECIT

Ingeniería y Ciencias ECIT



Cadena de Valor del RH2 en Chile

Proveedores de bienes y servicios de la
industria del hidrógeno renovable

por

Ingeniería y Ciencias ECIT

Coordinadora de proyecto: Karin von Osten

Coordinadora interna y experta en procesamiento de datos: Dra. Josefa Ibaceta

Experto en mercado y proyecciones de hidrógeno verde: Sebastián Álvarez

Validador experto en procesos participativos: Mauricio Rodríguez

Especialista en diseño gráfico: Marcela Araneda

Ingeniera de proyecto: Constanza Mendoza

Ingeniero de proyecto: Gonzalo Garretón

Mandante : Agencia Chilena de Cooperación Internacional para el Desarrollo
Proceso licitatorio : ID 1606-24-LE24
Proyecto : Creación de Capacidades y Transferencia de Conocimiento relacionado al Hidrógeno Renovable y Sostenible en Chile.

Sobre ECIT

ECIT (Energía, Ciencias, Ingeniería y Tecnología), es una empresa chilena dedicada a la consultoría, asesoría, ingeniería, investigación y capacitaciones para proyectos de hidrógeno y sus derivados con enfoque principalmente en Chile y Latinoamérica. Cuenta con profesionales altamente especializados y una amplia red de colaboración internacional para la ejecución de sus proyectos. Actualmente, es reconocido en el rubro del hidrógeno verde en Chile por la experiencias de sus socios fundadores en el diseño y construcción de plantas piloto de hidrógeno, gestión de procesos normativos y de seguridad de planta, docencia en Diplomados e Iniciativas Formativas Internacionales, además de estudios de I+D, diagnóstico y potencial de aplicación regional.

Nuestra misión es ofrecer un servicio personalizado experto y de calidad, abordando las brechas existentes para acelerar el desarrollo del mercado del hidrógeno y sus derivados en base a calidad y seguridad. Nuestra visión es convertirnos en un actor clave para la descarbonización energética en Chile y el mundo, a partir de la integración de ciencia e ingeniería para desarrollar soluciones que marquen la diferencia.

Glosario

Término o siglas	Significado
ABIF	Asociación de Bancos e Instituciones Financieras de Chile
ABP	Aprendizaje Basado en Proyectos
ACHAI	Asociación Chilena de Asesores de Inversión
AH2V	Aceleradora de Hidrógeno Verde
ANID	Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo
ASE	Agencia de Sostenibilidad Energética
ASMAR	Astilleros y Maestranza de la Armada
BESS	Battery Energy Storage System
CAEX	Camiones de Extracción utilizados en minería
CAPEX	Capital Expenditure o capital de inversión
CASE	Centro de Aceleración Sostenible de Electromovilidad
CEN	Coordinador eléctrico nacional
CETRI	Instituto de Capacitación e Investigación en Energía Limpia
CICITEM	Centro Científico Tecnológico de la región de Antofagasta
CLP	Pesos Chilenos
CMM	Centro Mario Molina
CMPC	Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones
CNP	Centro Nacional de Pilotaje
CORFO	Corporación de Fomento de Chile
CSP	Energía de concentración solar de potencia
DAES	División de Asociatividad del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo
DIA	Declaración de Impacto Ambiental
DME	Dimetil éter
DS	Decreto Supremo
EIA	Estudio de Impacto Ambiental
ENAP	Empresa Nacional del Petróleo
EPC	Engineering, Procurement and Construction
ERNC	Energías Renovables No Convencionales
FCH JU	Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking
FCHEA	Fuel Cell Hydrogen Energy Association
FEED	Front End Engineering Design
FEL	Front End Loading
FENOGE	Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía
FID	del inglés: Final Investment Decision o Decisión Final de Inversión en español
GIZ	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit - Agencia de cooperación internacional alemana
GNL	Gas Natural Licuado
GNLM	GNL Mejillones
GORE	Gobierno Regional
GW	Giga Watt

Término o siglas	Significado
H2U	Hydrogen Utility
H2V Magallanes AG	Asociación de productores de hidrógeno verde y sus derivados en Magallanes
H2VA	Asociación Hub de Hidrógeno Verde Antofagasta
HPSG	Hybrid Power System Group Colombia
I+D	Investigación y desarrollo
I+D+i	Investigación, desarrollo e innovación
JH2A	Japan Hydrogen Association, asociación japonesa de hidrógeno
kgH2/día	Kilogramos de hidrógeno por día
KOH	Hidróxido de Potasio
kton H2	miles de toneladas de hidrógeno
kWh	kilo watt-hora
M	Millones
MEN	Ministerio de Energía de Chile
MeOH	Metanol
MINEDUC	Ministerio de Educación de Chile
MMA	Ministerio del Medio Ambiente de Chile
Mton	Millones de toneladas
MW	Mega Watts
NGHC	Neom Green Hydrogen Company
OPEX	Operational Expenditure o costos de operación
PIB	Producto Interno Bruto
PTEC	Programa Tecnológico de CORFO
RCA	Resolución de Calificación Ambiental
RH2	Hidrógeno renovable
RM	Región Metropolitana
RTB	Ready to Build en inglés o Listo para Construir en español
SEA	Sistema de Evaluación Ambiental
SEC	Superintendencia de Electricidad y Combustible
SEIA	Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental
SII	Servicio de impuestos internos
UdeC	Universidad de Concepción
UE	Unión Europea
USD	United States Dollar

Resumen Ejecutivo

El presente estudio tiene como objetivo identificar y caracterizar a los proveedores de bienes y servicios de la cadena de valor del hidrógeno renovable (RH2) en Chile, con miras a abordar las brechas existentes en el período 2025-2040.

La metodología empleada se basó en la recopilación de información bibliográfica y en procesos participativos, como encuestas y mesas de trabajo. A partir de esta información, se desarrolló una propuesta para la cadena de valor del RH2 en Chile. Se construyó una base de datos que incluye proveedores nacionales e internacionales, quienes fueron clasificados según su posición dentro de la cadena de valor. Adicionalmente, se realizaron proyecciones al año 2040 y se efectuaron comparaciones con hubs internacionales y mercados similares para identificar brechas en la industria y proponer soluciones adaptadas.

Se identificaron **103 proyectos de RH2 en Chile**, localizados principalmente en cinco regiones: **Antofagasta, Valparaíso, Metropolitana, Bío-Bío y Magallanes y la Antártica Chilena**. La cadena de valor propuesta se estructura en seis eslabones que abarcan las etapas de desarrollo, construcción y operación de proyectos: **Desarrollo, Infraestructura, Insumos, Producción y acondicionamiento, Almacenamiento y transporte, y Aplicaciones y consumo**, cada una de ellas con sus categorías.

Se construyó una base de datos de proveedores en la que se catastraron **253 empresas nacionales**, concentradas en su mayoría en la Región Metropolitana (76%), pero con un alto alcance nacional (86% del total). Estas empresas se enfocan principalmente en el eslabón de desarrollo. Además, se identificaron **504 empresas internacionales**, mayoritariamente fabricantes de equipos y componentes.

Basándose en el crecimiento reciente de la industria, se realizaron proyecciones de la industria a 2040, según las cuales se prevé un enfoque en las etapas de desarrollo hasta 2028, construcción hasta 2035 y operación a partir de este año. Se realizaron análisis comparativos con hubs internacionales, destacando el **Puerto de Rotterdam** en Países Bajos y **Pilbara Valley** en Australia por sus similitudes con los hubs de Antofagasta y Magallanes. También se evaluaron industrias similares, como **energías renovables, electromovilidad, biogás y gas natural licuado**, para identificar brechas que enfrentaron y aprendizajes aplicables a la cadena de valor del RH2.

El estudio identificó brechas significativas dividiéndose en dos categorías: **Brechas de mercado** (altos costos iniciales, incertidumbre regulatoria, demanda incierta y competencia con otras tecnologías) y **brechas de proveedores**, siendo estas últimas el foco de este estudio. Las brechas de proveedores se dividen en tres categorías: **capital humano, tecnología y participación nacional**. En cuanto al capital humano, se detectó una falta de competencias específicas en áreas críticas como la gestión de permisos y la certificación. Se propone desarrollar capacitaciones técnicas, programas de prácticas y pasantías, tanto nacionales como internacionales. Respecto a las brechas tecnológicas, se destacó la escasez de proveedores dedicados en áreas críticas, como nitrógeno, estanques estacionarios y gasoductos, sugiriendo instancias de networking internacional, incentivos para I+D y promoción de inversiones extranjeras. En términos de participación nacional, se identificaron barreras de entrada y desconocimiento del potencial rol de las empresas locales, por lo que se plantean charlas, talleres, bonificación de puntajes en licitaciones y la creación de un directorio de proveedores locales.

Chile cuenta con un gran potencial para el desarrollo de la industria del RH2, con proyecciones que hoy cumplen y superan las metas nacionales, no obstante, el crecimiento de esta industria enfrenta desafíos significativos relacionados con la tecnología, la formación de capital humano y la integración de proveedores locales. Se recomienda la articulación de esfuerzos entre los sectores público y privado, junto con la implementación de soluciones enfocadas en superar estas brechas como vía para impulsar y alcanzar los objetivos de crecimiento y carbono neutralidad asociados al hidrógeno y sus derivados.

Contenidos

Sobre ECIT	i
Glosario	ii
Summary	iv
1 Introducción	1
1.1 Objetivo General	3
1.1.1 Objetivos Específicos	3
1.1.2 Alcances	3
2 Cadena de Valor	5
2.1 Estado del arte de la cadena valor de hidrógeno	6
2.2 Análisis de políticas públicas	8
2.2.1 Análisis de gobernanza	11
2.3 Propuesta de cadena de valor	18
2.4 Diferenciación de Hubs regionales	19
2.5 Conclusiones	27
3 Caracterización y proyección 2025-2040	28
3.1 Definición de criterios de evaluación	28
3.2 Factor de viabilidad por FID	28
3.3 Caso base de proyección 2025-2040	29
3.3.1 Proyección de crecimiento	29
3.3.2 Recopilación de estadística (Tamaño de proyectos)	29
3.3.3 Confección modelo de desarrollo de proyectos (Desarrollo, construcción y operación)	29
3.3.4 Proyección caso base	31
3.3.5 Proyección caso base: Potencia de electrólisis	31
3.4 Confección de escenarios: Ajuste caso base por viabilidad	31
3.5 Conclusiones	34
4 Proveedores y Servicios	36
4.1 Identificación, caracterización y clasificación de proveedores	36
4.2 Base de datos de proveedores	40
4.2.1 Proveedores nacionales	40
4.2.2 Proveedores internacionales	43
4.3 Base de datos de asociaciones	44
4.4 Conclusiones	45
5 Soluciones con poca o nula oferta	47
5.1 Estimación de mercado	47
5.1.1 Estimación de demanda	47
5.1.2 Estimación de oferta	55
5.1.3 Análisis de mercado	55
5.2 Conclusiones	56
6 Identificación y análisis de brechas	58
6.1 Experiencia internacional	58
6.2 Desarrollo de proveedores en mercados similares: políticas públicas y experiencia privada	66
6.2.1 ERNC	66
6.2.2 Biogás	66

6.2.3	Electromovilidad	67
6.2.4	Gas Natural Licuado (GNL)	68
6.3	Brechas identificadas en mesas de trabajo	69
6.3.1	Hub Antofagasta	69
6.3.2	Hub Valparaiso	69
6.3.3	Hub de la Región Metropolitana	69
6.3.4	Hub Biobío	70
6.3.5	Hub Magallanes	70
6.4	Conclusiones	70
7	Propuestas dirigidas a abordar las brechas	72
7.1	Propuestas para cubrir brechas transversales	72
7.1.1	Falta de proveedores de tecnologías	72
7.1.2	Falta de participación de empresas nacionales: Desconocimiento del potencial rol en la cadena de valor	73
7.1.3	Capital Humano: Falta de Competencias Específicas	74
7.1.4	Falta de participación de empresas nacionales: Barrera de entrada para empresas locales	75
7.2	Propuestas clasificadas por categoría dentro de la cadena de valor	76
7.3	Conclusiones	77
8	Conclusiones y recomendaciones	79
8.1	Conclusiones	79
8.2	Recomendaciones finales	84
	Referencias	85

1

Introducción

Chile posee condiciones favorables para la generación de energías renovables, lo que facilita la transición energética para la descarbonización y brinda la oportunidad de mejorar o modificar la manera en que se desarrollan los negocios e industrias en los territorios, considerando aspectos como la sustentabilidad, inclusión, creación de nuevos puestos de trabajo, oportunidades de desarrollo económico local y la formación de nuevas industrias. En este contexto, Chile lanza el Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023-2030, que contiene 81 acciones para desplegar una industria que concilie el desarrollo económico y de las comunidades, así como el respeto por el medio ambiente [1]. Este plan subraya la importancia del desarrollo de la industria del hidrógeno renovable (RH2) producido con energías renovables, posicionando al RH2 y sus derivados como un componente clave para alcanzar las metas país ya estipuladas previamente en la Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde [2].

En este contexto, se identifica el modelo de "Hub de hidrógeno renovable" como un motor de desarrollo regional. El concepto de "Hub de hidrógeno" se refiere a ecosistemas estructurados para facilitar la producción y el consumo de hidrógeno renovable en áreas determinadas, lo que permite integrar la cadena de valor de este vector energético, con una base industrial estratégica. La producción y distribución de hidrógeno renovable (RH2), constituye el punto de partida para crear un entorno favorable a su uso y distribución. En algunos casos, los esfuerzos se enfocan en áreas específicas, como la actividad portuaria o el transporte de carga, mientras que en otros se orientan hacia la demanda energética de la población o la exportación mediante hidroductos o transporte marítimo. El desarrollo de los actores y actividades de la cadena de valor del RH2 está influenciado por factores propios del territorio y el objetivo industrial de desarrollo.

Al evaluar el desarrollo de la cadena de valor del hidrógeno, es necesario considerar aspectos como:

- Potencial de generación renovable (solar, eólica, hidráulica, otros)
- Superficie disponible para la explotación de energía renovable e instalación de plantas de producción de hidrógeno y derivados
- Existencia de industrias con experiencia en la provisión de bienes y servicios para el desarrollo del Hub
- Presencia de industrias con experiencia en proyectos de gran envergadura.
- Acceso a rutas oceánicas y disponibilidad de infraestructura o posibilidad de desarrollo de infraestructura para el transporte y distribución del hidrógeno.
- Existencia de incentivos para promover el desarrollo productivo.
- Densidad poblacional.
- Infraestructura de servicios y suministros acorde con el potencial desarrollo.

En Chile se identifican dos zonas estratégicas para el desarrollo de hubs de RH2 con foco en producción y exportación : **Antofagasta** y **Magallanes**. En *Antofagasta*, los esfuerzos se agrupan en

la asociación Hub de hidrógeno verde Antofagasta -H2VA-, proyecto de bienes públicos incentivado por el Gobierno Regional [3]. Existen iniciativas en desarrollo para la organización del ecosistema en la comuna de Mejillones, ya que cuenta con un corredor potencial en la zona de Tocopilla y un alto potencial solar de 1.400 GW, lo que permitiría cubrir la demanda local y fomentar la exportación. Por su parte, *Magallanes* destaca por su potencial eólico, estimado en 130 GW, con un enfoque en la exportación mediante un corredor en Bahía Cabo Negro. En esta región, el gremio de actores privados se organiza a través de la Asociación de productores de hidrógeno verde y sus derivados en Magallanes -H2V Magallanes AG-[4]. En esta región también se encuentra el *Programa Transforma Regional Hidrógeno Verde Magallanes* que fue lanzada oficialmente el 2021 por CORFO, es una iniciativa público-privada que busca la construcción de una visión regional compartida, el diseño de una hoja de ruta y la elaboración de un plan de trabajo para visibilizar, acompañar y acelerar el desarrollo e instalación de la industria local.

Por otra parte, existen otros polos cuyo foco se extiende a la demanda interna. El proyecto *Alianza Estratégica de hidrógeno renovable para el Biobío*, financiado y lanzado por el Gobierno Regional el 2021, impulsa el Hub de hidrógeno renovable Talcahuano-Hualpén, que busca generar hidrógeno para satisfacer la demanda de varias industrias en la región [5]. Por otro lado, en el año 2024 se lanzó oficialmente la *Hoja de Ruta H2V Biobío* bajo la línea del programa *Transforma de CORFO [Hojarutabiobío]*. Entre los beneficios de esta iniciativa se encuentra la sinergia entre distintos proyectos, permitiendo alcanzar economías de escala, reducir riesgos de inversión y aprovechar oportunidades de financiamiento. Además, se proyecta que la región del Biobío se convierta en un modelo para la formación de capital humano, generación de empleo y emprendimientos vinculados al hidrógeno, en el marco del proceso de descarbonización.

En el año 2023, en un estudio desarrollado por Anglo American se ha explorado la posibilidad de desarrollar un Hub de hidrógeno renovable en la zona central de Chile, con énfasis en las regiones **Metropolitana** y de **Valparaíso**, identificando zonas estratégicas como Quintero, San Antonio y Los Andes para el desarrollo de la industria del hidrógeno renovable [6]. El desarrollo de estos hubs debe considerar una cadena de valor vinculada a las etapas de desarrollo de proyectos de RH2 y sus derivados.

Actualmente, Chile se encuentra en la **primera oleada** de la estrategia nacional, abarcando la etapa de diseño conceptual, planificación y estudios iniciales, que incluye la prospección de recursos, ingeniería básica, estudios de terreno y evaluación técnico-económica. Esta etapa suele durar entre 2 y 4 años, antes de proceder a la segunda etapa, que comprende la gestión de permisos ambientales y sectoriales y otros estudios previos a la FID, que es la decisión final de inversión por sus siglas en inglés. El proceso en esta fase es incierto, ya que depende de factores externos al desarrollador, como la incertidumbre regulatoria y la falta de un marco normativo definido, lo que puede prolongar el tiempo de tramitación a un mínimo de 2 años. Los proyectos que aún no han superado la primera etapa iniciarán la construcción en aproximadamente 4 años. Este escenario ofrece una ventana de tiempo para superar las barreras técnicas, económicas y de infraestructura que limitan la expansión de la industria del RH2, a través de la identificación y fortalecimiento de proveedores especializados, lo que permitirá generar encadenamientos productivos que fortalezcan la economía local y las competencias en el mercado del RH2.

Las oportunidades a lo largo de la cadena de valor del RH2 y sus derivados son variadas. El estudio *"Encadenamientos productivos de la industria del hidrógeno renovable y derivados en Magallanes y la Antártica Chilena: Perspectivas, desafíos y oportunidades"* concluye que la creación y desarrollo de proveedores locales, así como el impulso a los encadenamientos productivos, requieren intervenciones deliberadas y condiciones específicas [7]. Estos encadenamientos son complejos, pues implican la alineación de intereses, resolución de brechas de coordinación, elevación de estándares y la promoción de interconexiones entre sectores. Un entorno propicio que favorezca la colaboración, transferencia de tecnología e intercambio de conocimientos es esencial. Factores como el compromiso de las empresas que concentran la demanda, la infraestructura adecuada, un marco regulatorio favorable, acceso a financiamiento y formación especializada son claves para su desarrollo.

1.1. Objetivo General

El objetivo general de la contratación del servicio de consultoría corresponde a la identificación de proveedores de bienes y servicios de la cadena de valor del hidrógeno renovable (RH2), tal manera que permita proponer formas de abordar las brechas de proveedores de soluciones para la industria del hidrógeno renovable en Chile. Para ello se deberá identificar, categorizar, y caracterizar detalladamente a las proveedoras que ofrezcan soluciones relacionadas a cada eslabón de la cadena de valor y logística del hidrógeno en los diferentes valles de hidrógeno de Chile, para así establecer las necesidades de soluciones en el período 2025-2040.

1.1.1. Objetivos Específicos

- OE1 Identificar y caracterizar detalladamente la cadena de valor y logística en 5 valles de hidrógeno, considerando sus enfoques locales.
- OE2 Establecer las necesidades actuales de soluciones relacionadas a hidrógeno; y proyectar las demandas futuras en el período 2025-2040.
- OE3 Identificar y clasificar cada una de las y los proveedores que suministran soluciones relacionadas con el hidrógeno, creando un directorio de proveedores para cada valle de hidrógeno.
- OE4 Determinar las brechas de necesidades actuales y futuras de proveedores de soluciones en toda la cadena de valor y logística para los valles de hidrógeno, identificando específicamente el tipo de producto y servicio requerido.
- OE5 Elaborar propuestas dirigidas a abordar las brechas identificadas.
- OE6 Implementar instancias de difusión para compartir y validar los hallazgos y resultados obtenidos.

1.1.2. Alcances

A continuación se detallan los alcances del presente estudio según tópico:

- Foco

El desarrollo del presente estudio tiene como foco la cadena de valor de la industria del hidrógeno y sus derivados en Chile y los proveedores de productos o servicios asociados a la cadena. Por esta razón, no se encuentra dentro de los alcances aquellas estadísticas o información relacionada con temáticas tales como comercio exterior, empleos, formación de capital humano, impacto social y ambiental, desarrollo e integración de comunidades, entre otros temas transversales a la creación de industrias.

- Proveedores de productos y servicios

Se reconoce para el estudio la existencia de tres tipos de proveedores, directos, indirectos e inducidos a las actividades de la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados. En este contexto, el estudio sólo considera los proveedores **directos**, estos se definirán como aquellas empresas o instituciones que proporcionan un producto o servicio a cualquiera de las actividades principales de la cadena de valor definida para el estudio. Se entenderá por **indirectos** a aquellas empresas o instituciones que proporcionan productos o servicios que no se relacionan con la actividad principal de la cadena de valor, es decir proveen a las empresas que a su vez son proveedores directos, por ejemplo, empresas que fabrican o distribuyen partes y piezas para fabricantes de equipamiento de la cadena de valor. Finalmente, se entenderá por **inducidas** a aquellas empresas o instituciones que proveen productos o servicios a actividades generadas por la existencia de las actividades principales de la cadena de valor, por ejemplo, servicios de alimentación y alojamiento para trabajadores de la construcción de plantas.

- Fuentes de información

Se contempla el uso de bases de datos de carácter público, estudios públicos existentes, así como cualquier información proporcionada por el mandante o disponible por parte de la consultora ECIT. En

caso de no existir o no encontrarse información disponible sobre algún parámetro o temática estudiada, se realizarán supuestos, los cuales deberán ser validados por la contraparte técnica de AGCID en alguna de las instancias de comunicación entre las partes y registrado en la minuta correspondiente.

- Hidrógeno y derivados

Se considera para este estudio la industria del hidrógeno proveniente de electrólisis de energías renovables. En ella se considerarán informes previos o fuentes de información que consideren hidrógeno verde (H2V) o renovable (H2R) como conceptos equivalentes, entendiendo que existen otras fuentes de energía que podrían ser consideradas verdes según el país o la definición que se le dé. Para los derivados del hidrógeno se consideran tanto aquellos derivados del carbono (e-metano, metanol, e-gasolina, e-diesel, dimetiléter, entre otros) como derivados del nitrógeno (amoníaco, úrea, acrilonitrilo, entre otros). Se hace la distinción entre aquellos con propósito energético (derivados para este informe) y aquellos para aplicaciones como insumo o materia prima.

- Temporalidad

El foco del estudio y las proyecciones a realizar es desde el inicio de la industria del hidrógeno verde o renovable en Chile hasta el año 2040.

2

Cadena de Valor

Este capítulo tiene como objetivo *identificar y caracterizar detalladamente la cadena de valor y la logística del hidrógeno en cinco hubs de hidrógeno, considerando sus enfoques locales*. Para ello, se realiza una revisión bibliográfica extensiva de **27 documentos sobre la cadena de valor del hidrógeno** [7–33] en diferentes contextos geográficos y sectoriales, incluyendo estudios de casos de hubs de hidrógeno renovable exitosos. Se identifican los elementos en común de la cadena de valor abarcados en la literatura y se procede con la propuesta inicial de una cadena de valor y logística para el hidrógeno renovable estándar, considerando el enfoque de proveedores involucrados en cada eslabón.

Para la determinación y diferenciación de hubs regionales se crea una base de datos ¹ con los proyectos de producción y aplicación en Chile anunciados a la fecha de este informe, utilizándose como fuente principal la base de datos actualizada y provista por el Ministerio de Energía, complementada con la base actualizada de H2Chile y propia de ECIT. Se identifica un total de 103 proyectos en distintas fases de desarrollo, construcción y operación. Los hubs identificados corresponden a las regiones de Antofagasta, Magallanes y la Antártica Chilena, Bío-Bío, Metropolitana y Valparaíso; las cuales cuentan con la mayor cantidad de proyectos anunciados a la fecha.

El análisis también incluye la revisión de instrumentos de política pública nacional, local y de ordenamiento territorial que puedan impactar la cadena de valor y la logística del hidrógeno. Esta información se sistematiza en una tabla que destaca el instrumento de política pública, su alcance, los aspectos de impacto en la cadena de valor y la logística, la vigencia, entre otros aspectos relevantes. Entre los instrumentos estudiados se incluyen el Plan de Acción del Hidrógeno Verde 2023-2030, los planes de desarrollo regional correspondientes a los hubs de hidrógeno y las políticas relacionadas con el cumplimiento internacional en la reducción de gases de efecto invernadero, entre otros. Estos instrumentos son claves para la determinación de potencial de consumo interno en las regiones, habilitando la identificación de aplicaciones claves para las metas de descarbonización país.

A partir del análisis del estado del arte, base de datos de proyectos e instrumentos de políticas públicas locales, se modificará la propuesta inicial de cadena de valor estándar para reflejar las particularidades de cada valle.

¹En adelante, se referirá la base de datos brindada por el Ministerio de Energía y actualizada por ECIT y H2Chile como "base de datos"

2.1. Estado del arte de la cadena valor de hidrógeno

Este estudio presenta una síntesis de informes clave en torno a la cadena de valor del hidrógeno, tomando como referencia 23 estudios enfocados en el mercado nacional y 7 informes para el caso internacional dedicados a la recopilación de estado de proyectos junto al análisis de desafíos y oportunidades de casos con puntos en común a Chile. Los distintos informe definen para sus alcances, distintas agrupaciones de las etapas de la cadena de valor, abordando materias como la obtención de energía a partir de fuentes renovables, desalinización de agua y tecnologías emergentes para las distintas etapas de producción de RH₂ y otros sectores industriales. En estos destaca la creciente integración del hidrógeno como un vector energético dentro de la actividad económica, la importancia de desarrollar una infraestructura adecuada y regulaciones para su implementación.

Para la unificación de los criterios para definir la cadena de valor propuesta en este estudio, se catalogan las distintas etapas expuestas en los informes. La Figura 2.1 muestra los resultados del conteo de etapas coincidentes entre los distintos documentos analizados, siendo la etapa "Diseño del concepto, planeación y estudios iniciales" la abarcada por un mayor número de estudios, seguida de "Obtención de recursos hídricos" marcada por una fuerte presencia en los casos de aplicación en Chile.

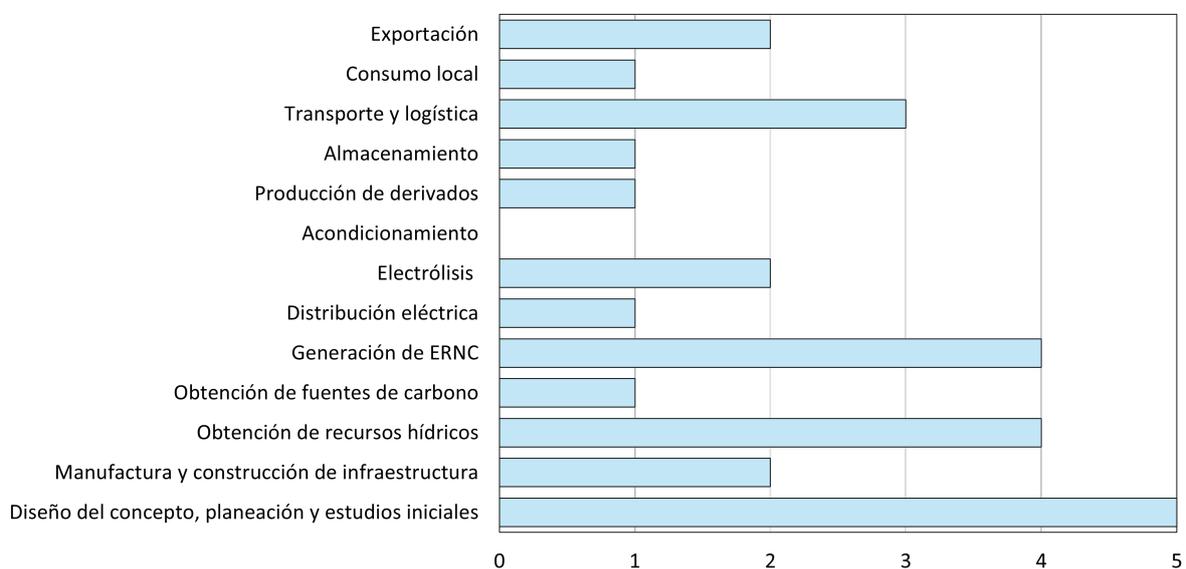


Figura 2.1: Desglose de tópicos abarcados en los documentos revisados

Los documentos evaluados abarcan temáticas de infraestructura y normativa en distintos casos de estudio para la aplicación de hidrógeno renovable, enfatizando la colaboración de los actores involucrados en distintos niveles tanto local como internacional, se analizan las condiciones de infraestructura para la exportación y certificación del RH₂ para mercados europeos basado en experiencias internacionales, y se examina la relevancia de las condiciones habilitantes para el desarrollo de proyectos, destacando la normativa chilena para casos locales.

La Figura 2.2 muestra el desglose por año de publicación y número de estudios abarcando determinada actividad dentro de la cadena de valor. En este se observa un creciente número total de publicaciones asociado a un avance en el nivel de madurez de la industria del hidrógeno. Los tres temas más mencionados por los estudios contabilizados son Infraestructura, Energías Renovables y Desalinización en ese respectivo orden, demostrando una tendencia enfocada a los requerimientos en infraestructura para dar soporte de forma íntegra a la cadena de valor del hidrógeno renovable.

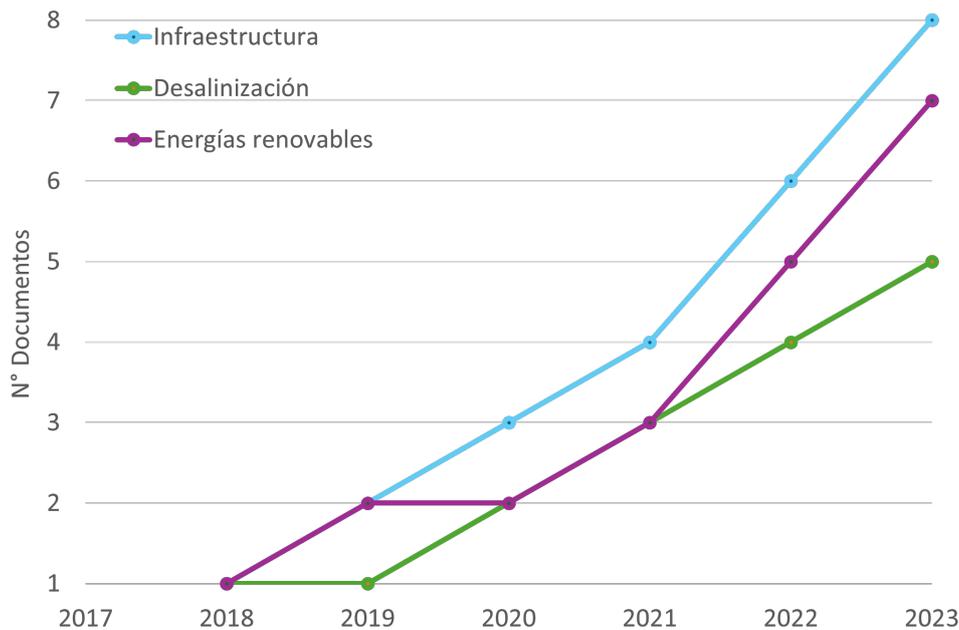


Figura 2.2: Tendencia temporal del avance en el estudio de elementos de la cadena de valor de la industria del H2V mundial.

En conjunto, estos documentos destacan la importancia de la cooperación internacional y la planificación estratégica en la transición hacia sistemas energéticos más sostenibles, resaltando la interrelación entre la gestión del agua y el desarrollo de tecnologías energéticas emergentes.

El análisis de los documentos revisados proporciona una visión profunda de las tendencias actuales y los desafíos en la cadena de valor del hidrógeno y tecnologías relacionadas. Dos de los temas centrales abarcados son la infraestructura y normativa, que se presentan como pilares fundamentales para la integración del hidrógeno en proyectos de producción y/o aplicación. Un total de 7 de los estudios de la bibliografía revisada se enfocan en el análisis la capacidad de la infraestructura existente y proyectada para dar soporte a proyectos involucrados en distintas etapas de la cadena de valor, en base a ellos es posible definir las capacidades necesarias para un proyecto. De la misma forma otros 6 documentos reportan medidas en torno a normativa, sus consideraciones ambientales, sectoriales y territoriales. Se destaca una fuerte necesidad de desarrollar infraestructuras adecuadas, no solo para la producción de hidrógeno, sino también para su almacenamiento, distribución y consumo. La normativa emerge como un componente crucial, con un enfoque en crear marcos regulatorios que faciliten la adopción segura y estandarizada del hidrógeno. Esto indica que se debe establecer infraestructuras que integren las distintas necesidades de la industria y normativas claras para lograr una ventaja competitiva en el mercado global del hidrógeno. Además, la existencia de normativas armonizadas a nivel internacional puede reducir las barreras para la comercialización y exportación.

Dentro de los aspectos críticos detectados, se encuentra el suministro confiable de agua en un contexto de sequía. La alternativa de plantas de desalinización se presenta como un elemento crítico en la cadena del hidrógeno. Múltiples estudios subrayan su importancia al tratarse de un componente integral en la producción del hidrógeno mediante electrólisis. Este enfoque resalta la necesidad de inversiones en tecnología de desalinización eficiente y sostenible. De este modo regiones con acceso limitado a agua dulce, pero con alto potencial de generación renovable adquirirán capacidades para convertirse en centros estratégicos de producción de hidrógeno.

La colaboración internacional se identifica como un motor esencial para la adopción del hidrógeno, mediante mecanismos como los acuerdos bilaterales entre gobiernos, consorcios público-privados, proyectos de investigación y desarrollo (I+D), y asociaciones entre empresas privadas para compartir tecnología y desarrollar infraestructura. La formación de asociaciones entre gobiernos, universidades, centros de investigación, empresas del sector privado en conjunto a organismos internacionales como bancos multilaterales desempeñan roles clave en estas alianzas a través de iniciativas de finan-

ciamiento y el establecimiento de normativas que se adapten al contexto de mercado internacional. La cooperación reduce los costos de desarrollo al permitir instancias faciliten la transferencia de tecnología y capacitación de personal especializado. Proyectos integrados a zonas con concentración de industrias dedicadas a la producción de hidrógeno y derivados podrán aprovechar el efecto economías de escala, compartir riesgos y costos iniciales, así como aprovechar infraestructuras de uso compartido.

La vinculación con energías renovables es otro elemento esencial para la sostenibilidad del hidrógeno. La generación de hidrógeno a partir de energías renovables, como solar, eólica o mix de ambas, propone al hidrógeno renovable a un claro compromiso con la reducción de la huella de carbono añadiendo en términos de cumplimiento con políticas ambientales globales., siendo necesario promover más investigaciones y desarrollos tecnológicos para abordar los desafíos relacionados con la intermitencia de las energías renovables. Es necesario aclarar que el hidrógeno renovable considera su producción mediante electrolisis alimentada por fuentes de energía libres de emisiones, los estudios considerados para la revisión bibliográfica se enfocan en las definiciones convencionales de la producción de hidrógeno verde con fuentes de energía. Sin embargo, los proyectos catastrados revelan una serie de alternativas para el suministro eléctrico renovable. Entre ellas: solar, eólica, concentración solar de potencia (CSP), conexión a la red, mini hidro y geotérmica.

El análisis también revela áreas con menor enfoque, como el acondicionamiento y la producción de derivados del hidrógeno, que tienen menos cobertura en la literatura actual. Esto sugiere un vacío en la investigación y desarrollo que podría ser abordado para optimizar toda la cadena de valor. en búsqueda de soluciones en un nivel avanzado en términos de madurez tecnológica. Las empresas y centros de investigación que apunten a innovar en estas áreas podrían encontrar oportunidades significativas para establecerse como líderes en la tecnología del hidrógeno, mejorando la eficiencia, reduciendo costos y tiempos de implementación de los proyectos.

En conclusión, la revisión bibliográfica determina la cantidad y tendencia de los distintos informes, estudios y documentos que comprenden una o más de las etapas involucradas de forma directa e indirecta en la producción y aplicaciones de hidrógeno renovable y derivados. El análisis revela una concentración de documentos enfocados en "Diseño de concepto, planeación y estudios iniciales", indicando una preparación de gobiernos y privados por desarrollar proyectos e iniciativas en este campo, así como la necesidad de ajustar marcos regulatorios y normativos. En el análisis de los documentos revisados destaca el crecimiento en número de estudios relacionados a infraestructura, energías renovables y desalinización en el periodo 2018 -2023, destacando con ello la necesidad de profundizar en tecnologías asociados la obtención de insumos para la producción de hidrógeno renovable como el acceso a agua y electricidad. La disponibilidad entre la gestión del agua, particularmente en regiones con escasez hídrica se enfatiza la importancia de la desalinización. Además, se identifican áreas con menor desarrollo, como el acondicionamiento del hidrógeno y la producción de sus derivados, lo que abre oportunidades para la innovación.

2.2. Análisis de políticas públicas

Se revisaron 38 documentos de alcance nacional [34–64], clasificados como instrumentos de alcance nacional y de alcance específico para cada uno de los Hubs objeto de este trabajo (Antofagasta, Valparaíso, Metropolitano, Bío-Bío y Magallanes).

Chile se destaca dentro de la región de Latinoamérica y el Caribe por su apuesta por el H2R como elemento clave en la transición energética, con un enfoque de territorio y con altos estándares de sostenibilidad. En este contexto se organiza el desarrollo de la industria del H2R en torno a Hubs, ecosistema integrado en una localización específica que, gracias a su carácter posee infraestructura y condiciones de base con capacidad para la producción, almacenamiento, distribución y/o uso de hidrógeno de bajas emisiones y sus derivados. Sin embargo, se requiere la creación de capacidades, estructura y organización de gobernanza, fomento, políticas públicas y, en general, el establecimiento de condiciones favorables que permitirán realizar inversiones exitosas en la industria del hidrógeno

El documento base y columna vertebral en este análisis es el *Plan de Acción Hidrógeno Verde 2023-2030* [1]. En este plan se estructura el sistema de gobernanza que servirá para alcanzar los objetivos

establecidos, considerando criterios de sustentabilidad. El documento consta de 18 líneas de acción y un total de 81 acciones, las que se implementarán en dos fases o ventanas, una primera entre 2023 y el 2026 y una segunda entre 2026 y el 2030.

Se observa que en la primera fase (2023-2026) se desarrollará acciones relacionadas con:

- Costos de energía eficiente
- Fortalecer instituciones críticas acorde a los desafíos de la industria
- Contar con sistemas de permisos eficientes
- Incentivos tributarios y financieros
- Proveer de información y líneas de base ambientales públicas
- Habilitar infraestructura compartida
- Mapeo e impulso de regulaciones necesarias
- Posicionamiento internacional
- Promover la demanda local
- Definir estándares ambientales, sociales y condiciones laborales en la industria.
- Impulsar I+D+i
- Acuerdos voluntarios para el avance sostenible de la industria

Se observa que en la primera fase se apunta principalmente al desarrollo de las condiciones de entorno para el despliegue de la industria del H2R, principalmente en desarrollar información, consolidar información de referencia existente en el SEIA, estandarizar procesos, levantar información para desarrollo regulatorio, entre otros. Sin embargo, la actual existencia de proyectos en operación, construcción y planificación que requieren certezas y apoyo directo del sector público para avanzar acorde a los tiempos de desarrollo. Actualmente se evidencia un desfase entre los tiempos de planificación del engranaje público en relación a la industria, significando tiempo de incertidumbre lo que puede dar como resultado un atraso en la implementación de proyectos y esto impacta directamente con el cumplimiento de las metas de descarbonización planteadas como país.

A modo general, los temas estratégicos van en la línea de contar y entregar información de calidad, capacitación y difusión a la ciudadanía, educar a las nuevas generaciones desde etapas tempranas, entregar capacidades específicas a los profesionales de servicios públicos, en particular aquellos que tienen bajo su responsabilidad la gestión ambiental y de permisos sectoriales; Mecanismos económicos y financieros para el impulso de la industria, así como fortalecer el desarrollo de la industria a través de proyectos piloto que permiten entre otras cosas levantar información valiosa de costos de inversión y operación; interés en fortalecer y mejorar la regulación con el objeto de entregar certezas regulatorias en el desarrollo de proyectos y en este periodo se muestra un interés en la calidad y certificación del hidrógeno lo que permite la participación en mercados internacionales, además asegurar el suministro de agua; contar con procesos ambientales más acotados sin que se vea afectado el estándar de protección al medio ambiente; enfoque de territorio fomentando el desarrollo de planes reguladores, regionales, comunales, intercomunales, de borde costero, planes regionales de ordenamiento territorial, zonificaciones de uso del borde costero y planes de estrategia de energía regional, entre otros.

Se destaca la capacidad de gestión y de coordinación entre los Ministerios, Servicios y la institucionalidad en la elaboración del Plan de Acción, en el cual se observa que una parte importante de las acciones corresponde al desarrollo de información técnica y política, información necesaria para generar un ecosistema que permita la ejecución de proyectos de manera expedita. Sin embargo, esta información estará disponible en el espacio de tiempo entre el 2023 y el 2030, y el impacto de algunas de estas acciones se verá reflejado en períodos posteriores, lo que parece estar a destiempo con los tiempos que requieren los proyectos para su implementación, donde las definiciones respecto del territorio son fundamentales.

Lo anterior establece que aún cuando el Plan es un plan integral y consistente con lo que se requiere, los tiempos de desarrollo no acompañan lo requerido por el sector privado en el desarrollo de los proyectos.

A continuación, se indican los instrumentos de política pública que inciden directamente en la constitución y desarrollo de un hub, entendiéndose por hub un ecosistema integrado en una localización específica que, gracias a su carácter posee infraestructura y condiciones de base con capacidad para la producción, almacenamiento, distribución y/o uso de hidrógeno de bajas emisiones y sus derivados. Sin embargo, se requiere la creación de capacidades, estructura y organización de gobernanza, fomento, políticas públicas y, en general, el establecimiento de condiciones favorables que permitirán realizar inversiones exitosas en H2R.

Para las regiones objetivo se identificaron 52 acciones vinculadas directamente, concentradas en los hubs de Antofagasta y Magallanes, los primeros hubs en aparecer en el desarrollo de esta industria y que cuentan con estudios previos, tal como se presenta en la Figura 2.3.

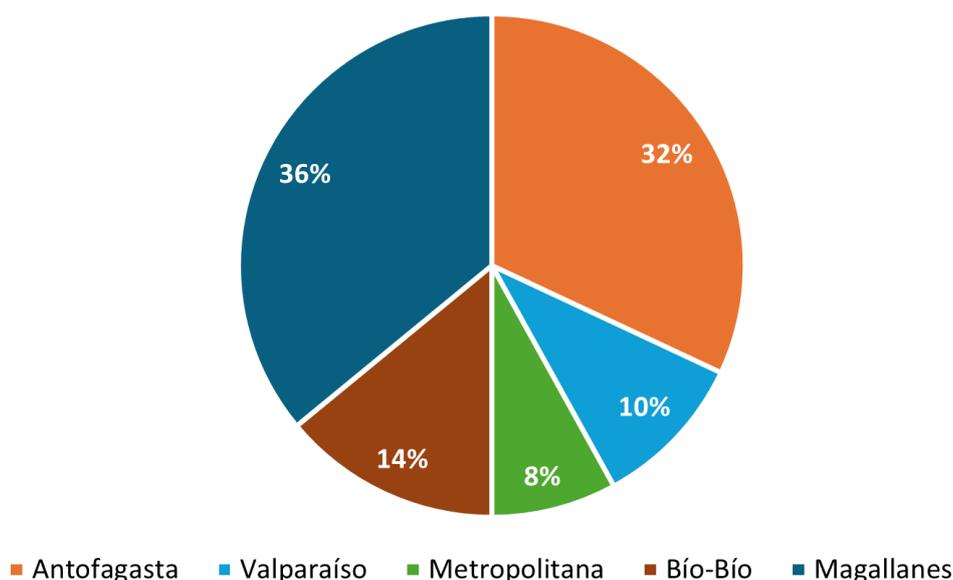


Figura 2.3: Distribución de acciones de políticas públicas según región

La implementación de los proyectos identificados va a requerir un despliegue de cadenas de suministro completas para las que hoy existen brechas tecnológicas respecto de los equipos, materiales y servicios. Aún no se visualiza una madurez tecnológica ni comercial, por lo que no es fácil encontrar proveedores locales. Estas brechas, que impactan directamente a la cadena de valor, se pueden abordar a través de la promoción de I+D, la innovación aplicada, o directamente la adopción de tecnologías. Si bien estas brechas son abordadas a través de la línea de acción 13 del *Plan de Acción*²[1], son acciones de aplicación lenta y sus resultados no son inmediatos. A la fecha de 12 de diciembre de 2024, se ha registrado el lanzamiento de 18 instrumentos de Fomento de Corfo que abordan estas brechas, los cuales se presentan en la Tabla 2.1. Es importante observar que existe un aumento significativo en la cantidad de Programas de Fomento lanzados entre el año 2024 y 2023. No se observan instrumentos específicos para transformar o modelar a la región Metropolitana como un Hub.

²PDE Acción 13: Impulsar la demanda interna/nacional de hidrógeno en sectores clave a través de un Sistema de Comercio de Emisiones (ETS por sus siglas en inglés)

Tabla 2.1: Instrumentos de CORFO para el fomento del desarrollo de la industria de RH2.

Nombre del Programa	Alcance	Año
Innova Alta Tecnología	Nacional	2024
Capital Humano para la Innovación	Nacional	2024
Inicia Sostenible	Nacional	2024
Viraliza Formación Hidrógeno Verde - Tarapacá	Tarapacá	2024
Centro Tecnológico Para La Innovación En Hidrógeno Verde En Magallanes.	Nacional	2024
Programa Tecnológico Para El Uso Y Adopción De Hidrógeno En La Industria Chilena	Nacional	2024
Programa Tecnológico Para El Fortalecimiento De Capacidades Locales De Manufactura De Componentes Habilitantes Para La Industria Del Hidrógeno En Chile	Nacional	2024
Bienes Públicos - Región De La Araucanía - Hidrógeno Verde 2024	La Araucanía	2024
Fabricación Y/O Ensamblaje De Electrolizadores Y Sus Componentes En Chile	Ñuble, Nacional	2024
Bienes Públicos 2024 - Hidrógeno Verde En La Región Del Bío-Bío	Bío-Bío	2024
Semilla Inicia Sostenible	Nacional	2024
Viraliza Formación Sostenibilidad 2024	Nacional	2024
Bienes Públicos - Región Del Bío-Bío - Hidrógeno Verde, 2° Apertura	Bío-Bío	2024
Bienes Públicos - Región De Valparaíso - Hidrógeno Verde, 2° Apertura	Valparaíso	2023
Bienes Públicos - Región Del Bío-Bío - Hidrógeno Verde	Bío-Bío	2023
Bienes Públicos - Región De Antofagasta - Hidrógeno Verde	Antofagasta	2023
Bienes Públicos - Región De Valparaíso - Hidrógeno Verde	Valparaíso	2023
Programa Tecnológico Para El Uso Y Adopción De Hidrógeno En La Industria Chilena	Nacional	2023
Crea y Valida Con Foco En Hidrógeno Verde	Nacional	2023
Selección AOI Para Administración Diagnóstico Programa Transforma H2 Verde Patagonia Austral	Magallanes	2021

Al revisar los concursos de ANID no se identificó ningún concurso específico o con enfoque en Hidrógeno Verde; sin embargo, los concursos de ANID están abiertos a proyectos de H2V.

Por otro lado, existe un instrumento denominado Aceleradora de Hidrógeno verde (AH2V) [65], este corresponde a un programa creado por la Agencia de Sostenibilidad Energética (ASE), financiado por el Ministerio de Energía (MEN). El objetivo general es apoyar la implementación de proyectos de producción y/o consumo de hidrógeno verde en el país, mediante la entrega de cofinanciamiento a la inversión. Los proyectos son de pequeña escala del tipo piloto cuya potencia de electrolisis es hasta 500 kW. El programa es interesante pues además de entregar cofinanciamiento a la inversión entrega soporte técnico y regulatorio. El programa es un instrumento que se ha ido modificando de acuerdo con la experiencia que se ha ganado a través de la ejecución. Ya se han ejecutado dos concursos y actualmente hay un tercero adjudicado recientemente. En la Tabla 2.2 se encuentra el detalle de cada versión de la AH2V.

2.2.1. Análisis de gobernanza

La estructura de gobernanza cuenta con la participación de actores públicos y privados, donde la dirección se distribuye y comparte entre los diferentes actores.

A nivel regional, en el Plan de Acción de Hidrogeno Verde 2023-2030, se propone lo siguiente::

- Los Gobiernos Regionales serán los encargados de liderar la gobernanza regional para el despliegue de la industria del hidrógeno renovable y sus derivados.
- Deben considerar los respectivos contextos territoriales, coordinándose con otras autoridades locales y actores representativos de los distintos intereses del ecosistema regional.

Tabla 2.2: Detalle del desarrollo de cada versión de la AH2V

Versión	Monto de Cofinanciamiento	Etapas	Postulaciones	Adjudicados	Empresas Beneficiadas
AH2V 2021	300M CLP, para financiar CAPEX	Acompañamiento, cofinanciamiento para la implementación, y Monitoreo y seguimiento	27 postulaciones de 8 regiones	1era etapa: 10 proyecto, 2da etapa: 3 proyectos	Cemento Melón, Inversiones Farías & Farías, CNP
AH2V 2023	120M CLP para primera etapa con presupuesto total de 960M CLP y un cofinanciamiento máximo de 480M CLP	Apoyo en ingeniería básica e implementación	10 postulaciones	1ra etapa: 4 proyectos, 2da etapa: 1 proyecto	Sunroof y Bluecome - Calderas de combustión de H2 120 de kW
AH2V 2024	Presupuesto total de 1320M CLP con un máximo de 570 a cofinanciar proyectos de producción y/o consumo de hidrógeno	Implementación	7 postulaciones de 5 regiones	2 proyectos	CMM, Hub Antofagasta - Hidrolinera de 240 kW, Consorcio Icafal-Univergy Solar - UdeC - Puerto de Talcahuano, H2ERMES Hidrolinera de 50 kW

- Establecer canales de comunicación y retroalimentación con la gobernanza nacional a través del Consejo Interministerial.

Esquemáticamente la Gobernanza se muestra como en esquema, donde explícitamente para la implementación local los Gobiernos Regionales son los actores principales que deben liderar la Gobernanza Regional para el despliegue de la industria del hidrógeno.

Para esta labor tienen que elaborar Hojas de Ruta de acuerdo a la realidad de su región y el Gore deberá contar con al menos un Consejo regional de H2R.



Figura 2.4: Gobernanza del Hidrógeno en Chile. Extraído del plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023 - 2030[26]

Las autoridades regionales tienen un rol importante de gestión en el despliegue de las cadenas de valor de los proyectos de H₂V, tienen que ser capaces de entender la problemática y gestionar soluciones y/o respuestas. Actualmente la estructura de gobernanza en las regiones se muestra en la Tabla 2.3. La Región Metropolitana se reconoce como asociación a nivel nacional pero no cuenta con hoja de ruta ni otros instrumentos de fomento. Al contrario, la región con mayor avance es la de Magallanes y la Antártica Chilena pues cuenta con una Estrategia regional de Desarrollo 2023-2030, con fuerte enfoque en la sustentabilidad y desarrollo energético eólico/H₂V.

Es importante el desarrollo de esta estructura de gobernanza pues es la estructura política estratégica la que liderará el desarrollo del H₂V desde las regiones y será el vínculo con el gobierno central. Este análisis identifica una brecha de gestión; esta estructura debe ser capaz de desplegar la cadena de valor completa en la región. Se recomienda fortalecer y entregar conocimientos transversales de las áreas que se requieren para el despliegue de la cadena de valor, particularmente en todo lo relacionado con el desarrollo territorial.

Capital humano

El Capital Humano Especializado es relevante en este proceso de generar una nueva industria, así se observa en el Plan de Acción de Hidrógeno verde 2023-2030, donde se le da una relevancia a los instrumentos de CORFO y donde se destaca el instrumento Capital Humano para la Innovación, además las consideraciones de desarrollo tienen que partir desde el inicio, en las etapas tempranas de formación de las personas y luego de los profesionales, es decir las materias vinculadas al H₂V deberían estar incorporadas a lo largo del desarrollo educativo de cada persona, esto con el objetivo de:

- Personas de la sociedad involucradas con conocimientos básicos, es decir, sociabilizadas con la tecnología y los beneficios que tiene. Esto se logra desde la educación pre-escolar.
- Profesionales jóvenes que egresen de las universidades y centros de formación técnica con competencias en H₂V, acordes a cada carrera. Con el objetivo de contar con profesionales jóvenes que entren a trabajar directamente a las empresas.
- Profesionales con Experiencia capacitados con conocimientos técnicos generales del H₂V para dirigir y gestionar proyectos. Esto se logra con la oferta de estudios de postgrado como Magisters y Diplomados, a cargo de las universidades y centros de formación técnica.

Tabla 2.3: Planificación de implementación de Gobernanza regional

Ítem	Antofagasta	Valparaíso	Metropolitana	BíoBío	Magallanes
Hoja de Ruta Regional	Planificada para 2025	Planificada para 2026	No considerada en Plan de Acción	Planificada para 2024	No explicita en el Plan de Acción
Consejo H2V	Planificado para 2024 (No se identificó)	Cuenta con un Consejo Regional con comisiones, ninguna específica para H2V		Planificado para 2024 (No se identificó)	Planificado para 2024 (No se identificó)
OTROS ELEMENTOS QUE PUEDEN COLABORAR A IMPLEMENTAR UNA GOBERNANZA					
Existencia de Asociación H2V	Sí	No	Sí, Asociación a nivel Nacional	Sí	Sí
Otros Instrumentos	Fondo Regional para la Productividad Estrategia Regional de Innovación Estrategia Regional Minera	Fondo Nacional para el Desarrollo Regional Estrategia Regional de Innovación (2015) Fondo Regional Iniciativa Local		Fondo Nacional de Desarrollo Regional Estrategia Regional de Desarrollo actualizada el 2023 (Lineamiento estratégico 3: Sostenibilidad)	Estrategia Regional de Desarrollo 2023-2030 (contiene lineamientos específicos para gobernanza energética y H2V)
Observaciones	No se identifica alguna línea específica en H2V, se coloca como tema prioritario en conjunto con otros como cambio climático, economía circular, inteligencia artificial, etc	Se identifica el desarrollo de Plataforma Online Interactiva y Personalizable de Hidrógeno Verde para la Región de Valparaíso		Región muy activa en posicionar el desarrollo del H2V desde las Universidades	La región cuenta con una estrategia regional de desarrollo en la cual está integrado el desarrollo del H2V de manera muy intensiva.

- Profesionales técnicos en áreas prácticas como operación, mantenimiento, certificación, etc. Para este segmento se requiere muchos profesionales con diferentes grados de competencias, como por ejemplo mecánicos y eléctricos para el mantenimiento y correcta operación de electrolizadores, especialistas en vehículos a celdas de combustibles, etc.

Entre las distintas instituciones que llevan a cabo iniciativas relacionadas se encuentran:

1. **Ministerio de Educación (MINEDUC):** En las primeras etapas de desarrollo de las personas, el Ministerio de Educación juega un rol importante. Hoy, como política pública se identifica:

- Programa de Formación: Educación en Cambio Climático y Desarrollo Sostenible: Esta iniciativa, curso e-learning, tiene por objeto fortalecer las capacidades de Educación en Cambio Climático y Educación para el Desarrollo Sostenible en comunidades educativas que deseen sumarse a la formación de estudiantes y miembros de la comunidad educativa en general; desarrollando competencias de pensamiento crítico, comunicación y creatividad, para hacer frente a la triple crisis planetaria y asegurar para las actuales y futuras generaciones un comportamiento armonioso con el cuidado del planeta. Invitamos a las y los interesados en acceder al conocimiento, herramientas metodológicas como la indagación científica y el aprendizaje basado en proyectos (ABP) y recursos didácticos necesarios para enfrentar la educación en cambio climático en sus aulas, abarcando los niveles de kínder a II Medio del sistema educativo.

Se trata de un programa recientemente lanzado, con enfoque general, no se pudo acceder al programa de manera de evaluar si se encuentra considerado el H2V como parte de los conocimientos que se deben adquirir. Si se valida la existencia de un programa sólido y enfocado en sustentabilidad y cambio climático. Queda pendiente la revisión de contenidos específicos de energías renovables e H2V.

2. **Corporación de Fomento de la Producción (CORFO):** Para el despliegue y funcionamiento de la industria del hidrógeno verde y su cadena de valor en el país, se requiere contar con personas calificadas que apliquen los conocimientos necesarios en los distintos eslabones de la cadena de valor. Es necesario generar de manera rápida y ágil conocimientos y competencias técnicas especializadas para enfrentar los desafíos que impone el desarrollo y despliegue de esta nueva industria. En este nivel CORFO juega un rol fundamental y cuenta con:

- Becas Capital Humano: En relación con la temática de Energía se han desarrollado 8 cursos los que se muestran en la Tabla 2.4.

Es un instrumento que permite capacitar a una gran cantidad de profesionales independiente de su ubicación geográfica, desde recién egresados hasta profesionales con más especialización. Son cursos de alta intensidad dictados por universidades y/o centros especializados. Tienen solo un costo de matrícula que cercana a los 150.000.

Llama la atención que si bien este instrumento nació el año 2021 solo se dictaron 2 cursos y luego se reactivó este año 2024. Se recomienda hacer una evaluación de los resultados en cuanto a participación de los beneficiados, resultados (notas), porcentaje de egreso, entre otros, etc...

Tabla 2.4: Cursos Capital humano de CORFO

Curso	Año	Territorio	Impacto (Cupos)
Becas Capital Humano-Diplomado "Evaluación Ambiental y Cambio Climático para Proyectos de Hidrógeno Verde"	2024	Nacional	148
Becas Capital Humano-Curso "Formación de Competencias en Vehículos Livianos Eléctricos de la Región de Antofagasta"	2024	Antofagasta	42
Becas Capital Humano-Curso "Instalación y Montaje de Parques Eólicos"	2024	1 Biobío, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos y Magallanes 2 Antofagasta, Atacama y Coquimbo y O'Higgins	120
Becas Capital Humano-Curso "Instalación y Montaje de Plantas de Generación Eléctrica en Base a Solar Fotovoltaica"	2024	1 Arica, Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo. 2 Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins	240
Becas Capital Humano-Curso "Operación y Mantenimiento de Parques Eólicos"	2024	1 Biobío, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos y Magallanes 2 Antofagasta, Atacama y Coquimbo y O'Higgins	85
Becas Capital Humano-Curso "Operación y Mantenimiento de Plantas de Generación Eléctrica en Base a Solar Fotovoltaica"	2024	1 Arica, Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo. 2 Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins	110
Becas Capital Humano-Curso para Operadores y Mantenedores de Plantas de Concentración Solar de Potencia (CSP)	2021	Antofagasta	CEIM - Centro de Entrenamiento Industrial – Minero Fundación Educacional Escondida 55 capacitados
Becas Capital Humano-Certificación de Competencias "Instalador Eléctrico Clase D"	2021	Antofagasta	60

- Becas CORFO #Potenciatutalento: Este era un conjunto de cursos para desarrollar habilidades digitales, en el ámbito de Tecnologías de la Información, el Marketing Digital y las Industrias Creativas. En la página del instrumento no se muestra mucha información, pero aparentemente se trata de un programa desarrollado en conjunto con Talento Digital y en una única oportunidad, es decir con un objetivo específico. EL formato es similar al instrumento descrito anteriormente. Dentro de los cursos que pueden ser relevantes en el ámbito del H2R se encuentran: Análisis de Datos, Ciberseguridad, Ciencia de los Datos y

Desarrollo de Negocios Ágiles.

Entre otros. Estas competencias son requeridas en la dirección y gestión de proyectos, en particular el Desarrollo de Negocios Ágiles, al encontrarse en situaciones sujetas a incertidumbre, se vuelve clave la habilidad de reaccionar y reorientar un proyecto cuando surge un imprevisto.

3. **Ministerio de Energía (MEN):** Cuenta con dos iniciativas son gravitantes en el desarrollo y despliegue de la industria del H2R, generan competencias específicas de la regulación y permisos que se deben gestionar adicionalmente de las características del combustible, va más allá de solo una gestión de permisos sino que se enfoca en aspectos técnicos, normativos, de certificación de hidrógeno verde, de los requisitos técnicos de seguridad.

- Curso Regulación, preparación y gestión de permisos para la implementación de proyectos de hidrógeno verde y derivados en Chile (2024, 20 cupos): Busca capacitar a más de 20 participantes del sector energético en la gestión de permisos y documentación necesaria, promoviendo así la reconversión industrial y la creación de valor local. Está dirigido a profesionales que desarrollan labores en Chile y que cumplan con los siguientes requisitos: tener un título técnico o profesional y contar con al menos dos años de experiencia en el sector energético.
- Gira Tecnológica de H2V (2024, 9 cupos): Fortalecer la comprensión y los conocimientos técnicos sobre tecnologías asociadas al hidrógeno verde, a través de la transferencia de conocimientos proporcionada por visitas a instalaciones y proyectos exitosos, el intercambio de experiencias con expertos/as, la asistencia a eventos y exhibiciones de proveedores/as tecnológicos/as.

Se trata de un curso que reúne muchos temas como un todo. Hasta el momento cada servicio público que ofrece becas y capacitación ha visto la temática de manera muy aislada y desde su ámbito, por lo que se considera un aporte al profesional capacitado.

La gira tecnológica logra un impacto bajo en comparación, con solo 9 participantes. En este caso se recomienda vincular la gira con una pasantía.

4. **Ministerio del Medio Ambiente (MMA):** Este Ministerio cuenta con un programa que se denomina SEA CAPACITA, cuyo objetivo principal es generación de competencias técnicas ambientales. Actualmente tienen un curso enfocado en Hidrógeno, este es:

- i. Curso Descripción integrada de proyectos de Hidrógeno Verde en el SEIA: Si bien no se puede acceder a mayor información del curso en la plataforma, de manera de evaluar las competencias que son requeridas para tomar el curso o su impacto en profesionales que se pueden capacitar, se puede ver que SEA Capacita cuenta con una malla curricular con cada uno de los cursos identificados y que abordan los diferentes aspectos para el desarrollo de una DIA o una EIA.

Es una muy buena herramienta de capacitación para superar temas de permisos ambientales.

Fortalecimiento de proveedores

Para abordar la cadena de valor completa de manera territorial generando las competencias en proveedores de manera que los hubs en regiones se constituyan como tal y sean autónomos es necesario desarrollar proveedores. El análisis de proveedores en capítulos anteriores muestra una deficiencia en aquellos que tienen relación con la comercialización de equipos o bien que tengan que considerar instrumentos de alto costo, lo que en un mercado incipiente mantener stock en bodega resulta muy costoso para la empresa.

También los costos de importación y los tiempos involucrados sumado a contingencias geopolíticas muestran la necesidad de desarrollar tecnología local.

Para lo anterior CORFO es fundamental y hoy cuenta con un conjunto de instrumentos que buscan fortalecer y generar nuevas capacidades y competencias. Se destacan algunos instrumentos de la Tabla 2.1:

1. Programas Tecnológicos PTEC
2. Instrumento de Capital humano para la innovación
3. Instrumento Crea y Valida
4. Instrumento de Innova Alta Tecnología
5. Instrumento Viraliza
6. Instrumento Potencia
7. Instrumento Escalamiento
8. Retos de Innovación
9. Programas de Fomento a la Calidad-Focal
10. Subsidio a la demanda de hidrógeno verde

Estos instrumentos se encuentran principalmente focalizados al desarrollo de soluciones innovadoras, en algunos instrumentos se puede hacer calzar la problemática con la que hoy se encuentran algunas empresas de no saber como se pueden involucrar o ser parte de los proveedores de bienes y servicios para esta industria emergente, para este caso el instrumento Potencia juega un rol fundamental. El segmento de proveedores de bienes y servicios es muy diverso y es necesario enfocar el instrumento a grupos de proveedores y servicios con un enfoque nacional y regional.

Financiamiento

Otro pilar fundamental en el desarrollo de proveedores es el financiamiento para generar nuevos servicios en particular cuando se trata de convertirse en proveedor de equipos e instrumentación específica para la industria del hidrógeno.

Entre los instrumentos de fomento, se identifica la el programa "Proyectos de Fabricación y/o Ensamblaje de Electrolizadores y sus Componentes en Chile" y el "Programa Tecnológico de transformación productiva ante el cambio climático". Adicionalmente, el programa Innova Alta Tecnología puede ser adjudicado a proveedores propiamente tal.

2.3. Propuesta de cadena de valor

Del análisis del estado del arte de la categorización de cadenas de valor, se determinan seis categorías principales para el enfoque en proveedores y servicios:

1. **Desarrollo:** Abarca todas las actividades relacionadas con el avance de los proyectos y sus respectivos hitos de completitud de fases desde la concepción del proyecto, pasando por fases de diseño - estudios iniciales, pre factibilidad, factibilidad y anteproyecto definitivo - hasta Ready to Build (RTB) - fase de ejecución - ingeniería de detalle, construcción y puesta en marcha - y fases de operación y cierre. El actor principal son los desarrolladores y los secundarios son todos aquellos servicios complementarios para sus actividades, entre ellos servicios de Ingeniería, Legal, Estudios, Gestión de Permisos y Financiamiento.
2. **Infraestructura:** Abarca a todos los proveedores y contratistas relacionados con la instalación y los materiales de las instalaciones físicas de una planta, así como a aquellos indirectamente involucrados pero esenciales, como la transmisión eléctrica, los puertos, las carreteras o las vías férreas.
3. **Insumos:** Abarca a los proveedores de los recursos o en su defecto el equipamiento o servicio necesarios para oobtenerlos que son necesarios para los procesos de producción de hidrógeno o sus derivados. Esto incluye energía, agua y sustancias químicas como dióxido de carbono y nitrógeno.
4. **Producción y acondicionamiento:** Abarca a los fabricantes o proveedores de equipamiento necesario para la producción o procesos de acondicionamiento de hidrógeno o sus derivados. Esto incluye el equipamiento principal tal como electrolizadores y reactores para la conversión, además de equipamiento adicional especializado para manejo de las sustancias como compresores, purificación, secado u otros procesos de transformación.

5. **Almacenamiento y Transporte:** Abarca empresas que desarrollan soluciones, proveen equipos y/o maquinaria para realizar el almacenamiento y/o transporte de hidrógeno en cualquiera de sus fases de agregación y de derivados.
6. **Aplicaciones y consumo:** Abarca empresas que desarrollan soluciones, proveen equipos o servicios integrales de aplicación de hidrógeno o sus derivados con fines energéticos o de materia prima, exceptuando procesos de transformación a otros combustibles.

2.4. Diferenciación de Hubs regionales

Se utiliza como fuente principal la base de datos actualizada provista por el Ministerio de Energía y se complementa con la base actualizada de H2Chile y propia de ECIT (que cuenta con datos no públicos obtenidos de conversaciones y trabajos realizados por ECIT). Según esto se obtiene un total de 103 proyectos en distintas fases de desarrollo o ejecución. Es observable que, las regiones que concentran una mayor cantidad de proyectos de hidrógeno renovable, y por ende, poseen un mayor potencial para el desarrollo de hubs son: Región de Antofagasta, Región de Valparaíso, Región Metropolitana, Región del Bío-Bío y Región de Magallanes. El termino hub de hidrógeno, bajo la definición presentada en el estudio *Development Pathways for Hydrogen Hubs in Chile* [15], incluye los electrolizadores, subestaciones eléctricas, almacenamiento de hidrógeno, instalaciones de carga, compresores, producción de derivados, instalaciones portuarias, caminos industriales y servidumbres, instalaciones de transporte y similares. Se refiere a un complejo industrial compacto, cuyo objetivo es reducir las distancias de transporte y aprovechar las economías de escala.

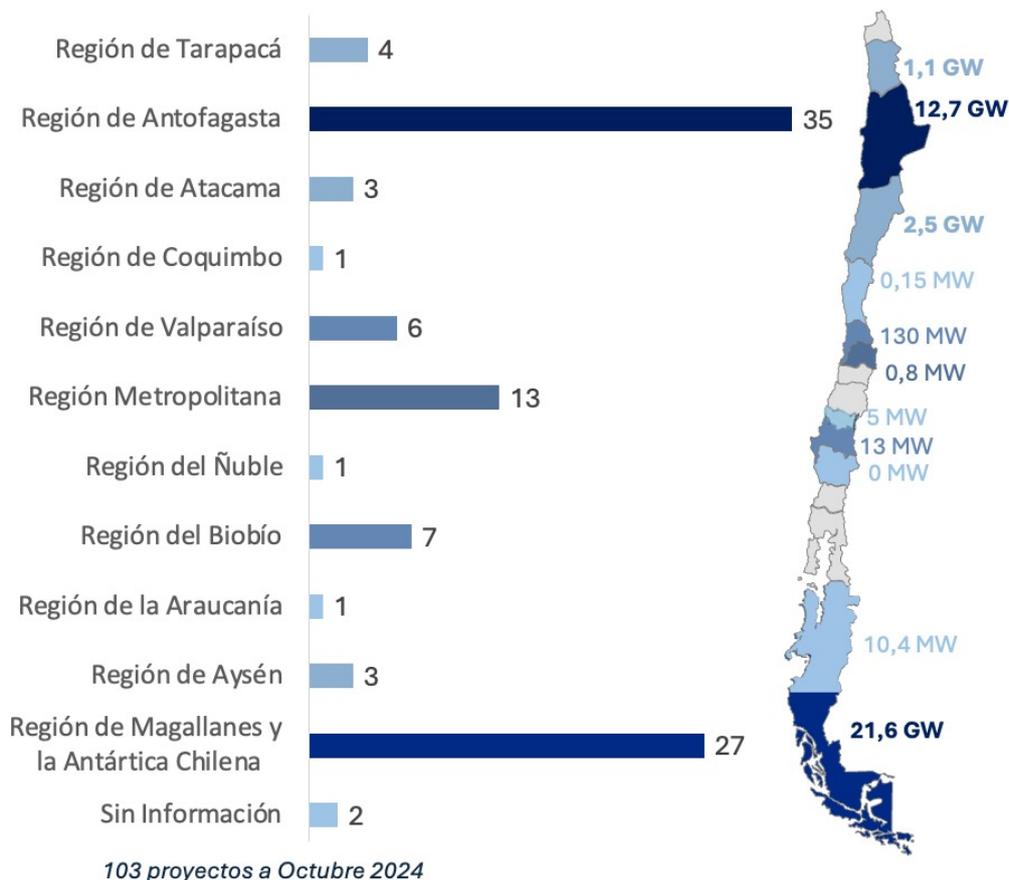


Figura 2.5: Cantidad de proyectos de H2V y potencia de electrólisis anunciada por región.

Es relevante destacar que gran parte de la información que se incluye en este capítulo se basa en proyectos anunciados en etapas muy tempranas de desarrollo. En caso de querer utilizar esta información para la toma de decisiones, desarrollo de políticas públicas u otros fines, se recomienda validar

la información con cada uno de los proyectos y actores involucrados.

La Figura 2.5 muestra la distribución territorial de los proyectos anunciados en Chile y la correspondiente potencia de electrólisis asociada. Se destacan las cinco regiones con mayor número de proyectos para los cuales se profundiza en torno a la cadena de valor en este estudio: Antofagasta, Valparaíso, Metropolitana, Bío-Bío y Magallanes y Antártica Chilena.

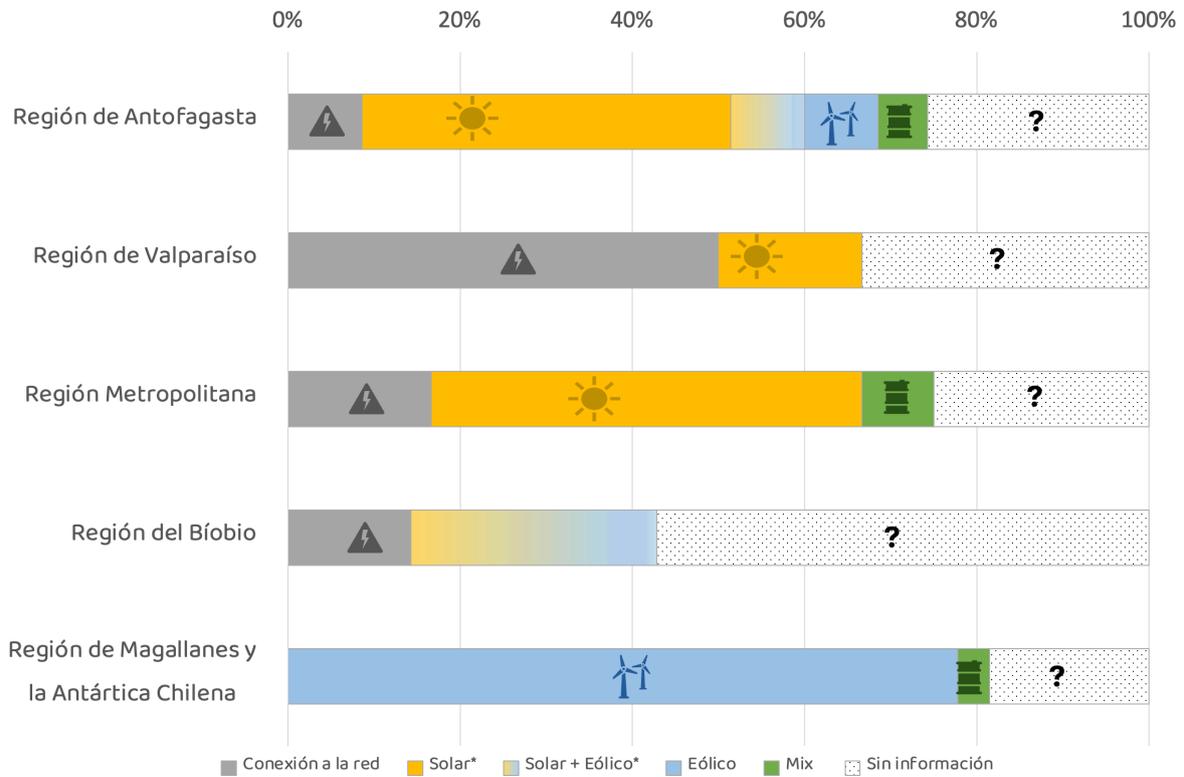


Figura 2.6: Cantidad de proyectos de producción de H2V según su fuente de energía anunciada.

La Figura 2.6 muestra la distribución de fuentes de energía utilizada según cantidad de proyectos anunciados en las cinco regiones con mayor cantidad de proyectos, correspondiente a 86 proyectos en total. Se observa cómo las condiciones geográficas afectan significativamente el abanico de fuentes disponibles para suministro eléctrico, predominando la energía solar en la zona norte, eólica en la zona sur, y uso combinado de energías renovables y conexión a la red en la zona centro. Particularmente, si bien en la Región de Antofagasta predomina la obtención de energía renovable por medio de energía solar, los proyectos consideran adicionalmente una conexión a la red, en busca de suministro complementario o respaldo energético.

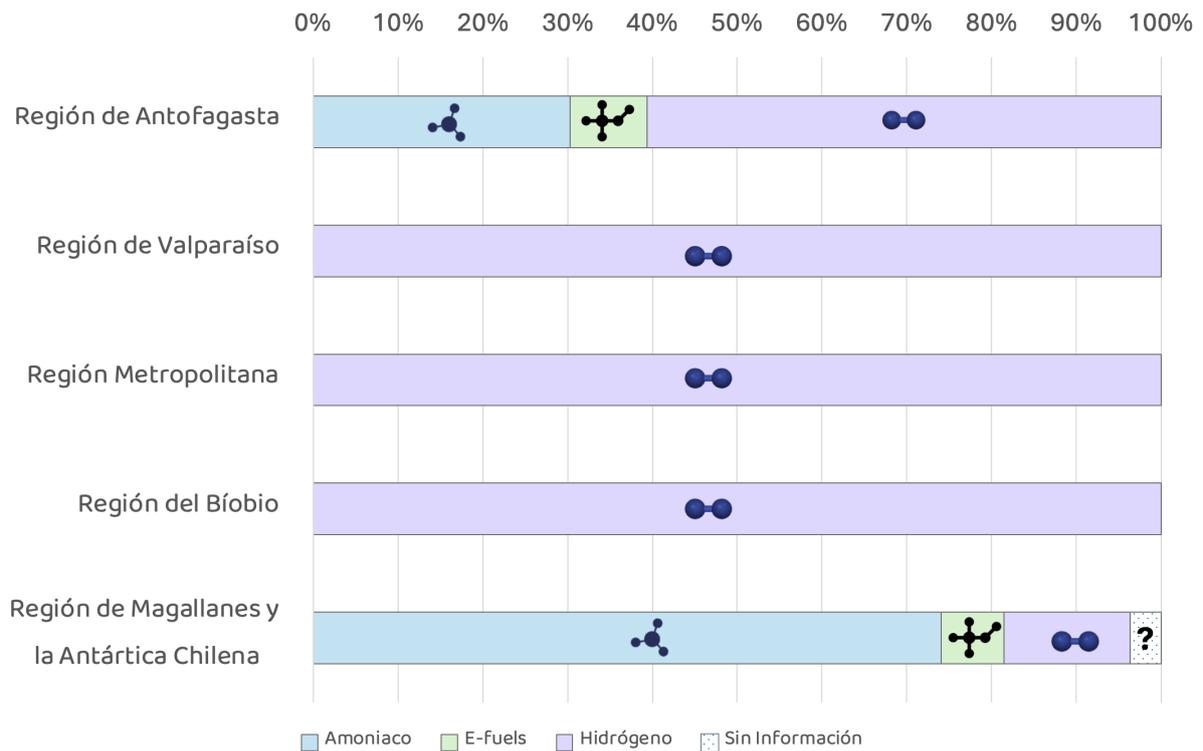


Figura 2.7: Cantidad de proyectos de producción de H2V según su producto final anunciado.

La Figura 2.7 muestra los proyectos de producción anunciados en las cinco regiones definidas como hubs agrupados por producto final, donde destaca el hidrógeno como producto común entre todas las regiones, con el 100% de las plantas de producción anunciadas en las regiones de Valparaíso, Metropolitana y Bío-Bío dedicadas a este. Las regiones de Antofagasta y Magallanes y Antártica Chilena muestran una combinación de hidrógeno, amoníaco y e-fuels en distintas proporciones.

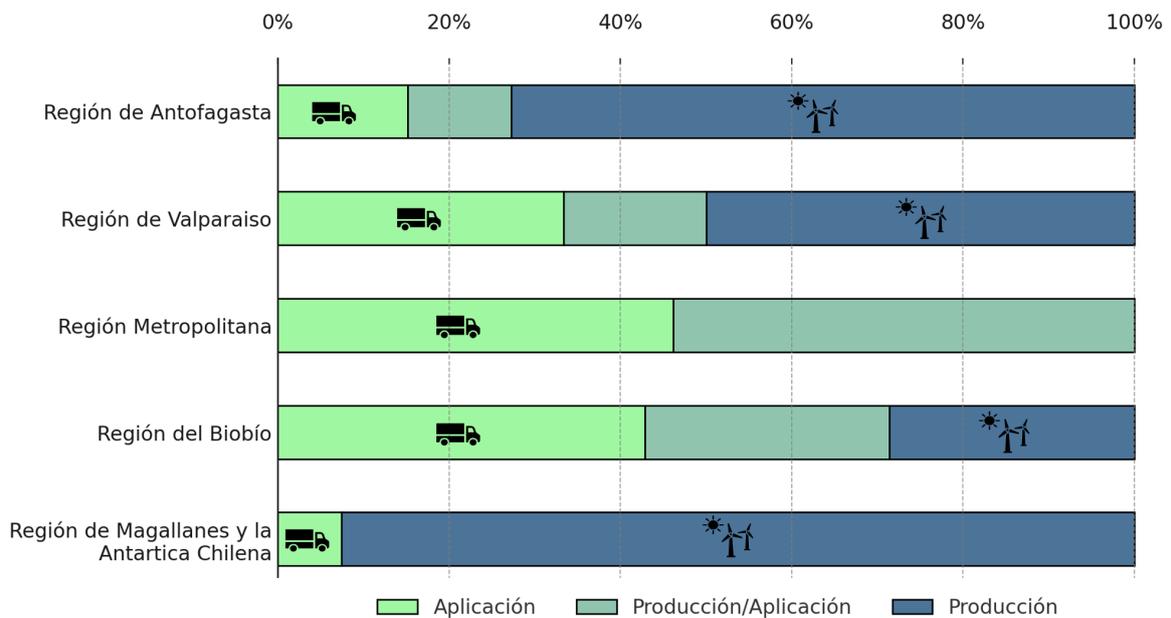


Figura 2.8: Clasificación de proyectos anunciados según finalidad

La Figura 2.8 muestra la clasificación de los proyectos de acuerdo a su finalidad en las cinco regiones con más proyectos anunciados. En este se muestra como en las regiones de Antofagasta y Magallanes predominan los proyectos enfocados a producción coherente con escenarios de exportación. En la región de Valparaíso y Bío-Bío se tiene una combinación de los tres tipos de proyecto, mientras que en la región Metropolitana solo se observan para el caso de Aplicación y Aplicación/Producción. Este último caso representa a las plantas de producción de hidrógeno y derivados que consumen su propio producto, tal como ocurre con el proyecto de Walmart y Engie, donde se instaló una planta de hidrógeno renovable de 0,6 MW para alimentar celdas de combustible de 200 grúas horquilla [66]. Las diferencias en las que se distribuyen los enfoques de los proyectos se relaciona con las características propias de cada región, con consideraciones geográficas, desarrollo urbano e industrial.

Hub Región de Antofagasta:

La región de Antofagasta se distingue a nivel global por su gran potencial competitivo en el desarrollo del mercado del hidrógeno. Esto se debe a su elevada radiación solar, su infraestructura disponible y la presencia de industrias con una alta demanda energética. Estas condiciones favorecen la producción a precios competitivos, así como la distribución e integración efectiva de toda la cadena de valor del hidrógeno. El informe “Levantamiento de casos de uso y servicios tecnológicos para el desarrollo de un Hub de H₂ regional” [3] elaborado por CICITEM y Hub de Hidrógeno Verde Antofagasta (H2VA) el 2023, se desarrollaron 9 casos de estudio para aplicaciones de hidrógeno renovable en la región de Antofagasta, abordando:

1. Transporte urbano de larga distancia
2. Transporte personas viajes larga distancia regional
3. Transporte pesado para largas distancia
4. Equipos mineros
5. Equipos Logísticos
6. Mezcla de RH₂ con metano (CH₄) para la red de turbinas de generación energía
7. Generación energía en sitios remotos basados en celdas de combustible
8. Calderas a hidrógeno para temperaturas medias, hornos a hidrógeno para temperaturas medias y altas.
9. Exportación de amoniaco, metanol y otros combustibles sintéticos

Se identificó la cantidad de unidades, combustible y energía a reemplazar por usos de hidrógeno renovable para cada uno las aplicaciones listadas, en función del tamaño del mercado disponible en la región, resultando que, dentro de las alternativas de consumo final y aplicaciones, la electromovilidad y la generación de calor industrial son las predominantes en la demanda de hidrógeno renovable, principalmente en las siguientes aplicaciones:

- Reemplazo de combustible para hornos y calderas que operan a altas temperaturas (>1200°C)
- Reemplazo de combustible convencional para camiones de extracción mineros (CAEX) por celdas de combustible alimentadas por hidrógeno renovable.

Para el caso de uso de hidrógeno renovable como reemplazo para combustible de hornos y calderas, se identificaron los siguientes sectores destinados para su consumo:

1. Pesqueras: Empresas que poseen procesos de cocción, evaporación y secado de productos pesqueros, tales como Coloso y Corpesca zona Norte. Esta última, posee una planta de producción de harina de pescado en Mejillones, utilizando 140 kWh por cada tonelada procesada y almacenada en el funcionamiento de sus hornos.
2. Cementeras: Hornos de secados de empresas cementeras como Industria Nacional de Cemento S.A, Cementos Bío-Bío y Polpaico Pacífico.
3. Mineras: Uno de los grandes desafíos de descarbonización se presenta en el uso de combustible en hornos, convertidores y calderas de funciones mineras, en procesos de función y refinería (fuel

oil) y electro-obtención (diésel, gas natural). Algunas de las faenas mineras que podrían reemplazar total o parcialmente el combustible utilizado en estos procesos son Codelco Chuquibambilla, Alto Norte, Minera Los Pelambres y Minera Centinela.

4. Químicas: Por ejemplo en plantas de ácido sulfúrico donde hay uso de calderas para generación de vapor necesario para el proceso.

Para las aplicaciones mencionadas, existen dos tipos de tecnología disponibles para calderas con quema directa de hidrógeno renovable: "Hydrogen Firing" y "Hydrogen Ready", provistos por la empresa alemana Bosch. Según un estudio realizado por GIZ [67], la potencia de estas calderas es cercana a 18 MW, su volumen es aproximadamente 10% mayor al de calderas convencionales y generan una flama de temperatura cercana a 2000°C, cumpliendo con los requerimientos mínimos de operación. El estudio del Hub de Antofagasta [3] identificó 255 calderas en la región, de las cuales 188 pertenecen al sector industrial por lo que se proponen tres casos de sustitución parcial correspondientes al reemplazo de 200, 100 y 50 calderas en la región, significando una demanda de 126 MtonH₂/año, 31 MtonH₂/año y 8 MtonH₂/año respectivamente. Con el fin de producir 126 MtonH₂/año, que es el caso de mayor demanda, se requiere una potencia de electrólisis instalada de 771 GW, que es cerca de 5 veces mayor a la potencia de electrólisis proyectada en Chile por la estrategia nacional de hidrógeno renovable para el año 2050 [2].

Por otra parte, el total CAEX en operación en Chile es de 1500, donde un 80% de esa flota corresponde a CAEX operando en la región de Antofagasta [3], lo que equivale a 1200 camiones en total. En turnos de operación regular, los CAEX consumen cerca de 3600 litros de diésel al día. Según el estudio realizado por Corfo "Desarrollo de sistema de combustión dual hidrógeno-Diesel para camiones de extracción mineros" [68], el consumo en términos energéticos de un camión de extracción minero alimentado con hidrógeno renovable y con una capacidad de 400 toneladas, es de 3000 kW. Así, y considerando una eficiencia de celda de combustible del 60% y 12 horas de operación, el hidrógeno necesario a suministrar para cada camión de extracción es de 1800 kgH₂/d. Por tanto, reemplazo de al menos el 10% de los camiones CAEX en operación en la región de Antofagasta (120 CAEX), se requerirá como mínimo un suministro de 78 MtonH₂/año, siendo necesaria una potencia de electrólisis instalada de 477 GW, que es cerca de 3 veces mayor a la potencia de electrólisis proyectada en Chile por la estrategia nacional de hidrógeno renovable para el año 2050[2].

Hub Región Metropolitana

En el Hub de la Región Metropolitana se han anunciado 13 proyectos, con una potencia de electrólisis total agregada de 0,8 MW. Del total de los proyectos documentados se destaca la implementación de proyectos de consumo (aplicación) de RH₂ obtenido mediante terceros o producción y autoconsumo (producción/aplicación) como muestra la Figura 2.8, demostrando el potencial de usos locales para el hidrógeno.

La región Metropolitana concentra el mayor porcentaje de la densidad poblacional del país y se caracteriza por su actividad principalmente de tipo urbana y por estar rodeada de zonas rurales y de actividad industrial [69]. Debido a las características geográficas en torno a las cuales se han emplazado las ciudades y nichos productivos de la región, es coherente el desarrollo de proyectos de producción de hidrógeno conectados a la red para cubrir soluciones de menos de 100 kg/d de H₂ en el medio local, consumo directo o el funcionamiento de pilotos.

Los proyectos conectados a la red eléctrica pueden beneficiarse al reducir los costos asociados a infraestructura renovable mientras se reduce la inestabilidad del suministro eléctrico asociado a la variabilidad de las energías renovables. Desde la información levantada en el Estudio de Proyección de Demanda de Largo Plazo del CEN [70], la proyección de la demanda de consumo eléctrico dentro de la red asociada a la producción de hidrógeno desde electrólisis presentará un crecimiento progresivo, proyectándose un consumo de 5.15 TWh dedicados a esta actividad para el año 2043 [70]. Es relevante considerar que en el Estudio de Proyección de Demanda de Largo Plazo del CEN únicamente se considera el consumo de proyectos conectados a la red (on-grid) con un suministro energético bajo contratos de PPA. En función de este pronóstico, se construye la Figura 2.9, donde se presenta la proyección en función de la producción de hidrógeno desde electrólisis en proyectos conectados a la red para el Hub de RM, obteniendo que para el año 2043 se producirán cerca de 91.500 toneladas al año.

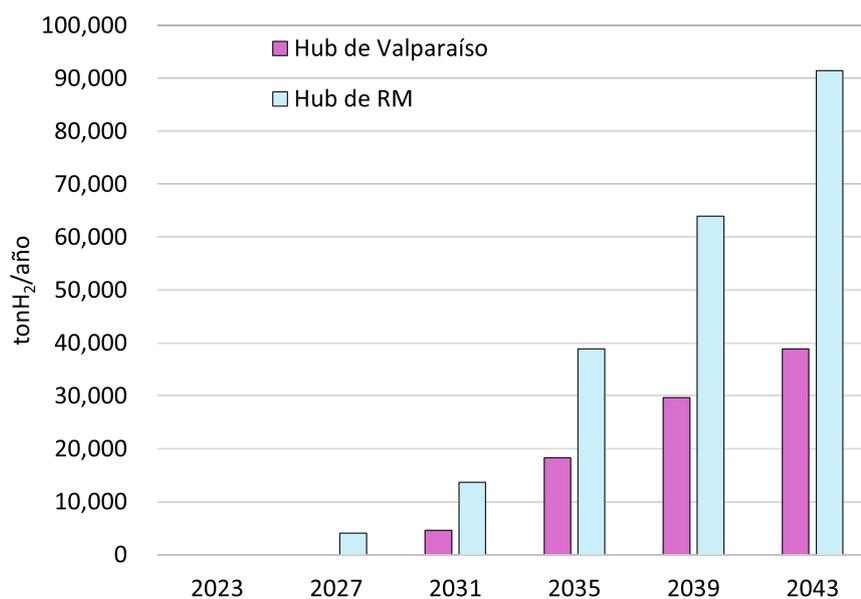


Figura 2.9: Proyección de Toneladas de Hidrógeno producido en conexión a la red eléctrica en la Región Metropolitana y de Valparaíso (2023-2043) .
Elaboración propia en base a [70]

El desarrollo de proyectos en la región debe tener en consideración a la actividad económica predominante de la región y su relación con el consumo energético actual, en 2020 cerca del 44% de la energía final de la región se destina a transporte (público, personal, logístico y otros) [71], posicionando a aplicaciones de electromovilidad con celdas de combustible como una de las principales alternativas a desarrollar. Algunos ejemplos de proyectos ya implementados son las grúas horquillas en el centro de distribución de Walmart Chile y el camión de larga distancia desarrollado junto a Grupo Marval Clean Logistics.

Hub Región de Valparaíso

El Hub de la región de Valparaíso se encuentra emplazado en la zona central del país y en cercanía a la costa, cuenta con locaciones estratégicas como Quintero y San Antonio se declaradas como zonas de interés al agrupar los criterios de conectividad e infraestructura existente, por lo que cuentan con un alto potencial de sinergias con consumos industriales y exportación a mercados internacionales. Además, la región cuenta con industrias que pueden ser adoptadores tempranos del hidrógeno, como la minería y la manufactura, lo que genera demanda local de este recurso. Esta infraestructura también facilita el transporte del RH₂ dentro de la zona central, conectando la producción con el consumo industrial. [6].

En la actualidad se registra un total de 6 proyectos anunciados con una potencia total de electrólisis de 130 MW. A la fecha de este estudio se encuentran aún en etapa de Desarrollo, con fecha de inicio en torno al 2024 y 2025. Por otra parte, se aprecia una distribución mixta de la finalidad de cada proyecto consistente con las características de la región. Si bien en la actualidad el consumo energético de la región está predominado por el sector transporte [71], es importante notar el aporte de las aplicaciones marítimas que contribuyen a esta cifra, por lo que si bien se prevé potencial de transformación a hidrógeno, no es completamente representativa a potenciales aplicaciones de electromovilidad. Por otra parte, el uso de derivados del hidrógeno, como el amoníaco y el metanol, tiene un alto potencial para descarbonizar el transporte marítimo en la región de Valparaíso gracias a la alta densidad energética de estos compuestos en comparación al hidrógeno. No obstante, tanto el amoníaco como el metanol enfrentan dificultades técnicas que instauran una brecha para su posible aplicación. En primer lugar, la producción de amoníaco y metanol desde hidrógeno renovable no es

factible económicamente. Adicional a esto, tanto la eficiencia en almacenamiento y la combustión de amoníaco en motores tradicionales es menor, requiriéndose cambios de infraestructura para mantener el estándar de operación de combustibles tradicionales [72]. El metanol puede sortear de mejor manera estos problemas y posee características de seguridad atractivas, por lo que es considerado como una opción atractiva una vez que los precios equilibren con su opción desde fuentes fósiles [73].

Dada la cobertura de la infraestructura presente en la región de Valparaíso, se espera que los proyectos de producción de hidrógeno obtengan energía completa o parcialmente mediante la red. El Estudio de Proyección de Demanda de Largo Plazo del CEN [70] levantó que la región de Valparaíso tendrá una demanda de energía por concepto de RH2 de 2,2 TWh para el año 2043. No obstante, según este mismo estudio, se espera un crecimiento significativo en región desde el año 2035. En función de este pronóstico, se construye la Figura 2.9, donde se presenta la proyección en función de la producción de hidrógeno desde electrólisis en proyectos conectados a la red para el Hub de Valparaíso, obteniendo que para el año 2043 se producirán cerca de 38.900 toneladas al año.

Hub Región del Bío-Bío

La región del Bío-Bío presenta ventajas comparativas frente a otras regiones del país, que le permiten posicionar hubs exitosos para la producción y uso de hidrógeno renovable. Dentro de estas, se destacan:

- La presencia de una gran cantidad de industrias con un alto consumo actual de hidrógeno y derivados como insumo en sus procesos productivos, lo cual agilizaría una posible transición energética al simplemente reemplazar los insumos tradicionales con la alternativa renovable provista por el hidrógeno renovable.
- La presencia de infraestructura habilitante existiendo 6 puertos y 13 terminales portuarios, líneas de gasoducto que distribuyen gas natural a toda la región con sus ramales principales Talcahuano, Coronel, Lota y Los Ángeles, y redes de transmisión eléctrica entre distintos polos de generación y consumo.
- La alta producción de CO_2 biogénico, materia prima fundamental para el desarrollo de derivados de hidrógeno renovable como metanol (MeOH), dimetil éter (DME), e-gasolina, e-diésel, entre otros.

En la *Hoja de Ruta de H2V Bío-Bío* se identificaron dos polos industriales principales para el desarrollo de la industria del H2V en la región: Polo industrial de Talcahuano, Hualpén y Lirquén y Polo industrial de coronel, los cuales agrupan los principales sectores productivos de la región, y que poseen el potencial de incorporar el hidrógeno renovable y/o derivados donde se destaca su utilización como insumo para producción de derivados o reemplazo directo con hidrógeno de origen fósil, como reemplazo de combustible para hornos y calderas de media y alta temperatura y su uso para impulsar la electromovilidad de maquinaria de transporte off-road. Las industrias involucradas en estos procesos productivos en la región son:

1. Refinería: Uso de hidrógeno como insumo en sus procesos de refinación del petróleo; Hidrosulfuración, Hidrocracking e Isomerización. Dentro de este sector se encuentran las empresas ENAP, ubicada en Hualpén y Petroquim, productor de propileno.
2. Industria Química: Uso directo de hidrógeno para la producción de productos químicos de valor agregado como sulfhidrato de sodio (Fosfoquim), peróxido de hidrógeno (Solvay). También, se utilizan derivados del hidrógeno renovable como el metanol para la producción de formaldehído (Bakelite y Oxiquim).
3. Industria del acero: Hidrógeno como insumo para proceso de reducción de óxidos de hierro y de reemplazo de combustible de hornos y calderas. La empresa que lleva a cabo estos procesos en la región es CAP.
4. Industria Forestal y celulosa: Hidrógeno como insumo para la producción de formaldehído como adhesivos, para su consumo como combustible para hornos y un uso menos significativo en la electromovilidad de maquinaria off-road. Las empresas de este sector en la región de Bío-Bío son CMPC, Arauco y Masisa.
5. Industria cementera: Utilización de hidrógeno como insumo para combustible hornos y calderas para las empresas Cementos Bío-Bío y Polpaico.

6. Industria vidriera: Utilización de hidrógeno dentro de su proceso de producción de vidrios plano para la empresa Vidrios Lirquén.
7. Industria portuaria: Utilización de hidrógeno para el impulso de electromovilidad de maquinaria off-road, aplicado en empresas como ASMAR, ENAP, Portuaria Cabo Froward, DP World, entre otras.

En la Figura 2.10, se presenta el potencial de consumo de R2V equivalente para los sectores industriales de la región, obtenido desde estimaciones de la Hoja de ruta de H2V de la región del Bío-Bío [74], detallando las empresas involucradas y su aporte a la demanda de la región.

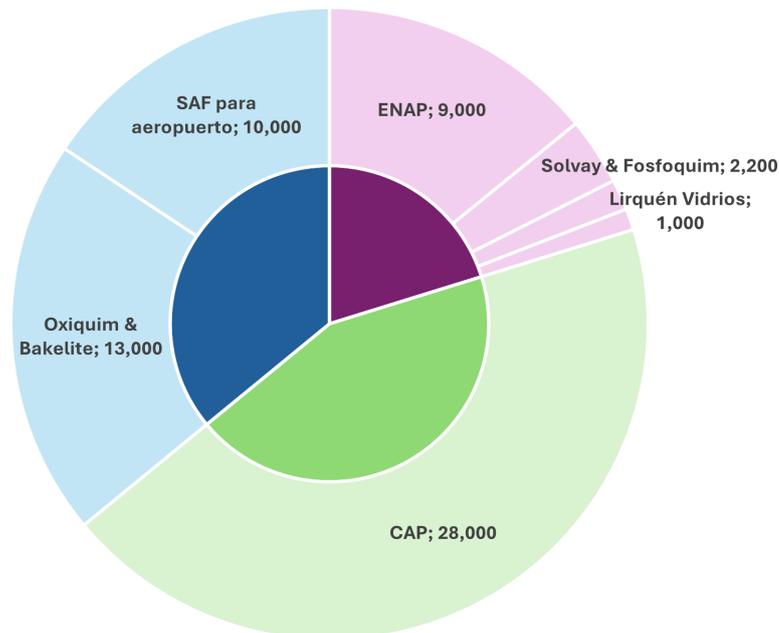


Figura 2.10: Distribución de aplicaciones según consumo potencial de RH2 en toneladas al año en la región del Bío-Bío - Materia prima y feedstock, generación de calor industrial y otras aplicaciones - Elaborado desde Hoja de Ruta de H2V de Bío-Bío [74]

Hub Región de Magallanes

El Hub de Magallanes se posiciona como uno de los principales polos para la economía del hidrógeno en Chile, se caracteriza por contar con una combinación única de condiciones estratégicas para el desarrollo de proyectos de producción de hidrógeno renovable y derivados; experiencia en la industria petroquímica, ubicación geográfica con salida bioceánica y amplia disponibilidad de recurso eólico son algunos de los elementos que vuelven a la zona competitiva frente al escenario nacional y mundial. Se catastraron 27 proyectos en la zona, en distintos niveles de desarrollo y una potencia de electrólisis anunciada de 21,4 GW.

En cuanto a la cadena de valor, el hub cuenta con un nivel avanzado en términos de Desarrollo, convirtiéndose en la segunda región con mayor cantidad de proyectos después de la región de Antofagasta. Sin embargo, la mayoría de los proyectos se encuentran aún mayoritariamente en fases de estudios conceptuales y de prefactibilidad. Del total de los proyectos catastrados en la región predominan las iniciativas dedicadas a la producción de hidrógeno y derivados con miras a la exportación. Siendo el amoniaco el principal producto de este hub, su predominancia por sobre las otras materias primas se explica debido a la madurez tecnológica de los equipos e infraestructura necesaria para su transporte [75]. Actualmente los esfuerzos de la zona se centran en la identificación de brechas y recursos complementarios para potenciar el desarrollo de proyectos de producción [76] [7], por lo que no se proyecta el uso de hidrógeno y derivados de forma local.

2.5. Conclusiones

La cadena de valor de una industria se puede categorizar de diferentes formas según el enfoque. En particular, para la industria del hidrógeno, no existe un consenso de los elementos de la cadena de valor, ni en los enfoques para el análisis de esta. Sin embargo, se reconocen elementos en común y el factor diferenciador fundamental entre cadenas de valor corresponde a los límites acordados para cada una de estas categorías, las que dependen del objetivo del estudio. Por ejemplo, para Chile, existen estudios de cadena de valor enfocados en proyectos [7], en instrumentos de regulación del hidrógeno renovable[28]. El enfoque del presente estudio, proveedores de productos y servicios, se proponen seis (6) eslabones de segmentación de la cadena de valor; Desarrollo, Infraestructura, Insumos, Producción y acondicionamiento, Almacenamiento y transporte y, Aplicaciones y consumo.

De acuerdo a la cantidad de proyectos de hidrógeno renovable anunciados al 2024, se identifican dos regiones principales con potencial de desarrollo de hubs con la mayor cantidad de proyectos en el territorio nacional - Antofagasta y Magallanes -, además de 3 otras regiones con potencial de desarrollo - Valparaíso, Metropolitana y BioBío-.

Desde el análisis de documentos referentes a elementos de la cadena de valor del hidrógeno renovable en Chile, se observó que los hubs regionales principales se diferencian principalmente según su fuente de energía, producto final, tipo de proyecto y potencial de aplicación para consumo interno. Para el caso del hub de las regiones de Antofagasta y Magallanes, la mayoría de proyectos anunciados contemplan el uso de energía solar y eólica como fuente principal respectivamente. Por otro lado, en los hubs de la región de Valparaíso, Metropolitana y BioBío, se registra una mayor cantidad de proyectos que consideran una conexión *on-grid*, posiblemente debido a que son regiones altamente industrializadas, con presencia del sector de refinería de petróleo, cementero, industria química, del acero, portuario, forestal y celulosa, entre otras, teniendo una alta capacidad de transmisión eléctrica instalada y una desventaja comparativa frente a los hubs de Antofagasta y Magallanes correspondiente al potencial de generación de electricidad mediante fuentes renovables.

A su vez, la infraestructura habilitante y los sectores industriales disponibles en cada hub regional forjan el tipo de aplicaciones potenciales pronosticadas para los proyectos anunciados. Por una parte, los proyectos de hidrógeno renovable en el hub de Antofagasta se orientan a obtener como producto final amoníaco, e-fuels e hidrógeno directamente, tanto para exportación debido a la disponibilidad del terminal portuario de Mejillones, como también, y principalmente, para su uso local en el reemplazo de combustibles para CAEX mineros tradicionales (e-fuels) o híbridos (celdas de combustible alimentadas por hidrógeno) y para hornos y calderas. Para el caso del hub de la región de Valparaíso, la presencia de industria enfocada en el sector portuario permite proyectar aplicaciones de electromovilidad para transporte *off-road*, como también para maquinaria pesada. Además, la amplia red de interconexiones en la región impulsa la conceptualización del reemplazo de flotas de transporte público por alternativas híbridas o eléctricas con celdas de combustible alimentadas por hidrógeno. En el caso del hub de la región Metropolitana, los proyectos registrados se orientan a la implementación de electromovilidad en polos industriales, el pilotaje y la investigación y desarrollo. En cambio, el pronóstico de encadenamiento productivo en el hub de la región del Bío-Bío está marcado fuertemente por su diversificación productiva, donde el hidrógeno y/o sus derivados pueden ser utilizados principalmente como insumo para la síntesis de productos químicos y la generación de calor industrial. Por último, el hub de Magallanes está firmemente dirigido a la exportación de derivados de hidrógeno renovable, tales como amoníaco y metanol, y sin ideas concretas para el uso local del hidrógeno.

3

Caracterización y proyección 2025-2040

El siguiente capítulo tiene por objetivo establecer las necesidades actuales de soluciones relacionadas al RH2 y proyectar las demandas futuras en el período 2025-2040. Para estimar la cantidad y tipo de proveedores y servicios para la cadena de valor, se desarrollan tres escenarios de proyección de la industria del hidrógeno y sus derivados en Chile a partir de la base de datos de proyectos de hidrógeno renovable en Chile brindada por el Ministerio de Energía y actualizada por ECIT en octubre de 2024, en la cual se registran 103 proyectos anunciados. Para el análisis se utiliza un criterio de viabilidad de ejecución de proyecto proyectos que hayan alcanzado la decisión final de inversión (FID). El caso base se crea en base a una proyección de crecimiento del mercado y a la distribución de proyectos según el tamaño, los cuales se aplican sobre la base de datos de proyectos actualizada y analizada en el capítulo anterior.

3.1. Definición de criterios de evaluación

El criterio de viabilidad de proyectos busca establecer mediante un factor de viabilidad que represente la probabilidad de éxito del proyecto, es decir, la probabilidad de que este avance de la *Fase de Desarrollo* a las *Fases de Ejecución* (construcción y operación). Con éste factor se define el patrón con el que se proyectan los escenarios y en este caso, será basado en el concepto de FID (Final Investment Decision).

3.2. Factor de viabilidad por FID

Este factor corresponde a la cantidad de proyectos que han obtenido la decisión de inversión final (Final Investment Decision - FID)¹ respecto a los anunciados, información obtenida directamente a partir de fuentes bibliográficas.

- Entre 2022 y 2023, los proyectos de hidrógeno o derivados que han obtenido FID ha aumentado un 30% [77].
- En octubre 2023, se anunciaron cerca de 2.000 proyectos a nivel mundial y sólo el 11% de ellos alcanzó FID [78].
- En Estados Unidos, de cerca de 1.000 proyectos de H₂ existentes, menos del 15% ha alcanzado FID. Además, de proyectos renovables de giga escala (sobre 1 GW), cerca del 40% ha alcanzado FID [79].

¹La Decisión Final de Inversión (FDI) es una etapa crucial en los megaproyectos energéticos, ya que es la etapa final para decidir si seguir adelante con el proyecto o no. En otros términos, es la etapa final para determinar si la inversión en el proyecto sería beneficiosa o no.

Según esto, se define un **rango entre el 15% y 40% de viabilidad de proyectos que van a avanzar a Fase de Ejecución respecto a los proyectos anunciados**, asimilando los giga proyectos de H₂ a los giga proyectos de renovables.

3.3. Caso base de proyección 2025-2040

3.3.1. Proyección de crecimiento

Para la creación del caso base de proyección 2025-2040, es decir, sin considerar criterios de viabilidad, se establece la tasa de crecimiento a partir de la variación de proyectos anunciados en Chile obtenida desde las entregas públicas de H2Chile, tal como se ve en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Número de proyectos anunciados públicamente en Chile

Fecha	N° Proyectos H2Chile	Variación anual
Noviembre 2020	20	-
Diciembre 2022	42	11
Noviembre 2023	59	17
Julio 2024	74	15

El promedio de crecimiento observado por la asociación H2Chile es de, aproximadamente, 14 proyectos por año. Se ajustó una curva de crecimiento mediante una regresión lineal usando el método de mínimos cuadrados ordinarios a la actualización de la base de datos ECIT, que considera un total de 103 proyectos a octubre de 2024, determinándose **un crecimiento promedio aproximado de 19 proyectos por año hasta el 2040**.

3.3.2. Recopilación de estadística (Tamaño de proyectos)

A continuación, se utiliza la base de datos ECIT actualizada para determinar la distribución de proyectos según tamaño, filtrando por potencia instalada de electrólisis en MW. Se determinan tamaño representativos para cada categoría, identificando la mediana de cada rango y criterio experto. El perfil de distribución de proyectos para la proyección de crecimiento cuenta de 19 proyectos adicionales anunciados por año, distribuidos según las categorías y con valores correspondientes al tamaño representativo por cada una. Cabe destacar, que no se consideran proyectos sin información ni casos puntuales que no estén contenidos dentro de la categorización, como por ejemplo, proyectos de hidrógeno renovable cuyo fin sea la producción de amoníaco orientado para el autoconsumo que tengan el nivel de producción necesario para ingresar a evaluación por la SEC. El resultado se presenta en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Distribución de proyectos de H2V por tamaño al 2024.

Tipología	Tamaño	Distribución	Tamaño representativo
Grandes	>100 MW	36%	2000 MW
Medianos	1-100 MW	37%	100 MW
Pequeños	<1 MW	27%	1 MW

3.3.3. Confección modelo de desarrollo de proyectos (Desarrollo, construcción y operación)

Existen diversas maneras de dividir las fases de desarrollo de un proyecto y actualmente no existe consenso para la industria del hidrógeno. Se propone la aplicación principalmente de conceptos asociados a la industria energética y a la minería en el caso de Chile. Es por esto, que se propone el diagrama de la Figura 3.1 como referencia y las siguientes fases como categorías principales:

- Desarrollo
- Construcción

- Operación

Cabe destacar que la fase de cierre no se considera dado que la temporalidad de esta es de 10 o 20 años luego del comienzo de la operación y no entra dentro de los alcances del estudio.

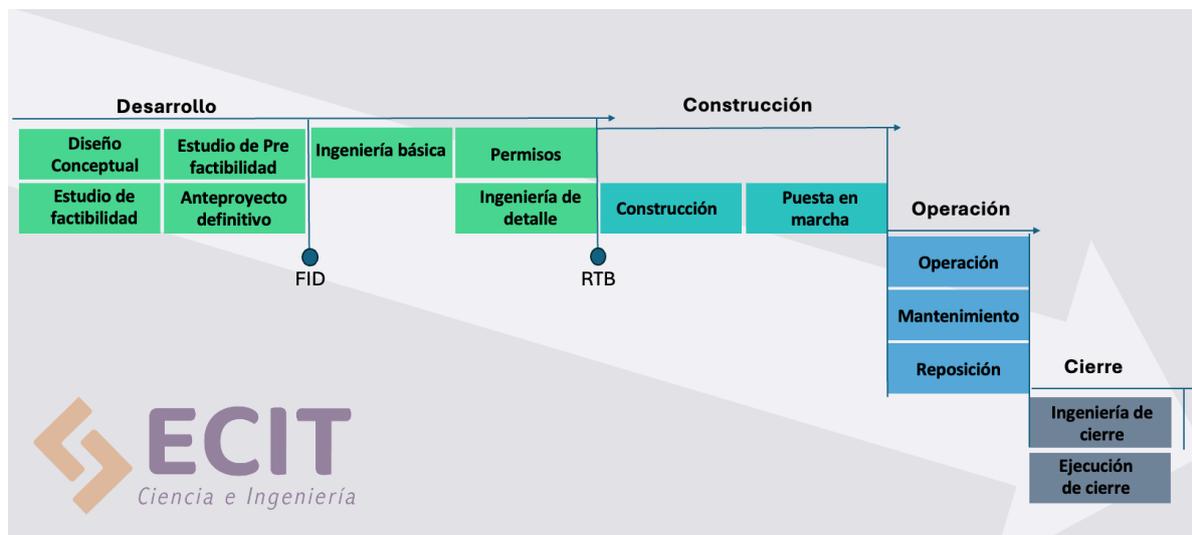


Figura 3.1: Fases de desarrollo de un proyecto de hidrógeno o derivados

Luego, se proponen formulas y criterios para determinar la duración de cada una de las fases por tipología de tamaño para los proyectos:

Para la duración de la **fase de desarrollo**, se dividen según tipología de tamaño de acuerdo con la Tabla 3.3:

Tabla 3.3: Duración de la fase de desarrollo según tamaño del proyecto

Categoría	Tamaño	Años	Consideraciones
Pequeño	1 MW	1	No considera ingreso a SEIA ni proyecto especial SEC. Se considera un mínimo de un año para ingenierías, negociaciones y otros.
Mediano	100 MW	3	Considera ingreso de DIA (1 año en total), 1 año de ingeniería y otros hitos de desarrollo técnico además de 1 año en gestión y tramitación de permisos, obtención de terreno y otros.
Grande	2000 MW	5	Considera ingreso de EIA (2-3 años en total), desarrollo técnico (2 años), gestión y tramitación de permisos sectorial, obtención de terreno, obtención de financiamiento y otros.

Para la duración de la **fase de construcción**, se utiliza la función desarrollada por ECIT² que recopila la duración del período de construcción de proyectos de hidrógeno, derivados y ERNC de gran magnitud tanto en Chile como internacionalmente, según la potencia instalada de la planta ERNC o en su defecto H₂ asociada a la planta. Esta proyección de tiempos de construcción está basada en datos obtenidos de fuentes públicas, noticias y reportes de proyectos. Cabe destacar que los resultados coinciden con fuentes³ que indican que a más de 2 GW de potencia no varía significativamente el tiempo de construcción, pero si la inversión y cantidad de trabajadores necesarios para su instalación, esto considerando que no existen muchos proyectos de dichas magnitudes a nivel mundial.

Para la **fase de operación**, se considera que los equipamientos normalmente tienen una vida útil de mínimo 10 años y particularmente para proyectos comerciales de hidrógeno, se buscaría al menos una

²Para la duración de la fase de construcción, ECIT desarrollo una ecuación con base en la data histórica de proyectos de H₂ y Solar PV y eólico a nivel mundial considerando que el mayor tiempo de construcción de estos proyectos suele ser la planta renovable. Con esa información se graficó y ajustó a una ecuación del tiempo de duración de construcción t en función de la potencia instalada MW de electrólisis o en su defecto de planta renovable ajustado según equivalencia a electrólisis.

³Según criterio experto del consultor

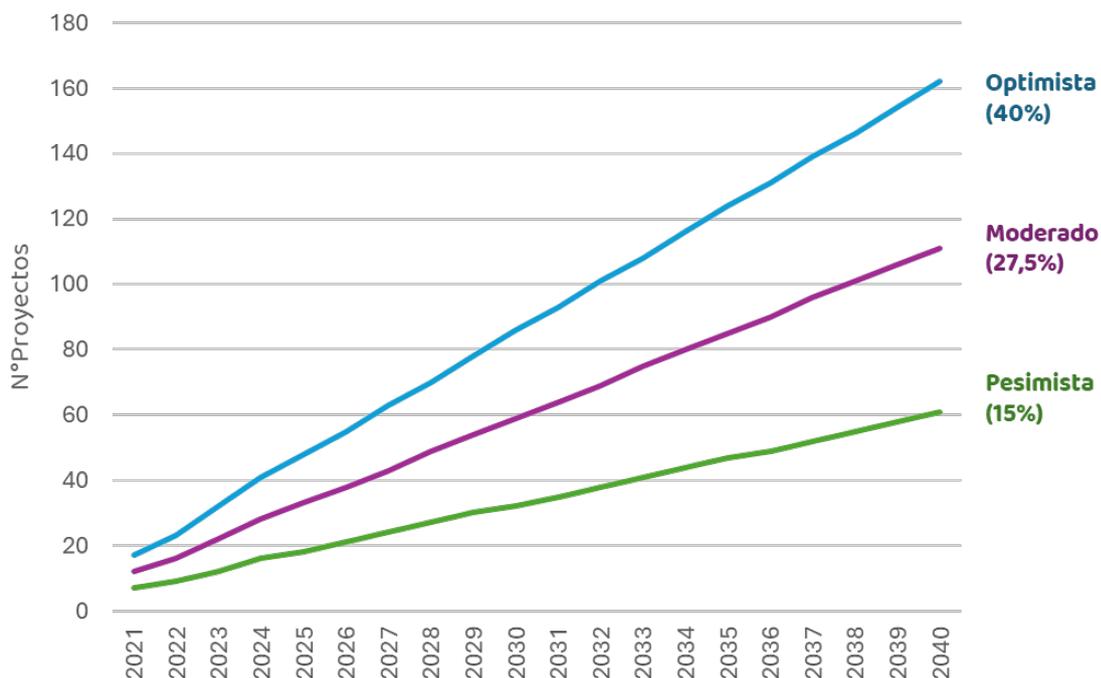


Figura 3.2: Número de proyectos por escenario de viabilidad

renovación de equipos para hacer más rentable el proyecto. Por esto se determina que la operación será considerada de 20 años para todos los proyectos.

3.3.4. Proyección caso base

El caso base consta del número de proyectos de la base de datos ECIT para los datos de 2021-2024 y se aplica la tasa de crecimiento desde 2025 a 2040 con la distribución de tipología de tamaño de proyectos. Esto da como resultado un total de 19 proyectos anunciados por año hasta un total acumulado de 402 al año 2040.

3.3.5. Proyección caso base: Potencia de electrólisis

Tomando una metodología análoga a la aplicada para obtener la proyección del número de proyectos en el caso base, se realiza una proyección en función de la **potencia de electrólisis anunciada** de los mismos proyectos. La proyección es obtenida utilizando la tasa de crecimiento, distribución y tamaño representativo presentados en las Tablas 3.1 y 3.2, al igual que para la proyección del caso base en función del número de proyectos. Así, la proyección determina que existirá una potencia de electrólisis anunciada acumulada de 274 GW para el año 2040.

3.4. Confección de escenarios: Ajuste caso base por viabilidad

Luego, a partir del caso base, se pondera por la viabilidad de cada escenario de proyección tal como se definió en la descripción del Factor de Viabilidad (Sección 3.1.2, 15% Pesimista, 27,5% Moderado y 40% Optimista) (Figura 3.2) y finalmente, se separa por fase de desarrollo donde la distribución obtenida es común a todos los escenarios como se observa en la Figura 3.3. Esta ponderación se aplica tanto para el caso base de proyección en número de proyectos de hidrógeno, como también para la potencia de electrólisis instalada.

A partir de la Figura 3.2, se observa que el rango de proyectos desarrollados y efectivos (que avanzan

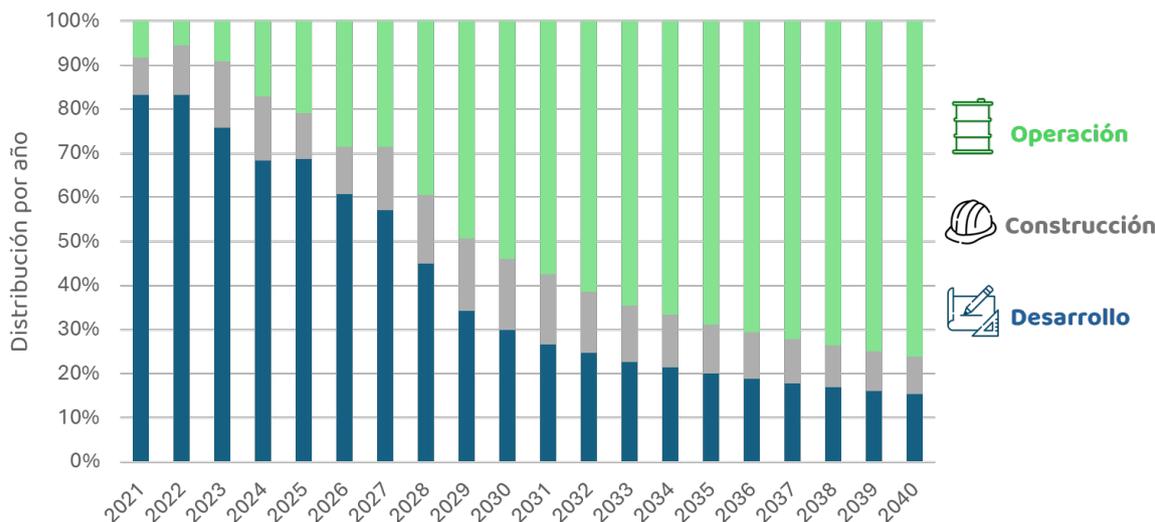


Figura 3.3: Distribución porcentual de fases de desarrollo por año

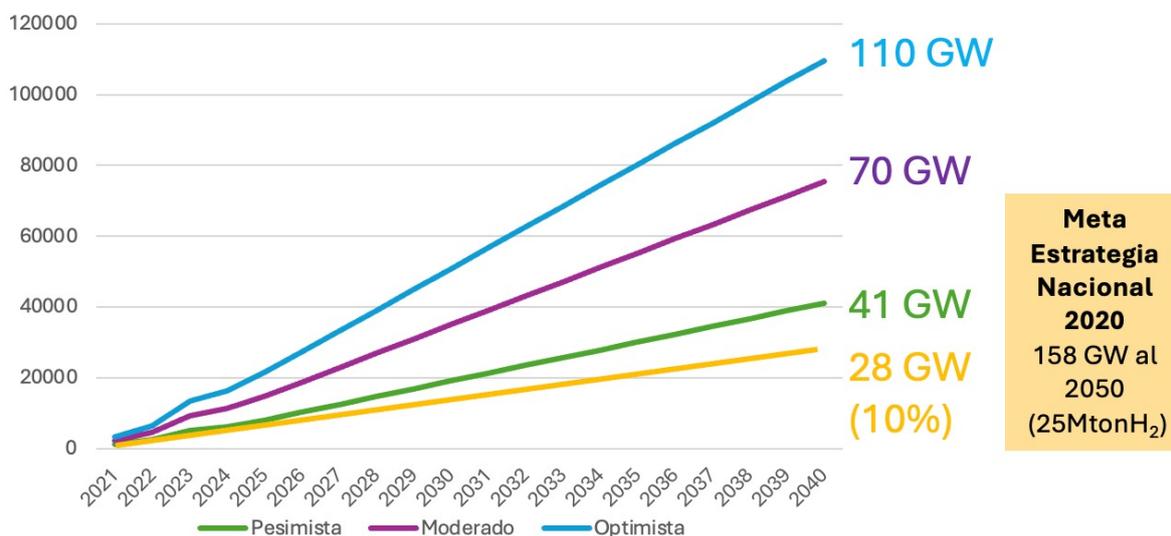


Figura 3.4: Proyección de crecimiento en MW por año

a fases de ejecución) va desde cerca de 60 proyectos en el escenario pesimista hasta 160 en el escenario optimista en Chile a 2040, considerando la misma distribución actual por tamaño de proyecto (36% grandes, 37% medianos y 27% pequeños). De la misma manera, en la Figura 3.4 se observa el crecimiento de la proyección de potencia de electrólisis instalada, alcanzando 109 GW y 41 GW en el caso optimista y pesimista respectivamente.

Por otro lado, desde la proyección de fases de desarrollo presentada en la Figura 3.3, se observa la evolución natural de los proyectos, siendo la más relevante la fase de desarrollo los primeros años, al menos hasta el 2028 donde representa cerca del 45% de los proyectos. Luego toma mayor relevancia la fase de operación a medida que se instalan los proyectos, siendo esta categoría más del 70% a partir de 2035. La fase de construcción, se mantiene a lo largo de todo el período estudiado entre un 10 y 20%, pero es la fase con mayor necesidad de insumos, proveedores y servicios. Por otro lado, la proyección de la potencia instalada según la etapa de avance en que se encuentra el proyecto presenta un comportamiento distinto. Como se observa en la Figura 3.5, no será antes del año 2030 que se observe un porcentaje significativo (<20%) del potencial de electrólisis anunciado en operación, lo que se debe a los prolongados tiempos de desarrollo que implica la puesta en marcha de los proyectos



Figura 3.5: Distribución MW por etapa de proyecto

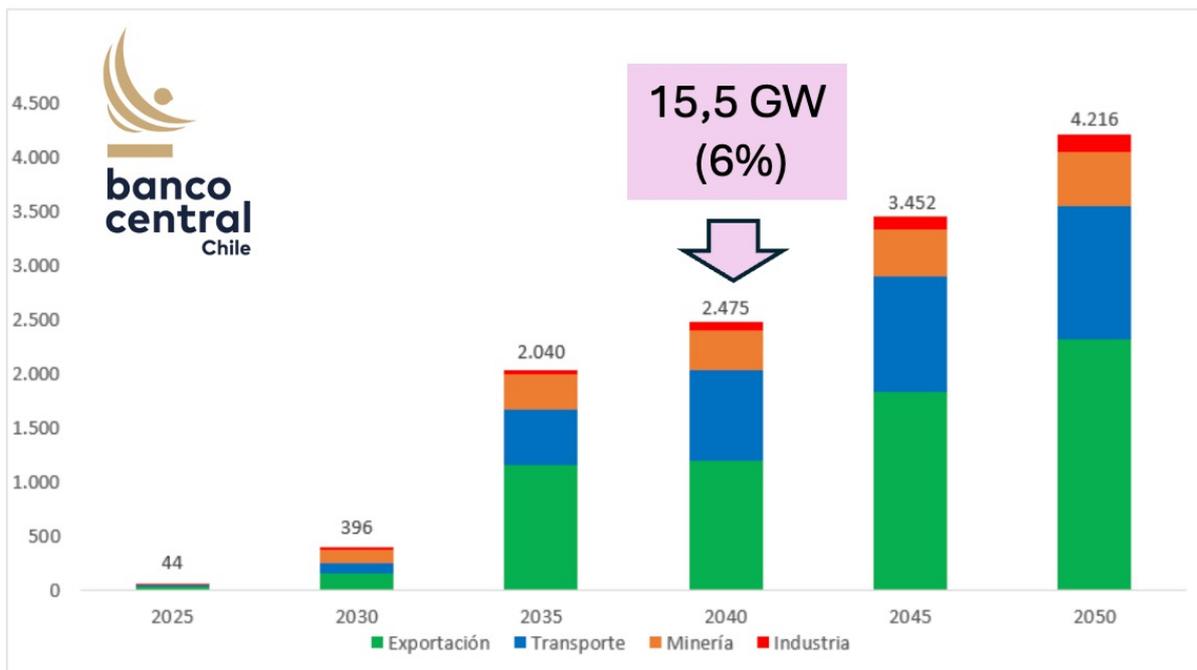


Figura 3.6: Proyección de crecimiento según Banco Central en ktonH₂ anuales. Figura adaptada [80]

”Grandes”. Los proyección de los distintos escenarios de potencia de electrolisis instalada al 2040 fueron calculados en base a un crecimiento lineal de la meta en toneladas anuales de hidrógeno al 2050 del la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, utilizando una aproximación de 440 kg/día por cada MW de capacidad instalada se calcula el equivalente en ton/año entregando como resultado que para 2040 se requerirán 28 GW de potencia instalada, lo que corresponde al 10% de la proyección del caso base e inferior al caso pesimista establecido.

A modo de comparación, la Figura 3.6 muestra las proyecciones del Banco Central de Chile de demanda de hidrógeno renovable en los escenarios consistentes con la carbono neutralidad hacia el 2050. En este se indica que al 2040 se requerirán 2.475 kton/año de hidrógeno, cantidad equivalente a 15,5 GW de potencia de electrólisis instalada, correspondiente al 6% del caso base proyectado por la consultora.

3.5. Conclusiones

Las proyecciones del crecimiento de mercado analizadas bajo criterios de viabilidad de obtención de FID (15 al 40 % de proyectos anunciados) indican 60 a 160 proyectos en Chile al 2040, distribuidos en 36% grandes (>100MW), 37% medianos (1-100 MW) y 27% pequeños (<1MW), lo que se traduce en una potencia de electrolisis instalada de 110 GW a 41 GW. Las fechas críticas calculadas para la predominancia de las fases son 2028 para el desarrollo y 2035 para la operación, mientras que la construcción es una constante para un rango entre 10 a 20% de los proyectos.

Al analizar el factor de viabilidad obtenido para los proyectos actuales, se observa que los proyectos de gran magnitud son aquellos con menor viabilidad con un factor bajo los 0,5 incluso para aquellos proyectos con grado de avance. Los proyectos medianos y grandes tienen una distribución más amplia desde aproximadamente 0,4 a 1, concentrándose alrededor de 0,45 y 0,65. Finalmente, cabe destacar la existencia de un número considerable de proyectos (16) en fase de ejecución y por lo tanto con factor de viabilidad 1 que corresponden principalmente a pequeños (pilotos, laboratorios y uso industrial de pequeña magnitud). Además, según la experiencia y conocimientos de los consultores, es necesario corroborar el estado de los proyectos medianos declarados en fases de ejecución (factor 1), ya que no se conoce públicamente de inicio de construcción u operación de plantas con capacidades mayores a 1 MW (según la base de datos levantada, los proyectos operativos conocidos en operación más grande son Wally y HIF con 1 MW de electrolisis cada uno). Estos proyectos en cuestión son H₂ Solar Project y San Pedro de Atacama de 80 y 2 MW respectivamente, ambos declarados en fase de “estudios” en base de datos del Ministerio de Energía.

Por otro lado, al cruzar la cadena de valor con las fases de desarrollo, se propone las siguientes relaciones:

Fase de desarrollo: Sólo aplican directamente los proveedores y actividades correspondientes a la categoría *Desarrollo* de la cadena de valor. También se considera en esta fase el contacto y las negociaciones con proveedores de todas las otras categorías, ya que en ella se establece el concepto del proyecto incluyendo que equipamiento y servicios se utilizarán (aunque esta pueda cambiar durante la evolución del proyecto).

Fase de construcción: Aplican directamente los proveedores y actividades de las categorías de *Infraestructura, Producción y acondicionamiento*, y *Almacenamiento y transporte*. En esta fase se adquiere el equipamiento, materiales y servicios asociados a la erección del proyecto. En algunos casos, si el proyecto contempla producción y consumo del hidrógeno o derivado producido, también se consideran la categoría de *Aplicación y consumo*.

Fase de operación: Aplican directamente los proveedores y actividades relacionados con las categorías de *Insumos, Almacenamiento y transporte*, y *Aplicación y consumo*. En esta fase se adquieren de manera constante la energía y sustancias requeridas para la elaboración de los productos (por ejemplo, agua, nitrógeno, dióxido de carbono, etc.). Además se considera el uso interno del producto o su venta a un tercero consumidor o distribuidor.

De estas relaciones se puede extrapolar en qué años qué proveedores serán más relevantes o incluso el número requerido según las proyecciones realizadas. Preliminarmente, se prevé que hasta 2028

las labores de desarrollo tales como la gestión y tramitación de permisos, ingeniería, servicios legales y otros serán los predominantes en la industria, mientras que entre 2028 y 2035 el foco estará más en la construcción con actividades propias de obras civiles, trazado eléctrico, montaje de equipamiento y otros. Finalmente a partir de 2035 ya habrá cerca de un 70% de los proyectos en operación (56 proyectos según el escenario moderado), lo que a su vez significa la predominancia de actividades como el suministro de electricidad e insumos y actividades de transporte, aplicación y consumo de los productos (transporte por carreteras o marítimo para exportación, usos de electromovilidad, calderas, etc.).

Finalmente, para futuros pasos del estudio, se recomienda realizar el mismo análisis realizado de proyección y distinción por fase para el parámetro de potencia instalada de los proyectos, ya que con esto se obtiene una visión global más clara de la intensidad de los servicios requeridos a lo largo de los años para la industria del hidrógeno y sus derivados en Chile.

4

Proveedores y Servicios

El presente capítulo posee como objetivo la *identificación, caracterización y clasificación de empresas proveedoras de soluciones para uno o más eslabones de la cadena de valor* definida en este estudio. Para el cumplimiento de este objetivo, se plantea una metodología de investigación basada en la distinción de empresas proveedoras **nacionales e internacionales**.

Para ambas categorías mencionadas, se caracterizó y categorizó a los proveedores según los eslabones de la cadena de valor definida en este estudio: **desarrollo, infraestructura, insumos, producción y acondicionamiento, almacenamiento y transporte, consumo y aplicaciones**. Con ello, se construyó una base de datos de proveedores nacionales e internacionales con y sin presencia en Chile, identificándose un total de **253** proveedores nacionales y **387** proveedores internacionales directamente relacionados con la cadena de valor. La base de proveedores nacionales se creó mediante una búsqueda sistemática bajo el criterio "participación directa o interés declarado" y complementada con los resultados de una encuesta pública realizada para este estudio.

Por otra parte, también se exploraron asociaciones y gremios con socios que estén directamente involucrados dentro de los eslabones de la cadena de valor, o bien, si tienen participación debido a una actividad inducida o indirecta surgida a raíz del desarrollo de la industria del hidrógeno. Se catastraron un total de **62** asociaciones nacionales desde el portal de búsqueda de organizaciones provisto por el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo [81]. De la misma manera realizada con los proveedores, se categorizaron las asociaciones por su participación en los eslabones de la cadena de valor definida, región donde actúa y su contacto respectivo.

4.1. Identificación, caracterización y clasificación de proveedores

A partir de la identificación y caracterización de la cadena de valor presente en la Sección 2.3 que identifica **6 eslabones principales**, se clasifican las distintas soluciones de productos y servicios de acuerdo a las necesidades de bienes e insumos de los proyectos de hidrógeno y derivados. Esta clasificación fue validada por los actores del sector público, sector privado y academia que participaron de la mesa de trabajo realizada para este estudio, donde se eliminaron categorías poco representativas y se agregaron otras que, si bien en muchos casos podrían estar contenidas en la clasificación actual, necesitan explicitarse para incentivar el involucramiento de actores. Se consideran los siguientes alcances en la elaboración de la cadena de valor:

1. Se identifican las categorías como aquellas directamente relacionadas con la cadena del hidrógeno verde y sus derivados con foco en proveedores de equipamiento, insumos o servicios para el desarrollo de proyectos de generación o aplicaciones, además de aquellas necesarias o habilitantes para la instalación y operación de plantas.
2. Dentro de la cadena de valor del hidrógeno para proyectos se encuentra como categoría los consumidores u offtakers, los cuales usan el hidrógeno o sus derivados ya sea como materia prima o como energético. Para el caso de cadena de valor de proveedores, estos no realizan

ningún servicio ni venden ningún producto para el desarrollo del mercado, por lo que aunque son indispensables para la consolidación de la demanda interna, no se consideran en esta base de datos ya que están fuera de alcances.

3. En el caso de los proyecto de autoconsumo, si bien tampoco proveen bienes ni servicios dentro de la cadena de valor del hidrógeno, son considerados dentro de la base de datos debido al potencial de replicar o expandir sus proyectos para satisfacer necesidades externas a su compañía.
4. Los eslabones y categorías fueron validados por la industria local a través de una encuesta masiva y de una mesa de trabajo realizada online, separada por regiones de acuerdo a los hubs analizados en este estudio. En ambas instancias, se solicitó que los participantes se identificaran en las categorías propuestas y que, en caso de no coincidir, agregaran o cambiaran categorías existentes bajo la lógica de proveedores de bienes y servicios. De esta manera, se agrupan dentro de una misma categoría servicios y bienes que se identificaron dentro de la industria como comúnmente proporcionados por la misma entidad.

Las categorías se ordenan en sus respectivos eslabones como se presenta en la Figura 4.1 y se definen a continuación:

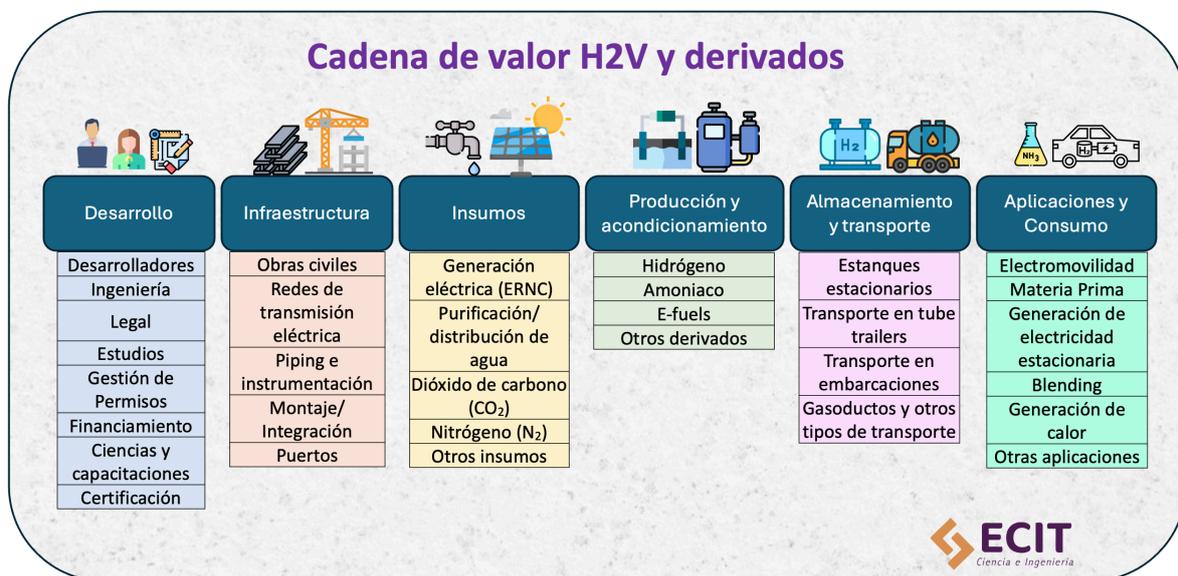


Figura 4.1: Categorías de cadena de valor enfocada en proveedores

1. Desarrollo

- **Desarrolladores:** Empresas que lideran el diseño, estructuración y ejecución de proyectos de producción de hidrógeno verde y derivados con fines industriales. Se encargan de la conceptualización, planificación y desarrollo integral de las iniciativas, incluyendo la identificación de oportunidades, estudios de viabilidad, permisología, terrenos, insumos y gestión de la cadena de valor. Pueden ser o no dueños del proyecto o una porción de él.
- **Ingeniería:** Empresas proveedoras de servicios de diseño y cálculo para los diferentes componentes del proyecto, tales como plantas de producción, infraestructura, y sistemas de transporte. Estas empresas participan desde la fase de ingeniería básica hasta detalle. Si realizan servicio integral de ingeniería, construcción y puesta en marcha, entonces se denominan EPC (Engineering Procurement and Construction).
- **Legal:** Firmas especializadas en el asesoramiento legal de proyectos de energía, química y/o medioambiente. Asisten con la redacción de contratos, cumplimiento normativo, gestión de riesgos y la obtención de permisos requeridos para la operación de proyectos de hidrógeno renovable y sus derivados.

- **Estudios:** Empresas o consultoras que realizan estudios técnicos, ambientales, científicos, de impacto social u otros. Estos estudios pueden estar asociados a etapas de desarrollo, tramitación de permisos, modelos de negocio, transferencia tecnológica y otros parámetros de interés como insumo para los desarrolladores.
- **Gestión de permisos:** Empresas o consultores especializados en la obtención de permisos regulatorios, técnicos, ambientales o sectoriales para el desarrollo de proyectos. Ayudan a las empresas a cumplir con la legislación local, como la obtención de permisos ambientales, concesiones de terrenos, y autorizaciones de construcción, entre otros.
- **Financiamiento:** Entidades financieras, bancos e inversionistas que proporcionan capital para el desarrollo de proyectos. Estas empresas evalúan el riesgo y la rentabilidad de los proyectos, ofreciendo alternativas de financiamiento y estructurando acuerdos de inversión, además, se incluyen empresas que realizan actividades de asesoría financiera, evaluación económica y estructuración de garantías a inversores.
- **Ciencias y capacitaciones:** Empresas o instituciones con capacidades académicas de estudios científicos y capacitaciones. Se identifican estudios de I+D como desarrollo y validación tecnológica, transferencia y adaptación a condiciones locales, entre otros, para asegurar el correcto y óptimo funcionamiento de tecnologías de niveles de madurez bajo el máximo. Además, instituciones capaces de crear capital humano avanzado a partir de diplomados, cursos específicos, entrenamientos técnicos, entre otros.
- **Certificación:** Empresas o instituciones capaces de entregar certificaciones técnicas o sostenibles, realizar auditorías y actuar como tercer verificador independiente.

2. Infraestructura

- **Obras Civiles:** Compañías o empresas contratistas encargadas de la construcción de la infraestructura física necesaria para los proyectos, tales como cimentaciones, edificios, carreteras, plataformas y otras instalaciones industriales requeridas para las plantas de hidrógeno renovable y sus derivados.
- **Redes de transmisión eléctrica:** Compañías encargadas de diseñar y construir redes de transmisión eléctrica que conectan las plantas de generación renovable o red nacional con los electrolizadores y otros equipos del balance de planta, garantizando un suministro eficiente y estable de electricidad.
- **Piping:** Empresas especializadas en el diseño, fabricación y montaje de sistemas de tuberías para el transporte de hidrógeno, amoníaco, metanol y otros productos químicos asociados a la cadena de valor del hidrógeno. Pueden incluir instrumentación y sistemas de control.
- **Montaje/Integración:** Empresas encargadas de la instalación y puesta en marcha de los equipos y sistemas. Su labor incluye el ensamblaje físico de los distintos componentes, como electrolizadores, compresores, sistemas de tuberías, generadores, y unidades de almacenamiento. Además, integran todos los sistemas para que funcionen de manera coordinada y eficiente, asegurando que cada componente opere de acuerdo con los parámetros de diseño y cumpla con las especificaciones técnicas y de seguridad requeridas para la operación.
- **Puertos:** Empresas que desarrollan y operan infraestructura portuaria para la exportación de hidrógeno renovable, amoníaco, metanol y e-fuels. Adicionalmente, se consideran a las compañías encargadas de la importación equipos relacionados a la producción, acondicionamiento y transporte de hidrógeno y derivados. Se encargan de diseño, logística y el manejo de los productos en puerto y embarcaciones

3. Insumos

- **Generación eléctrica (ERNC):** Empresas generadoras o distribuidoras de energías renovables no convencionales, como solar fotovoltaica, eólica y otras.
- **Purificación de agua:** Empresas que suministran tecnología y servicios para la desalinización o purificación de agua de acuerdo a los estándares requeridos para el proyecto. Se incluye

empresas distribuidoras de agua (acueductos o camiones aljibe).

- **CO₂:** Compañías proveedoras de equipamiento o servicio para la capturan, purificación, almacenamiento y transporte de dióxido de carbono, el cual es utilizado en la producción de combustibles sintéticos (e-fuels) y otros procesos industriales. Pueden ser comercializadores de tecnología o insumo (feedstock).
- **Nitrógeno:** Compañías proveedoras de equipamiento o servicio para la producción, purificación, almacenamiento y transporte de nitrógeno, el cual es utilizado en la producción de amoníaco y otros procesos industriales. Pueden ser comercializadores de tecnología o insumo (feedstock).
- **Otros:** Proveedores de insumos o servicios esporádicos asociados a operación de la planta. Ejemplo, manejo o disposición de residuos, otros insumos químicos como nitrógeno para purgas y KOH para electrolizadores alcalinos.

4. Producción y acondicionamiento

- **Hidrógeno:** Fabricantes y proveedores de electrolizadores, compresores, y otros equipos especializados en la producción, almacenamiento, y acondicionamiento del hidrógeno.
- **Amoníaco:** Fabricantes y proveedores que suministran reactores, compresores y otros equipos industriales para la síntesis de amoníaco a partir de hidrógeno y nitrógeno, usualmente por el proceso de Haber-Bosch.
- **E-fuels:** Fabricantes y proveedores que suministran reactores de síntesis, compresores y otros equipos industriales para la síntesis y refinación de combustibles sintéticos tales como e-gasolina, e-diésel, e-queroseno, dimetil éter, etc. Pueden ser procesos tales como Metanación, Fischer-Tropsch, Metanol-to-gasoline, entre otros.
- **Otros derivados:** Fabricantes y proveedores que suministran equipamiento para producción, manejo u otros procesos relacionados con otros derivados del hidrógeno, por ejemplo, urea, plásticos, acrilonitrilo, etc.

5. Almacenamiento y transporte

- **Estanques estacionarios:** Fabricantes y proveedores de tanques de almacenamiento para hidrógeno, amoníaco, metanol u otros productos derivados, tanto en estado líquido como gaseoso, en instalaciones fijas.
- **Transporte en tube trailers:** Fabricantes y proveedores de tube trailers diseñados para hidrógeno y sus derivados, puede ser para transporte de gas o líquido a condiciones ambiente o criogénico (LOCH, por sus siglas en inglés).
- **Transporte en embarcaciones:** Empresas navieras especializadas en el transporte marítimo de hidrógeno y derivados en tanques criogénicos o presurizados, facilitando la exportación hacia mercados internacionales.
- **Gasoductos y otros tipos de transporte:** Otras empresas de servicio de transporte para productos de hidrógeno o sus derivados, como por ejemplo, a través de portadores orgánicos líquidos de hidrógeno.

6. Aplicaciones y consumo

- **Electromovilidad:** Compañías fabricantes o proveedoras de soluciones para de movilidad utilizando celdas de combustible con hidrógeno como combustible como buses, camiones, grúas horquilla, automóviles, entre otros. Además de la infraestructura habilitante como estaciones de servicio (HRS, por sus siglas en inglés).
- **Materia prima:** Compañías fabricantes o proveedoras de soluciones que utilizan hidrógeno renovable como materia prima para la fabricación de productos químicos, fertilizantes, y otros productos industriales.
- **Generación de electricidad estacionaria:** Compañías fabricantes o proveedoras de soluciones que generan electricidad estacionaria por medio de celdas de combustible alimentadas por hidrógeno.

- **Blending:** Compañías fabricantes o proveedoras de estaciones de mezcla de hidrógeno o sus derivados con combustibles convencionales tales como el gas natural para procesos industriales o uso residencial o comercial.
- **Generación de calor:** Compañías fabricantes o proveedoras de soluciones que utilizan hidrógeno renovable para la generación de calor en procesos industriales, calderas y sistemas de calefacción. Puede ser mediante calderas adaptadas o componentes tales como quemadores, reguladores, etc.
- **Otras aplicaciones:** Compañías fabricantes o proveedoras de soluciones de otros tipos de aplicaciones que utilicen hidrógeno o sus derivados como combustible o insumo.

4.2. Base de datos de proveedores

A partir de la clasificación de proveedores detallada en la Sección 4.1, se lleva a cabo una exhaustiva exploración en diversas plataformas de búsqueda abierta con el objetivo de identificar proveedores de soluciones para cada eslabón de la cadena de valor.

El criterio para la identificación de proveedores nacionales es el **interés declarado** o **participación directa** en la industria de H2V local que presenten actividad dentro de la cadena de valor ¹, ya que el enfoque de este estudio es identificar las brechas a partir del reconocimiento de actores actuales dentro de la cadena de valor, permitiendo elaborar acciones para cubrir dichas brechas en el panorama actual y futuro del mercado.

El criterio se aplica a través de la búsqueda de evidencia de actividad presente o futura de dichas empresas en la cadena de valor, ya sea por noticias en prensa, medios de comunicación empresarial y participación o registro en gremios especializados como por ejemplo, H₂ Chile o Hydrogen Europe. Adicionalmente, se tomó en cuenta las empresas presentes en la base de datos de proyectos anunciados en Chile, las empresas titulares de proyectos CORFO y ANID de la cadena de valor del hidrógeno y las instituciones con programas de formación como diplomados y cursos especializados. Mientras que para las empresas internacionales, sólo se consideran aquellas con participación directa y con alcance internacional. Entre las fuentes utilizadas para construir las bases de datos, se utilizó la información pública de organizaciones relevantes como H2Chile, JH2A (Japan Hydrogen Association), Hydrogen Europe, Hydrogen Council, Australian Hydrogen Council, Canadian Hydrogen and Fuel Cell Association, Hydrogen South Africa, y Korean Hydrogen Industry Association. Estas entidades ofrecen acceso a redes de proveedores especializados y facilitan la identificación de actores clave en cada uno de los eslabones de la cadena de valor del hidrógeno, tanto en términos de tecnología como de soluciones innovadoras.

4.2.1. Proveedores nacionales

Se obtuvo una base consolidada compuesta por **253** proveedores que cuentan con presencia activa o representación comercial dentro del territorio nacional. Estos proveedores tienen presencia en más de una eslabón y en algunos casos, en varias categorías de un mismo eslabón, teniendo una base de proveedores extendida de **504** entradas. Este filtro permite identificar actores estratégicos en el contexto de la transición energética, asegurando que la información sea pertinente y aplicable a la toma de decisiones futuras. Es importante destacar que **107** de estos proveedores fueron incorporados desde los resultados de la encuesta realizada en este estudio.

Por otro lado, la base de datos elaborada en este estudio representa un 2% del universo potencial considerando un universo de 12.377 empresas identificadas en el estudio de GIZ [82]. Este universo incluye empresas de tamaño pequeño, mediano y grande inscritas en el Servicio de Impuestos Internos (SII), con una razón social asociada a las proyecciones de descarbonización y proyecciones de consumo de hidrógeno para el reporte de las contribuciones nacionales determinadas del Ministerio de Energía en 2019 [83]. Por ello, las empresas incluidas en este universo son potenciales proveedores de la cadena de valor del hidrógeno dado sus capacidades y competencias, por lo que para el análisis de brechas de los próximos capítulos es importante considerar su existencia, independiente a que tengan interés o una participación actual en el mercado.

¹Toda empresa o institución que presente actividad actual dentro de las categorías definidas para la cadena de valor en el presente estudio.

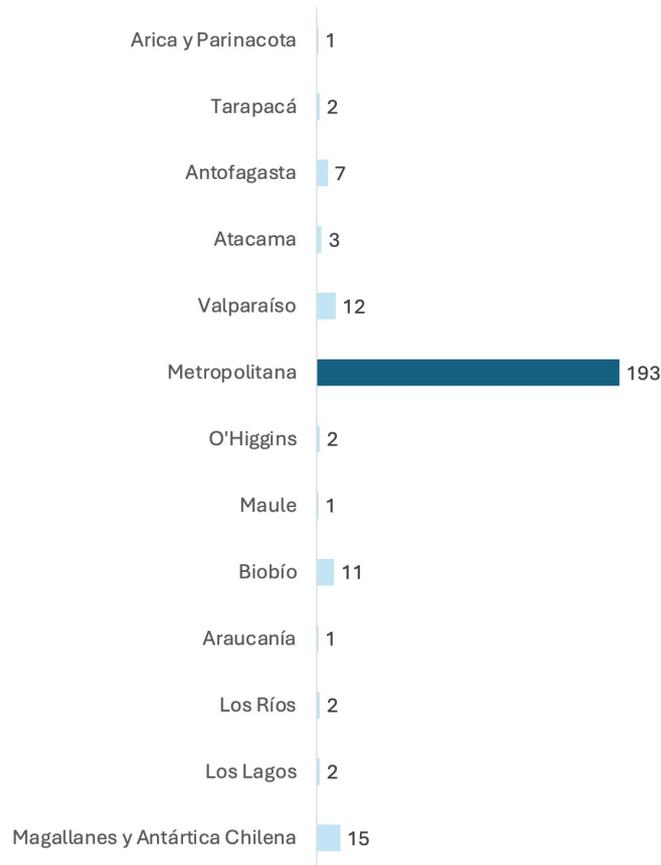


Figura 4.2: Cantidad de proveedores por región de Chile

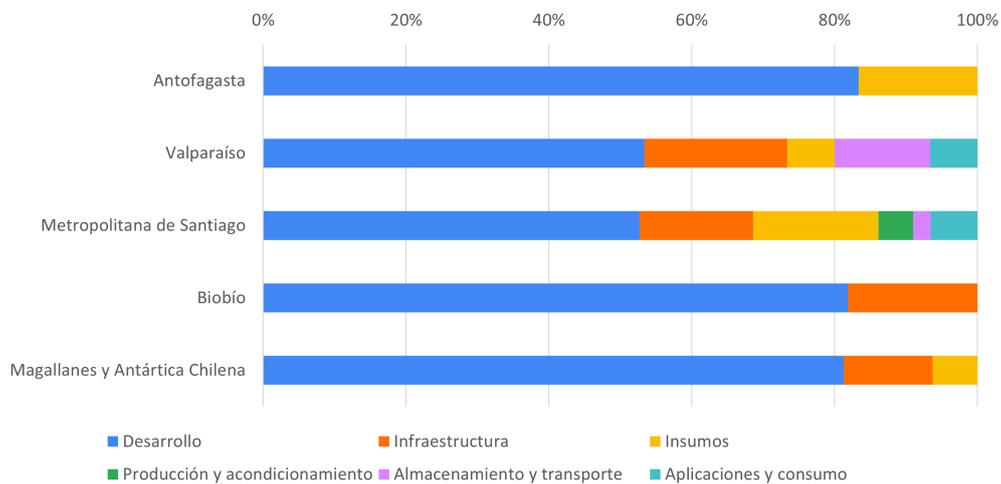


Figura 4.3: Distribución de proveedores en eslabones de la cadena de valor para cada hub de hidrógeno

En la Figura 4.2 se observa que los proveedores se concentran en la región Metropolitana, concordando con la centralización del país. No obstante, desde la encuesta se pudo constatar que la mayoría de los proveedores ubicados en la región Metropolitana tienen la capacidad de cubrir con sus bienes y/o servicios a todo el territorio nacional (86%). Adicionalmente, la concentración de proveedores en la región Metropolitana refleja un profundo contraste con la distribución de proyectos en el territorio nacional observado en la Figura 2.5, en donde los proyectos se concentran principalmente en las re-

giones de Antofagasta y Magallanes y la Antártica Chilena. Para el caso de estas regiones, se observa que existen proveedores de servicios locales dentro del eslabón de Desarrollo, pero las empresas involucradas en proyectos con objetivo de exportación son principalmente de origen internacional con sede en la región Metropolitana. Cabe destacar que la información pública online para los proveedores bajo los criterios empleados se concentra en empresas de la región Metropolitana; más aún, tanto para la encuesta como para la mesa de trabajo hubo baja convocatoria de proveedores de otras regiones, lo cual puede ser causa de ecosistemas locales menos desarrollados, falta de conocimiento de su potencial rol en la cadena de valor del hidrógeno o necesidad de una convocatoria local presencial. Como referencia, el trabajo de Red+Energía de Antofagasta, no específico de hidrógeno, reunió a más de 100 proveedores locales, lo que indica potencial local de participación.

La Figura 4.3 presenta la distribución de proveedores en eslabones de la cadena de valor para cada hub de hidrógeno, mostrándose una clara predominancia en cantidad de proveedores asociados al eslabón de Desarrollo. En promedio nacional, la cantidad de proveedores en el eslabón de Desarrollo representa el 56 % de la cadena de valor. Esto podría ser consecuencia principalmente del estado de avance de los proyectos de gran tamaño (>100 MW) y de la industria en general, considerando la actual construcción del marco regulatorio específico para el hidrógeno, la definición de gobernanza en aspectos de seguridad y certificación del hidrógeno, la clarificación del uso de suelo en plantas de hidrógeno, entre otros. A medida que los proyectos avancen en sus etapas de desarrollo, se espera un incremento en la presencia de proveedores en los eslabones distintos a Desarrollo e Infraestructura.

En el caso de las regiones de Valparaíso y Bío-Bío, existe una cantidad semejante de proveedores en la cadena de valor, con la notable diferencia de que estas regiones no cuentan con el alto potencial de generación de electricidad renovable que poseen Antofagasta y Magallanes y la Antártica Chilena. Por tanto, las regiones de Valparaíso y Bío-Bío pueden ser percibidas por las compañías como sectores con menor potencial para el desarrollo de proyecto de producción de hidrógeno. En la Figura 4.3 se observa una predominancia de proveedores en el eslabón de Desarrollo para la región de Valparaíso, no obstante, en su mayoría son compañías llevadas por un solo consultor/a, que aún no están involucrados en proyectos catastrados en este estudio, y el sector de la academia que generalmente realiza estudios técnicos específicos asociados a I+D. De modo contrario, si bien los proveedores en el eslabón de Aplicaciones y consumo representan una menor porción de los totales en la región de Valparaíso, ya poseen proyectos en operación como la compañía Marval.

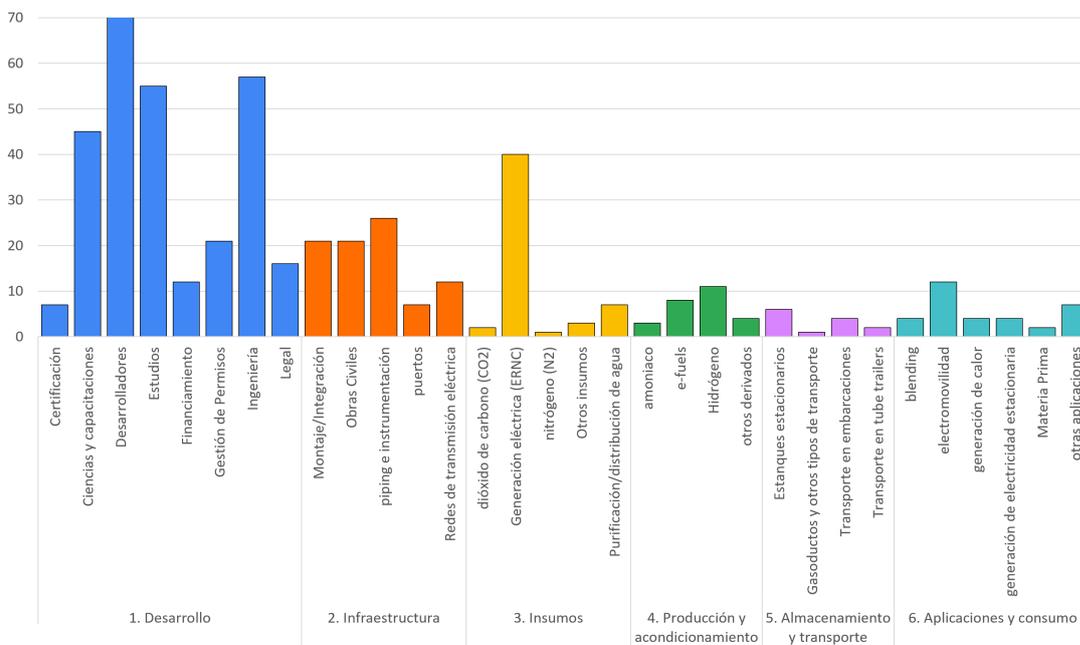


Figura 4.4: Distribución de Categorías en BBDD Proveedores Nacionales

En la Figura 4.4, se observa la distribución de categorías de proveedores en el territorio nacional, presentándose una predominancia del sector de Ciencias y Capacitaciones, Ingeniería y Estudios, todas dentro del eslabón de Desarrollo. El segundo eslabón con mayor participación es el de Infraestructura, lo cual es esperable, ya que en su mayoría son proveedores con un foco de participación en otros sectores y han de integrar nuevas capacidades específicas para hidrógeno, como es el caso de la categoría de Piping e instrumentación. También es destacable la presencia de proveedores de electricidad renovable, la cual se encuentra en alza desde el 2010 [84].

Un hallazgo relevante encontrado en la encuesta realizada para este estudio, es la expansión de categorías en las que participan los proveedores encontrados, las cuales no forman parte de la información pública que estos mismos proveedores tienen en su sitio web o descripción de actividades. Este patrón se observó especialmente en las empresas de tamaño pequeño y micro, revelando capacidades para llevar a cabo actividades especializadas de la cadena de valor del hidrógeno, formando la profesionalización de ellas.

4.2.2. Proveedores internacionales

De acuerdo al criterio de participación directa, se identificaron **387** empresas a nivel internacional para la cadena de valor del hidrógeno. El estudio se enfocó en levantar soluciones específicas para hidrógeno que pudiesen complementar la realidad nacional, por lo que no refleja el comportamiento real del mercado internacional alrededor de la cadena de valor del hidrógeno. De acuerdo a estos resultados, como se observa en la Figura 4.5, no se identifican eslabones con una cobertura significativamente mayor en comparación a otros, sin embargo, los eslabones de Producción y Acondicionamiento y en Aplicación y Consumo destacan con un 25% cada uno de los proveedores internacionales catastrados. Esto puede dilucidar que existe un mayor grado de diversificación en estos eslabones de cadena de valor, teniendo un abanico de opciones de proveedores más grande en comparación con otros eslabones, lo cual podría fomentar el aumento de madurez en tecnologías específicas de hidrógeno debido a la presencia de mayor competencia en el mercado. La presencia predominante de empresas en estas áreas clave refleja no solo el progreso tecnológico y la capacidad de producción de hidrógeno, sino también una mayor demanda por parte de los sectores que buscan implementarlo como fuente de energía limpia y renovable, tanto para autoconsumo como también para el establecimiento de nuevos negocios, principalmente de **electromovilidad**. Esta tendencia es indicativa del impulso hacia la transición energética, en donde el hidrógeno se posiciona como un pilar fundamental tanto para la industria como para los consumidores finales, quienes están adoptando soluciones basadas en esta tecnología con una rapidez significativa. El desarrollo de instrumentos de incentivo económico han sido cruciales para el crecimiento tanto de la oferta como de la demanda de hidrógeno. Como claro ejemplo, se encuentra el Programa Tecnológico para el Uso y Adopción del Hidrógeno en la Industria Chilena (PTEC) lanzado por CORFO en abril de 2023 y adjudicado a Empresas Marval para sumar a su operación logística un camión alimentado por hidrógeno [85].

Es importante destacar que se identifica en la Figura 4.5 una gran cantidad de proveedores (40) para el sector de Piping de hidrógeno, siendo el principal tipo de compañía en el eslabón de Infraestructura, lo cual se puede atribuir a que este rubro no es transversal para una gran cantidad de industrias, a diferencia de Obras Civiles, Redes de transmisión eléctrica, Puertos, Montaje/Integración y Vía Férrea. Estos últimos rubros se tomaron en cuenta dentro de la base de datos como "Otros", de los cuales no se obtuvo gran cantidad de información debido a la reducida especificación y proyectos de hidrógeno renovable implementados por este tipo de compañías. Se debe considerar que existe un amplio universo de compañías internacionales que se desempeñan en este rubro, pero su registro no es considerado dentro de este estudio.

De forma contraria, la clara uniformidad en la cantidad de proveedores encontrados en las categorías de los eslabones de Insumos y Almacenamiento y Transporte muestra una amplia cobertura de bienes y servicios en el plano internacional, lo cual asegura una gran cantidad de alternativas para el desarrollo de un proyecto de hidrógeno, desde la conceptualización del producto final, donde incide el precio y disponibilidad de insumos (como CO₂ para MeOH y E-fuels o N₂ para Amoniaco), hasta la estrategia logística del producto. Con respecto al eslabón de Producción y acondicionamiento, se observa en la Figura 4.5 que la delantera la lleva la producción de hidrógeno propiamente tal, mientras que las demás opciones se distribuyen de manera uniforme, sugiriendo que la mayoría de desarrolladores de proyectos de hidrógeno se encuentran en una etapa temprana de negocio, en la que obtener hidrógeno

como producto final para su consumo directo en industrias que lo utilizan de insumo, requiere un menor tiempo de desarrollo y permite posicionar al hidrógeno rápidamente como un vector de impulso de la transición energética.

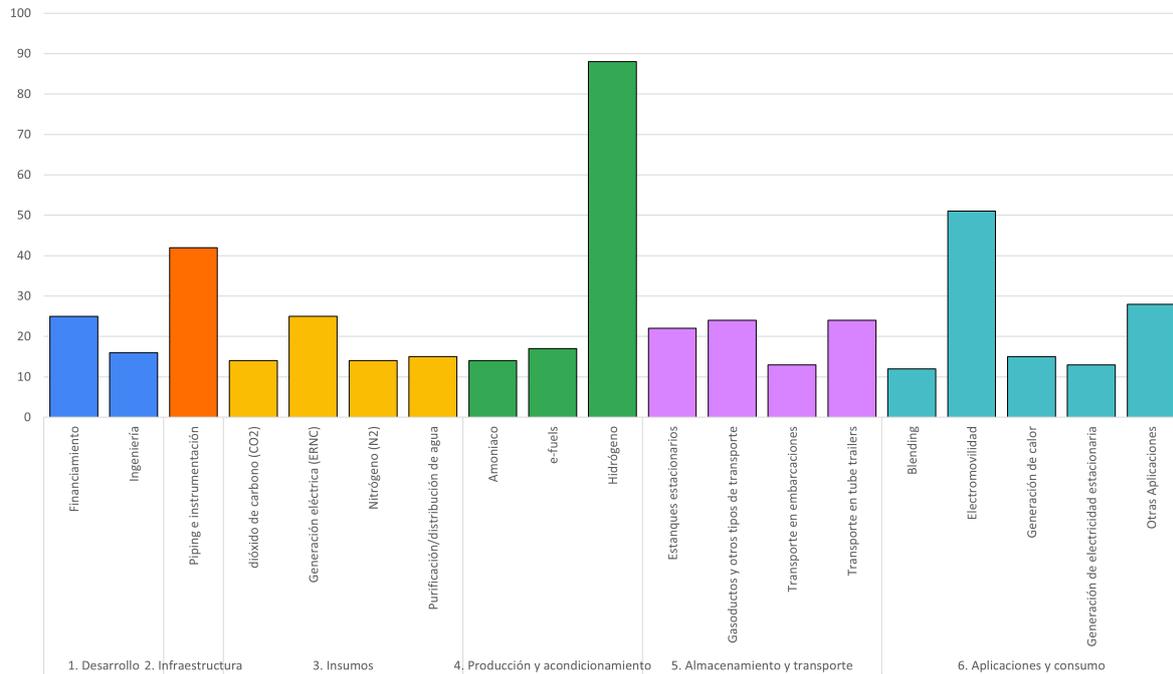


Figura 4.5: Distribución de Categorías en BBDD Proveedores Internacionales

4.3. Base de datos de asociaciones

Una asociación gremial es una organización que agrupa a empresas, profesionales y entidades que comparten intereses comunes dentro de un sector o actividad económica específica. Estas asociaciones buscan promover el desarrollo del sector, defender los intereses de sus miembros, fomentar la colaboración y facilitar el intercambio de información y recursos. En el contexto de la cadena de valor del hidrógeno, las asociaciones gremiales son actores clave, ya que agrupan a las distintas partes interesadas en cada etapa del proceso, desde la producción hasta el consumo final.

Para construir una base de datos de estas asociaciones gremiales relacionadas con el hidrógeno, se realiza una búsqueda exhaustiva en la plataforma web dispuesta por el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo [81] para la exploración de organizaciones como Cooperativas, Asociaciones Gremiales y Asociaciones de Consumidores registradas en la DAES (División de Asociatividad del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo). En la plataforma, se comparan las descripciones de la lista de asociaciones con palabras claves contenidas en las categorías de la cadena de valor definidas en 4.1. Así, se obtuvo una base de datos con un total de 62 asociaciones gremiales, organizadas según los diferentes eslabones de la cadena de valor del hidrógeno, tal como se presenta en la Figura 4.6. En este análisis, se observa una mayor cantidad de asociaciones relacionadas con el sector de desarrollo, el cual incluye gremios y organizaciones que apoyan desde la investigación y desarrollo hasta la innovación y el financiamiento de proyectos. Algunos ejemplos de estas asociaciones incluyen CIRNACH (Colegio de Ingenieros en Recursos Naturales), ACHAI (Asociación Chilena de Asesores de Inversión) y ABIF (Asociación de Bancos e Instituciones Financieras en Chile), las cuales cumplen un rol fundamental en la creación de alianzas estratégicas y en la promoción de iniciativas de inversión y financiamiento para el crecimiento de la industria del hidrógeno en el país.

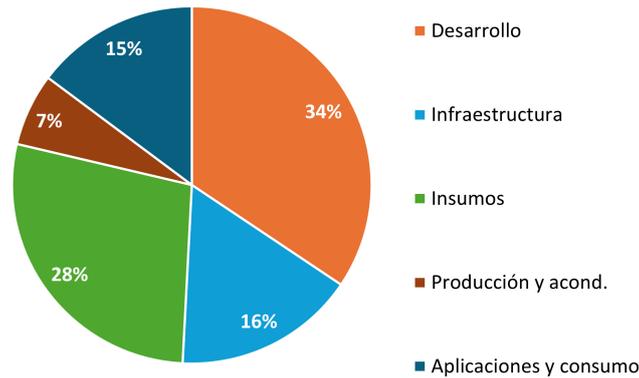


Figura 4.6: Distribución de asociaciones según eslabón de la cadena de valor de hidrógeno

Además de las asociaciones enfocadas en el desarrollo, la base de datos muestra una presencia relevante de asociaciones gremiales específicas para el hidrógeno en Chile, tales como H2Chile, H2 Antofagasta y H2V Magallanes. Estas organizaciones están dedicadas de forma exclusiva a impulsar el desarrollo de la industria del hidrógeno y abarcan actividades transversales a lo largo de la cadena de valor, aportando en diversos ámbitos que van desde la planificación y la generación de infraestructura hasta la promoción de políticas públicas favorables al hidrógeno renovable. Por ejemplo, estas asociaciones gremiales juegan un rol clave en la agilización y priorización de la creación de un marco regulatorio específico para el hidrógeno, trabajando estrechamente con entidades gubernamentales para asegurar que las normativas faciliten el despliegue de esta tecnología en el país.

Estas organizaciones también cumplen funciones importantes en el fortalecimiento de la colaboración entre actores públicos y privados, facilitando el contacto entre empresas del sector, instituciones de investigación y representantes gubernamentales. De esta forma, fomentan el establecimiento de redes de apoyo y de intercambio de conocimiento, fundamentales para el desarrollo de una industria del hidrógeno robusta y sostenible. Además, estas asociaciones informan regularmente a su comunidad de socios acerca de los avances tecnológicos y normativos de la industria del hidrógeno, promoviendo un flujo continuo de información y capacitación que contribuye a la preparación del mercado chileno para la adopción y expansión del hidrógeno renovable.

Este análisis evidencia la importancia de las asociaciones gremiales en cada etapa de la cadena de valor del hidrógeno, resaltando su rol como catalizadores en la transición hacia una economía basada en energías limpias y en el posicionamiento de Chile como un actor destacado en la industria del hidrógeno renovable a nivel global.

4.4. Conclusiones

Desde la base de datos construida para proveedores a nivel nacional con **interés declarado**, se observa una clara predominancia en la cantidad de compañías dedicadas a entregar soluciones en el eslabón de Desarrollo (56 %). Esto es un claro reflejo del estado de avance de la industria del hidrógeno actualmente en Chile, en donde los proyectos anunciados medianos y grandes, que son los que presentan mayor interés comercial, se encuentran en etapas orientadas a estudios de ingeniería, factibilidad económica, de impacto ambiental y también, en proceso de tramitación de permisos con distintos sectores. Existe una concentración de proveedores en la región Metropolitana, contrastando con la distribución de proyectos en el territorio nacional. Adicionalmente, en la base de datos se constata que, si bien existen proveedores locales de servicios dentro del eslabón de Desarrollo en Antofagasta y Magallanes y la Antártica Chilena, los titulares de proyectos con objetivo de exportación son empresas internacionales con sede en la capital.

Se destaca que para el plano nacional, las micro y pequeñas empresas específicas para hidrógeno juegan un rol primordial en el desarrollo del mercado, particularmente en la profesionalización de la industria.

En el plano internacional, se evidencia una distribución de proveedores más homogénea alrededor de los eslabones de la cadena de valor. La industria del hidrógeno se encuentra en fases más avanzadas que en Chile, enfocándose principalmente en la Producción y acondicionamiento (25 % de cobertura en plano internacional) y en Aplicaciones (25 % de cobertura en plano internacional). Los proveedores de soluciones en la categoría de Electromovilidad poseen la presencia mayoritaria dentro del eslabón de Aplicaciones y consumo, lo cual puede explicarse por varios factores:

- Estrategias específicas: Cuerpos regulatorios como la Unión Europea han fomentado inversiones masivas en tecnologías de hidrógeno destinadas a la electromovilidad, especialmente para transporte pesado, trenes y flotas públicas.
- Concentración de la industria automotriz: Marcas como BMW, Mercedes-Benz, Toyota, Hyundai y otras han incursionado en el uso y desarrollo de adopción de tecnologías de impulsión mediante celdas de combustible alimentadas por hidrógeno.
- Presencia de Red de proveedores de componentes: La electromovilidad basada en hidrógeno requiere piezas especializadas, las cuales se encuentran en el mercado internacional, suministradas por empresas de alto perfil como Bosch, Siemens y Cummins Europa.

Es importante tener en cuenta que, debido al dinamismo característico de una industria emergente como la del hidrógeno, las bases de datos de proveedores requieren actualización constante para reflejar los cambios y avances del sector.

5

Soluciones con poca o nula oferta

Con el propósito de encontrar aquellos rubros donde exista poca o nula oferta en el período 2025-2040, se propone una metodología cualitativa-cuantitativa, de análisis multicriterio, basada en el cruce de la oferta existente al día de hoy con la demanda proyectada para 2040 en términos de la cantidad de empresas mínimas requeridas para abastecer los proyectos de hidrógeno y derivados. Para esto, se consideró la información recopilada en la base de datos de proyectos, la base de datos de proveedores y las proyecciones realizadas a 2040 en el capítulo 3. El objetivo propuesto es encontrar aquellas categorías de la cadena de valor con la menor proporción de oferta actual vs demanda proyectada como aquellos que requerirán mayores incentivos para cumplir las metas a nivel nacional.

Cabe destacar, que la información proveniente de la base de datos de proveedores **se consideró a nivel nacional y no por región** debido a la concentración de proveedores en la región metropolitana como se detalló en la base de datos del capítulo 4. Por esta razón, los resultados cuantitativos por región se consideraron poco representativos y se propone el análisis a nivel nacional, además considerando que la gran mayoría de las empresas encuestadas (86%) declaró abarcar con sus servicios todo el territorio nacional independiente de su ubicación.

5.1. Estimación de mercado

5.1.1. Estimación de demanda

Para determinar la demanda, se establece un factor que representa tanto la cantidad de empresas requeridas por proyecto, como la capacidad de estas empresas en cantidad de proyectos abastecidos para cada categoría. Además el factor considera del total de proyectos a qué porcentaje aplicaría dicha categoría. Luego, este factor se multiplica por la cantidad de proyectos total utilizando el escenario Moderado de 111 proyectos viables ejecutados a 2040 del capítulo 3 obteniéndose la demanda proyectada a 2040 en cantidad mínima requerida de empresas para abastecer dichos proyectos.

Para caracterizar la aplicabilidad de cada categoría, se utilizan como supuestos la base de datos de proyectos actuales construida en el capítulo 4 (fuente propia) de donde, por ejemplo, se considera la proporción de proyectos de producción (60%) y aplicación (40%) de hidrógeno o sus derivados y también por tamaño de proyecto y aplicación, según:

- Proyectos de gran tamaño/exportación - 40%
- Proyectos medianos/de uso interno - 33%
- Proyectos pequeños/pilotos - 27%

A modo de ejemplo, para el eslabón de Producción y Acondicionamiento, categoría Hidrógeno, que corresponde a proveedores de equipamiento o servicios asociados a producción, compresión o acondicionamiento de hidrógeno, se considera dentro del factor que esta categoría solo aplica para proyectos de producción (60% del total según la base de proyectos actuales). Luego, se considera que para empresas por proyecto, al menos se requiere 1 proveedor para electrolizadores, compresores y otros

procesos asociados a hidrógeno y que en general se cuenta con al menos 2 (electrolisis y compresión), por lo que se propone 2 empresas por proyecto. Finalmente, la cantidad de proyectos a la que puede suministrar una empresa determinada dependerá del tipo de bien o servicio, tamaño de la empresa y nivel de especialización que posee, por lo que se establece un promedio basado en la experiencia del grupo consultor. Para este tipo de empresas suele ser internacional y con capacidad de fabricación y suministro para múltiples proyectos a nivel mundial. Se considera que para Chile, podrían abastecer entre 4 y 10 proyectos cada uno (7 en promedio). De esta manera, el factor para esta categoría se calcula como:

$$60\% \cdot \frac{2}{7} = 0,17 \quad (5.1)$$

A continuación se presentan los factores ponderados calculados por categoría y su justificación correspondiente en las Tablas 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 y 5.6:

Tabla 5.1: Factor ponderado asociado a la cantidad de proveedores del eslabón de Desarrollo necesarios por proyecto

Categoría	FP	Justificación
Desarrollo		
Desarrolladores	1	Tipicamente se necesita 1 sólo desarrollador por proyecto, existen casos de co-desarrollo entre varias empresas ya sea con habilidades complementarias o en subordinación como dueño-desarrollador. A su vez se considera que 1 desarrollador puede llevar entre 1 y 3 proyectos, pero se generaliza siendo la realidad observada que la mayoría de los desarrolladores identificados (80% aproximadamente según base de datos) cuenta con 1 sólo proyecto. Por esta razón el factor es 1 para empresas por proyecto y proyectos por empresa. Aplica a todo tipo de proyectos.
Ingeniería	0,8	Se asocia a fases de preingeniería (prefactibilidad o conceptual), ingeniería para permisos y licitar EPC/detalle (básica o preFEED) y final para ejecución (detalle). Estas pueden ser la misma empresa o distintas. Se considera al menos 1 para preingeniería y básica y 1 para detalle (EPC o sólo ingeniería) siendo 2 empresas por proyecto. Por otro lado se considera que cada empresa de ingeniería puede tomar entre 1 y 4 proyectos tomándose un promedio de 2,5 proyectos por empresa. El factor total resulta $2/2,5=0,8$. Aplica a todo tipo de proyectos
Legal	0,3	Un estudio de abogados puede realizar el acompañamiento integral de múltiples proyectos, tanto en asesoría legal como en redacción de contratos y otros, se asume un promedio entre 1-3 proyectos por empresa (promedio 2). Por otro lado, la mayoría de los desarrolladores incorpora un área legal propia. Por esta razón se considera un promedio conservador de 60% de proyectos que requieren este servicio en base a un 40% de proyectos de exportación (fuente: base de proyectos) que hipotéticamente tendrían en el desarrollador el departamento legal. El factor queda como $1*0,6/2=0,3$. Aplica a todo tipo de proyectos.
Estudios	0,67	Se consideran estudios asociados a aspectos comerciales, de permisos o científicos asociados a pilotaje de puesta en marcha de tecnologías emergentes. Se consideran al menos estudios de: mercado, suelos, agua, eléctricos, seguridad, social, urbano, medio ambiente (8). Para cálculo de valor se asume al menos seguridad y medioambiente y en promedio 5 estudios por proyecto hechos por empresas distintas (empresas por proyecto) y a su vez se considera que cada empresa puede abordar entre 5-10 proyectos (promedio 7,5). El factor total resulta de $5/7,5= 0,67$ Aplica a todo tipo de proyectos.
Tramitación de permisos	0,7	Usualmente el desarrollador (sobretudo para proyectos grandes) gestiona permisos propiamente tal. Existen consultoras que gestionan permisos sectoriales y se considera al menos una consultora ambiental para elaboración de DIA/EIA y acompañamiento en proceso de obtención de Resolución de Calificación Ambiental (RCA). Se considera en promedio 1 consultor medioambiental y para 40% de los casos un gestor de permisos considerando desarrolladores pequeños obteniendo un factor de 1,4 para empresas por proyecto y se considera que cada empresa puede abordar entre 1 y 3 proyectos (promedio 2), el factor total resulta de $1,4/2=0,7$. Aplica a todo tipo de proyectos.
Financiamiento	0,21	Se considera la necesidad de al menos 1 de los siguientes: bancos, fondos de inversión o inversionistas para el financiamiento de proyectos grandes y medianos (1 empresa para el 73% de proyectos) e inversión directa del dueño (factor 0) para proyectos pequeños (27%). También para proyectos grandes (40%) se considera una entidad asociada a venta de bonos de carbono u otro instrumento de apalancamiento asociado a sustentabilidad. En cuanto a proyectos por empresa se considera que cada institución puede cubrir múltiples proyectos en un rango de 1-6, siendo el promedio 3,5. Finalmente el factor queda como $73%*1/3,5=0,21$. Aplica a todo tipo de proyectos.
Ciencias y capacitaciones	0,25	Se considera al menos 1 empresa de capacitaciones en temáticas de seguridad, operación o general de hidrógeno y derivados para equipo desarrollador y/o operación por proyecto. Además se considera 1 empresas asociadas a I+D al menos para proyectos grandes (40%). Por otro lado, para proyectos por empresa se considera que una sola institución de capacitaciones o I+D puede cubrir múltiples proyectos en un rango de 1-10 proyectos, siendo el promedio 5,5. Se obtiene factor ponderado de $(1+40%*1)/5,5=0,25$. Aplica a todo tipo de proyectos.
Certificación	0,25	Todos los proyectos requieren al menos 1 empresa de certificación de seguridad de la planta (DS 13 SEC, ya sea directamente o por proyecto especial), además para proyectos de exportación (40%) se considera 1 empresa asociada a esquemas de certificación sustentable de producto. Por otro lado, una sola institución puede abarcar muchos proyectos (se considera promedio entre 1-10 de 5,5), es decir, el factor queda como: $(1+40%*1)/5,5=0,25$. Aplica a todo tipo de proyectos.

Tabla 5.2: Factor asociado a la cantidad de proveedores del eslabón de Infraestructura necesarios por proyecto

Categoría	Factor ponderado	Justificación
Infraestructura		
Obras Civiles	0,40	Usualmente ya sea directamente o a través de EPC se requiere 1 empresa que realice fundaciones y obras civiles. A su vez se considera que una sola empresa puede abarcar entre 1-4 proyectos (promedio 2,5). Quedando: $1/2,5=0,4$. Aplica a todo tipo de proyectos.
Redes de transmisión eléctrica	0,44	Se considera que al menos proyectos medianos (33%) y grandes (40%) requieren servicios de instalación de redes eléctricas y conexión a la red, ya sea como respaldo o fuente principal. Además, solo aplica para proyectos de producción (60%) Se obtiene factor ponderado de $(0,33+0,44)*60%=0,44$
Piping e instrumentación	0,36	Se considera que todos los proyectos requerirán al menos 1 proveedor de piping y otro de instrumentación (puede incluir control) como bienes o servicios. Alternativamente podría ser 1 proveedor del servicio de piping ya sea como tuberías dentro de la instalación o como construcción de gasoductos/acueductos/amonioductos u otros. Por lo tanto el factor de empresas por proyecto es 2. Para proyectos por empresa se considera que una empresa puede abarcar entre 1-10 proyectos tomando un promedio de 5,5. El factor queda como $2/5,5= 0,36$. Aplica a todo tipo de proyectos
Montaje/Integración	0,33	Todo proyecto requiere una empresa asociada a montaje/integración de equipos. Se asume que si hay EPC sería esta empresa o si no, al menos debe existir un montajista externo. Además, se considera que cada empresa puede abordar entre 1 y 5 proyectos, tomando un promedio de 3. El factor es $1/3=0,33$. Aplica a todo tipo de proyectos.
Puertos	0,048	Se considera puertos solamente para proyectos de gran tamaño (40%) y además se considera la potencial agrupación de proyectos con uso de infraestructura compartida. Según experiencia del consultor se estima capacidad de 5 proyectos por puerto siendo 1 empresa para el 40% de proyectos y 5 proyectos por empresa. Aplica sólo a proyectos de producción (60%). Se obtiene un factor de $1*0,4/5*60%=0,048$.

Tabla 5.3: Factor asociado a la cantidad de proveedores del eslabón de Insumos necesarios por proyecto

Categoría	Factor ponderado	Justificación
Insumos		
Generación eléctrica (ERNC)	0,056	De la base de datos de proyectos se obtiene que la principal fuente de energía del total de proyectos es: 28% de eólico, 32% solar, 10% PPA y 30% sin información. Considerando que el objetivo principal de la industria es hidrógeno verde y los altos costos sistémicos se utiliza el supuesto de que al menos el 70% de los proyectos contará con planta ERNC propia. Para estos casos se requerirá 1 desarrollador de planta ERNC que se asocia a su propia cadena de valor y proveedores. Además, se considera que los desarrolladores ERNC pueden tener entre 5-10 proyectos, con un promedio de 7,5. Además esto sólo aplica para proyectos de producción (60%) Esto da como factor $1*70\%/7,5*60\%=0,056$
Purificación de agua	0,11	Dado que la principal tecnología de producción de hidrógeno es electrólisis, todos los proyectos requieren purificación de agua para el correcto funcionamiento de los equipos, esto puede ser como bien en proyectos pequeños o como servicio en proyectos de mayor tamaño tipo "llave en mano". Se obtiene 1 empresa requerida por proyecto de estos tipos y se asume entre 1-10 proyectos por empresa con un promedio de 5,5. Además, sólo aplica para proyectos de producción (60%) obteniéndose un factor de $1/5,5 * 60\%=0,11$
CO₂	0,012	De la base de datos de proyectos se obtiene que el producto final de los proyectos es: 38% amoníaco, 58% hidrógeno, 6% e-fuels y 2% sin información. Adicionalmente por experiencia del consultor se considera que del porcentaje que declara hidrógeno hay al menos un tercio que son grandes proyectos que aún no definen su producto final y este debería repartirse entre amoníaco y e-fuels. Se proponen los siguientes porcentajes ajustados: 45% amoníaco, 45% hidrógeno y 10% e-fuels. Y de ellos se considera que CO2 requiere 1 empresa para captura/provisión por proyecto de e-fuels. Adicionalmente, se considera que cada empresa proveedora de estos servicios y productos puede abastecer entre 3-7 proyectos (promedio 5) y que esto sólo aplica para proyectos de producción (60%), por lo tanto el factor ponderado es $10\%*1/5 * 60\% = 0,012$
Nitrógeno	0,054	De la base de datos de proyectos se obtiene que el producto final de los proyectos es: 38% amoníaco, 58% hidrógeno, 6% e-fuels, 1% otros derivados y 1% sin información. Adicionalmente por experiencia del consultor se considera que del porcentaje que declara hidrógeno hay al menos un tercio que son grandes proyectos que aún no definen su producto final y este debería repartirse entre amoníaco y e-fuels. Se proponen los siguientes porcentajes ajustados: 45% amoníaco, 45% hidrógeno y 10% e-fuels. Adicionalmente, se considera que cada empresa proveedora de estos servicios (no considera suministro de nitrógeno para purgas) y productos puede abastecer entre 3-7 proyectos (promedio 5) y que esto sólo aplica para proyectos de producción (60%), por lo tanto el factor ponderado es $45\%*1/5 * 60\% = 0,054$
Otros	0,13	Proveedores de insumos o servicios esporádicos asociados a operación de la planta. Ej, manejo/disposición de residuos, otros insumos químicos (nitrógeno para procesos), etc. Se asume que al menos se necesita 1 de estas empresas por proyecto de cualquier tipo y que una sola empresa de este tipo puede abastecer entre 5-10 proyectos (promedio 7,5). El factor es $1/7,5= 0,13$

Tabla 5.4: Factor asociado a la cantidad de proveedores del eslabón de Producción y acondicionamiento necesarios por proyecto

Categoría	Factor ponderado	Justificación
Producción y acondicionamiento		
Hidrógeno	0,17	Todos los proyectos de generación (60%) requieren de 1 proveedor de electrólisis. También se considera en esta categoría equipos de compresión, acondicionamiento, licuefacción y otros procesos asociados al gas hidrógeno. Se proponen 2 empresas proveedoras de equipamiento asociado a hidrógeno por proyecto y que cada empresa de este tipo puede atender entre 4 y 10 proyectos (promedio 7), por lo que el factor queda como: $60\% * 2/7 = 0,17$
Amoniaco	0,068	De la base de datos de proyectos se obtiene que el producto final de los proyectos es: 38% amoniaco, 58% hidrógeno, 6% e-fuels, 1% otros derivados y 1% sin información. Adicionalmente por experiencia del consultor se considera que del porcentaje que declara hidrógeno hay al menos un tercio que son grandes proyectos que aún no definen su producto final y este debería repartirse entre amoniaco y e-fuels. Se proponen los siguientes porcentajes ajustados: 45% amoniaco, 45% hidrógeno y 10% e-fuels. Se asume un proveedor asociado a proyectos de amoniaco (45%) sólo para proyectos de producción (60%). y que cada proveedor puede abordar entre 3-5 proyectos (promedio 4) obteniéndose un factor de $45\% * 60\% / 4 = 0,068$
E-fuels	0,015	De la base de datos de proyectos se obtiene que el producto final de los proyectos es: 38% amoniaco, 58% hidrógeno, 6% e-fuels, 1% otros derivados y 1% sin información. Adicionalmente por experiencia del consultor se considera que del porcentaje que declara hidrógeno hay al menos un tercio que son grandes proyectos que aún no definen su producto final y este debería repartirse entre amoniaco y e-fuels. Se proponen los siguientes porcentajes ajustados: 45% amoniaco, 45% hidrógeno y 10% e-fuels. Se asume un proveedor asociado a proyectos de e-fuels (10%) aplicable sólo a proyectos de producción (60%) y que cada proveedor puede cubrir entre 3-5 proyectos (promedio 4) quedando el factor como $10\% * 60\% / 4 = 0,015$
Otros derivados	0,0015	De la base de datos de proyectos se obtuvo 1 proyecto de fertilizantes. Este se considera como un valor menor al 1%. Y utilizando la misma lógica que los factores anteriores se tiene que el factor será: $1\% * 60\% / 4 = 0,0015$

Tabla 5.5: Factor asociado a la cantidad de proveedores del eslabón de Almacenamiento y transporte necesarios por proyecto

Categoría	Factor ponderado	Justificación
Almacenamiento y transporte		
Estanques estacionarios	0,27	La gran mayoría de los proyectos requieren al menos 1 estanque pulmon (buffer) del producto que producen o consumen. Además si cuentan con varios niveles de presión o derivados del hidrógeno, requieren estanques adicionales. Se considera un rango de 1 a 3 proveedores distintos de estanques con un promedio de 2 por proyecto. normalmente estos están canalizados a través del EPC o empresa integradora. Por otro lado se considera que una empresa proveedora de estos servicios puede abastecer entre 5-10 proyectos (promedio 7,5) obteniendo un factor de: $2/7,5 = 0,27$
Transporte en tube trailers	0,0308	Actualmente los proyectos no han definido, al menos públicamente el tipo de transporte que van a utilizar. Se considera al menos 1 empresa para el transporte por tierra ya sea por tube trailer u otros tipos (50% gasoducto y 50% tube trailer) para todo proyecto de producción (60%) que no sea de autoconsumo (se estima autoconsumo como proyectos pequeños) quedando proyectos medianos y grande (77%). Además se considera que cada empres apuede abastecer entre 5 y 10 proyectos (promedio 7,5) Se obtiene el factor como el $50\% * 60\% * 77\% / 7,5 = 0,03$
Transporte en embarcaciones	0,048	Se considera solamente para proyectos de exportación (40%) del total de proyectos de producción (60%) con el requerimiento de 1 empresa por proyecto uy una capacidad por empresa de 5 proyectos (similar a la capacidad de puertos) Por lo tanto el factor ponderado es $0,4 * 0,6 / 5 = 0,05$
Gasoductos y otros tipos de transporte	0,03	Actualmente los proyectos no han definido, al menos públicamente el tipo de transporte que van a utilizar. Se considera al menos 1 empresa para el transporte por tierra ya sea por tube trailer u otros tipos (50% gasoductos) para todo proyecto de producción (60%) que no sea de autoconsumo (se estima autoconsumo como proyectos pequeños) quedando proyectos medianos y grande (77%). Además se considera que cada empres apuede abastecer entre 5 y 10 proyectos (promedio 7,5). Se obtiene el factor de $50\% * 60\% * 77\% / 7,5 = 0,03$

Tabla 5.6: Factor asociado a la cantidad de proveedores del eslabón de Aplicaciones y consumo necesarios por proyecto

Categoría	Factor ponderado	Justificación
Aplicaciones y consumo		
Electromovilidad	0,02	Se considera un proveedor por aplicación para proyectos sólo de aplicaciones (40%) y se utilizó la base de datos para estimar los porcentajes según: 41% electromovilidad, 3% materia prima, 18% Generación de electricidad estacionaria, 12% blending, 9% generación de calor y 18% otras aplicaciones incluyendo fertilizantes entre otros. Además, se estima que un sólo proveedor puede abastecer entre 5 y 10 proyectos (promedio 7,5) obteniendo un factor de $40\% * 41\% / 7,5 = 0,02$
Materia prima	0,002	Se considera un proveedor por aplicación para proyectos sólo de aplicaciones (40%) y se utilizó la base de datos para estimar los porcentajes según: 41% electromovilidad, 3% materia prima, 18% Generación de electricidad estacionaria, 12% blending, 9% generación de calor y 18% otras aplicaciones incluyendo fertilizantes entre otros. Además, se estima que un sólo proveedor puede abastecer entre 5 y 10 proyectos (promedio 7,5) obteniendo un factor de $40\% * 3\% / 7,5 = 0,002$
Generación de electricidad estacionaria	0,010	Se considera un proveedor por aplicación para proyectos sólo de aplicaciones (40%) y se utilizó la base de datos para estimar los porcentajes según: 41% electromovilidad, 3% materia prima, 18% Generación de electricidad estacionaria, 12% blending, 9% generación de calor y 18% otras aplicaciones incluyendo fertilizantes entre otros. Además, se estima que un sólo proveedor puede abastecer entre 5 y 10 proyectos (promedio 7,5) obteniendo un factor de $40\% * 18\% / 7,5 = 0,01$
Blending	0,006	Se considera un proveedor por aplicación para proyectos sólo de aplicaciones (40%) y se utilizó la base de datos para estimar los porcentajes según: 41% electromovilidad, 3% materia prima, 18% Generación de electricidad estacionaria, 12% blending, 9% generación de calor y 18% otras aplicaciones incluyendo fertilizantes entre otros. Además, se estima que un sólo proveedor puede abastecer entre 5 y 10 proyectos (promedio 7,5) obteniendo un factor de $40\% * 12\% / 7,5 = 0,006$
Generación de calor	0,005	Se considera un proveedor por aplicación para proyectos sólo de aplicaciones (40%) y se utilizó la base de datos para estimar los porcentajes según: 41% electromovilidad, 3% materia prima, 18% Generación de electricidad estacionaria, 12% blending, 9% generación de calor y 18% otras aplicaciones incluyendo fertilizantes entre otros. Además, se estima que un sólo proveedor puede abastecer entre 5 y 10 proyectos (promedio 7,5) obteniendo un factor de $40\% * 9\% / 7,5 = 0,005$
Otras aplicaciones	0,010	Se considera un proveedor por aplicación para proyectos sólo de aplicaciones (40%) y se utilizó la base de datos para estimar los porcentajes según: 41% electromovilidad, 3% materia prima, 18% Generación de electricidad estacionaria, 12% blending, 9% generación de calor y 18% otras aplicaciones incluyendo fertilizantes entre otros. Además, se estima que un sólo proveedor puede abastecer entre 5 y 10 proyectos (promedio 7,5) obteniendo un factor de $40\% * 18\% / 7,5 = 0,01$

Luego, como se indicó al inicio del capítulo, para la estimación de demanda, se utilizan los factores por categoría junto a los resultados de las proyecciones del capítulo 3 para proyectos que alcanzan FID, es decir, que superan la fase de desarrollo y entran en etapa de ejecución (construcción y operación) como se indican a continuación:

Escenario 2040

- Caso Base - 402 proyectos anunciados a 2040
- Pesimista - 61 proyectos con FID a 2040 (-45%)
- Moderado - 111 proyectos con FID a 2040
- Optimista - 162 proyectos con FID a 2040 (+46%)

5.1.2. Estimación de oferta

Para la estimación de la oferta, se utiliza el muestreo realizado en la base de datos de proveedores a nivel nacional. Como se mencionó anteriormente, no se consideró desglose regional, ya que no se consideró suficiente representatividad de los datos para todas las regiones.

5.1.3. Análisis de mercado

En esta sección se presenta la Tabla 5.7, con el resultado obtenido para el indicador del cruce de oferta y demanda. Este indicador representa la disponibilidad de proveedores vs el mínimo número de empresas requeridas por la demanda proyectada a 2040 para proyectos de hidrógeno y derivados. Para interpretar el indicador, se separa en tres categorías sus resultados, *suficiente* si es mayor a 100%, *requiere crecimiento* si está entre 30% y 99% y *poca o nula oferta* si es menor a 30%. **Se aclara que estos resultados son referenciales de aquellas categorías que requieren mayor crecimiento pero no necesariamente tienen una interpretación cuantitativa directa.**

Se puede apreciar de los resultados obtenidos, que la categoría de Aplicaciones y consumo en su totalidad cuenta con oferta *suficiente*, esto debido a una baja demanda proyectada. Se suma a este eslabón las categorías de Ciencias y capacitaciones (156%), Puertos (131%), Dióxido de carbono (CO₂) (150%), Generación eléctrica (ERN) (644%), e-fuels (480%) y otros derivados (400%).

Para los proveedores en porcentaje de *requiere crecimiento*, se observa que son la mayoría de las categorías en los eslabones de Desarrollo e infraestructura, además de las categorías de Purificación/distribución de agua (58%), Amoníaco (40%), Hidrógeno (58%), Transporte en embarcaciones (75%) y Transporte en tube trailers (59%).

Se observa que las categorías con menor porcentaje y por lo tanto *poca o nula oferta* son: Nitrógeno (N₂) (17%), Estanques estacionarios (20%), Otros insumos (20%), Certificación (25%), Redes de transmisión eléctrica (25%), Gestión de permisos (27%) y Gasoductos y otros tipos de transporte (29%).

Tabla 5.7: Cruce de oferta 2024 y demanda 2040

1. Desarrollo	Oferta 2024	Demanda 2040	Cruce
Certificación	7	28	25%
Ciencias y capacitaciones	44	28	156%
Desarrolladores	71	111	64%
Estudios	54	74	73%
Financiamiento	12	23	52%
Gestión de Permisos	21	78	27%
Ingeniería	56	89	63%
Legal	16	33	48%
2. Infraestructura			
Montaje/Integración	21	37	57%
Obras Civiles	21	44	47%
piping e instrumentación	26	40	64%
puertos	7	5	131%
Redes de transmisión eléctrica	12	49	25%
3. Insumos			
Dióxido de carbono (CO2)	2	1	150%
Generación eléctrica (ERNC)	40	6	644%
Nitrógeno (N2)	1	6	17%
Otros insumos	3	15	20%
Purificación/distribución de agua	7	12	58%
4. Producción y acondicionamiento			
amoniaco	3	7	40%
e-fuels	8	2	480%
Hidrógeno	11	19	58%
otros derivados	4	1	400%
5. Almacenamiento y transporte			
Estanques estacionarios	6	30	20%
Gasoductos y otros tipos de transporte	1	3	29%
Transporte en embarcaciones	4	5	75%
Transporte en tube trailers	2	3	59%
6. Aplicaciones y consumo			
blending	4	1	400%
electromovilidad	12	2	494%
generación de calor	4	1	400%
generación de electricidad estacionaria	4	1	375%
Materia Prima	2	1	200%
otras aplicaciones	7	1	657%

5.2. Conclusiones

De los resultados obtenidos de estimaciones de oferta y demanda, en general se observa suficiencia de proveedores para la mayoría de la cadena de valor, en especial para las categorías con más de un 100% en el cálculo de cruce entre oferta y demanda, estas corresponden a Ciencias y capacitaciones, Puertos, Dióxido de carbono, Generación eléctrica (ERNC), E-fuels, Otros derivados, y por último todas las categorías de Aplicaciones y consumo. Sin embargo, bajo la consideración de un escenario optimista de crecimiento del mercado algunas de las categorías como financiamiento, legal, obras civiles, montaje/integración, purificación/distribución de agua, amoníaco podrían pasar a tener una oferta *insuficiente* pese a que su indicador actual se encuentra entre el 30 y 60%.

En cuanto a la identificación de brechas asociadas a la disponibilidad de bienes y servicios en un escenario de demanda proyectado, se determina que aquellos eslabones identificados con *poca o nula oferta* son:

- Desarrollo - Certificación (25%) No existen a la fecha muchas empresas que provean servicios de certificación relacionada a seguridad y sustentabilidad requeridos por parte de los proyectos medianos y grandes, que sean capaces de cubrir la demanda proyectada.
- Desarrollo - Gestión de permisos (27%) A la fecha no existen muchas empresas dedicadas a la gestión de permisos específicos para proyectos de hidrógeno y efectivamente se detecta una brecha debido a la incertidumbre de dichos permisos (muchos desarrolladores que aún no tienen claro qué permisos aplican a sus proyectos o cómo obtenerlos). No obstante, se considera que esta capacidad también puede ser propia de los desarrolladores, por lo que se diagnostica como un problema que se puede abordar desde proveedores específicos (consultoras especializadas) o mediante apoyo directo a los proyectos y sus equipos.
- Infraestructura - Redes de transmisión eléctrica (25%) Se observó en los resultados una baja participación de proveedores de este eslabón aún cuando es altamente requerido para industrias similares como las energías renovables, BESS o incluso la gran minería. Por esta razón se sugiere abordar esta brecha fomentando la inclusión de proveedores que hoy no se identifican con la cadena de valor del hidrógeno y realizando el matchmaking necesario.
- Insumos - Nitrógeno (17%) Se observa que dado la cantidad de proyectos asociados a amoníaco proyectados, son muy pocas las empresas existentes capaces de proporcionar los bienes y servicios asociados a la captura de nitrógeno para proceso Haber-Bosch.
- Insumos - Otros (20%) Dado que la mayoría de los proyectos requerirá servicios tipo provisión esporádica de nitrógeno para purgas y disposición de residuos peligrosos (como KOH), son muy pocas las empresas que proveen estos servicios vs la demanda proyectada.
- Almacenamiento y transporte - Estanques estacionarios (20%) Considerando que todos los proyectos requerirán al menos un nivel de almacenamiento y la poca oferta nacional, se observa un requerimiento en proveedores nacionales que proporcionen estos equipos o que representen fabricantes internacionales.
- Almacenamiento y transporte - Gasoductos y otros tipos de transporte (29%)

Aunque no se maneja a ciencia cierta el tipo de transporte que tendrán los proyectos, ocurre lo mismo que con tube trailers en el sentido de que no se cuenta con empresas que declaren este bien/servicio en relación a la demanda proyectada, pudiendo significar un cuello de botella a futuro.

De esto se concluye que las más cercanas a nula oferta son Certificación, Nitrógeno, Otros Insumos y estanques estacionarios. Siendo los eslabones que mayor fomento requieren para cumplir las metas proyectadas y pudiendo lograrse esto por los distintos métodos ya mencionados.

6

Identificación y análisis de brechas

El presente capítulo posee como objetivo la identificación y análisis de brechas para el desarrollo y consolidación de proveedores locales para la cadena de valor del hidrógeno. Para ello, se analiza el estado de desarrollo de hubs internacionales de hidrógeno, determinando los desafíos y oportunidades que presentan, además de comparar con los hubs nacionales estudiados. Además, se realiza un análisis de proveedores en mercados similares tanto desde el ámbito de políticas públicas implementadas como de la influencia de la experiencia privada. Por último, se incorpora el análisis de las mesas de trabajo, donde los proveedores actuales y potenciales locales identificaron brechas tanto para el desarrollo de sus proyectos como para incorporarse al mercado.

6.1. Experiencia internacional

Para la determinación de soluciones a las brechas detectadas en los hubs de interés en Chile, se realizó una búsqueda de iniciativas de hidrógeno en el mundo para establecer su estado de avance y características propias que promuevan su desarrollo.

Utilizando como referencia la base de datos del mapa de valles de hidrógeno de Clean Hydrogen Partnership [86], la cual contiene 98 iniciativas de hubs, valles y proyectos en el mundo, se seleccionan 9 hubs en base a la abundancia y disponibilidad de información pública para el análisis de sus atributos. Los hubs seleccionados se caracterizan a partir del año en que fueron anunciados, año en que se espera su completa operación, estado actual, la principal fuente de energía renovable, tipos de productos a los cuales se enfoca el hub, la existencia de industria preexistente y su tipo, así como se se prevee la exportación del hidrógeno o derivados como finalidad del hub.

- El Hub de Hidrógeno Verde de Hamburgo en Alemania busca transformar la central de carbón de Moorburg en una planta de hidrógeno verde, la cual dará suministro a industrias aledañas. El uso de energía renovable será a partir de parques eólicos y solares, con una mayor participación de energía eólica debido a las condiciones climáticas y geográficas de la ciudad. La iniciativa espera aprovechar la infraestructura industrial preexistente del área para abastecer a la industria metalúrgica local y aplicaciones dentro del puerto de Hamburgo como transporte y logística. Además debido a la ubicación estratégica del hub y la actividad económica portuaria preexistente es que el hub contempla la exportación de hidrógeno y derivados. En cuanto al financiamiento, el hub ha recibido subvención del Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima de Alemania (BMWK) e inversiones privadas del consorcio HGHH está compuesto por Luxcara y Hamburger Energiewerke. Actualmente se encuentra en etapa de preparación a la construcción y operación esperada al año 2027 [87].
- El Puerto de Rotterdam busca posicionarse como un eje central en la producción, importación y distribución de hidrógeno verde en Europa. La producción de hidrógeno verde se alimentará a partir de energía eólica y ha establecido acuerdos para importación y exportación a través de sus terminales, además de ofrecer suministro a aplicaciones industriales y de transporte en la zona, tales como refinerías, plantas de procesos químicos y electromovilidad impulsada por

celdas de combustible en la ciudad. Recientemente en alianza con Power2X y Adviaro se han anunciado los planes de aprovechar la ubicación estratégica del hub para producir combustibles de aviación derivados del hidrógeno. El hub ha recibido fondos del Gobierno de Países Bajos y apoyo de la Unión Europea mediante el Fondo de Innovación y el Mecanismo Conectar Europa, además de contar con la firma de acuerdos de cooperación con países dentro y fuera de la UE, en cuanto a financiamiento privado se identifica la participación de empresas como Moeve para el establecimiento de corredores de distribución de hidrógeno. El hub actualmente se encuentra en etapa de desarrollo y se espera el comienzo de su operación para 2025 [88].

- El Hub de Porth Bonython se posiciona como uno de los principales centros de producción a gran escala de hidrógeno verde en Australia, orientado tanto a mercados domésticos como de exportación. Cuenta con potencial renovable de origen solar y eólico para la producción mediante electrolisis, además de infraestructura portuaria existente actualmente utilizada para la exportación de hidrocarburos líquidos. Las aplicaciones actuales de la zona consideran siderúrgicas que podrán aprovechar el hidrógeno en sus operaciones y la industria química para productos de exportación, la cual podrá convertirse y/o complementarse a la producción de hidrógeno y derivados con miras a la exportación. La iniciativa ha recibido financiamiento del gobierno federal del Sur de Australia, así como apoyo de privados mediante la firma de acuerdos con empresas como Origin, Fortescue, Amp Energy, The Hydrogen Utility (H2U) y Santos. Se espera que el hub entre en completa operación para el 2030, avanzando la fecha en la aprobación de los permisos medioambientales de proyectos involucrados en la zona [89].
- Pilbara Hydrogen Hub funcionará como un centro de producción y exportación de hidrógeno verde y amoníaco en Australia Occidental, contemplando el aprovechamiento del abundante recurso solar para la producción de energía renovable a utilizar en el proceso de producción mediante electrolisis. La región de Pilbara es reconocida por contar con actividad económica establecida en el rubro de la minería del hierro e industria siderúrgica, considerados posibles consumidores locales del hidrógeno a producir, además de actividades relacionadas a la exportación de recursos naturales, por lo que cuenta con infraestructura férrea y portuaria preexistente. Se destaca el aporte de financiamiento federal y estatal para el desarrollo y mejoramiento de infraestructura común como puertos y caminos, la creación de un centro dedicado a la formación e investigación aplicada a energías limpias: Instituto de Capacitación e Investigación en Energía Limpia (CETRI) [90].
- El hub de hidrógeno de NEOM en Arabia Saudita se desarrolla en torno al proyecto de NEOM Green Hydrogen Company (NGHC), compuesto por una alianza entre las empresas ACWA Power, Air Products y NEOM. Sin contar con usos locales para el hidrógeno, se plantea un escenario enfocado exclusivamente en la exportación de amoníaco y la creación de industrias complementarias para la creación de una economía sostenible. Anunciado en 2020 y financiado por completo a partir de fuentes privadas, se encuentra en etapa de construcción para una esoperada puesta en operación para 2026 [91].
- Green Hysland en Mallorca se ha definido tanto como proyecto como hub, donde la principal característica que lo define es su condición de isla que pretende convertirse en un ecosistema demostrativo de toda la cadena de valor del hidrógeno, con proyectos dedicados a la producción y aplicaciones de hidrógeno verde. El enfoque de los proyectos se centra en satisfacer la demanda local de hidrógeno, encontrándose entre los proyectos anunciados se considera su uso en transporte, generación de energía estacionaria y su inyección dentro de redes de gas natural. La iniciativa a recibido financiamiento de la Comisión Europea a través de la Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) y de empresas privadas como Enagás, Acciona, Cemex y Redexis. Si bien fue anunciado en 2020, su puesta en marcha no fue hasta 2022 cuando se puso en marcha la producción de hidrógeno en la planta de Lloseta, producción que se vió pausada a mediados del 2023 por razones técnicas y paralizando de forma efectiva las iniciativas que lo utilizaban como insumo. A comienzos de 2024 se reanudó la actividad productiva de la planta, permitiendo el alcance del primer hito en septiembre del mismo año: Inyección y demostración del uso de hidrógeno verde en una red de gas existente [92].
- El hub de hidrógeno de Tangshan ubicado en la provincia de Hebei, es una iniciativa del gobierno Chino para transformar la ciudad en un núcleo de producción y aplicación de hidrógeno

verde en la región. La industria siderúrgica presente en la ciudad la convierte en un usuario directo para descarbonizar su actividad económica, actualmente existen proyectos para la producción de hidrógeno mediante electrólisis y aprovechamiento del gas de coquización de la industria siderúrgica, y proyectos que consideran el uso del hidrógeno en la producción de aceros y movilidad inter-regional entre Beijing, Tianjin y Hebei. Fue anunciado en 2022 con el "Plan de Desarrollo de la Industria del Hidrógeno de Tangshan" financiado por el Gobierno Chino para la diversificación y descarbonización de la economía local, se encuentra en un estado de desarrollo avanzado con un comienzo de operaciones proyectada a 2025 [93].

- El Hub H2 Verde Manizales es una iniciativa a partir de una alianza internacional entre las empresas comombianas Solenium, Hybrid Power System Group Colombia (HPSG) y la chilena Andes H2, las cuales fueron ganadores de la convocatoria +H2 Colombia del Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE). Se plantea la producción de hidrógeno renovable a partir de fuente solar para aplicaciones en la industria siderúrgica local y movilidad. La iniciativa se encuentra en etapa de planificación con una puesta en marcha planificada a 2025 [94].
- Westküste100 en Alemania buscaba establecer una economía regional del hidrógeno verde a escala industrial en la región de Schleswig-Holstein. La producción de hidrógeno renovable a partir de una combinación de energía eólica y solar estaba destinado a aplicaciones industriales en refinería Heide y suministro de color industrial y residencial a la ciudad. En 2020, el consorcio detrás de Westküste100 recibió la aprobación y financiamiento del Ministerio Federal de Economía y Energía de Alemania, sin embargo, en 2023, el proyecto fue cancelado cuando los socios principales, Raffinerie Heide, Ørsted Deutschland y Hynamics Deutschland, decidieron no continuar con la producción de hidrógeno verde debido a los elevados costos de construcción [95].

La recopilación de experiencias internacionales ha permitido identificar los principales desafíos y oportunidades que pueden influir en el éxito de un hub de hidrógeno.

Desafíos identificados:

- Altos costos iniciales:
Los costos iniciales asociados a la construcción e implementación de una planta de producción de hidrógeno. Sin embargo, pueden ser mitigados mediante la adopción de subsidios o incentivos de iniciativas gubernamentales o privadas, facilitando el desarrollo de los proyectos.

Desafío identificado por el Hub WESTKÜSTE100 en Alemania, donde el proyecto que da nombre al hub manifestó en noviembre de 2023 que "Tras un examen exhaustivo de todas las condiciones generales, la empresa conjunta no tomará una decisión positiva de inversión. Esto debido al aumento de los costes de inversión y a los importantes riesgos económicos asociados." [96].

- Incertidumbre regulatoria:
La inmadurez de la regulación local puede tener distintos impactos dependiendo de la etapa del proyecto. En fases tempranas, puede desincentivar la inversión; mientras que en etapas avanzadas de desarrollo, podría dificultar la comercialización del producto. Implementar proyectos en países con regulaciones alineadas a las necesidades de los hubs de hidrógeno podría minimizar estos riesgos.

Identificado transversalmente en los hubs mencionados, debido a la condición de industria emergente que caracteriza al hidrógeno renovable. Se desprende de lo reportado por el informe Global Hydrogen Review [19] en relación a las condiciones necesarias para avanzar un proyecto desde una etapa de diseño técnico a FID, dentro de los factores atribuibles se encuentran 1) los vacíos regulatorios y claridad normativa, 2) existencias estándares, guías, y reglas de certificación de origen, y 3) la falta de políticas que creen e incentiven la demanda.

En el Hub de Pilbara se ha anunciado la construcción de gasoductos en los territorios de los pueblos aborígenes Ngarluma y Kariyarra, siendo clave la cooperación entre gobierno y representantes de las comunidades afectadas para alcanzar acuerdos. Se reportaron manifestaciones en contra de la instalación del hub debido a la falta de consulta a los grupos indígenas [97].

- **Competencia en el mercado:**

Las proyecciones de precios del producto final, ya sea hidrógeno o derivados, pueden influir en la viabilidad económica de los proyectos. Un análisis detallado de los costos operativos, como el acceso a agua desalada y energía renovable, necesario para estimar la rentabilidad. Hubs ubicados en regiones con abundancia y accesibilidad a recursos con costos competitivos tendrán mayor capacidad para atraer inversiones, mientras que aquellas en zonas aisladas o lejanía geográfica deberán cubrir los costos operacionales asociados.

Desafío del conjunto de los hubs de Pilbara, Porth Bonython y NEOM, donde para el caso planteado para la exportación hacia mercados europeos deberán incluir en su precio final aquellos relacionados al transporte intercontinental. Los tres hubs mencionados cuentan con condiciones climáticas favorables para el aprovechamiento del recurso solar, sin embargo, se prevé que deberán considerar la desalación de agua para la producción de hidrógeno. Estos adicionales en relación a hubs que otorgan suministro interno dentro de su región, con menores costos asociados a transporte tendrán una ventaja en cuanto a competitividad.

- **Demanda incierta:**

El desconocimiento de la demanda futura del hidrógeno puede generar incertidumbre en los inversionistas. Proyectos que aseguren consumidores locales o contratos de suministro tendrán una ventaja competitiva frente a esta incertidumbre.

En particular para el caso del hub de NEOM, el cual es planteado con fines a exportación de hidrógeno y amoníaco como producto final, no cuenta con demanda interna asegurada y dependerá en mayor manera de las tendencias del mercado internacional. Existiendo incertidumbre respecto al precio de venta y ante la presencia de competidores.

Oportunidades identificadas:

- **Infraestructura habilitante preexistente:**

La disponibilidad de infraestructuras compartidas, como redes ferroviarias, puertos y otras instalaciones logísticas puede facilitar la distribución local y la exportación del hidrógeno y/o derivados. Reduciendo así los costos de implementación y operación.

Tanto el Hub del Puerto de Rotterdam y el Hub de Port Bonython corresponden a ubicaciones estratégicas que cuentan con una actividad económica previa dedicada a la exportación de materias primas y otros productos. La existencia de puertos es atractiva en términos de infraestructura aprovechable y desde un punto de vista logístico para los operadores de carga por vía marítimas.

- **Actividad económica relacionada y reconversión de fuerza laboral:**

Hubs ubicados en zonas con industrias compatibles, como el sector de Oil and Gas, podrá aprovechar la experiencia técnica y profesional de la fuerza laboral existente, además de reutilizar procesos e infraestructuras adaptables para la producción de hidrógeno.

Oportunidad identificada para el Hub de Hamburgo, el cual considera la transformación de una planta de carbón y reemplazar el suministro energético y de calor de industrias aledañas por hidrógeno renovable. Así mismo la planta de NEOM en Arabia Saudita cuenta con antecedentes de la industria petrolera, siendo posible trasladar personal con formación técnica acorde a las necesidades específicas del hidrógeno renovable y sus derivados.

- **Demanda local asegurada:**

La presencia de consumidores locales garantiza una demanda mínima para el hidrógeno producido. La exportación puede considerarse una opción adicional una vez cubierta la demanda interna. Los hubs diseñados exclusivamente para exportación dependerán de las condiciones de mercado global y de la competencia con otros hubs internacionales.

El Hub del Pilbara cuenta con actividad minera existente en su territorio, el cual se prevé actúe como principal consumidor local del hidrógeno y amoníaco producido en el hub. Los proyectos anunciados en la zona, como el Australian Renewable Energy Hub (AREH) liderado por el consorcio integrado por bp, CWP Global e Intercontinental Energy, manifiestan intención de exportar su producción en el futuro, estando sujeto a la rentabilidad de estos mismos en sus primeros años.

- Incentivos gubernamentales y metas de descarbonización:
Políticas de descarbonización y estímulos financieros pueden fomentar la adopción de hidrógeno como fuente energética por parte de industrias intensivas en carbono, como la siderurgia, el transporte marítimo y las refinerías. Hubs ubicados cerca de estas industrias podrán ofrecer una solución para reducir sus emisiones.

Políticas de descarbonización como la propuesta por la Unión Europea, que tiene por objetivo de alcanzar la carbono neutralidad a 2050 de forma progresiva, volviendo al hidrógeno como una alternativa clara para industrias con un alto nivel de consumo de fuentes de carbono para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero y dependencia de los combustibles fósiles. De forma análoga en Chile se cuenta con políticas como la Planificación Energética de Largo Plazo, el Plan de Descarbonización y la Política Energética Nacional, cada una con metas y plazos propios de implementación.

El análisis de las características determinantes y condiciones de los hubs internacionales permitió encontrar similitudes con dos de los hubs chilenos considerados en este estudio. Estos corresponden al Hub Antofagasta con el Hub Pilbara y el Hub Magallanes con el Hub del Puerto de Rotterdam. Las principales Similitudes y diferencias entre los hubs seleccionados se resume en las Tablas 6.1 6.2.

Comparación Hub Antofagasta y Hub del Pilbara

El hub de hidrógeno del Valle del Pilbara presenta características y políticas que podrían ser adoptadas en el hub de Antofagasta, sin embargo, también tiene desafíos propios a considerar. En términos de recursos naturales, el Valle del Pilbara se beneficia de la combinación de energía solar, con contribución de energía eólica y gas natural, lo que le otorga flexibilidad en términos de suministro energético para la producción de hidrógeno, lo cual puede ser beneficioso dependiendo de la temporalidad de las condiciones climáticas como períodos de baja irradiación solar en invierno. En cambio, Antofagasta depende casi exclusivamente de la energía solar, lo que podría requerir equipamiento adicional para almacenamiento de energía para garantizar una producción continua de hidrógeno renovable.

En cuanto a las políticas de hidrógeno, Chile podría basar sus futuras herramientas en las estrategias más específicas planteadas para el Valle del Pilbara, como la Estrategia de Hidrógeno Renovable para Australia Occidental (2024), que se enfoca en desarrollar infraestructuras regionales y en atraer inversiones extranjeras. Sin embargo, el PIB de Australia es considerablemente más alto que el de Chile, lo que podría traducirse en una mayor capacidad financiera para implementar y desarrollar proyectos a gran escala.

Para las similitudes, se encuentra que la presencia de industria minera en ambas regiones podría facilitar la adopción de modelos similares, ya que ambas cuentan con experiencia en grandes infraestructuras industriales con consumo intensivo de energía para sustentar sus actividades.

Ambos hubs consideran la exportación de amoniaco a través de terminales portuarios existentes y dentro de las principales diferencias entre los hubs consiste en su enfoque en torno a los proyectos: En el Hub del Pilbara no se identificaron proyectos pilotos, mientras que en Antofagasta se tiene un progreso paulatino desde proyectos piloto dedicados a investigación y demostración como es el caso de los proyectos de CICITEM y la Universidad de Antofagasta.

En resumen, aunque hay muchas oportunidades para adoptar medidas del Pilbara en Antofagasta, especialmente en términos de planificación estratégica y desarrollo de infraestructura, las diferencias en recursos naturales y capacidades económicas pueden requerir ajustes importantes para que el modelo australiano sea viable en Chile.

Tabla 6.1: Similitudes y Diferencias Hubs de Antofagasta y Hub del Pilbara

Criterio de comparación	Hub de hidrógeno de Antofagasta (Chile)	Hub de hidrógeno del Valle del Pilbara (Australia)	Similitudes/Diferencias
Ubicación geográfica	Norte de Chile, Desierto de Atacama	Oeste de Australia, región del Pilbara	Ambas regiones cuentan con condiciones geográficas y climáticas favorables para aprovechar el recurso solar
Recursos naturales	Energía solar	Energía solar, eólica y gas natural	Ambos tienen potencia para la producción de energía solar, sin embargo la región del Pilbara también cuenta con gas natural
Políticas de hidrógeno	Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (2020) Plan de Acción de Hidrógeno Verde (2023)	Estrategia Nacional de Hidrógeno (2019) Estrategia Nacional de Hidrógeno (2024) Estrategia de Hidrógeno Renovable para Australia Occidental (2024)	Ambos países cuentan con políticas de planificación para el desarrollo de la industria. En Australia se han publicado documentos actualizados y específicos para la zona en que se encuentra el Valle del Pilbara
PIB del país	335.5 billones USD	1.724 trillones USD	Se identifica un mayor PIB en Australia que en Chile
Otras industrias	Minería	Minería y oil & gas	Ambos cuentan con industria minera como precedente de la actividad industrial en la región
Producto principal	Hidrógeno y amoníaco	Hidrógeno y amoníaco	Ambos producirán hidrógeno y amoníaco
Infraestructura portuaria	Puerto de Mejillones	Puerto Hedland	Ambas regiones cuentan con infraestructura portuaria para la exportación.
Mercados internacionales de exportación	Europa y Asia	Asia	Ambas regiones apuntan a Asia como posible mercado

Comparación Hub Magallanes y Hub Puerto de Rotterdam

El Hub de hidrógeno del Puerto de Rotterdam presenta un modelo basado en una infraestructura portuaria avanzada con actividad industrial para productos químicos y refinerías, mientras que en Magallanes se encuentra una actividad basada en productos para el consumo humano y el turismo.

En términos de políticas energéticas se tiene que aquellas adoptadas por Países Bajos se basan en los lineamientos de la Unión Europea. Sin embargo, el proponer la adopción de estas medidas en Magallanes enfrenta una serie de desafíos, entre los cuales se encuentra que la infraestructura industrial y portuaria de Rotterdam es mucho más robusta en cuanto a experiencia de exportación, con un puerto de escala global que facilita la distribución de hidrógeno dentro de Europa. En Magallanes, aunque existen puertos importantes, no está claro cuáles se utilizarían específicamente para la exportación de hidrógeno por lo que se deberá crear y adaptar la capacidad de infraestructura portuaria con este fin.

Además, la industria química y de refinerías en Rotterdam es un consumidor base de hidrógeno, asegurando una demanda base para la habilitación de proyectos. En cambio en el Hub de Magallanes el único sector que podría actuar de consumidor base es el sector domiciliario con medidas de respaldo energético y/o de calor, lo que hace que la integración de hidrógeno en la economía regional sea más compleja. El puerto de Rotterdam cuenta con mayor cercanía y conexión a mercados europeos, mientras que Magallanes tiene salida bi-oceánica al Pacífico y Atlántico con mayor distancia por cubrir, lo cual puede afectar en el precio final del producto por concepto de transporte. Y en segundo lugar la

disponibilidad local de fuentes de carbono para la producción de derivados del hidrógeno, el puerto de Rotterdam cuenta con actividades industriales de las cuales se obtiene CO_2 , precedente no establecido en Magallanes y por lo cual se deberán plantear mecanismos de captura de carbono o traslado de este a la región desde otros territorios.

En términos de políticas de hidrógeno de Rotterdam están alineadas con una estrategia europea común, lo que les otorga acceso a apoyo y financiamiento, mientras que en Chile aún no tiene ese nivel de integración regional.

En resumen, el adaptar el modelo del Hub del Puerto de Rotterdam es necesario adaptar las medidas a las condiciones locales y aumentar las capacidades de infraestructura para albergar a una industria competitiva a nivel global.

Tabla 6.2: Similitudes y Diferencias Hubs de Magallanes y Hub del Puerto de Rotterdam

Criterio de comparación	Hub de hidrógeno de Magallanes (Chile)	Hub de hidrógeno de Rotterdam (Países Bajos)	Similitudes/Diferencias
Ubicación geográfica	Sur de Chile, Patagonia	Puerto de Rotterdam, Países Bajos, Europa	Ambas regiones presentan condiciones para aprovechamiento del recurso eólico
Recursos naturales	Energía eólica	Energía eólica off-shore	Las condiciones geográficas habilitan la instalación de plantas eólicas forma distinta entre las regiones
Política de hidrógeno	Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (2020) Plan de Acción de Hidrógeno Verde (2023)	Hoja de Ruta del Hidrógeno para los Países Bajos (2020) Programa de Innovación del Hidrógeno (2020) Política de Hidrógeno Verde en el Contexto de la Transición Energética (2021) Programa de Importación de Hidrógeno (2022)	Ambos países cuentan con políticas de planificación para el desarrollo de la industria. Se observa mayor cantidad y especificidad en aquellos pertenecientes a Países Bajos, donde adicionalmente se acogen a los lineamientos generales de la Unión Europea
PIB del país	335.5 billones USD	1.118 trillones USD	Se identifica un mayor PIB en Países Bajos que en Chile
Otras industrias	Acuicultura, ganadería y turismo	Logística portuaria, industria química y refinerías	En Magallanes no se identifican actividades relacionadas, mientras que el Hub del Puerto de Rotterdam cuenta con actividades que pueden aprovechar el hidrógeno
Producto principal	Hidrógeno y e-fuels	Hidrógeno y e-fuels	Ambos planifican la producción de derivados del hidrógeno como e-fuels para uso terrestre y aéreo
Infraestructura portuaria	Puertos de la región	Puerto de Rotterdam	Ambos cuentan con puertos establecidos, sin embargo para el caso de Magallanes no se encuentra explícito cuáles serán utilizados para el fin de exportación
Mercados internacionales de exportación	Europa y Asia	Dentro de Europa	El Puerto de Rotterdam cuenta con una finalidad de distribución a otros países dentro de la región

Es importante destacar que pese a las similitudes y diferencias de los hubs internacionales y chilenos, cada una de las características responde a las condiciones geográficas, sociales y económicas a las que responden las realidades de cada país y región. Por lo que las lecciones y caminos de éxito no son simplemente aplicables a otras iniciativas.

6.2. Desarrollo de proveedores en mercados similares: políticas públicas y experiencia privada

Del nuevo mercado del hidrógeno verde y sus derivados se pueden identificar características comunes a otros mercados, esto ya sea porque han pasado por un proceso de crecimiento similar o por factores técnicos como la alta complejidad tecnológica, tipo de aplicaciones o elementos de su cadena de valor en común. A modo de referencia, se reconoce, que la consolidación de los proveedores de estos mercados similares en Chile ha sido un proceso dinámico, influenciado por diversos factores que han impulsado el crecimiento y la diversificación del sector.

A continuación, se identifican algunos de estos mercados destacando características y procesos en su desarrollo que pueden ser comparables o utilizados como base para el análisis posterior del hidrógeno renovable y sus derivados.

6.2.1. ERNC

1. Marco Regulatorio y Políticas Públicas: El gobierno chileno ha implementado políticas que fomentan el desarrollo de las ERNC. En 2021, se anunció que las ERNC representarían el 40% de la matriz energética al 2030, duplicando la obligación de cuotas en el Sistema Eléctrico Nacional del 20% al 40% para finales de la década. Las políticas desde el MEN fueron muy relevantes en el despliegue de las ERNC, en particular el desarrollo de información base para la evaluación de prefactibilidad de los proyectos pues eran información que era aceptada o validada por las instituciones financieras al momento de otorgar financiamiento. Estos son los Exploradores que se ha transformado en un programa de desarrollo permanente por el MEN y las publicaciones desarrolladas con GIZ de potencial de ERNC, orientaciones para el desarrollo de proyectos, etc. Simultáneamente se desarrolló un plan permanente de difusión y capacitación a la población.

2. Inversión y Desarrollo de Proyectos: La región de Antofagasta ha sido un epicentro para proyectos ERNC. En 2022, se proyectó la entrada en operación de 12 proyectos, incluyendo iniciativas solares y eólicas, con una inversión total de aproximadamente US\$2.031 millones.

3. Participación de Empresas Nacionales e Internacionales: Empresas tanto locales como extranjeras han contribuido al crecimiento del sector. Proyectos como la planta termosolar Cerro Dominador, inaugurada en 2021, han sido desarrollados por consorcios internacionales, destacando la colaboración global en el ámbito de las ERNC.

4. Desafíos y Oportunidades: A pesar del crecimiento, el sector enfrenta desafíos como la saturación de las líneas de transmisión y la necesidad de almacenamiento energético. En 2023, BNamericas destacó la importancia de abordar estos desafíos para mantener el impulso del sector y alcanzar las metas de descarbonización.

6.2.2. Biogás

1. Iniciativas privadas de desarrollo de Plantas de Biogás:

- **Primera Planta Multiresiduos:** En 2022, Ecoprial inauguró en Osorno la primera planta multiresiduos de biogás del país. Esta instalación transforma residuos orgánicos en energía limpia, contribuyendo a la economía circular y a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Planta de Bio-LNG en Ñuble:** En 2022, HAM Group y CycleØ, en colaboración con Lipigas, anunciaron la construcción de la primera planta de bio-LNG en Chile, ubicada en la región de Ñuble. Esta planta procesa entre 7.500 y 16.500 m^3 de biogás diarios, reduciendo más de 19.000 toneladas de CO₂ al año en el sector del transporte pesado.

De estas iniciativas se destaca la participación de empresas nacionales e internacionales y la configuración de la colaboración para llevar a cabo dichos proyectos.

2. Políticas y Marco Regulatorio: El gobierno chileno ha implementado políticas que fomentan el desarrollo de energías renovables no convencionales, incluyendo el biogás. La Ley N°20.257 de 2008 define las fuentes de energía renovable no convencional, entre las cuales se incluyen la biomasa y el biogás. El desarrollo del biogás se logró gracias a un trabajo intenso de los diferentes servicios públicos involucrados, eso es similar al desarrollo del H2V. Hubo un perfeccionamiento del marco regulatorio

y un programa de capacitaciones, para empresas y profesionales que se querían dedicar a entregar servicios de instalador de biogás (figura nueva generada con la regulación de biogás, esto mismo se desarrolló para el Hidrógeno en el D.S. 13), a lo largo de todo Chile para generar competencias sólidas y acorde a los requerimientos de la regulación vigente. Se generó un programa de pasantías cortas y de mediano plazo al extranjero para profesionales de empresas que querían expandir su oferta de servicios hacia el biogás, junto con este se generó el fomento para el desarrollo de cursos desde la academia (gratuitos igualmente para empresas que querían expandir su oferta de servicios hacia el mercado del biogás), relacionado a bioenergía (biomasa) un observatorio de valores de energía en el mercado y un Programa de Bioenergía específico en Anid (ex Conicyt). En Anid además han existido otros programas específicos para el fomento de temas de interés del Estado en industrias también de interés del Estado, por ejemplo, un programa específico para el desarrollo de soluciones de eficiencia energética aplicada a la minería en cualquier parte del proceso minero.

3. Beneficios Ambientales y Económicos: El uso del biogás contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y promueve la gestión sostenible de residuos orgánicos. Además, genera empleo en áreas rurales y favorece la economía circular al transformar residuos en recursos valiosos.

4. Desafíos y Oportunidades: A pesar de los avances, el sector del biogás en Chile enfrenta desafíos como la necesidad de infraestructura adecuada y la integración del biometano en las redes de gas natural. Sin embargo, el potencial para replicar éxitos internacionales y avanzar hacia una matriz energética más verde es significativo. La industria del biogás enfrenta grandes desafíos tecnológicos y de capacidades humanas. En esta área, es fundamental generar una cultura de seguridad, el biogás en particular tiene un componente mortalmente tóxico y ya se han reportado accidentes en instalaciones de gran tamaño que ha desencadenado en la muerte de operadores. Adicionalmente hoy se observa que el desarrollo de la industria del biogás está profesionalizándose y se están generando grandes proyectos, los cuales centralizan el tratamiento de residuos orgánicos así se cuenta con instalaciones antiguas como HBS (2 MW de potencia proyectada), Agroorgánicos Mostazal y otros más nuevos como Ecoprial. Adicionalmente se observa un fuerte interés por empresas relacionadas al rubro de gas combustible por descarbonizar sus operaciones y se están asociando a productores de biogás para generar gas natural renovable, este es el caso de Bio-LNG en Ñuble.

La consolidación del biogás en Chile se asocia tanto al compromiso creciente del país con las energías renovables y la sostenibilidad como también al correcto impulso mediante iniciativas públicas y privadas aprovechando el potencial existente en el país de los residuos orgánicos para generar energía limpia obteniendo un beneficio social, ambiental y de desarrollo económico.

6.2.3. Electromovilidad

La consolidación de los proveedores de electromovilidad en Chile ha sido un proceso dinámico, impulsado por políticas gubernamentales, inversiones estratégicas y la colaboración público-privada. A continuación, se detallan los principales factores detectados que han contribuido a este desarrollo:

1. Estrategia Nacional de Electromovilidad: En 2021, el gobierno chileno lanzó la Estrategia Nacional de Electromovilidad, estableciendo metas ambiciosas, como que al 2035 el 100% de las ventas de vehículos livianos y medianos sean de cero emisiones. Esta hoja de ruta ha sido fundamental para orientar y fomentar la participación de proveedores en el mercado nacional.

2. Inversión en Infraestructura y Proyectos: Empresas como BYD y Yutong han introducido autobuses eléctricos en el sistema de transporte público de Santiago, contribuyendo a que la ciudad cuente con una de las flotas de buses eléctricos más grandes fuera de China. Además, iniciativas como la implementación de corredores exclusivos para buses eléctricos han mejorado la infraestructura necesaria para la electromovilidad.

3. Acuerdos Público-Privados: Desde 2018, el Acuerdo Público Privado por la Electromovilidad de los Ministerios de Energía, Transportes y Telecomunicaciones y Medio Ambiente, ha reunido a actores del sector público, privado y académico para promover la electromovilidad en Chile. Este acuerdo ha facilitado la colaboración y el intercambio de conocimientos, acelerando la consolidación de proveedores en el país.

4. Desarrollo de la Industria Nacional: Empresas chilenas como Reborn Electric Motors han contribuido al desarrollo local de vehículos eléctricos, fabricando buses eléctricos utilizados en operaciones mineras, como en la mina El Teniente. Este tipo de iniciativas ha fortalecido la cadena de suministro nacional y ha promovido la innovación tecnológica en el país.

5. Incentivos y Regulaciones: El gobierno ha implementado incentivos económicos y regulaciones que favorecen la adopción de vehículos eléctricos, como la reducción de impuestos y la promoción de estándares de eficiencia energética. Estas medidas han creado un entorno favorable para que los proveedores de electromovilidad se establezcan y expandan en Chile.

Adicionalmente se destaca la presencia de centros tecnológicos específicos a aplicaciones de electromovilidad, instituciones como el Centro de Aceleración Sostenible de Electromovilidad (CASE) y el Centro Mario Molina (CMM), dedicados a proyectos de investigación, formación de capital humano y difusión de información que apoye la penetración de esta tecnología mediante la identificación de problemas, requerimientos y soluciones particulares para su desarrollo e implementación.

Finalmente, del proceso de consolidación de los proveedores de electromovilidad en Chile, se observa una combinación de políticas públicas proactivas, inversiones en infraestructura, colaboración entre sectores y el desarrollo de capacidades locales.

6.2.4. Gas Natural Licuado (GNL)

El gas natural licuado en Chile, es una industria consolidada hace décadas, que presenta similitudes técnicas con el hidrógeno tanto como gas combustible como en algunas de las aplicaciones de estos mismos. Es importante destacar que en Chile el proceso de consolidación de esta industria se desarrolló a través de la implementación de terminales de regasificación y la participación de diversas empresas en la importación y distribución de GNL, lo que representa una similitud en manipulación, pero sin el nivel de generación/producción que se espera del hidrógeno.

Algunos elementos destacados son:

1. Desarrollo de terminales de regasificación: GNL Quintero: Inaugurado en 2009, es el primer terminal de recepción, descarga, almacenamiento y regasificación de GNL en el hemisferio sur. Ubicado en la bahía de Quintero, Región de Valparaíso, este terminal ha sido fundamental para abastecer de gas natural a la zona central de Chile.

- GNL Mejillones (GNLM): Operativo desde 2010, este terminal está situado en la Región de Antofagasta y abastece principalmente al norte del país. GNLM ofrece servicios de regasificación, transbordo y venta de gas natural, facilitando la distribución de GNL en la zona norte.

2. Principales Proveedores y Empresas Participantes: GNL Chile S.A.: Es una sociedad anónima cerrada cuyos accionistas son la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP), Aprovevisionadora Global de Energía S.A. y Enel Generación Chile S.A., con una participación del 33,3% cada uno. GNL Chile gestiona la importación de GNL desde suministradores internacionales y tiene contratada la capacidad del terminal GNL Quintero para la recepción, almacenamiento y regasificación del GNL.

Copec: Opera la planta regasificadora de gas natural más grande de Sudamérica en el mercado industrial. Copec se encarga del transporte de GNL desde Quintero a la zona central y desde Mejillones para la zona norte, ofreciendo soluciones energéticas eficientes para sus clientes.

3. Origen del GNL Importado: Chile importa GNL de diversos países para asegurar la diversificación del suministro. Los principales proveedores incluyen:

- Estados Unidos
- Trinidad y Tobago
- Guinea Ecuatorial
- Qatar

Esta diversificación permite a Chile mantener una matriz energética más segura y menos dependiente de un solo proveedor. A su vez, se observa que la consolidación de los proveedores de GNL en Chile ha sido posible gracias al desarrollo de infraestructura clave, como los terminales de regasificación

en Quintero y Mejillones, y la participación activa de empresas como GNL Chile S.A. y Copec en la importación, regasificación y distribución del GNL en el país.

6.3. Brechas identificadas en mesas de trabajo

El dialogo realizado entre los participantes de las mesas de trabajo y los moderadores permitió comprender la percepción de los actuales actores de la cadena de valor en cada uno de los territorios asociados a los hubs. En las secciones a continuación se resumen los hallazgos en términos de brechas y desafíos.

6.3.1. Hub Antofagasta

Los integrantes de mesa manifiestan la existencia de equipamiento e insumos para la producción, sin embargo, frente a la falta de un consumidor claro no existe una relación proporcional en torno a las aplicaciones.

Los principales desafíos detectados por la mesa son:

- Debido a que los pronósticos sugieren que la demanda local de hidrógeno y sus derivados será inferior a la oferta, se prevé que gran parte de la producción se destine a la exportación en volúmenes significativos. Sin embargo, esto genera un desafío: los primeros proyectos de hidrógeno y derivados que no alcancen una escala suficiente para hacer viable la exportación carecerán de off-takers claros. Como resultado, no existirán incentivos adecuados para que las medianas y pequeñas empresas se involucren en iniciativas de producción de hidrógeno y sus derivados.

La demanda local no abarca actual la oferta de hidrógeno y derivados. Frente a un escenario hacia la exportación en el futuro, falta de incentivos para promover la demanda interna para sustentar los primeros proyectos.

- Según los desarrolladores que participaron de esta mesa de trabajo, los costos asociados a los proyectos de producción de hidrógeno renovable estimados son lo suficientemente altos para no ser competitivos frente al hidrógeno de origen fósil.

6.3.2. Hub Valparaíso

El análisis de cobertura de oferta y demanda en los distintos eslabones, se vio un equilibrio entre oferta y demanda para la mayoría de eslabones, destacándose el de Aplicación y Consumo con un alto índice de Oferta y Demanda. Ya que, según la opinión de los integrantes de la mesa, el Hub de Valparaíso debe ser enfocado a formar un polo de transporte y aplicación del hidrógeno y derivados producidos en otros sectores con mejor posicionamiento energético, inversión y economías de escala.

Los desafíos más determinantes que se identificaron en la Mesa de Trabajo fueron:

- Precio de hidrógeno no competitivo debido a los elevados costos de producción, asociado al potencial de generación de electricidad mediante ERNC y la superficie disponible para instalar esas plantas en la región.
- Baja cantidad de proyectos de aplicación y consumo en relación al potencial de la región en ese ámbito, indicando falta de incentivos de inversión y voluntad de privados para invertir.

6.3.3. Hub de la Región Metropolitana

La percepción de oferta y demanda de los proveedores de cada eslabón, en esta se visualiza el rol de la región como un usuario del hidrógeno y no como un proveedor de este. Se observa que existen empresas tales como Wood, TRA e IEE, que cuentan con capacidad para ofertar servicios de ingeniería, infraestructura, gestión, proyectos, etc., sin embargo, en su mayoría corresponden a empresas sin capacidades específicas enfocadas a la industria del hidrógeno.

Los desafíos detectados son listados a continuación:

- Extensión de los tiempos requeridos para la gestión de estudios medioambientales. Se percibe incertidumbre frente a los tiempos de desarrollo estimados de los proyectos

- Limitado acceso a aplicaciones de hidrógeno debido a falta de disponibilidad local y costo elevado de alternativas existentes
- Falta de una planificación territorial clara orientada a proyectos de hidrógeno renovable y derivados
- Falta de consideración de la transferencia tecnológica en la implementación de proyectos de hidrógeno verde y derivados
- Falta la identificación y priorización de demanda interna y externa
- Poca disponibilidad de personal especializado para proyectos, se requiere capacitación en competencias específicas
- Desconocimiento de la población general, se requerirán iniciativas de sensibilización

6.3.4. Hub Biobío

La sesión de discusión planteó que pesar de contar con proveedores locales con capacidad de adaptación a las necesidades de industria del hidrógeno renovable y derivados, el desarrollo empresarial y el intercambio de conocimiento son limitados, se menciona la carencia de programas de capacitación especializados en hidrógeno afectando así la formación y fortalecimiento del capital humano.

En resumen de los hallazgos de la mesa, se distinguen tres principales puntos de interés:

- Acceso a financiamiento
- Formación de capital humano
- Implementación de tecnologías en procesos no maduros

6.3.5. Hub Magallanes

En cuanto a la percepción de la relación de demanda y oferta de los proveedores de cada eslabón de la cadena de valor se observa que el consenso tiende cercano al equilibrio, con principales desviaciones en los eslabones de Infraestructura y Aplicaciones. La discusión de la mesa de trabajo refuerza el foco de la región como Hub de producción con miras a la producción y exportación con una menor participación de aplicaciones locales.

Los principales desafíos detectados por los participantes fueron en torno a:

- Infraestructura
- Disponibilidad de profesionales capacitados que residan en Magallanes
- Desconocimiento de la industria química
- Insumos
- Capacidad de la región para recibir la fuerza laboral asociada al tamaño de los proyectos

6.4. Conclusiones

A modo de conclusión, distintos métodos de análisis de la información a partir de interpretación cualitativa a la proyección de la demanda, revisión de experiencias internacionales y de otras industrias relacionadas permitieron la detección de brechas específicas y transversales a eslabones y categorías a la cadena de valor. Las brechas identificadas que afectan directamente al desarrollo y consolidación de proveedores de bienes y servicios son:

Falta de proveedores de tecnologías: Tanto en el contexto de la industria del hidrógeno y derivados como en el símil con otras industrias de alta tecnología como por ejemplo, el biogás o la energía solar fotovoltaica, se reconocen un fenómeno común relacionado con el crecimiento natural de un mercado incipiente, en el cuál en una etapa temprana no existen proveedores dedicados o exclusivos a las tecnologías de la industria (ej: paneles fotovoltaicos, reactores, electrolizadores, compresores de gases específicos u otros equipos y componentes).

Capital Humano - Falta de Competencias Específicas: Identificado por las mesas de trabajo como un desafío asociado a una industria emergente y en crecimiento, donde si bien mucho de los bienes

y servicios no son únicos de la cadena de valor del hidrógeno, es necesario que las empresas que hoy proveen dichas soluciones adquieran el conocimiento específico para aplicarlo a la industria. Esto constituye factor clave transversal a todas los eslabones de la cadena de valor.

Falta de participación de empresas nacionales - Desconocimiento del potencial rol en la cadena de valor: El desarrollo de proveedores locales en Chile, basado en experiencias de mercados similares, demuestra la importancia de contar con infraestructura clave preexistente, políticas públicas proactivas y una estrecha colaboración entre actores públicos y privados para consolidar cadenas de suministro nacionales. El catastro realizado en el Capítulo 4 indica la presencia de pequeñas y medianas empresas con potencial para cubrir parte de estas demandas a nivel local, sin embargo para aquellas pertenecientes a otros rubros o industrias, requerirán de apoyo para transformar sus actividades a los requerimientos propios de la industria del hidrógeno que les permitan competir en el mercado frente a grandes empresas.

Falta de participación de empresas nacionales - Barrera de entrada para empresas locales: Identificado a partir del catastro de empresas e instituciones realizado en el Capítulo 4 donde en los eslabones de Producción y Acondicionamiento, Transporte y Almacenamiento, y Aplicaciones y Consumos predominan empresas de origen internacional que importan equipos para los proyectos en Chile. Una mirada dentro de Chile a partir de las observaciones de las mesas de trabajo en revelan la centralización de empresas proveedoras de bienes y servicios, y la necesidad de contar con prestadores de estos a nivel local.

Adicionalmente a las brechas específicas identificadas para proveedores, se consideran las brechas enfocadas para el desarrollo del mercado, que pueden no influir directamente a los proveedores como tal, pero establecen el panorama general del mercado del hidrógeno en que los proveedores buscan entablar negocios.

Brechas para el desarrollo mercado: Entre las brechas que destacan en el desarrollo del mercado, en primer lugar los altos costos iniciales asociados a la construcción e implementación de plantas, como lo evidencia el caso del proyecto WESTKÜSTE100 en Alemania, donde los riesgos económicos y el aumento de los costos llevaron a la cancelación de la inversión. Además, la incertidumbre regulatoria representa un desafío significativo, ya que la falta de normativas claras y estándares adecuados puede desincentivar las inversiones en etapas tempranas y dificultar la comercialización en fases avanzadas. Esto se agrava en países con regulaciones inmaduras, donde se necesitan políticas que fomenten la demanda. La competencia en el mercado también es un factor crítico, ya que proyectos en regiones con costos operativos más altos, como la desalación de agua y transporte intercontinental, enfrentan desventajas frente a aquellos con recursos abundantes y accesibles. Por último, la demanda incierta del hidrógeno genera dudas en los inversionistas, especialmente en proyectos orientados a la exportación, como el hub de NEOM, que carece de consumidores locales asegurados y depende de las tendencias del mercado internacional.

7

Propuestas dirigidas a abordar las brechas

En este capítulo se unen los resultados de la identificación y análisis de brechas con soluciones asociadas las categorías con poca o nula oferta al año 2040. Para ello, se realizan propuestas a las brechas identificadas para el desarrollo y consolidación de proveedores en base a soluciones de internacionales, de otros mercados y del hidrógeno locales. Finalmente, se identifica para cada categoría a reforzar las soluciones son más adecuadas.

7.1. Propuestas para cubrir brechas transversales

7.1.1. Falta de proveedores de tecnologías

Al crecer la industria por las proyecciones naturales del mercado debido a oferta y demanda nacional o internacional es necesario buscar solución de alguna de las siguientes maneras:

- Empresas locales que hagan **desarrollo o adopción de tecnología**, usualmente mediante la colaboración con instituciones internacionales (universidades, centros tecnológicos o fabricantes) ya sea mediante la adquisición de patentes tecnológicas o compra de piezas y partes para desarrollo propio. Esta alternativa requiere largos tiempos de desarrollo y validación para llevar productos nacionales al mercado.
- Empresas locales de rubros similares o con capacidades aplicables que busquen colaboración con empresas de tecnología internacionales mediante **representación local o alianza estratégica de prestación de servicios**, por ejemplo, en el que la empresa internacional vende el equipo y tiene empresas locales autorizadas mediante firma de acuerdos para proveer mantenimiento, capacitaciones y otros servicios en torno al equipo.
- Otra alternativa que no es de colaboración con empresas locales, es la **participación directa de empresas internacionales en el mercado** local. Estas empresas de tecnología o servicios especializados con experiencia en otros países pueden abrir una filial en territorio nacional a su propio nombre, lo que usualmente se ve condicionado a que la empresa matriz diagnostique el mercado nacional con la proyección suficiente para cumplir sus metas comerciales.

Estas pueden ser incentivadas mediante algunos de las siguientes actividades;

- Instancias de matchmaking y networking internacional, por ejemplo, programas técnicos de asociaciones como la *Fuel Cell Hydrogen Energy Association - FCHEA*, u otras instituciones técnicas con interés en el desarrollo de nuevos mercados. Otro ejemplo son plataformas de colaboración profesional como es la red *EUREKA* o eventos con invitación de grandes empresas, desarrolladores y fabricantes como ha sido en Chile aquellos organizados por GIZ específicos en temas de hidrógeno los últimos años.
- Instrumentos de fomento al I+D, por ejemplo, CORFO cuenta con instrumentos (innova alta tec-

nología, crea y valida, PTEC, etc.) para acompañar la innovación en los proveedores, cuyo objetivo es proveer de acompañamiento y servicios especializados de incubación, espacio colaborativo de trabajo, mentoría y aceleración a emprendimientos dinámicos en su proceso de gestación, fortalecimiento y desarrollo. Esto puede facilitar la creación de nuevas patentes o desarrollar tecnología local a partir de patentes o conceptos extranjeros.

- Programas de intercambio profesional o comercial. Es importante distinguir entre programas de carácter más comercial y aquellos de carácter más técnico como pasantías en fabricas o proyectos en operación que a su vez pueden incentivar especialización profesional y desarrollos nacionales.
- Difusión del mercado nacional en instancias internacionales, ya sea en eventos o reuniones de alto nivel como ha sido la labor de ProChile en eventos de renombre o instancias de discusión, firma de acuerdos y colaboración como ha sido el caso del World Hydrogen Summit en el puerto de Rotterdam.
- Promoción de la inversión de empresas extranjeras en mercado nacional. Esto mediante realización de eventos, acuerdos bilaterales u otras herramientas de diálogo y firma de acuerdos, un ejemplo replicable son las giras tecnológicas organizadas por países como Alemania y Países Bajos en Chile o eventos organizados tales como OktoverInvestFest del Estado de Bavaria. Adicionalmente se pueden realizar iniciativas específicas como lo ha realizado CORFO para incentivar la manufactura de electrolizadores o sus componentes en territorio nacional mediante cofinanciamiento, el cuál se ha realizado en dos fases: Solicitud de información (RFI) y solicitud de propuestas (RFP). Este modelo es replicable y se puede estudiar en qué elementos de la cadena de valor podría tener mayor impacto como por ejemplo, estanques estacionarios o sistemas de transporte según las categorías detectadas con menor oferta.

Es importante destacar que estos métodos de colaboración dependen de que exista disponibilidad tecnológica y experiencia exitosa de proyectos en otros países, lo que aún no es seguro para todas las tecnologías requeridas en la cadena de valor estudiada. Por ejemplo, e-fuels en altos porcentajes de pureza (sin blending). Adicionalmente, se considera que no solo es necesario el desarrollo de los proveedores, sino también el desarrollo del mercado donde las mayores barreras identificadas en validación es la competitividad del hidrógeno frente a su alternativa fósil. Esta brecha es una situación propia de un mercado que se está creando en la cual el valor no es representativo ni comparativo directamente con su competidor fósil en este caso. Para el cual hay un costo social no asumido en el valor de los combustibles fósiles debido a la contaminación y deterioro del medio ambiente. Este es un tema en desarrollo respecto a valorar las emisiones evitadas por el cambio de combustible. Instrumentos en esta materia se encuentran en desarrollo a nivel internacional, donde Chile hoy ya está participando del comité espejo ISO TC 197 con foco al hidrógeno.

7.1.2. Falta de participación de empresas nacionales: Desconocimiento del potencial rol en la cadena de valor

El segundo tipo de solución obedece al desconocimiento de empresas de rubros similares o con capacidades afines para entrar en el nuevo mercado (hidrógeno y derivados en este caso). Este diagnóstico se ve reforzado por los resultados obtenidos en el capítulo 4, con cerca de 250 empresas en la base de datos respecto de aquellas identificadas como universo potencial (cerca de 12.000) de empresas que podrían participar en la industria de hidrógeno y derivados según su razón social y descripción de actividades [82].

Las soluciones propuestas en este caso se relacionan con la colaboración público-privada a nivel nacional para dar a conocer la oportunidad de mercado e incentivar la reconversión y participación de estas empresas en el rubro del hidrógeno y sus derivados:

- Charlas, talleres y programas de capacitación para empresas regionales identificando la posible participación de proveedores en eslabones y categorías de la cadena de valor del hidrógeno. Un buen ejemplo es el programa Transforma Magallanes o el ciclo de charlas realizadas por el gobierno regional de Antofagasta en colaboración con la Asociación de Industriales Antofagasta. Este último ejemplo puede ser replicado con los gremios identificados en el capítulo 4 asociados a componentes de la cadena de valor y replicando la iniciativa. Se recomienda siempre contar con

la participación de instituciones públicas que generen el respaldo y la convocatoria necesaria.

- Plataformas de matchmaking nacionales. Existe a la fecha iniciativas por parte de la Agencia de Sostenibilidad Energética (estudio para creación de plataforma web para la industria del hidrógeno y sus derivados) y hubs regionales de crear plataformas que permitan el contacto entre empresas, es importante destacar que para el éxito de estas deben contar con el respaldo público adecuado y la difusión necesaria para alcanzar una masa crítica de proveedores y desarrolladores que busquen suplir necesidades.
- Estudios habilitantes públicos tales como el presente estudio o iniciativas como el estudio de casos de negocios de hidrógeno renovable del Hub de Antofagasta impulsado por CORFO Antofagasta y financiado por el gobierno regional, el cual consistió en la creación del hub de Antofagasta identificando casos de uso prioritarios el esquema de gobernanza con los actores clave de la región. Este tipo de estudios con correcta difusión permite mostrar a las empresas existentes nichos puntuales donde pueden participar y cómo. Estas se pueden replicar en distintas regiones asociado a sus oportunidades y desafíos únicos y establecer casos de negocios viables por sí mismos o mediante apalancamiento del sector público.

A lo largo del estudio se han identificado brechas por medio del análisis de políticas públicas, del trabajo de las mesas regionales en la validación de mercado. A continuación, se agrupan las brechas y se proponen soluciones apuntando a las categorías percibidas con falta de oferta, dadas tanto por la ausencia de soluciones nacionales como por la transversalidad tanto en proyectos de producción como de aplicación.

7.1.3. Capital Humano: Falta de Competencias Específicas

La necesidad de profesionalización de la industria del hidrógeno es transversal a la cadena de valor, sin embargo, es en las categorías que concentran los bienes y servicios que ya están disponibles en el mercado chileno y que poseen experiencia en otras industrias, donde se propone enfocar las iniciativas para ser adaptados a las condiciones específicas del hidrógeno.

En cuanto a las empresas e instituciones capaces de prestar servicios de para alcanzar mayores niveles de profesionalización, corresponden a aquellas agrupadas dentro de la categoría Certificación y Ciencias y capacitaciones, la base de datos registró a 45 instituciones en total, dentro de las cuales destacan 20 que tienen proyectos de I+D en temáticas de hidrógeno de CORFO, Anid u otros, 7 ofrecen diplomados de especialización en hidrógeno y 6 corresponden a centros de investigación y desarrollo.

En la cadena de valor se observa que si bien en el eslabón Desarrollo existe una oferta importante en el país y a nivel regional para servicios de ingeniería, desarrolladores, estudios, legal, gestión de permisos, entre otros. Donde se ha detectado que la principal fuente de empresas oferentes de estos servicios se encuentran en la Región Metropolitana, caracterizado por empresas de ingeniería de gran tamaño y/o empresas de origen multinacional, que tienen la capacidad de ofrecer sus servicios a lo largo del país. Al explorar en profundidad las empresas originadas en las regiones de los hubs, se encuentra que existen oficinas de ingeniería que ofrecen los mismos servicios, sin embargo, estas es su mayoría se han especializado en instalaciones específicas existentes de las localidades y no visualizan de que manera pueden integrarse en el mercado del hidrógeno. En cuanto a la brecha asociada a Desarrollo se tiene que las empresas que actualmente cubren la demanda del eslabón, grandes empresas y/o de origen multinacional, desplazan a las empresas locales de menor tamaño, las cuales al no poseer un conocimiento específico en hidrógeno, enfrentan dificultades para poder ingresar al mercado. Adicionalmente, se identifica mediante los hallazgos de las mesas de trabajo y de forma transversal a la cadena de valor una brecha en términos de conocimientos, capacidades y especialización de servicios para dar soporte a la industria del hidrógeno.

Algunas de las soluciones planteadas para abordar estas brechas son:

1. Capacitación Especializada: Existen instrumentos de fomento específicos para capital humano, tales como el programa Becas Capital Humano de CORFO que imparte cursos de contenido técnico de alto nivel y con un alto impacto en la cantidad de profesionales capacitados, entre 100 y 300 profesionales capacitados simultáneamente. Se propone que a través de este instrumento se puedan definir programas que aborden específicamente las materias que permitan que empresas locales se integren en el mercado del H2R. Temas específicos que se deberían incorporar

para generar conocimientos a nivel regional son:

- Aspectos técnicos de hidrógeno
- Gestión de riesgos
- Gestión de permisos
- Gestión de proyectos
- Operación y Mantenimiento de instalaciones de H₂R y derivados

Los plazos de implementación de las capacitaciones es temas específicos deberá realizarse acorde al estado de desarrollo de la industria, donde de los 103 proyectos identificados con el objetivo de este estudio, un 82% de estos se encuentran etapa de desarrollo, seguido de un 7 % que se encuentra en etapa de implementación y un 9% en operación. Dicha distribución establece que al tratarse de los primeros proyectos, la gran mayoría de estos se encuentra en etapas tempranas previas a la operación, y que deberán contar con profesionales capacitados en materias específicas para el funcionamiento de cada tipo de proyecto.

2. Programa de pasantías y prácticas en el extranjero: Este tipo de iniciativa apunta a complementar los programas teóricos de alta especificidad requeridos por las empresas. Dentro de las temáticas identificadas se encuentran:

- Diseño de equipos específicos involucrados en la producción de hidrógeno o que operen en base a este, tales como electrolizadores, motores, calderas, entre otros.
- Implementación e integración de equipos
- Operación de equipos

Las temáticas pueden ser abordadas mediante convenios con instituciones de capacitación técnica y empresas fabricantes o proveedoras de los equipos de interés que puedan ofrecer prácticas en las materias específicas. Cobrando especial relevancia al momento de pensar en competencias de mantenimiento de equipos. Se ha detectado que en ocasiones las mismas empresas que comercializan los equipos realizan cursos de capacitación y práctica en sus fábricas, pues es necesario contar con profesionales y talleres que puedan ofrecer el servicio de mantenimiento. Algunos casos destacados de este tipo de iniciativa son los realizados por Motores MAN y Electrolizadores Siemens.

Propuestas relacionadas se encuentran consideradas en la línea de acción 15: "Fortalecimiento y desarrollo de capital humano" del Plan de Acción H₂V[26], con implementación a partir de 2025.

3. Pasantías en Empresas Nacionales: Actualmente no hay empresas operando que realicen este tipo de iniciativa, requerirán ser empresas de gran tamaño, con actividades relacionados al uso de hidrógeno, con el objetivo de capacitar profesionales que no pueden o están limitados para salir al extranjero.

7.1.4. Falta de participación de empresas nacionales: Barrera de entrada para empresas locales

Se destaca que las empresas locales tienen la capacidad de proveer servicios y bienes de menor inversión (ej. instrumentación, piping, etc) a la industria del hidrógeno transversalmente en la cadena de valor. Para proyectos de gran escala existen empresas en el mercado capaces de abarcar sus necesidades (por ejemplo- Linde, Air Liquide, Thyssenkrupp para proveer Nitrógeno como insumo), sin embargo, se detecta que actualmente estas empresas no demuestran interés o no les resulta rentable participar de proyectos de menor tamaño, según validación del mercado. Es por ello que existe una ventana de oportunidad para la promoción de Pymes que abarquen este sector del mercado más pequeño de producción, aplicaciones y la operación local de proyectos.

Por tratarse de una industria en un estado de desarrollo incipiente, los desarrolladores de proyectos se convierten empresas ancla en las regiones. La estrategia de contratar empresas de ingeniería grandes y multinacionales con reconocida trayectoria internacional con el objetivo de asegurar un resultado con bajo riesgo, generando una situación de desplazamiento de las capacidades y competencias existentes a nivel regional, las cuales se caracterizan por ser empresas de menor tamaño con menor

respaldo económico y con un alcance limitado a prestar servicios a proyectos pequeños y/o medianos. Entre los instrumentos de validación de mercado empleados en este estudio, destaca la participación de pequeñas y microempresas dedicadas al rubro de los nuevos vectores energéticos. Estas empresas contribuyen, en cierta medida, a cerrar la brecha de especialización requerida para el desarrollo del mercado, por lo que se sugiere considerarlas en las estimaciones de mercado y fomentar su participación. A continuación, se proponen posibles soluciones para estimular la contratación de bienes y servicios locales. Esto puede iniciar con bienes y servicios de infraestructura como construcción de obras civiles y piping, donde las empresas requerirán de algún mecanismo de respaldo para solventar económicamente el costo de asistir a proyectos de mayor tamaño. Algunos de los mecanismos propuestos para este punto son:

1. Bonificación dentro del puntaje en licitaciones públicas para proveedores locales.
2. Condiciones adicionales en concurso públicos o instrumentos de fomento con el fin de asegurar un mínimo de participación de proveedores locales en cada proyecto.
3. Creación de un directorio de proveedores locales con detalle en tipo y capacidad de ofrecer determinados servicios, como por ejemplo los instaladores Clase 5, podría ampliar las oportunidades de empleo dentro de la misma región de origen.
4. facilitar acceso a instrumentos financieros que flexibilicen la deuda para empresas entrando al rubro o pymes, por ejemplo, obras civiles, montaje e integración, entre otros.

7.2. Propuestas clasificadas por categoría dentro de la cadena de valor

El ejercicio realizado en el Capítulo 5 muestra la relación entre oferta y demanda de proveedores para la cadena de valor del hidrógeno y derivados en un escenario proyectado del desarrollo de la industria hacia 2040. Como se observó, existe un déficit de ciertos tipos de proveedores tanto de bienes (Equipamiento para generación de nitrógeno, estanques de almacenamiento, otros insumos químicos, gasoductos y otros tipos de transporte), como de servicios tales como certificación, gestión de permisos y redes de transmisión eléctrica.

Para dar cobertura a este tipo de soluciones, en este estudio se proponen los siguientes mecanismos de colaboración:

Desarrollo

Las dos categorías que presentan un déficit en cuanto a cantidad de proveedores en el caso de demanda proyectada son **Certificación y Gestión de Permisos**.

En cuanto a **Certificación**, se reconoce el trabajo realizado para avanzar en la materia para garantizar la sostenibilidad de la producción y el reconocimiento para la comercialización del hidrógeno y derivados hacia mercados extranjeros. Se deberá promover la realización de estudios como el realizado por GIZ en "Especificaciones de calidad del hidrógeno como combustible y estado del sistema de certificación de productos de gas natural" para la divulgación de los estándares requeridos nacional e internacionalmente. Se propone la realización de estudios para establecer el estado de los requerimientos de calidad y sostenibilidad exigidos para la comercialización dentro y fuera de Chile, así como instancias de difusión acerca de tipos de certificación existente a los Desarrolladores de Proyectos.

Adicionalmente se deberá considerar los requerimientos de certificación establecidos por el Decreto 13 del Ministerio de Energía en el cual se Aprueba el Reglamento de Seguridad de Instalaciones de Hidrógeno E Introduce Modificaciones al Reglamento de Instaladores de Gas, donde se incluye la Certificación de Conformidad de Instalación de Hidrógeno y Productos de Hidrógeno y que deberán ser emitidos por un organismo de certificación. Se propone la divulgación del sistema de registro público para entidades que puedan prestar el servicio de certificación, otras iniciativas que han implementado herramientas del mismo tipo son: El Programa Huella Chile del Ministerio del Medio Ambiente con el Registro de Verificadores y la Agencia de Sostenibilidad Energética con el Registro Energético.

Para empresas que quieran ser certificadoras y/o auditoras de seguridad y sustentabilidad para instalaciones de hidrógeno y derivados se proponen licitar la realización de cursos de formación avanzada o listado de empresas que actualmente los dicten.

Para la brecha detectada en **Gestión de Permisos** se propone la creación de herramientas públicas para la identificación de permisos sectoriales, ambientales y mixtos para cada tipo de proyecto, estas deberán ser actualizadas de forma regular de acuerdo al avance de la normativas y estándares requeridos. Dentro de las soluciones identificadas para esta brecha se encuentran los recursos ofrecidos por H2Chile, sin embargo, estas solo se encuentran disponible para entidades socias, por lo que no se considera a las empresas potenciales o fuera del gremio.

Adicionalmente se debiesen replicar instancias de capacitación profesional en torno al proceso de preparación de documentación y presentación ante organismos públicos para la obtención de permisos como la realizada por la Agencia de Sostenibilidad Energética y el ministerio de Energía: "Regulación, preparación y gestión de permisos para la implementación de proyectos de hidrógeno verde y derivados en Chile".

Infraestructura

La brecha identificada en cuanto a proveedores de **redes de transmisión eléctrica** se asocia a la poca participación actual de estas empresas en la cadena de valor del hidrógeno renovable y sus derivados debido a desconocimiento de su involucramiento dentro de esta o desinterés. Sin embargo, es esperable que se desarrolle naturalmente la oferta por parte de este tipo de empresas a medida que existan más proyectos que agrupen la demanda. Una solución propuesta para este punto es la realización de instancias de divulgación y matchmaking con actuales proveedores.

Insumos

Tanto para las categorías de **Nitrógeno (N₂)** para la producción de derivados y **Otros Insumos** necesarios para la operación, se encuentra que las empresas proveedoras no se identifican dentro de la cadena de valor propuesta por el estudio, dentro de las posibles causas se encuentra la poca claridad por parte de los actuales proyectos en anunciar los insumos que requerirán para la producción. Por lo que la principal propuesta para esta categoría es la realización de estudios específicos que involucren a las empresas de la industria química a modo de caracterizar sus capacidades de proveer insumos.

Producción y acondicionamiento

No presenta déficit de oferta proyectada al periodo 2025-2040 por lo que no se presentan propuestas específicas para el eslabón, sin embargo, está afecta a las propuestas de solución transversales.

Almacenamiento y transporte

Se detectan brechas en la oferta de **Estanques estacionarios y Gasoductos y otros tipos de transporte**, sin embargo estas son atribuibles a que la demanda 2024 fue realizada en base a las características de los proyectos catastrados, dentro de los existe información incompleta respecto a tipos de tecnologías a emplear para el almacenamiento y transporte de productos de hidrógeno. Adicionalmente se detecta que gran parte de los proveedores de esta categoría corresponden a empresas de origen internacional por lo que se requiere un mapeo específico en cuanto a capacidades de importación en relación a lo requerido por los proyectos, se proponen instancias de matchmaking para incentivar la participación de las empresas que actualmente no se identifican dentro de este eslabón.

Aplicaciones y consumo

No presenta déficit de oferta proyectada al periodo 2025-2040 por lo que no se presentan propuestas específicas para el eslabón, sin embargo, está afecta a las propuestas de solución transversales.

7.3. Conclusiones

A modo de conclusión, distintos métodos de análisis de la información a partir de interpretación cualitativa a la proyección de la demanda, revisión de experiencias internacionales y de otras industrias relacionadas permitieron la detección de brechas específicas y transversales a eslabones y categorías a la cadena de valor.

El desarrollo de proveedores locales en Chile, basado en experiencias de mercados similares demuestra la importancia de contar con infraestructura clave preexistente, políticas públicas proactivas y una estrecha colaboración entre actores públicos y privados para consolidar cadenas de suministro nacionales. Sin embargo, con el objetivo de reducir la barrera de entrada a empresas de origen local

se deberá contar de forma adicional con herramientas específicas en las categorías de los eslabones con menor oferta en relación a la demanda en un escenario de producción moderado al 2040, las cuales corresponden a servicios clave como certificación, gestión de permisos, redes de transmisión eléctrica e insumos como el nitrógeno y otros específicos para la producción de hidrógeno y derivados, además de sectores críticos como almacenamiento y transporte enfrentan limitaciones debido a la baja participación de proveedores nacionales y la fuerte dependencia a tecnologías importadas.

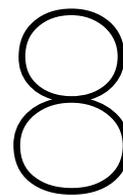
Una vía clave para abordar esta brecha es la profesionalización de la industria, que se constituye como un factor clave y transversal a todas los eslabones de la cadena de valor, para el cual se destacan las iniciativas enfocadas en las personas como lo son los programas de formación técnica en modalidad de cursos y pasantías, tanto a nivel nacional como internacional. Estos esfuerzos deben enfocarse en el fortalecimiento de competencias necesarias para el diseño, operación y mantenimiento de las tecnologías específicas a la producción y manejo de hidrógeno y sus derivados. Otro tipo de iniciativas centradas en las instituciones, deberán enfocarse en impulsar la colaboración mediante alianzas estratégicas con proveedores internacionales, incentivos para la manufactura local de equipos, la integración de empresas nacionales en alianzas de cooperación con el fin de reducir la dependencia tecnológica del mercado internacional.

Las propuestas concretas para abordar las brechas identificadas se pueden resumir a grandes rasgos como la creación de directorios de proveedores locales, bonificaciones en licitaciones públicas para empresas de origen y alcance local, programas específicos de capacitación en tecnologías de hidrógeno, e instancias de matchmaking que fomenten la colaboración entre proveedores locales e internacionales. Finalmente, la concretización y tiempos en los que se adopten de las medidas propuestas dependerá del ritmo en que evolucione la industria en relación a los proyectado, de forma que alinear las necesidades de la industria con los objetivos gubernamentales de posicionar a Chile en el mercado de exportación de hidrógeno y sus derivados.

Luego, respecto a las alternativas de colaboración expuestas, tanto nacionales como internacionales pueden propiciarse mediante acciones del sector público idealmente con colaboración de los privados interesados en ser clientes de dichos productos o servicios o de establecer alianzas internacionales. Estos mecanismos deben buscar atacar las brechas específicas e idealmente enfocarse tanto a nivel nacional como a nivel regional según las necesidades específicas.

Adicionalmente, se considera que por la evolución natural de la industria, los incentivos deben acompañar el crecimiento de la industria y ajustarse a los plazos e hitos. Siendo los más claros los planteados por la estrategia nacional y el plan de acción H2V 2023-2030. Una forma es asociar el tipo y magnitud de los incentivos a las proyecciones realizadas en el capítulo 3.

El tipo de incentivo para propiciar colaboración tanto nacional como internacional se resume en **mecanismos de difusión, capacitación o proporcionar información** específica a empresas que les permita en primer lugar identificar su lugar en la cadena de valor, reconocer el potencial de negocio y luego proporcionar las herramientas o información para poder aplicar sus capacidades a la industria del hidrógeno y sus derivados. Finalmente, se reconoce que en estas alternativas no se identifica el **financiamiento** que puede ser un mecanismo paralelo y apalancador para estas empresas ya sea mediante subsidio directo a las empresas quienes cumplan el rol incentivado o indirecto a través de fondos a proyectos o iniciativas que benefician la colaboración internacional o participación de actores locales.



Conclusiones y recomendaciones

8.1. Conclusiones

De acuerdo a los objetivos establecidos al comienzo del estudio, a continuación, se realizan las conclusiones por objetivo específico:

OE1 Identificar y caracterizar la cadena de valor y logística en 5 valles de hidrógeno, considerando sus enfoques locales.

La cadena de valor del hidrógeno se puede categorizar de diferentes formas según el enfoque ya que hoy no existe un consenso general de los eslabones. Sin embargo, se reconocen componentes en común y que el factor diferenciador fundamental entre cadenas de valor corresponde a los límites acordados para cada una de las categorías establecidas, las que dependen del objetivo del estudio.

Dado el enfoque del presente estudio, "proveedores de productos y servicios", se proponen seis (6) categorías de segmentación de la cadena de valor; 1.Desarrollo, 2.Infraestructura, 3.Insumo, 4.Producción y acondicionamiento, 5.Almacenamiento y transporte, 6.Producto final/Aplicaciones.

Luego, se identifican aquellas regiones con mayor potencial de desarrollar hubs a nivel nacional, siendo estos, bajo la definición presentada en el estudio *Development Pathways for Hydrogen Hubs in Chile* [15], complejos industriales compactos, cuyo objetivo es reducir las distancias de transporte y aprovechar las economías de escala.

De acuerdo a la cantidad de proyectos de hidrógeno renovable anunciados al 2024, se identifican dos regiones principales con la mayor cantidad de proyectos en el territorio nacional - Antofagasta y Magallanes -, además de 3 otras regiones con potencial de desarrollo - Valparaíso, Metropolitana y Bío-Bío.

Desde el análisis de documentos referentes a elementos de la cadena de valor del hidrógeno renovable en Chile, se observó que los potenciales hubs regionales se diferencian principalmente según su fuente de energía, producto final, tipo de proyecto y potencial de aplicación para consumo interno. Para el caso del hub de las regiones de Antofagasta y Magallanes, la mayoría de los proyectos anunciados contemplan el uso de energía solar y eólica como fuente principal, respectivamente. Por otro lado, en los hubs de la región de Valparaíso, Metropolitana y BioBío, se registra una mayor cantidad de proyectos que consideran una conexión *on-grid*, posiblemente debido a que son regiones altamente industrializadas, con presencia del sector de refinería de petróleo, cementero, industria química, del acero, portuario, forestal y celulosa, entre otros, teniendo una alta capacidad de transmisión eléctrica instalada y una desventaja comparativa frente a los hubs de Antofagasta y Magallanes correspondiente al potencial de generación de electricidad mediante fuentes renovables.

A su vez, la infraestructura habilitante y los sectores industriales disponibles en cada hub regional forjan el tipo de aplicaciones potenciales pronosticadas para los proyectos anunciados. Por una parte, los proyectos de hidrógeno renovable en el hub de Antofagasta se orientan a obtener como producto final amoniaco, e-fuels e hidrógeno directamente, tanto para exportación debido a la disponibilidad del

terminal portuario de Mejillones, como también, y principalmente, para su uso local en el reemplazo de combustibles para CAEX mineros tradicionales (e-fuels) o híbridos (celdas de combustible alimentadas por hidrógeno) y para hornos y calderas. Para el caso del hub de la región de Valparaíso, la presencia de industria enfocada en el sector portuario permite proyectar aplicaciones de electromovilidad para transporte *off-road*, como también para maquinaria pesada. Además, la amplia red de interconexiones en la región impulsa la conceptualización del reemplazo de flotas de transporte público por alternativas híbridas o eléctricas con celdas de combustible alimentadas por hidrógeno. En el caso del hub de la región Metropolitana, los proyectos registrados se orientan a la implementación de electromovilidad en polos industriales, el pilotaje y la investigación y desarrollo. En cambio, el pronóstico de encadenamiento productivo en el hub de la región del Bío-Bío está marcado fuertemente por su diversificación productiva, donde el hidrógeno y/o sus derivados pueden ser utilizados principalmente como insumo para la síntesis de productos químicos y la generación de calor industrial. Por último, el hub de Magallanes está firmemente dirigido a la exportación de derivados de hidrógeno renovable, tales como amoníaco y metanol, y sin ideas concretas para el uso local del hidrógeno.

OE2 Establecer las necesidades actuales de soluciones relacionadas a hidrógeno; y proyectar las demandas futuras en el período 2025-2040.

Las necesidades actuales de soluciones relacionadas a la cadena de valor del hidrógeno y sus derivados se identifican y caracterizan en los eslabones correspondientes a cada categoría propuesta según:

- **Desarrollo:** Desarrolladores, Ingeniería, Legal, Estudios, Gestión de permisos, Financiamiento, Ciencias y capacitaciones, Certificación.
- **Infraestructura:** Obras Civiles, Redes de transmisión eléctrica, Piping, Montaje/Integración, Puestos.
- **Insumos:** Generación eléctrica (ERNC), Purificación/distribución de agua, Dióxido de carbono (CO₂), Nitrógeno (N₂), Otros Insumos.
- **Producción y acondicionamiento:** Hidrógeno, Amoníaco, E-Fuels, Otros derivados.
- **Almacenamiento y transporte:** Estanques estacionarios, Transporte en tube trailers, Transporte en embarcaciones, Gasoductos y otros tipos de transporte.
- **Aplicaciones y consumo:** Electromovilidad, Materia prima, Generación de electricidad estacionaria, Blending, Generación de calor, Otras aplicaciones.

Se proyecta el crecimiento del mercado según cantidad de proyectos que alcanzarían la decisión final de inversión (FID) en escenarios de viabilidad entre el 15% y 40 % del total de proyectos anunciados, con una tasa de crecimiento constante similar a la de los últimos años de 19 proyectos anuales. Los resultados obtenidos indican entre 60 a 160 proyectos en Chile al año 2040, distribuidos en 36% grandes (>100MW), 37% medianos (1-100 MW) y 27% pequeños (<1MW), lo que se traduce en una potencia de electrólisis instalada de 41 a 110 GW.

Además, en cuanto a las fases de desarrollo de los proyectos, se observa la evolución natural de estos, siendo la más relevante la fase de *desarrollo* los primeros años, al menos hasta 2028, donde representa cerca del 45% de los proyectos. Luego toma mayor relevancia la fase de *operación* a medida que se instalan los proyectos, siendo esta categoría más del 70% a partir de 2035. La fase de construcción se mantiene a lo largo de todo el período estudiado entre un 10 y 20%, pero es la fase con mayor necesidad de insumos, proveedores y servicios. Luego, cruzando las soluciones de los eslabones de la cadena de valor con estas fases, se identifican las siguientes relaciones:

Fase de desarrollo: Sólo aplican directamente los proveedores y actividades correspondientes a la categoría *Desarrollo* de la cadena de valor. También se considera en esta fase el contacto y las negociaciones con proveedores de todas las otras categorías, ya que en ella se establece el concepto del proyecto, incluyendo el tipo de equipamiento y de servicios que se utilizarán (aunque puedan cambiar durante la evolución del proyecto).

Fase de construcción: Aplican directamente los proveedores y actividades de las categorías de *Infraestructura*, *Producción y acondicionamiento*, y *Almacenamiento y transporte*. En esta fase se adquieren el equipamiento, materiales y servicios asociados a la implementación del proyecto. En

algunos casos, si el proyecto contempla producción y consumo del hidrógeno o derivado producido, también se considera la categoría de *Aplicación y consumo*.

Fase de operación: Aplican directamente los proveedores y actividades relacionados con las categorías de *Insumos, Almacenamiento y transporte, y Aplicación y consumo*. En esta fase se adquieren de manera constante la energía y sustancias requeridas para la elaboración de los productos (por ejemplo, agua, nitrógeno y dióxido de carbono). Además, se considera el uso interno del producto o su venta a un tercero consumidor o distribuidor.

De estas relaciones se concluye en qué años qué proveedores serán más relevantes o incluso el número requerido según las proyecciones realizadas. Preliminarmente, se prevé que hasta 2028 las labores de desarrollo, tales como la gestión y tramitación de permisos, ingeniería, servicios legales y otros, serán los predominantes en la industria; mientras que entre 2028 y 2035 el foco estará más en la construcción con actividades propias de obras civiles, trazado eléctrico, montaje de equipamiento y otros. Finalmente, a partir de 2035 ya habrá cerca de un 70% de los proyectos en operación (56 proyectos según el escenario moderado), lo que a su vez significa la predominancia de actividades como el suministro de electricidad e insumos y actividades de transporte, aplicación y consumo de los productos (transporte por carreteras o marítimo para exportación, usos de electromovilidad, calderas, etc.)

OE3 Identificar y clasificar cada una de las empresas proveedoras que suministran soluciones relacionadas con el hidrógeno, creando un directorio de proveedores para cada valle de hidrógeno.

Se construyó una base de datos de empresas proveedoras a nivel nacional. Para esto se utilizaron diversas fuentes, filtrando aquellas empresas con **interés declarado** en participar directamente en la cadena de valor del hidrógeno o sus derivados. Se identificaron 253 empresas con presencia activa o representación comercial en Chile.

Se observa una clara predominancia en la cantidad de compañías dedicadas a entregar soluciones en el eslabón de Desarrollo. Esto es un claro reflejo del estado de avance de la industria del hidrógeno actualmente en Chile, en donde los proyectos anunciados medianos y grandes, que son los que presentan mayor interés comercial, se encuentran en etapas orientadas a estudios de ingeniería, factibilidad económica, de impacto ambiental y también, en proceso de tramitación de permisos con distintos sectores. Se observa que existe una concentración de proveedores en la región Metropolitana, contrastando con la distribución de proyectos en el territorio nacional. Adicionalmente, en la base de datos se constata que si bien existen proveedores locales de servicios dentro del eslabón de Desarrollo en Antofagasta y Magallanes y la Antártica Chilena, los titulares de proyectos con objetivo de exportación son empresas internacionales con sede en la capital.

Se destaca que para el plano nacional, las micro y pequeñas empresas específicas para hidrógeno juegan un rol primordial en el desarrollo del mercado, particularmente en la profesionalización de la industria.

En el plano internacional, se evidencia una distribución de proveedores más homogénea alrededor de los eslabones de la cadena de valor. Para este caso, el eslabón de Desarrollo es el que posee menor cobertura y se orienta principalmente a la presencia de proveedores dentro de la categoría de Financiamiento. Así, se denota que en el plano internacional, la industria del hidrógeno se encuentra en fases más avanzadas que en Chile, enfocándose principalmente en la Producción y acondicionamiento (25 % de cobertura en plano internacional) y en Aplicaciones (25 % de cobertura en plano internacional). Los proveedores de soluciones en la categoría de Electromovilidad poseen la presencia mayoritaria dentro del eslabón de Aplicaciones y consumo, lo cual puede explicarse por varios factores:

- Estrategias específicas: Cuerpos regulatorios como la Unión Europea han fomentado inversiones masivas en tecnologías de hidrógeno destinadas a la electromovilidad, especialmente para transporte pesado, trenes y flotas públicas.
- Concentración de la industria automotriz: Marcas como BMW, Mercedes-Benz, Toyota, Hyundai y otras han incursionado en el uso y desarrollo de adopción de tecnologías de impulsión mediante celdas de combustible alimentadas por hidrógeno.
- Presencia de Red de proveedores de componentes: La electromovilidad basada en hidrógeno

requiere piezas especializadas, las cuales se encuentran en el mercado internacional, suministradas por empresas de alto perfil como Bosch, Siemens y Cummins Europa.

La base de datos fue elaborada con los supuestos disponibles antes de la validación de mercado, por lo que no incluye proveedores exclusivos ni está categorizada según las nuevas categorías. Es importante tener en cuenta que, debido al dinamismo característico de una industria emergente como la del hidrógeno, esta base está sujeta a una rápida evolución, lo que requiere una actualización constante para reflejar los cambios y avances del sector.

OE4 Determinar las brechas de necesidades actuales y futuras de proveedores de soluciones en toda la cadena de valor y logística para los valles de hidrógeno, identificando específicamente el tipo de producto y servicio requerido.

Soluciones con poca o nula oferta

Mediante una metodología de análisis multicriterio cualitativo-cuantitativo se realizó un cruce de la oferta estimada disponible en la actualidad (a partir de la base de datos de proveedores) vs la demanda proyectada a 2024 para cada eslabón de la cadena de valor. Se obtuvieron resultados separando los eslabones en tres categorías *Suficiente Oferta*, *Requiere crecimiento* y *Poca o nula oferta*. Aquellos eslabones que se detectaron con menor oferta son:

- Desarrollo - Certificación (25%) Se consideró que todos los proyectos requerirán al menos certificación relacionada con seguridad y gran parte de los medianos y grandes requerirá procesos de certificación asociados a sustentabilidad. No existen a la fecha muchas empresas que provean estos servicios y que sean capaces de cubrir la demanda proyectada.
- Desarrollo - Gestión de permisos (27%) A la fecha no existen muchas empresas dedicadas a la gestión de permisos específicos para proyectos de hidrógeno y efectivamente se detecta una brecha debido a la incertidumbre de dichos permisos (muchos desarrolladores que aún no tienen claro qué permisos aplican a sus proyectos o cómo obtenerlos). No obstante, se considera que esta capacidad también puede ser propia de los desarrolladores, por lo que se diagnostica como un problema que se puede abordar desde proveedores específicos (consultoras especializadas) o mediante apoyo directo a los proyectos y sus equipos.
- Infraestructura - Redes de transmisión eléctrica (25%) Se observó en los resultados una baja participación de proveedores de este eslabón aún cuando es altamente requerido para industrias similares como las energías renovables, BESS o incluso la gran minería. Por esta razón se sugiere abordar esta brecha fomentando la inclusión de proveedores que hoy no se identifican con la cadena de valor del hidrógeno y realizando el matchmaking necesario.
- Insumos - Nitrógeno (17%) Se observa que dado la cantidad de proyectos asociados a amoníaco proyectados, son muy pocas las empresas existentes capaces de proporcionar los bienes y servicios asociados a la captura de nitrógeno para proceso Haber-Bosch.
- Insumos - Otros (20%) Dado que la mayoría de los proyectos requerirá servicios tipo provisión esporádica de nitrógeno para purgas y disposición de residuos peligrosos (como KOH), son muy pocas las empresas que proveen estos servicios vs la demanda proyectada.
- Almacenamiento y transporte - Estanques estacionarios (20%) Considerando que todos los proyectos requerirán al menos un nivel de almacenamiento y la poca oferta nacional, se observa un requerimiento en proveedores nacionales que proporcionen estos equipos o que representen fabricantes internacionales.
- Almacenamiento y transporte - Gasoductos y otros tipos de transporte (29%)

Aunque no se maneja a ciencia cierta el tipo de transporte que tendrán los proyectos, ocurre lo mismo que con tube trailers en el sentido de que no se cuenta con empresas que declaren este bien/servicio en relación a la demanda proyectada, pudiendo significar un cuello de botella a futuro.

De esto se concluye que los eslabones con menor oferta relativa a su proyección de demanda son Certificación, Nitrógeno, Otros Insumos y estanques estacionarios. Siendo los eslabones que mayor fomento requieren para cumplir las metas proyectadas.

Brechas transversales

Se identificaron brechas transversales al desarrollo y consolidación de proveedores para la cadena de valor del hidrógeno a partir del análisis de hubs de hidrógeno internacionales, políticas públicas y experiencias privada en mercados similares, y validación de mercado a partir del trabajo en mesas de trabajo.

1. Capital humano: falta de competencias específicas. Falta conocimiento específico sobre el hidrógeno para la reconversión, ampliación y desarrollo de servicios específicos al hidrógeno, propios y exclusivos de la industria.
2. Falta de proveedores de tecnologías: Faltan proveedores dedicados o exclusivos a las tecnologías de la industria tanto para la disponibilidad de tecnologías como para su operación y mantención.
3. Falta de participación de empresas nacionales: Desconocimiento del potencial rol en la cadena de valor. Varias de las categorías de soluciones para la industria del hidrógeno no son exclusivas sino que existe experiencia local en otros rubros o industrias. Para que estas participen requerirán de apoyo en la especialización y conocimiento de la aplicabilidad de sus servicios actuales.
4. Barrera de entrada para empresas locales: Dada las condiciones de inversión necesarias para la industria del hidrógeno, las empresas locales y las pymes especializadas el área necesitan respaldos económicos o incentivos para su participación en proyectos de gran envergadura. Adicionalmente, las empresas internacionales relacionadas a proyectos de exportación de hidrógeno y derivados tiene su sede matriz en la región metropolitana, por lo que es necesario incentivar el desarrollo local que pueda complementar a dichas empresas.

Adicionalmente, se indicaron las principales brechas para el desarrollo del mercado, las cuales inciden en la participación de proveedores y corresponden a baja competitividad frente a combustibles tradicionales, incertidumbre regulatoria y altos costos.

OE5 Elaborar propuestas dirigidas a abordar las brechas identificadas.

A lo largo del estudio se proponen soluciones tanto generales como específicas para cada brecha de proveedores identificada. A continuación, se enumeran identificando a qué categorías con poca o nula oferta corresponden, así como también que otras categorías de la cadena de valor pueden abordar según la opinión del consultor.

1. Capital humano: falta de competencias específicas

- Categorías con poca o nula oferta: Gestión de permisos, Certificación.
- Otras categorías que aborda: Desarrollo, Hidrógeno, Amoniac, E-fuels, estudios, todo Aplicaciones y consumo.
- Solución general: Capacitación de personal técnico y universitario.
- Soluciones específicas: Capacitaciones especializadas: Aspectos técnicos del hidrógeno, gestión de riesgos, gestión de permisos y proyectos, operación y mantenimiento de instalaciones; Programas de pasantías y prácticas en el extranjero; pasantías en empresas nacionales especializadas.

2. Falta de proveedores de tecnologías

- Categorías con poca o nula oferta: Nitrógeno, Estanques estacionarios, Gasoductos y otros tipos de transporte.
- Otras categorías que aborda: CO₂, todo Producción y acondicionamiento, todo Almacenamiento y transporte y todo Aplicaciones y consumo.
- Solución general: Desarrollo o adopción de tecnología; Representación local o alianza estratégica de prestación de servicios; Participación directa de empresas internacionales en el mercado local.
- Soluciones específicas: Capacitaciones especializadas: Instancias de matchmaking y networking internacional; Instrumentos de fomento al I+D; programas de intercambio; difusión

del mercado nacional en instancias internacionales; promoción de la inversión de empresas extranjeras en mercado nacional.

3. Falta de participación de empresas nacionales - Desconocimiento del potencial rol en la cadena de valor

- Categorías con poca o nula oferta: Certificación, Gestión de permisos, Nitrogeno, Otros insumos, Redes de transmisión eléctrica.
- Otras categorías que aborda: Ingeniería, Obras civiles, Piping e instrumentación, Montaje/integración.
- Solución general: Informar y capacitar a los actores nacionales con potencial de participar.
- Soluciones específicas: Charlas, talleres y programas de capacitación locales; Plataformas de matchmaking nacionales; Estudios habilitantes públicos.

4. Falta de participación de empresas nacionales: Barrera de entrada para empresas locales

- Categorías con poca o nula oferta: Certificación.
- Otras categorías que aborda: Ingeniería, Estudios, Obras civiles, Piping e instrumentación, Montaje/integración.
- Solución general: Fomento a la contratación de empresas locales; Facilitar la deuda/financiamiento a empresas nuevas o pyme.
- Soluciones específicas: Bonificación de puntaje en licitaciones públicas para empresas locales; Criterios de participación mínimos en concursos o instrumentos públicos; Creación de directorio de proveedores locales; Instrumentos financieros para flexibilizar deuda de empresas entrando al rubro o pymes .

8.2. Recomendaciones finales

- Se recomienda revisar la priorización de brechas según el nivel de impacto y los recursos disponibles para abordarlas, esto considerando que algunas de ellas cuentan con potenciales soluciones ya en curso, como por ejemplo, la implementación de directorios o instancias de matchmaking que se pueden complementar con plataformas como la de la Agencia de Sostenibilidad Energética.
- Se recomienda realizar seguimiento y continuidad del presente estudio para hacer seguimiento de la evolución del mercado. Las etapas de un proyecto están directamente relacionadas con las soluciones de las categorías necesarias, por lo que se sugiere enfocarse en las categorías más relevantes por región (obras civiles, redes de transmisión eléctrica, integración/montaje, puertos y ERNC) y para las categorías con poca o nula oferta.
- Se recomienda realizar revisión de potenciales instituciones que podrían coordinar capacitaciones avanzadas específicas de alto impacto en colaboración con instituciones extranjeras, como por ejemplo, pasantías en empresas extranjeras ya sea de operación y mantenimiento de proyectos, fabricación de tecnología, proyectos de investigación y desarrollo aplicables a la realidad local, entre otros. Esto, debido a que se ha detectado consistentemente que en Chile no contamos con estos conocimientos que sí existen en otros países y que serán necesarios a largo plazo para la estrategia nacional.
- Se recomienda para fomentar el involucramiento local y la completitud de una base de datos única, priorizar las instancias presenciales locales, por ejemplo, para la capacitación de proveedores y presentación de estudios habilitantes de la industria.
- Se recomienda coordinar los esfuerzos. Existen ya disponibles estudios y bases de datos sobre actores de la industrias, por lo que, para evitar saturar a los actores involucrados que ya han participado de varias instancias, se sugiere licitar la consolidación de toda la información disponible en un único repositorio para el uso interno del ministerio.

Referencias

- [1] Gobierno de Chile Ministerio de Energía. *Plan de Acción Hidrógeno Verde 2023-2030*. 2024.
- [2] Gobierno de Chile Ministerio de Energía. *Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde*. 2020.
- [3] *Hub de Hidrógeno Verde Antofagasta*. URL: <https://cicitem.cl/lanzamiento-de-h2va-para-el-desarrollo-de-un-hub-de-hidrogeno-verde-en-nuestra-region/>.
- [4] *Asociación de productores de hidrógeno verde y sus derivados en Magallanes*. URL: <https://www.h2vmagallanes.cl/nosotros>.
- [5] *Alianza Estratégica de hidrógeno renovable para el Biobío*. URL: <https://www.ah2vbiobio.cl>.
- [6] Anglo American. *Estudio Valle de Hidrogeno Verde zona central de Chile*. 2023.
- [7] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. *Encadenamientos productivos de la industria del hidrógeno verde y derivados en Magallanes y la Antártica Chilena*. 2023.
- [8] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. *Inyección de hidrógeno en redes de gas natural*. 2021.
- [9] The Green Hydrogen Catapult H2LAC The Green Hydrogen Organisation. *Acuerdo Conjunto sobre el Despliegue Responsable de Hidrógeno a partir de Fuentes Renovables*. 2023.
- [10] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. *Análisis de la infraestructura portuaria del litoral patagónico de Argentina para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde y power-to-x (ptx)*. 2024.
- [11] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. *Antecedentes sobre plantas de desalinización en Chile*. 2022.
- [12] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). *Antecedentes sobre plantas de desalinización en Chile*. 2022.
- [13] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. *Desalinización de agua de mar y reutilización de aguas de desecho para la producción de h2v y derivados en Chile*. 2023.
- [14] Comité Científico de Cambio Climático (C4). *Desalinización: Oportunidades y desafíos para abordar la inseguridad hídrica en Chile*. 2022.
- [15] Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST). *Development in Chile pathways for "hydrogen hubs" in Chile*. 2022.
- [16] Ministerio de Obras Públicas. *Ley N° 21.639: modifica normas para el desarrollo de proyectos de infraestructura hídrica y desalinización, con el fin de destinar agua al cumplimiento de la función de subsistencia y de riego*. 2023.
- [17] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. *Disponibilidad del recurso hídrico en el desarrollo del hidrógeno verde y sus derivados en Chile*. 2023.
- [18] Superintendencia de Servicios Sanitarios. *Estudio de Desalinización en Chile-Aspectos Técnicos y Administrativos*. 2022.
- [19] International Energy Agency (IEA). *Global Hydrogen Review 2023*. 2023.
- [20] Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). *Guía Para La Descripción De Proyectos De Plantas Desalinizadoras en el SEIA*. 2023.
- [21] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). *La desalinización de agua de mar tecnologías, regulaciones y efectos ambientales*. 2019.
- [22] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). *Plantas Desaladoras en Chile*. 2022.

- [23] DNV. *Pre-feasibility for a hydrogen export project*. 2022.
- [24] *Mapa de H2V*. URL: <https://cicitem.cl/mapa-de-h2v/>.
- [25] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. *Solar NH3-Pool Chile: Conceptos para el desarrollo de un parque industrial sostenible de hidrógeno/amoníaco verde en la región de Antofagasta (Chile)*. 2024.
- [26] Ministerio de Energía. *Plan de Acción Hidrógeno Verde*. 2024.
- [27] Banco Interamericano de Desarrollo (BID). *Innovación y desarrollo tecnológico para la cadena de valor del hidrógeno en Chile*. 2023.
- [28] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. *Identificación de aspectos ambientales, sectoriales y territoriales para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde en toda su cadena de valor*. 2020.
- [29] H2LAC. *Mesa de Sustentabilidad y Certificación*. 2023.
- [30] Saman A Gorji. "Challenges and opportunities in green hydrogen supply chain through meta-heuristic optimization". In: *Journal of Computational Design and Engineering* 10.3 (2023), pp. 1143–1157.
- [31] Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC). *Guía de apoyo para la solicitud de autorización de Proyectos Especiales de Hidrógeno*. 2021.
- [32] Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). *Guía de implementación de pilotos y validación de tecnologías que utilizan hidrógeno como combustible en minería*. 2021.
- [33] *Explorador de Hidrógeno Verde*. URL: <https://hidrogenoverde.minenergia.cl/explorador/>.
- [34] *Pacto de Magallanes*. URL: <https://prensa.presidencia.cl/comunicado.aspx?id=277912>.
- [35] *Estrategia de desarrollo regional de Magallanes*. URL: <https://www.goremagallanes.cl/sitioweb/documentos/Resumen%20Ejecutivo%20ERD%20Magallanes.pdf>.
- [36] *Plan de desarrollo logístico*. URL: https://www.mtt.gob.cl/wp-content/uploads/2013/12/PROGRAMA_DE_DESARROLLO_LOGISTICO.pdf.
- [37] *Desarrollo de líneas bases medioambientales públicas*. URL: <https://www.sea.gob.cl/evaluacion-ambiental/informacion-linea-base-eia>.
- [38] *Planes estratégicos energéticos regionales*. URL: <https://participaconenergia.minenergia.cl/es-CL/folders/planes-estrategicos-de-energia>.
- [39] *Estrategia Nacional de Innovación de Antofagasta*. URL: <https://goreantofagasta.cl/estrategia-regional-de-innovacion-2022-2028-eri/goreantofagasta/2022-03-10/105133.html>.
- [40] *Plan de gobierno regional de Antofagasta*. URL: <https://goreantofagasta.cl/plan-de-gobierno-2021-2024/goreantofagasta/2022-06-01/092659.html>.
- [41] *Comisión Regional de Hidrógeno Verde Antofagasta*. URL: <https://goreantofagasta.cl/posicionar-a-la-region-como-lider-en-produccion-los-desafios-de-la/goreantofagasta/2023-01-27/164739.html>.
- [42] *Plan de acción regional de cambio climático*. URL: <https://storymaps.arcgis.com/stories/1231b0796a72421587f6278d881c64d3>.
- [43] *Centro de desarrollo energético Antofagasta*. URL: <https://www.cdeaua.cl/home/>.
- [44] *Plataforma online interactiva y personalizable de hidrógeno verde para la región de Valparaíso*. URL: <https://mecanica.pucv.cl/lanzamiento-del-proyecto-corfo-sobre-hidrogeno-verde-en-valparaiso/>.
- [45] *Estrategia regional de desarrollo Valparaíso*. URL: <http://www.gorevalparaiso.cl/archivos/archivoDocumento/estrategia-regional2012.pdf>.
- [46] *Estrategia Regional de Innovación Valparaíso*. URL: http://www.gorevalparaiso.cl/ERI_Region_de_Valparaiso.pdf.

- [47] *Índice de Competitividad Regional*. URL: <https://www.cnc.cl/wp-content/uploads/2021/10/ICR-2020-SUBDERE.pdf>.
- [48] *Asentamientos humanos rurales en Chile, clasificación comunal*. URL: <https://proactiva.subdere.gov.cl/handle/123456789/514>.
- [49] *Estrategia hídrica regional Valparaíso*. URL: https://www.ascc.cl/resources/uploads/documentos/presentacio%CC%81n_rodrigo_mundaca.pdf.
- [50] *Política de desarrollo y sostenibilidad hídrica para la región de Valparaíso*. URL: http://www.gobiernovalparaiso.cl/archivos/archivoDocumento/2021/otros/REXE_N_1723_POLITICA_HIDRICA_REGIONAL.pdf.
- [51] *Mesa de Sustentabilidad Región de Valparaíso*. URL: <https://www.centrocere.cl/2024/06/28/formalizan-constitucion-de-la-mesa-de-sustentabilidad-de-la-region-de-valparaiso/>.
- [52] *Comuna Energética*. URL: <https://www.agenciase.org/2023/09/11/region-de-valparaiso-lider-en-energia-sostenible-con-20-comunas-comprometidas-en-comuna-energetica/>.
- [53] *Memorando de Entendimiento para trabajo hacia el desarrollo sostenible*. URL: <http://www.gorevalparaiso.cl/noticiax.php?id=2081>.
- [54] *CFT Estatal Región de Valparaíso*. URL: <https://tecnologicovalparaiso.cl/>.
- [55] *Plan Nacional de Desarrollo Portuario-Accesibilidad Terrestre a Puertos 2020*. URL: <https://filesprod.observatoriologistico.cl/assets/2ce03100-dcd2-4b74-ab8e-bf63562aa7b5.pdf>.
- [56] *Política Nacional de Logística Portuaria*. URL: <https://www.subtrans.gob.cl/wp-content/uploads/2023/04/Pol%C3%ADtica-Nacional-Log%C3%ADstico-Portuaria-Consolidado-diagn%C3%B3stico-y-propuestas-base-1.pdf>.
- [57] *Estrategia Regional de Desarrollo Metropolitana*. URL: <https://www.gobiernosantiago.cl/estrategia-desarrollo-regional/>.
- [58] *Mesa Regional de Movilidad*. URL: https://www.gobiernosantiago.cl/wp-content/uploads/2019/01/1_13_07_18_Presentacio%CC%81n-Mesa-de-Movilidad.pdf.
- [59] *CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD EN EFICIENCIA HÍDRICA Y ENERGÉTICA, PARA LA FORMULACIÓN DE INICIATIVAS DE INVERSIÓN EN ESPACIOS ABIERTOS*. URL: https://www.gobiernosantiago.cl/wp-content/uploads/2023/06/0_GUIA-GRAL-CRITERIOS-SOSTENIBILIDAD.pdf.
- [60] *CORFO-Instrumentos de Fomento*. URL: www.corfo.cl.
- [61] *ANID-Instrumentos de Fomento*. URL: <https://acceso-abierto.anid.cl/recursos/aadesafioscl/hidrogeno-verde/>.
- [62] *Programa estratégico regional Bio Bio H2VBIOBIO*. URL: <https://h2vbiobio.cl/>.
- [63] *proyecto “Construcción planta de hidrógeno verde para aplicaciones industriales en la región del Biobío” (FINANCIAMIENTO GORE)*. URL: <https://ucsc.cl/medios-ucsc/noticias/ucsc-presento-la-infraestructura-de-la-primera-planta-de-h2v-en-universidades-de-chile/>.
- [64] *PROGRAMA TRANSFORMA REGIONAL: HIDRÓGENO VERDE PARA LA DESCARBONIZACIÓN DE LOS SECTORES PRODUCTIVOS DE LA REGIÓN DEL BIOBIO* Código 22PEDR-234279-1. URL: <https://www.fomentobiobio.cl/programas-financiamiento/programa-transforma-regional-hidrogeno-verde-para-la-descarbonizacion-de-los-sectores-productivos-de-la-region-del-biobio-2/>.
- [65] *Aceleradora de Hidrógeno Verde- AgenciaSE*. URL: <https://www.agenciase.org/accelerador-a-h2v/>.
- [66] *Planta de H2V para alimentar grúas horquilla*. URL: <https://www.engie.cl/engie-junto-a-walmart-inauguran-primera-planta-industrial-de-hidrogeno-verde-de-latinoamerica/>.
- [67] *GIZ-calderas*. URL: https://4echile.cl/wp-content/uploads/2020/09/Decarbonisation-of-Heating-and-process-heat_EN_public.pdf.

- [68] CORFO. *Desarrollo de sistema de combustión dual hidrógeno-diesel para camiones de extracción mineros (CAEX)*. 2017.
- [69] *Datos geográficos Región Metropolitana de Santiago*. URL: https://www.google.com/url?q=https://www.gobiernosantiago.cl/datos-geograficos/&sa=D&source=docs&ust=1726067166841806&usg=AOvVaw3IYJM-JoONRywdLlW3aLX_.
- [70] Coordinador Eléctrico Nacional. *Proyección de Demanda de Largo Plazo del Sistema Eléctrico Nacional, Periodo 2023-2043*. 2024.
- [71] Gobierno de Chile Ministerio de Energía División de Políticas y Estudios Energéticos y Ambientales. *Informe Balance Nacional de Energía 2020*. 2022.
- [72] Ahmed I Osman et al. "Hydrogen, ammonia and methanol for marine transportation". In: *Environmental Chemistry Letters* (2024), pp. 1–8.
- [73] Dimitrios Parris et al. "Transition to the New Green Maritime Era—Developing Hybrid Ecological Fuels Using Methanol and Biodiesel—An Experimental Procedure". In: *Eng 5.3* (2024), pp. 1863–1884.
- [74] Gobierno Regional Bio bío. *HOJA DE RUTA 2024 - 2050 PROGRAMA ESTRATÉGICO REGIONAL HIDRÓGENO VERDE BIOBÍO*. 2023.
- [75] ImplementaSur. *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*. 2020.
- [76] Programa Transforma Regional Hidrógeno Verde Magallanes. *Resumen Hoja de Ruta, Mesa Regional de Hidrógeno Verde Magallanes*. 2023.
- [77] *Hydrogen Council*. URL: <https://www.h2-view.com/story/hydrogen-projects-reaching-fid-grow-by-30-says-hydrogen-council-report/>.
- [78] *IGH*. URL: <https://www.investinginhydrogen.com/whitepaper-h2-projects-under-fid>.
- [79] *The energy transition: Where are we, really?* URL: <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/the-energy-transition-where-are-we-really#>.
- [80] *Hidrógeno verde en Chile: perspectivas de demanda e inversión, Banco Central*. URL: <https://www.bcentral.cl/web/banco-central/w/hidrogeno-verde-chile>.
- [81] *Busqueda de Organización de Minecon*. URL: <https://tramites.economia.gob.cl/Organizacion>.
- [82] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. *Cuantificación del encañamiento industrial y laboral para el desarrollo del hidrógeno en Chile*. 2020.
- [83] *Contribuciones Nacionales Determinadas*. URL: <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/contribucion-determinada-ndc/descripcion-del-instrumento/>.
- [84] Renata Belén Cancino Silva. "Producción y almacenamiento hidrógeno verde para aplicaciones energéticas en Chile". In: (2021).
- [85] *Camion a hidrogeno*. URL: <https://h2news.cl/2024/08/22/camiones-a-hidrogeno-comienzan-a-llegar-a-chile-para-apoyar-la-movilidad-sostenible/>.
- [86] *H2 Valleys, Clean Hydrogen Partnership*. URL: <https://h2v.eu/hydrogen-valleys>.
- [87] *Hub de Hidrógeno Verde de Hamburgo*. URL: <https://www.hghh.eu/>.
- [88] *Hub de Hidrógeno Verde Puerto de Rotterdam*. URL: <https://www.portofrotterdam.com/en/port-future/energy-transition/ongoing-projects/hydrogen-rotterdam>.
- [89] *Hub de Hidrógeno Verde Porth Bonython*. URL: <https://www.portofrotterdam.com/en/port-future/energy-transition/ongoing-projects/hydrogen-rotterdam>.
- [90] *Hub de Hidrógeno Verde Pilbara*. URL: <https://www.pdc.wa.gov.au/our-focus/projects/pilbara-hydrogen-hub.aspx>.
- [91] *Hub de Hidrógeno Verde NEOM*. URL: <https://nghc.com/>.
- [92] *Green Hysland Mallorca*. URL: <https://greenhysland.eu/>.

- [93] *Hub de Hidrógeno Verde Tangshan*. URL: <https://www.aist.org/hydrogen-hub-coming-to-tangshan,-china,-in-5-billion-yuan-investment>.
- [94] *Hub de Hidrógeno Verde Manizales*. URL: <https://reportesostenible.cl/blog/hub-h2-verde-manizales-el-primer-hub-industrial-de-hidrogeno-verde-integrado-por-empresas-chilenas-y-colombianas/>.
- [95] *Hub de Hidrógeno Verde Westküste100*. URL: <https://www.westkueste100.de/en/>.
- [96] *Decisión conjunta: WESTKÜSTE100 no será construido*. URL: <https://www.westkueste100.de/en/joint-venture-decision-westkuste100-electrolyser-will-not-be-built/>.
- [97] *Grupo de trabajo aborigen sobre la transición energética del Pilbara*. URL: <https://www.wa.gov.au/organisation/energy-policy-wa/pilbara-energy-transition-aboriginal-working-group>.

Disclaimer

Este estudio ha sido realizado en el marco del Proyecto Team Europe Desarrollo del Hidrógeno Renovable en Chile (Proyecto Team Europe RH2), el cual es cofinanciado por la Unión Europea y el Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima de Alemania (BMWK), e implementado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH y la Agencia Española de Cooperación Internacional al Desarrollo (AECID). Así, este documento se ha realizado con la ayuda financiera de la Unión Europea, a través de la AECID. Las opiniones expresadas en el mismo no representan necesariamente la opinión oficial de la Unión Europea ni de la AECID.