



HOJA DE RUTA 2024 - 2050

H2V BIOBÍO

**PROGRAMA ESTRATÉGICO REGIONAL
HIDRÓGENO VERDE BIOBÍO**



Esta Hoja de Ruta fue desarrollada por el Programa Estratégico Regional “Hidrógeno Verde para la descarbonización de los sectores productivos de la Región del Biobío”, .

El Programa pertenece a la línea Transforma de Corfo y es financiado por el Comité de Desarrollo Productivo Regional de la Región del Biobío, de Corfo.



Este documento está disponible para descarga en www.h2vbiobio.cl.

Informe publicado en mayo de 2024.



Contenidos

1. Introducción.....	6
1.1. ¿Por qué hidrógeno verde?.....	6
1.2. ¿Por qué Biobío?	7
1.3. Programa Estratégico Regional de Hidrógeno Verde Biobío.....	8
2. Contexto competitivo de la Región del Biobío	10
2.1. Sectores industriales priorizados	10
2.2. Producción de hidrógeno verde.....	22
2.3. Potencial de consumo de hidrógeno y derivados.....	24
2.4. Potencial de utilización de CO ₂ biogénico.....	26
2.5. Infraestructura existente y conectividad	27
2.6. Incentivos a la transición energética	28
2.7. Fuerza laboral	29
2.8. Entorno competitivo	30
2.9. Brechas de competitividad	33
3. Construcción de la Hoja de Ruta.....	35
3.1. Visión compartida	35
3.1. Construcción Hoja de Ruta	38
3.2. Resultados de la Hoja de Ruta	43
4. Conclusiones	48



H2V BIOBÍO

Programa Estratégico Regional
de Hidrógeno Verde BioBío

www.h2vbiobio.cl



1. Introducción

1.1. ¿Por qué hidrógeno verde?

La forma en que la energía se produce y consume en el mundo deberá experimentar cambios radicales. Tres cuartas partes de las emisiones de gases de efecto invernadero del planeta corresponden al sector energético, principalmente producidas por el uso de combustibles fósiles (Figura 1). Actualmente, el consumo final de energía en Chile depende en dos terceras partes de los combustibles fósiles (Figura 2) y la situación mundial es similar.

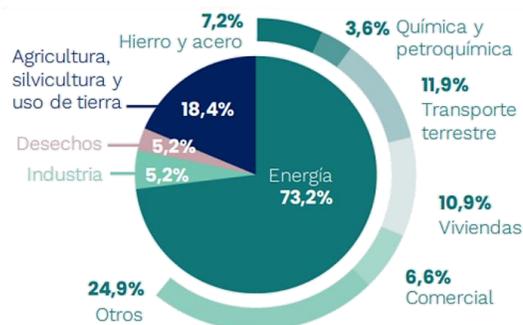


Figura 1: Emisiones globales de gases de efecto invernadero por sector

Fuente: Ritchie (2020)

En Chile, ya se ha iniciado una ruta a la eficiencia energética y a la electrificación usando energía renovable. Sin embargo, es necesario desarrollar soluciones complementarias para descarbonizar sectores y aplicaciones en las que la electricidad directa u otras soluciones no son costo-eficientes, confiables, accesibles o factibles. Precisamente, el hidrógeno verde (H₂V) permite descarbonizar sectores difíciles de abatir y, en consecuencia, el escenario de carbono neutralidad al 2050 establece una participación de un 16% de H₂V en el consumo final de energía en Chile.



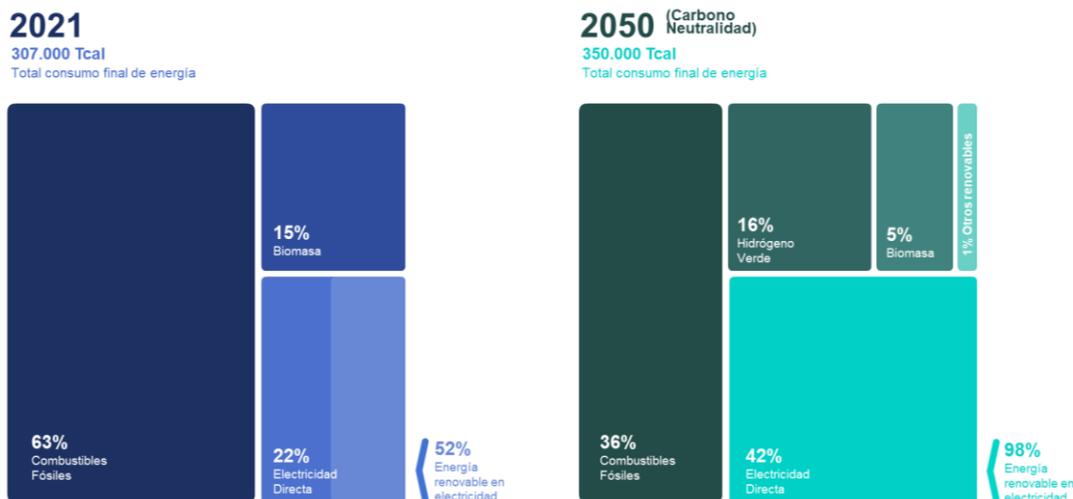


Figura 2: Matriz de consumo final de energía en Chile

Fuente: Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (2020)

1.2. ¿Por qué Biobío?

En noviembre del 2020, Chile anunció su Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, que permitirá posicionarnos como un productor mundial de H₂V y derivados, junto con lograr una industria carbono neutral al 2050. La meta es obtener el hidrógeno verde más barato del mundo al 2030. Para ello, es crucial lograr un desarrollo competitivo de la industria. Los drivers para hacer competitivo el hidrógeno verde se pueden resumir en:

- **Disminuir los costos de producción de H₂V aprovechando fuentes de energías renovables de muy alta calidad.**
- **Generar demanda agregada de hidrógeno y derivados para escalar y encadenar procesos productivos, disminuyendo incertidumbres de mercado y atrayendo inversiones.**

Las Regiones de Antofagasta y Magallanes reúnen condiciones privilegiadas en el mundo para lograr la competitividad en la producción del H₂V, debido a la calidad de sus recursos naturales (solar y eólico respectivamente). Sin embargo, para lograr competitividad en la producción, es necesario avanzar también en generar demanda de mercado para esa producción. En consecuencia, la Estrategia Nacional considera tres oleadas de proyectos, siendo la primera de ellas la activación de la demanda local (Figura 3).



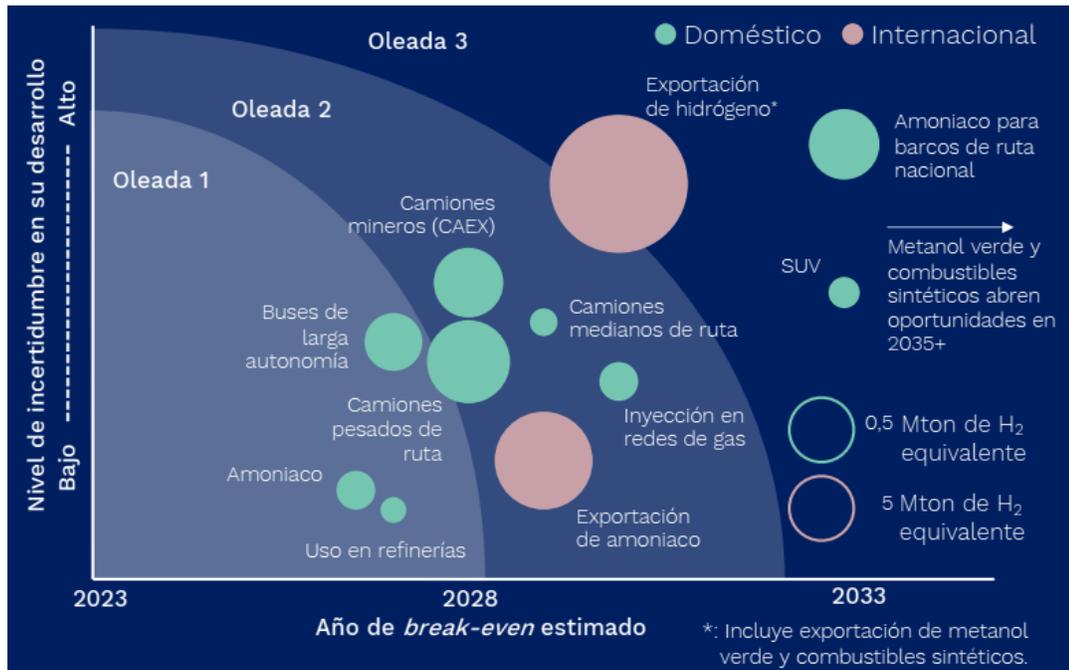


Figura 3: Desarrollo proyectado de aplicaciones del hidrógeno verde

Fuente: Mckinsey & Company, Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde

Precisamente, la Región del Biobío reúne condiciones privilegiadas para generar una demanda local de H₂V debido a su gran actividad industrial. Además, cuenta también con recursos competitivos para la generación de energías renovables. Esta combinación permitiría no sólo generar un polo de demanda de H₂V, sino lograr, al menos en forma parcial, el autoabastecimiento.

1.3. Programa Estratégico Regional de Hidrógeno Verde Biobío

H2V BIOBÍO

En este contexto, nace el Programa Estratégico Regional de Hidrógeno Verde Biobío (H2V Biobío). H2V Biobío pertenece a la línea Transforma Regional de Corfo. Estos programas son concebidos como instancias de articulación y acción público-privada para el mejoramiento competitivo de las empresas de un sector y/o plataforma habilitante, en ámbitos donde existe alto potencial de generación de valor o crecimiento, a través de la resolución de brechas de



competitividad y/o fallas de coordinación entre agentes públicos y/o privados, generando con ello un mejor entorno para el aumento de la productividad, la innovación y el emprendimiento.

El objetivo general de H2V Biobío es descarbonizar los sectores productivos de la Región del Biobío mediante la introducción del H₂V y derivados. Está conformado por una Gobernanza compuesta por 6 empresas privadas (Colbún, Consorcio Eólico, Gas Sur, Huachipato, Innergy y Arauco), 2 asociaciones (Desarrolla Biobío, GIZ), 2 empresas públicas (ENAP, Puertos de Talcahuano), 3 instituciones del Estado (Comité Productivo Regional Corfo Biobío, Gobierno Regional, Seremi de Energía) y 2 instituciones de la academia (UCSC y UDEC).





2. Contexto competitivo de la Región del Biobío

2.1. Sectores industriales priorizados

El proceso de construcción de la Hoja de Ruta H2V Biobío partió por priorizar los sectores industriales y aplicaciones donde el hidrógeno tiene potencial de ser competitivo. La competitividad se analiza en dos dimensiones:

- Con respecto al “Business As Usual”, es decir, el vector de origen fósil (por ejemplo: diesel, GLP, gasolina, carbón)
- Con respecto a la alternativa “Net zero” (por ejemplo: electrificación directa, bombas de calor, biocombustibles)



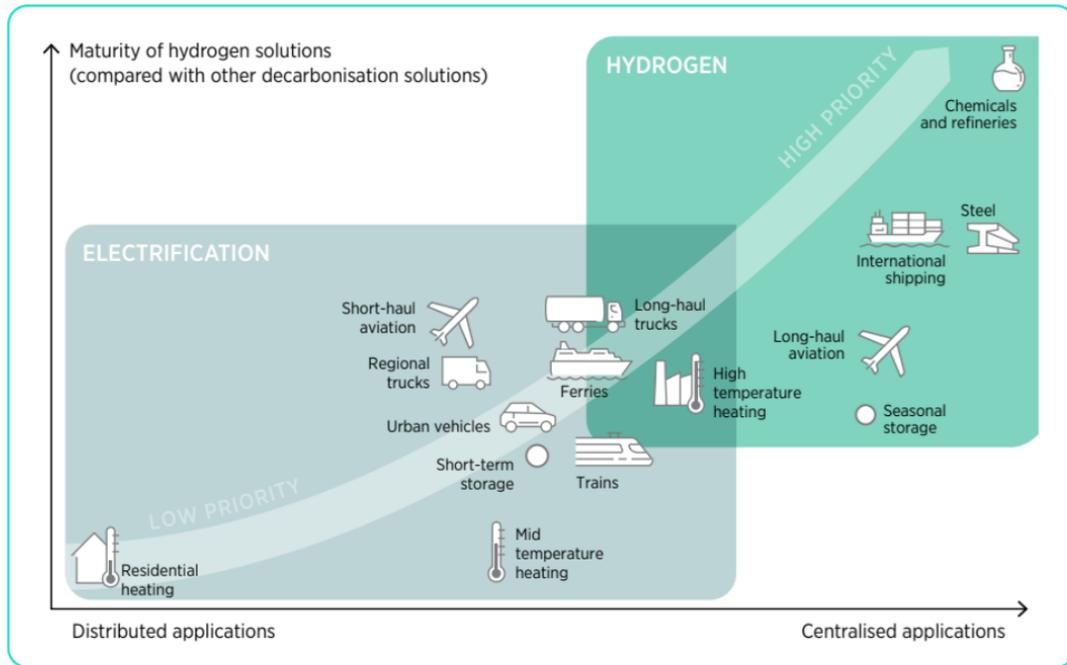


Figura 4: Prioridad de utilización de hidrógeno v/s electrificación directa
Fuente: IRENA (2022)

La Región del Biobío, al contar con polos industriales con diversas actividades económicas, presenta un potencial de introducción de hidrógeno en casi la totalidad del tipo aplicaciones (Figuras 5, 6 y 7). En términos generales, el sector industrial representa un activo sectorial para la Región y el desarrollo de la industria del hidrógeno verde, por contar con experiencia en moléculas y en el desarrollo e implementación de proyectos de escala industrial. Además, este sector alberga experiencia en la exportación de una diversa gama de productos y ha permitido el desarrollo de una cultura industrial en la Región.

Estas condiciones permitirán posicionar a la Región del Biobío como un polo productivo y tecnológico de H₂V que genere combustibles limpios para el transporte, soluciones de bajas emisiones para la industria, desarrollo de nuevos productos y servicios de alto nivel tecnológico, así como la posibilidad de nuevos emprendimientos de base tecnológica y capital humano altamente calificado.



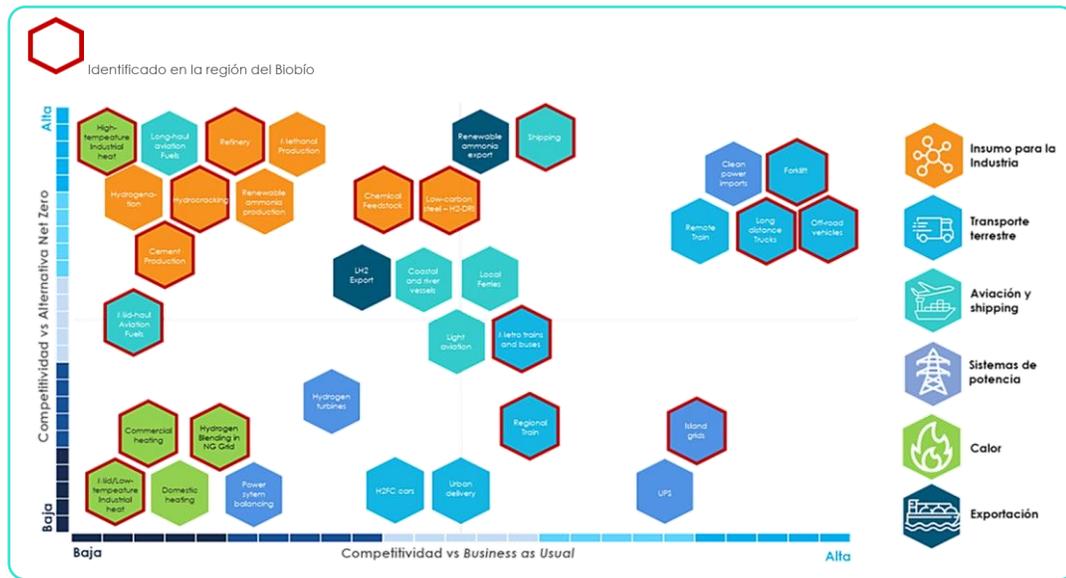


Figura 5: Aplicaciones de hidrógeno identificadas en el Biobío y su competitividad

Fuente: Hinicio (2023), adaptado de Clean Hydrogen Ladder (2021)



Figura 6: Polo industrial de Talcahuano, Hualpén y Lirquén

Fuente: Elaboración propia





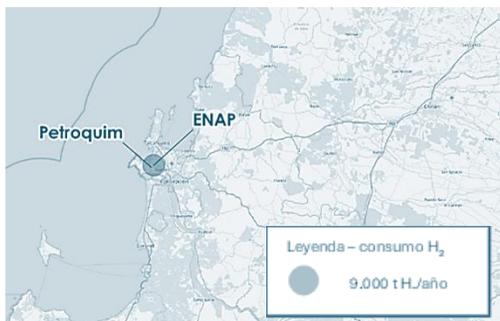
Figura 7: Polo industrial de Coronel

Fuente: Elaboración propia

En función de la presencia en la zona y el potencial de aplicaciones competitivas de hidrógeno verde en sus actividades productivas, se priorizaron los siguientes sectores productivos:



REFINERÍA



En Hualpén, se encuentra ENAP Refinería Bío Bío, la principal refinería del país y Petroquim, productor de propileno y consumidor de H₂.

Las refinerías son uno de los mayores consumidores de H₂ gracias a sus procesos de hidrocracking e hidrodesulfurización, por lo que están llamadas a promover la demanda de H₂ renovable.

Además, al ser productores y comercializadores de combustibles, cuentan con un conocimiento único para la incorporación de efuels en sus procesos productivos.

En particular, la implementación de hidrógeno verde presenta como ventaja que no requiere modificaciones tecnológicas en la aplicación de consumo.

MERCADOS

ENAP es una empresa del Estado de Chile que tiene como objetivo abastecer al país de combustibles de una forma sustentable. El mercado objetivo es nacional, casi en su totalidad, siendo sus principales clientes los distribuidores de combustibles como COPEC, ENEX y ESMAX.

Petroquim es la principal empresa de propileno en Chile y satisface necesidades del mercado de plásticos tanto a nivel nacional como internacional.

PROCESOS PRODUCTIVOS

	Descripción	Procesos productivos
	<p>Procesamiento de crudos y cargas en la planta ubicada en el sector de Hualpén.</p> <p>Produce actualmente hidrógeno gris a partir de dos SMR para consumo en hidrocracking, principalmente.</p> <p>Cuenta con distintas plantas complementarias, Reformación Catalítica Continua, Hidrotratamiento de Diesel 1, Hidrocracking, Planta de Hidrógeno Bío Bío, Planta de Hidrocracking Suave de gas Oil (MHC), entre otros.</p>	
	<p>Dedicada a la producción de propileno, cuenta con una planta de producción ubicada en el sector de Hualpén. Esta opera con la licencia de LyondellBasell Polyolefins del proceso Spheripol®.</p> <p>En su proceso productivo utiliza un flujo menor de hidrógeno (6 t/año) proveniente de ENAP.</p>	

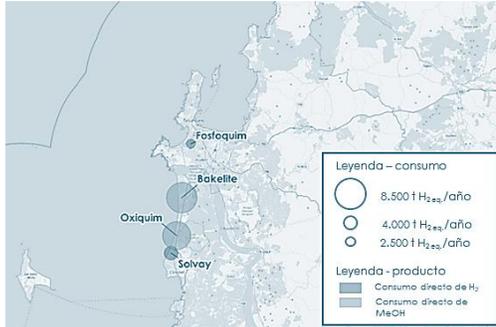
DEMANDA POTENCIAL DE H2V Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS AL 2035

Consumo directo de hidrógeno: 9.000 t H₂/año

- Desde un punto de vista de consumo, la refinería potencialmente podría reemplazar en su totalidad el hidrógeno gris por hidrógeno renovable.
- ENAP cuenta con plantas de producción de hidrógeno vía gas natural, por lo que se requerían nuevas plantas de electrólisis.
- Dados estos antecedentes, se considera un reemplazo del 30% del hidrógeno gris consumido por hidrógeno verde en el sector, para 2035.



QUÍMICA



La incorporación de H₂ renovable y derivados en los procesos productivos del sector químico presenta un alto atractivo al existir logística resuelta en segmentos de la cadena de valor lo que facilitan su implementación.

La zona presenta diversas empresas ubicadas en Coronel y Hualpén-Talcahuano que producen actualmente hidrógeno ya sea como subproducto de otros procesos vía electrólisis de salmuera (EKA Chile y Oxy), o como producto principal utilizando gas natural vía SMR (Solvay) o que cuentan con electrólisis de agua (Fosfoquim). El hidrógeno producido es utilizado para la elaboración de peróxido de hidrógeno (H₂O₂), de sulfhidrato de sodio (NaSH) y, en menor medida, para ácido clorhídrico (HCl). Además, Oxiquim y Bakelite importan casi

la totalidad del consumo nacional de metanol (CH₃OH) para la producción de formaldehídos y resinas, que podría ser reemplazado por metanol renovable a ser producido a través de H₂V y CO₂ biogénico.

MERCADOS

La industria química regional atiende a distintos mercados, tanto locales como internacionales. En particular, se enfoca en la comercialización de derivados del hidrógeno (peróxido de hidrógeno y el formaldehído) para la industria forestal, así como en la provisión de sulfhidrato de sodio para la minería del cobre.

PROCESOS PRODUCTIVOS

	Descripción	Procesos productivos
FOSFOQUIM S.A.	Dedicada a la producción de productos químicos provenientes del azufre y el fósforo. Cuenta con una planta en Talcahuano que produce NaSH (equivalente a ~900 t H ₂ /año), para el mercado nacional e internacional de la minería. Además, cuenta con un electrólizador que tiene una capacidad de más de 350 t H ₂ /año.	<ul style="list-style-type: none"> Hidrógeno Azufre Soda Cáustica → Sulfhidrato de Sodio
SOLVAY	Planta de producción de peróxido de hidrógeno ubicada en el Parque Industrial Coronel con capacidad de 23.000 t H ₂ O ₂ /año.	<ul style="list-style-type: none"> Hidrógeno gris Oxígeno Catalizador → Peróxido de hidrógeno
BAKELITE	Dedicada a la producción de formaldehídos a partir de metanol, cuenta con una planta ubicada en San Pedro de la Paz, Concepción. Consume más de 40.000 t MeOH/año.	<ul style="list-style-type: none"> Metanol Aire Calor → Formaldehído
OXIQUIM	Dedicada a la producción de formaldehídos y fertilizantes, ubicada en Coronel. También consume más de 40.000 t MeOH/año para la producción de formaldehídos.	<ul style="list-style-type: none"> Metanol Aire Calor → Formaldehído
OXY	Planta de producción se encuentra ubicada en Talcahuano y produce cloro líquido soda cáustica, hidrógeno, hipoclorito de sodio, ácido clorhídrico, cloruro férrico y de calcio. Produce 1.600 t H ₂ /año.	<ul style="list-style-type: none"> Cloruro de sodio Agua Electrolisis → <ul style="list-style-type: none"> Soda cáustica (Oxy) Cloro (Oxy) Hidrógeno como subproducto Clorato de sodio (EKA)
EKA CHILE	Se dedica a la producción de clorato de sodio, proceso del que obtiene hidrógeno como subproducto (3.000 t H ₂ /año). Su planta de producción se ubica en Talcahuano.	<ul style="list-style-type: none"> Cloruro de sodio Agua Electrolisis → <ul style="list-style-type: none"> Soda cáustica (Oxy) Cloro (Oxy) Hidrógeno como subproducto Clorato de sodio (EKA)

DEMANDA POTENCIAL DE H2V Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS AL 2035

Consumo directo de hidrógeno: 6.500 t H₂/año

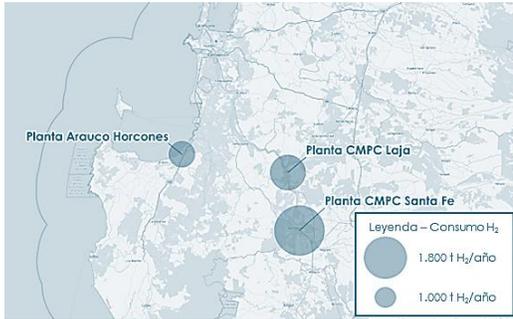
- El reemplazo de consumo directo de hidrógeno por hidrógeno verde no requiere recambios tecnológicos a lo largo de los procesos productivos y puede ser reemplazado en un 100%.

Consumo de metanol: 16.000 t H₂ eq./año

- El reemplazo de consumo directo de metanol por metanol verde no requiere recambios tecnológicos a lo largo de los procesos productivos. Puede ser reemplazado en un 100%.



FORESTAL Y CELULOSA



La Región del Biobío cuenta con plantaciones forestales y tres plantas de celulosa en Arauco, Laja y Santa Fe. Además, se puede contar en el radio de influencia a la planta de Nueva Aldea, ubicada en la Región de Ñuble. Este sector consume resinas (formaldehídos) como adhesivos en sus procesos productivos, derivados de hidrógeno que se producen de forma local en la Región por parte del sector químico y podrían ser reemplazados por los mismos de origen renovable. Cuentan con hornos de cal (de altas temperaturas), donde se podría reemplazar parcialmente el combustible utilizado actualmente por H₂V.

El sector concentra el transporte terrestre de carga pesada de la Región, con viajes interurbanos en camiones, y la movilidad *off-road* mediante la operación de grúas horquillas, ambas potenciales aplicaciones de H₂. Las empresas que componen el sector Forestal y Celulosa cuentan con planes de descarbonización para reducir las emisiones de CO₂ en distintos horizontes de tiempo, lo que empujará el uso de hidrógeno en las distintas aplicaciones. Finalmente, el potencial de producción de metanol verde a nivel regional dependerá de la captura del CO₂ que emite el sector, que es de origen biogénico.

MERCADOS

La celulosa producida a nivel regional tiene un alcance tanto en el mercado local como en el internacional, abasteciendo a América del Norte, Europa y Asia para la fabricación de diversos productos. En el ámbito empresarial, CMPC se posiciona como el cuarto mayor proveedor de celulosa a nivel mundial.

PROCESOS PRODUCTIVOS

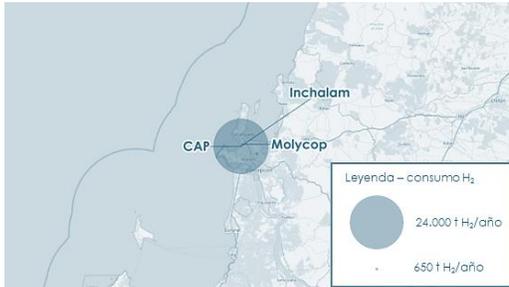
	Descripción	Procesos productivos
cmcp	La empresa cuenta con dos plantas de producción de celulosa en la región del Biobío: Laja y Santa Fe. Producen Celulosa Kraft Blanca de Fibra Larga en base a madera de pino (BSKP) y eucalipto (BEKP), respectivamente. Además, la planta de Laja también produce Papel Sack Kraft. Ambas plantas son responsables de la emisión de más de 4 millones de toneladas de CO ₂ biogénico, al año.	
arauco	Planta de producción de Celulosa ubicada en Arauco, que gracias al proyecto MAPA tiene una capacidad de producción de 2.100 kt celulosa/año. La planta es responsable de más de 3 millones de toneladas de CO ₂ biogénico, al año.	
MASISA	Fabricación y comercialización de tableros de partículas y de fibra. En la región del Biobío cuenta con plantas en la comuna de Cabrero.	

DEMANDA POTENCIAL DE H2V Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS AL 2035

<p>Consumo hidrógeno para movilidad on-road 40.000 t H₂/año</p> <ul style="list-style-type: none"> Se requiere recambio tecnológico o retrofit de los equipos existentes. 	<p>Consumo hidrógeno movilidad off-road 700 t H₂/año</p> <ul style="list-style-type: none"> Se requiere recambio tecnológico o retrofit de los equipos existentes. 	<p>Consumo hidrógeno para hornos altas temperaturas 3.800 t H₂/año</p> <ul style="list-style-type: none"> Combustible puede ser reemplazado en 5 – 10% por hidrógeno sin recambio tecnológico.
--	---	---



ACERO



Talcahuano alberga a las empresas CAP y Molycop, mientras que en Hualpén se encuentra Inchalam. El sector se caracteriza por contar con hornos de altas temperaturas para sus procesos, donde un porcentaje del combustible utilizado actualmente podría ser reemplazado por hidrógeno.

Parte del sector ya ha demostrado interés en el uso de H₂V en sus procesos, particularmente CAP, que está desarrollando un piloto por fases, donde la primera apunta a reemplazar parte del combustible por H₂V y una segunda fase piloto con tecnología DRI para reducción de óxidos de

fierro (hoy utilizan BOF). Esperan producir acero verde en 2026.

El acero verde podría ser consumido por Inchalam y Molycop como insumo para sus procesos productivos (de alambres y bolas de molienda para la minería, respectivamente) y así descarbonizar sus emisiones de alcance 3.

MERCADOS

CAP es el mayor procesador de acero a nivel nacional y se encarga de suplir la demanda nacional e internacional. Empresas con presencia regional como Inchalam y Molycop utilizan acero como materia prima. Molycop provee bolas de molienda al sector de la minería.

PROCESOS PRODUCTIVOS

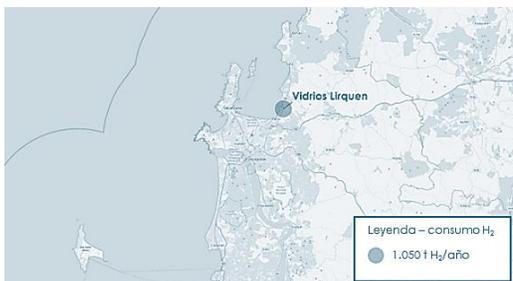
	Descripción	Procesos productivos
	Empresa dedicada a la producción de acero cuenta con una planta de producción ubicada en Talcahuano desde 1950. Utiliza la vía de producción BOF (Basic Oxygen Furnace), utilizando altos hornos, para la producción de 800 kt de acero líquido al año. Para el proceso productivo se requiere coque.	<ul style="list-style-type: none"> Caliza Mineral de hierro Carbón metalúrgico Panta de coque + Fundición altos hornos Variada gama de productos de acero
	Dedicada a la producción de alambres, mallas y cercas, que utiliza acero como materia prima. Cuentan con una planta de producción ubicada en Lirquén. Inchalam, según información de RETC del 2021, produce más del 60% de las emisiones de CO ₂ eq. en la región por concepto de hornos y calderas.	<ul style="list-style-type: none"> Alambrón de acero limpieza (Decapado químico o mecánico) + Trefilación Alambre Clavos Alambre de distintos grososres
	Empresa dedicada a la producción de bolas de molienda para la minería a partir de barras de acero, junto con la prestación de otros servicios al mismo sector. Cuenta con una planta ubicada en Talcahuano.	<ul style="list-style-type: none"> Barras de acero Calentamiento de barras + Forja + Tratamiento térmico Bolas de molienda

DEMANDA POTENCIAL DE H2V Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS AL 2035

<p>Consumo de hidrógeno para hornos de altas temperaturas 28.000 t H₂/año</p> <ul style="list-style-type: none"> El reemplazo de consumo directo de hidrógeno por hidrógeno verde no requiere recambios tecnológicos a lo largo de los procesos productivos y puede ser reemplazado en un 100%. 	<p>Consumo directo de hidrógeno 1.550 t H₂/año</p> <ul style="list-style-type: none"> El reemplazo de consumo directo de metanol por metanol verde no requiere recambios tecnológicos a lo largo de los procesos productivos. Puede ser reemplazado en un 100%.
--	--



VIDRIO



Vidrios Lirquén es la única productora de vidrio plano que existe a nivel nacional. En su proceso productivo, consume actualmente hidrógeno de alta pureza producido mediante electrólisis en una instalación colindante a sus operaciones, planta perteneciente y operada por Indura / Air Products.

Se identifica la oportunidad inmediata del reemplazo del hidrógeno consumido actualmente por hidrógeno verde, si la energía consumida por la planta de Indura / Air Products es de origen renovable. Este cambio no requiere inversiones de capital, intervenciones en la logística actual, ni

modificaciones en el proceso productivo de Vidrios Lirquén.

MERCADOS

A nivel regional existen diversas empresas en el rubro del vidrio: Digosa, Dialum, Comercial Vitralis, Vielmet, Vidriería Parischewsky, Vialum y Vidrios Lirquén. Las dos primeras se dedican a la producción y distribución de cristales y aluminio, principalmente, tanto a nivel nacional como internacional. En el caso particular de Vidrios Lirquén, provee a la industria de la construcción en Chile con el vidrio plano producido en la región. Las empresas restantes se dedican a la comercialización, distribución e instalación de cristales y otros productos.

PROCESOS PRODUCTIVOS

	Descripción	Procesos productivos
	<p>Dedicada a la manufactura y transformación de Cristal Flotado, cuenta con una planta en Lirquén y es el único productor de vidrio plano a nivel nacional. Consume hidrógeno en su proceso productivo y este es proveído por Indura / Air Products a través de un gasoducto, que conecta la planta de manufactura y la de producción de hidrógeno que se encuentra operativa desde 1990.</p>	

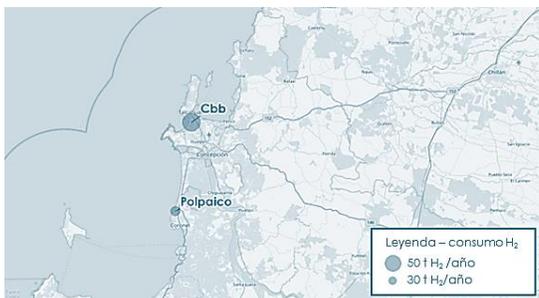
DEMANDA POTENCIAL DE H2V Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS AL 2035

Consumo directo de hidrógeno 1.050 t H₂/año

- En la industria del vidrio ya se consume hidrógeno producido a través de electrólisis, por lo que no se requerirá de un recambio tecnológico para reemplazarlo en un 100% por hidrógeno verde.



CEMENTO



En la Región del Biobío, son tres las empresas dedicadas a la producción de cemento y hormigón: Cementos Bío Bío, Polpaico y Melón, aunque sólo las dos primeras producen en la Región. En el proceso productivo del cemento hay involucrados hornos de altas temperaturas, específicamente hornos rotatorios para la producción de clinker. En el mediano/largo plazo, se podría sustituir entre un 5% y un 10% de los combustibles utilizados actualmente, sin recambio tecnológico.

Este sector se encuentra trabajando en la elaboración de una hoja de ruta desde el año 2016 para la

descarbonización de la industria, tanto a nivel regional como nacional e interamericano. Se espera que ésta empuje el uso de hidrógeno en sus procesos productivos.

MERCADOS

En términos generales, el sector del cemento (Cementos Bío Bío y Polpaico) abastece a la industria de la construcción a nivel nacional. Cuentan con participación en destacados proyectos a nivel país. En particular, Cementos Bío Bío (CBB) está actualmente incursionando en nuevos mercados de América Latina, como Perú y Argentina, evaluando la posibilidad de expandir su producción a alguno de ellos.

PROCESOS PRODUCTIVOS

	Descripción	Procesos productivos
	Dedicada a la producción de cemento, cuenta con una planta en la región del Biobío en la comuna de Talcahuano. La capacidad de la planta es de 750 kt/año, de cemento especial principalmente. Utiliza hornos rotatorios de alta temperatura en su proceso productivo para la obtención de Clinker.	
	Dedicado a la producción de cemento, en el caso de la planta de su planta ubicada en Coronel, cemento especial a partir de Clinker (160 kt/año, aproximadamente).	
	Dedicada a la producción de cemento y hormigón. En la región tiene presencia con una planta de hormigón, no produce cemento a nivel regional pero sí nacional.	

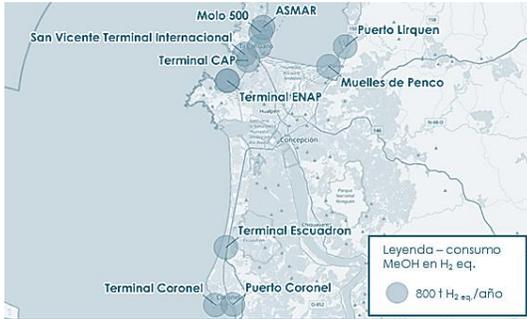
DEMANDA POTENCIAL DE H2V Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS AL 2035

Consumo de hidrógeno para hornos de altas temperaturas 80 t H₂/año

- No requiere recambio tecnológico cuando se sustituye entre un 5% - 10% el combustible convencional por hidrógeno, en los hornos rotatorios. Para una mayor adopción de hidrógeno, se requiere de un recambio tecnológico dentro del proceso productivo.



PORTUARIO



Existen 13 terminales portuarias en la Región, tanto de uso público como privado, incluyendo el astillero de ASMAR. Estos son operados por distintos puertos y se concentran en las bahías de Talcahuano, San Vicente, Coronel y Penco-Lirquén.

En particular, la industria portuaria requerirá proveer combustibles verdes para la descarbonización de las rutas internacionales, las que comprenden el 80% de la actividad de los buques que se presentan en la Región. Se proyecta que el metanol y amoníaco, derivados del hidrógeno, tendrán un rol relevante en la descarbonización para efectos de bunkering.

Además, los puertos cuentan con equipos de movilidad off-road en sus operaciones los que podrían ser reemplazados por equipos eléctricos y a Fuel Cell.

MERCADOS

El transporte marítimo en Chile moviliza distintos tipos de carga: de exportación, importación y cabotaje. Durante el año 2021 en Chile, el transporte marítimo movilizó más de 148 Mt de carga de exportación, importación y cabotaje. El 15% de la carga movilizada fue para cabotaje, el 85% restante corresponde a movimientos internacionales. En los terminales marítimos de la Región, se transfiere más del 20% de la carga total nacional.

PROCESOS PRODUCTIVOS



DEMANDA POTENCIAL DE H2V Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS AL 2035

Consumo directo de metanol para bunkering 10.500 t H₂ eq./año

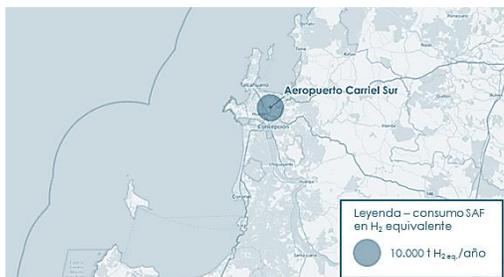
- Para reemplazar el combustible marítimo convencional que se utiliza hoy en día por metanol verde, se requiere de un recambio tecnológico.

Consumo directo de hidrógeno off-road 130 t H₂/año

- Se requiere recambio tecnológico o retrofit de los equipos para esta aplicación.



AEROPORTUARIO



En Talcahuano, se encuentra el aeropuerto Carriel Sur, que tuvo casi 26.000 vuelos en 2022, casi en su totalidad de carácter nacional. En éste operan tres líneas aéreas: LATAM, Sky Airlines y JetSMART.

Recientemente, se presentó para consulta pública la Hoja de Ruta de combustibles de aviación sostenibles (SAF) 2050 y, en el marco de la misma, Carriel Sur será un consumidor de SAF que, además, podría complementarse con una demanda local y puntual para los equipos de *off-road* requeridos en la operación terrestre de los aeropuertos.

En términos generales para el combustible de aviación, se espera que, a mediano plazo, el 50% sea reemplazado por SAF y, a largo plazo, la totalidad del combustible utilizado. Éste se puede obtener mediante la vía de producción de Methanol-to-Kerosene, para lo que se requiere e-metanol en primera instancia. Este último se podría producir a nivel regional, alineado con las metas de ENAP de convertirse en productor de combustibles sintéticos en su refinería, utilizando el CO₂ biogénico generado por el sector celulosa y forestal, e hidrógeno verde.

MERCADOS

El Aeropuerto Carriel Sur de Concepción presta servicios de transporte de pasajeros en tramos nacionales e internacionales, hacia algunas ciudades de Latino América como Lima, Buenos Aires, Río de Janeiro, entre otros.

PROCESOS PRODUCTIVOS



OPERADORES



DEMANDA POTENCIAL DE H2V Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS AL 2035

Consumo de SAF 10.000 t H₂ eq./año

- No requiere recambio tecnológico y el combustible convencional puede ser reemplazado en un 100% si se produce por la vía Methanol-to-Kerosene.



2.2. Producción de hidrógeno verde

Con información extraída del Global Wind Atlas, se puede constatar que la Región del Biobío concentra factores de planta sobre 37% en los valles centrales y la costa de la Provincia de Arauco. Para efectos comparativos, se hizo el mismo ejercicio para la Región de Magallanes, conocida por su recurso eólico único en el mundo, donde se observa que gran parte del territorio presenta valores por sobre el 52%, superando el 70% en los mejores casos.

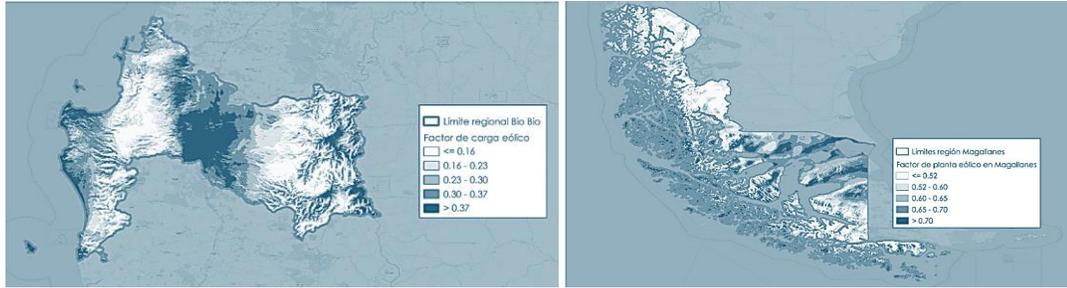


Figura 8: Potencial eólico en la Región del Biobío

Fuente: Hincio (2023)

Estos valores permiten proyectar, en las zonas más atractivas, costos nivelados de producción de H₂V (LCOH) de 2,55 USD/kg y 1,59 USD/kg para las Regiones de Biobío y Magallanes, respectivamente. A pesar de la notoria diferencia, un LCOH de 2,55 USD/kg cae en el rango de competitivo, por lo cual se puede pensar en una producción local, considerando los desafíos que implica el transporte de hidrógeno entre zonas muy distantes.

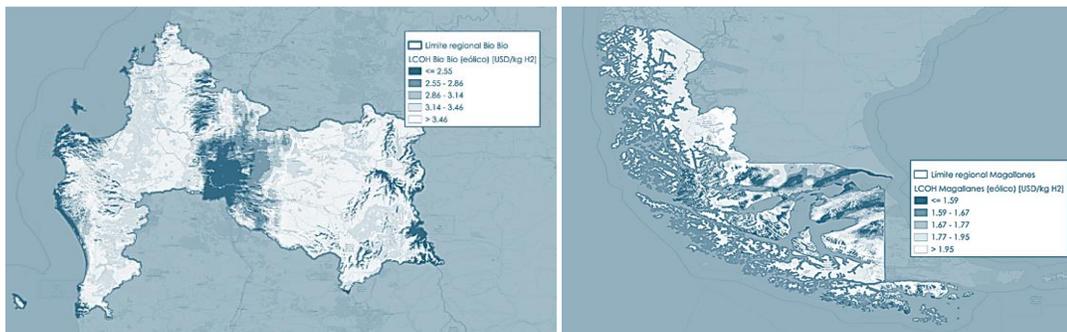


Figura 9: LCOH con recurso eólico en la Región del Biobío

Fuente: Hincio (2023)

A partir de los cálculos de LCOH y la disponibilidad de área, se estima una capacidad instalable de 8 GW de producción de H₂V en la Región del Biobío. Esto equivale a una producción estimada de 800.000 t/año.



El mismo ejercicio anterior se hizo para el recurso solar y la comparación se hizo con la Región de Antofagasta. Los factores de planta en Biobío oscilan entre 13% y 22%. En el caso de la Región de Antofagasta, se observan valores que superan lo anterior en 50% superior.



Figura 10: Potencial solar en la Región del Biobío

Fuente: Hinicio (2023)

En términos de LCOH, se tienen valores a partir de 3,5 USD/kg, los que, al ser comparado con la Región de Antofagasta, son, por lo menos, 1 USD/kg mayor.

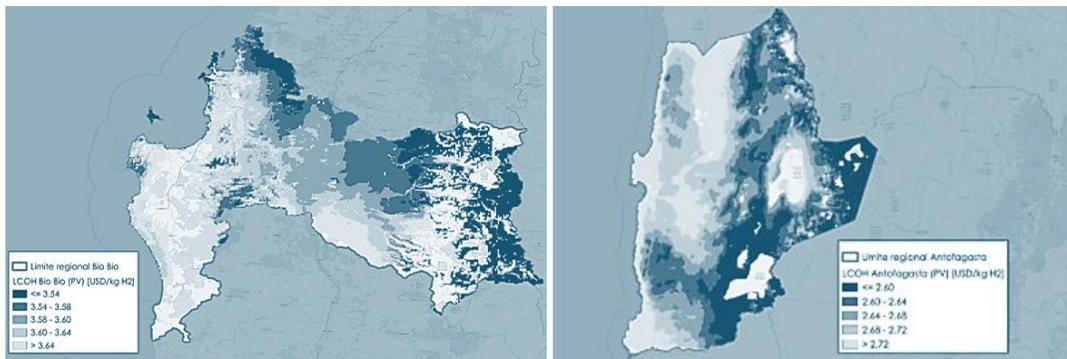


Figura 11: LCOH con recurso solar en la Región del Biobío

Fuente: Hinicio (2023)

Existe un potencial en Biobío de hasta 100 GW instalado con un costo de 3,5 USD/kg, sin embargo, el valor mínimo esperado es de 3,11 USD/kg, perjudicando la competitividad del H₂V mediante esta vía.

Lo anterior no implica que se descarten proyectos solares, dado que la producción podrá complementarse con ambos perfiles, pero estos valores identifican que la mayor proporción de la producción será a partir de energía eólica.



2.3. Potencial de consumo de hidrógeno y derivados

Para determinar el potencial consumo de hidrógeno en la Región del Biobío, se recurrió a diversas fuentes de información pública y privada, se identificó el consumo actual del vector energético “Business as usual”, llámese hidrógeno gris u otro combustible fósil, y se proyectó el reemplazo por la alternativa de H₂V tomando supuestos en base a la mejor información disponible. Este potencial se consideró en una temporalidad de aproximadamente 10 años (al 2035), en coherencia con el Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023-2030.

- **Feedstock (insumo directo):** tiene la particularidad que no requiere modificaciones tecnológicas para su consumo, dado que, actualmente, se utiliza hidrógeno gris.
- **Movilidad:** utilización de hidrógeno como combustible de vehículos. Tanto a nivel on-road como off-road, requiere esfuerzos de varios actores de la cadena de valor para resolver la cadena de suministro, aspectos de operación y mantención de los vehículos y garantías de post venta, entre otros.
- **Calor:** el hidrógeno puede tener una participación interesante en las aplicaciones de alta temperatura y cuya incorporación a mediano plazo estará limitada por los límites máximos de blending en las tecnologías de hornos y calderas.
- **Metanol y e-Fuel (combustibles sintéticos):** se requiere de etapas adicionales de producción y puede tener, como aplicación, el reemplazo del metanol gris actualmente utilizado en la Región (para producción de formaldehidos), como bunkering y como paso intermedio para la producción de kerosene de aviación.

FEEDSTOCK

El consumo directo de hidrógeno se observa en el sector químico y petroquímico de la Región, en las comunas de Talcahuano/Hualpén y Coronel, principalmente.

El mayor consumo de hidrógeno gris corresponde al de ENAP y es de 30.000 t/año. El consumo del sector químico asociado a Solvay y Fosfoquim corresponde a 2.200 t/año, el consumo de este último se encuentra considerado en el consumo de ENAP. Vidrios Lirquén consume 1.000 t/año y CMPC 700 t/año. Así, se tiene que el consumo actual de hidrógeno en la Región del Biobío bordea los 33.000 t/año.

Para el año 2035, se espera un aumento en el consumo directo de hidrógeno producto de las ampliaciones proyectadas para las plantas de Solvay y Fosfoquim, según la información disponible en el SEIA. Estas ampliaciones significan un aumento en su consumo de 4.000 t/año, totalizando en 37.000 t/año para la Región.

En cuanto a lo que puede ser reemplazado por H₂V en los próximos años, dependerá del sector industrial que se esté evaluando. En el caso de la industria química, se considera que el 100% es reemplazable por H₂V, dado que gran parte de esta industria utiliza electrólisis como proceso productivo. Por otra parte, en el caso del sector de refinería, se considera un reemplazo del 30%



de lo consumido actualmente. Esto se debe a que el hidrógeno gris consumido se produce en sus plantas.

Finalmente, la demanda de H₂V a 2035 será de 17.000 t/año, al tener en cuenta las consideraciones anteriores.

MOVILIDAD

En la Región, se identificaron dos aplicaciones de hidrógeno, transversales a los sectores industriales, para movilidad: camiones de carga pesada y grúas horquilla. A partir de cifras del INE y el MTT respecto del parque automotriz y considerando estimaciones basadas en rendimientos de motores y celdas de combustibles, se obtuvo un potencial máximo de consumo de hidrógeno para la movilidad de carga pesada de 40.000 t/año.

En cuanto a los equipos de manejo de material (grúas horquillas), existe un universo de 5.000 en la Región aproximadamente. La mayor parte es utilizada por el sector de celulosa y forestal. Para que la tecnología a celda de combustible sea una opción más atractiva que los equipos a baterías, se deben cumplir tres condiciones: (1) Que los equipos tengan una alta utilización, que existan limitantes de espacio y requerimientos de fuerza/potencia para la operación. Por lo anterior, la mayoría de la transición a estos equipos será híbrida, con parte de la flota a baterías y otra a hidrógeno. Debido a las características del sector, se espera un reemplazo del 10% de los equipos de manejo de material, con una demanda equivalente a 1.200 t H₂/año. El potencial que se identifica en esta aplicación es menor y la oportunidad debe analizarse en el corto plazo para proyectos de pequeña escala.

CALOR

Una aplicación de hidrógeno es en calor, específicamente para equipos de altas temperaturas como son los Hornos rotarios de la industria del Cemento, hornos de cal en la industria Forestal y Celulosa, y otros tipos de horno en la industria de Acero. Actualmente, para los hornos se utilizan distintos tipos de combustibles, como Gas de Coque, Gas Licuado de Petróleo y Fuel Oil 6. Para el año 2035 no se prevén aumentos en el consumo de combustibles para aplicaciones de calor de altas temperaturas, pero parte de ellos podrían ser reemplazados parcialmente por hidrógeno verde para descarbonizar las operaciones de las distintas industrias. En total, se estima que el potencial consumo de hidrógeno, con un reemplazo entre el 5% al 10% dependiendo de la industria, sea de alrededor de 28.000 toneladas de hidrógeno al año, donde el mayor consumo lo representaría el sector industrial de Acero, con un potencial consumo de hidrógeno de 24.000 toneladas al año.

POTENCIAL CONSUMO DE METANOL Y E-FUEL

El consumo potencial de metanol en la Región del Biobío se identificó en tres aplicaciones: consumo directo como feedstock en la industria química, para bunkering y para el transporte aéreo como e-fuel.



El consumo de metanol como feedstock tiene dos productores de la industria química (Oxiquim y Bakelite) dedicados a la producción de formaldehído y, según la capacidad instalada existente, corresponde a 68.000 t MeOH/año, equivalente a 13.000 t H₂ eq./año. Se proyecta una ampliación de la planta de Bakelite en los próximos años, que significaría un consumo adicional de 19.000 t MeOH/año. Al considerar la ampliación, el consumo proyectado de metanol como feedstock es equivalente a 16.000 t H₂ eq./año.

En el caso del bunkering, se proyecta un crecimiento de un 2% anual con respecto al combustible actual, debido al aumento de la carga movilizada en los próximos años. Como resultado, se tiene que el potencial equivalente de consumo de hidrógeno sería de 10.000 t H₂ eq./año. Por último, para el transporte aéreo, este requerirá de eSAF, kerosene de aviación sintético que actualmente puede ser producido mediante Fisher-Tropsch o mediante una etapa Methanol-to-Jet. Considerando que, actualmente, se tienen 19.000 m³/año de consumo de kerosene de aviación en la zona, el equivalente de consumo de hidrógeno para esta producción sería de 10.000 t H₂ eq./año.

Para la producción del metanol, tanto para la producción de eSAF como para el metanol de consumo directo, se requiere de CO₂ disponible. Para satisfacer la demanda potencial total proyectada de metanol, el requerimiento es de 160.000 t CO₂/año.

2.4. Potencial de utilización de CO₂ biogénico

Para determinar el potencial consumo de hidrógeno en la Región del Biobío, se recurrió a diversas fuentes de información pública y privada, se identificó el consumo actual del vector energético “Business as usual”, llámese hidrógeno gris u otro combustible fósil, y se proyectó el reemplazo por la alternativa de H₂V tomando supuestos en base a la mejor información disponible. Este potencial se consideró en una temporalidad de aproximadamente 10 años (al 2035), en coherencia con el Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023-2030.

Las dos empresas pertenecientes a la industria de la celulosa en la Región del Biobío son CMPC y Arauco. Las plantas de estas empresas están ubicadas en las comunas de Arauco, Laja y Nacimiento, tal como se muestra en el mapa anterior. En total, las tres plantas producen cerca de 7,4 millones de toneladas de CO₂ al año y, específicamente:

- Planta Arauco: 3,2 millones de toneladas de CO₂ anuales.
- Planta CMPC Laja: 1,2 millones de toneladas de CO₂ anuales.
- Planta CMPC Santa Fe: 3,0 millones de toneladas de CO₂ anuales.

Los 7,4 millones de toneladas de CO₂/año representan una eventual producción de metanol de 5,3 millones de t/año o de 1 millón de toneladas de H₂. De forma análoga, cada planta mostrada en el mapa podría producir las siguientes cantidades:

- Planta Arauco: 2,30 millones de toneladas de MeOH anuales.
- Planta CMPC Laja: 0,86 millones de toneladas de MeOH anuales.
- Planta CMPC Santa Fe: 2,14 millones de toneladas de MeOH anuales.



Este valor se encuentra alineado con el potencial de producción de H₂V eólico a un costo competitivo y es un orden de magnitud mayor al consumo proyectado localmente de Metanol, por lo que se visualiza una oportunidad de exportación, ya sea del metanol ya producido en la Región o del CO₂ para síntesis en otro sector.

Es importante considerar que, si no se utiliza CO₂ biogénico, el combustible no es elegible como carbono neutral, por ende, pierde competitividad frente a los nuevos mercados emergentes, por lo que representa un activo sectorial para la Región y la descarbonización de distintos sectores. Dado lo anterior y debido a su alta disponibilidad, se priorizó el CO₂ proveniente de la celulosa.

2.5. Infraestructura existente y conectividad

La Región cuenta con buena conectividad vial, de gasoducto y de líneas de transmisión entre los distintos polos de generación y consumo, además de infraestructura portuaria de 6 puertos y 13 terminales portuarios (Figura 12) activos sectoriales que pueden ser habilitantes para el desarrollo de la industria de hidrógeno verde en la región.



Figura 12: Terminales marítimas de la región del Biobío

Fuente: Cámara Marítima y Portuaria de Chile (2021)

Una red de gasoductos distribuye gas natural a toda la Región con sus ramales principales Talcahuano, Coronel, Lota y Los Ángeles, los principales polos productivos de la Región. Además, cuenta con una red interconectada que distribuye el gas al resto de la Región del Biobío. Los puertos y terminales portuarios de la Región son ejes comerciales que conectan a Biobío con mercados nacionales e internacionales. Su operatividad no sólo influye en la economía local, sino que también tiene un impacto en la cadena de suministro a nivel macrozona sur. La eficiencia, modernización y ampliación de estas instalaciones son esenciales para mantener y mejorar la posición competitiva de la Región en el comercio global. Finalmente, si bien la utilización de infraestructura existente como gasoductos y líneas de transmisión presenta desafíos mayores, ya el tener un trazado existente facilita la incorporación de recorridos paralelos en caso de ser necesario.



2.6. Incentivos a la transición energética

A modo general, existen tres componentes principales para apalancar la transición energética:

- **Políticas internas y metas de descarbonización de las empresas.**
- **Políticas públicas de descarbonización y regulación asociada**
- **Requerimientos de los clientes finales**

Estas últimas dos están íntimamente vinculadas de forma de que las políticas y su regulación generan directrices en los mercados de los clientes finales, obligándolos a descarbonizar sus procesos productivos y el ciclo de vida de sus productos. Es así que, dependiendo de quien sea el cliente final de la cadena productiva, generará incentivos aguas arriba para la descarbonización de los distintos sectores, lo que, complementariamente, puede estar alineado con metas internas de las empresas.

En la Región, se observan encadenamientos industriales interesantes:

1. **Minería:** La industria química (NaHS - Fosfoquim) y de acero (Bolas de Molienda – Molycob a partir de acero de CAP) provee de insumos a la minería chilena, transportando los bienes mediante puertos existentes. La minería del cobre, por políticas de privados (BHP, Anglo, AMSA) y colaboraciones público-privadas (Hoja de Ruta Alta Ley), tiene metas en el mediano y largo plazo para descarbonizar el alcance 3 de sus operaciones.
2. **Energía:** Chile, a través de su Política Energética 2050, está generando los siguientes drivers:
 - a) **Logística baja en emisiones.** Chile busca posicionarse como exportador de productos de baja huella de carbono, por lo que asumiremos compromisos relacionados al uso de energía en toda la cadena de valor, incluyendo el transporte marítimo y aéreo.
 - b) **Cooperación con organismos internacionales.** OMI y CORSIA. Respecto al transporte marítimo, Chile se sumó a los esfuerzos internacionales a través del Convenio MARPOL, bajo cuyo marco la Organización Marítima Internacional (OMI) comprometió reducir en 50% las emisiones de gases de efecto invernadero del transporte marítimo mundial al 2050 con respecto a 2008. Y respecto al transporte aéreo, al año 2030, Chile entrará al programa de compensación de emisiones en el marco del acuerdo CORSIA impulsado por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).
 - c) **Producción de hidrógeno verde y combustibles sintéticos.** Para alcanzar cero emisiones en el transporte, debemos reducir los consumos de energía de nuestros medios de transporte y cambiar nuestras fuentes energéticas por alternativas más sustentables. En etapas tempranas, esta transformación implicará una mejora en la calidad de los combustibles utilizados y en las tecnologías de los vehículos que se consideran actualmente convencionales, dadas sus repercusiones en las emisiones locales y globales. Además, tendremos que explorar los beneficios que puede traer la producción y uso de combustibles sintéticos cero emisiones, tales como los derivados del H₂V.



Dentro de este contexto que movilizará a una transición energética a los sectores asociados al transporte, se observa que ENAP tiene la oportunidad de pasar de ser una empresa de hidrocarburos a una empresa de energía, tomando como punto de partida que provee más del 50% del kerosene de aviación de uso doméstico, la infraestructura habilitante y la experiencia técnica para la producción de este tipo de productos. Además, en particular para la aviación, los resultados de la mesa de Vuelo Limpio podrán apalancar la producción de este combustible.

3. **Celulosa y forestal:** Este sector, por sí mismo, tiene metas de descarbonización al mediano y largo plazo, incluso teniendo a la fecha operaciones carbono neutrales. Nuevamente, al incluir el alcance 3 de las emisiones, empresas químicas del sector tendrán los incentivos en el mediano y largo plazo de descarbonizar su producción requiriendo procesar peróxido de hidrógeno verde, metanol verde u otro derivado.

A su vez, el CO₂ biogénico emitido podrá ser utilizado como insumo para la producción de combustibles sintéticos, siendo éste elegible según los criterios de la Unión Europa (RED II), aumentando la competitividad del producto en un contexto internacional, como es el de aviación y el bunkering.

4. **Portuario:** Finalmente, esta industria será un habilitador para que los operadores tengan un suministro de combustible verde y así puedan asegurar a sus clientes finales las reducciones de emisiones.

En términos de producción de hidrógeno en la Región, la competitividad estará dada por la facilidad y rapidez para superar las barreras de entrada de esta tecnología donde, por ejemplo:

1. Al ser poco eficiente el transporte de hidrógeno, las aplicaciones donde exista un uso directo (feedstock, movilidad, calor) se verán beneficiadas por una producción in situ o centralizada con una logística de distribución acotada (sin tener que transportar H₂ en grandes distancias, entre regiones, por ejemplo.)
2. Economías de escala para la producción de derivados como el Metanol. Si existe suficiente consumo local, puede ser conveniente disminuir el transporte de CO₂ a otras regiones para producir el derivado en el lugar.
3. Infraestructura habilitante. Al existir complejos petroquímicos, las interconexiones y logística existente podrían impulsar la producción en la Región en vez de importar desde otras regiones con mejor recurso renovable.

2.7. Fuerza laboral

La Región del Biobío cuenta con múltiples centros de educación, tanto a nivel profesional universitario como técnico nivel superior, lo que constituye un activo sectorial para el desarrollo de la industria del H₂V en la Región. En total, son 25 instituciones las que alberga la Región y, en ellas, se imparten más de 200 carreras en distintas áreas. Para el desarrollo de la industria del H₂V en la Región del Biobío, se requerirán distintos tipos de profesionales con grados de especialización y formación adecuados para el desarrollo de actividades particulares.



En términos de la cadena de valor del hidrógeno, se requerirán distintos tipos de profesionales para abarcarla completamente, que deben estar especializados en aspectos específicos dependiendo de la parte de la cadena de valor en la que se ubiquen: generación eléctrica y producción de hidrógeno; distribución de hidrógeno; aplicaciones de hidrógeno.

Durante el 2023, el Ministerio de Energía y Chile Valora definieron y publicaron los tres primeros perfiles para la industria, en específico para las plantas de producción de hidrógeno mediante electrólisis. Cada uno de estos perfiles tiene un propósito principal:

1. **Mantenedor(a) en planta de hidrógeno:** “realizar mantenimiento y diagnóstico a equipos del electrolizador en una planta de hidrógeno o en talleres de mantenimiento, con el objetivo de asegurar la disponibilidad, continuidad operativa y buen funcionamiento de los equipos, además de proponer las acciones preventivas y correctivas de forma oportuna, tanto técnicas como de seguridad, de acuerdo a programas de mantenimiento, especificaciones de mantención del fabricante, procedimientos operacionales y protocolos de seguridad industrial”.
2. **Operador(a) en planta de hidrógeno:** “operar planta de hidrógeno, con el objetivo de asegurar la producción y/o disponibilidad, continuidad operativa y buen funcionamiento de los equipos, de acuerdo a especificaciones del fabricante, procedimientos operacionales, y protocolos de seguridad industrial”.
3. **Supervisor(a) en planta de hidrógeno:** “supervisar planta de hidrógeno con el objetivo de asegurar la producción y/o disponibilidad, continuidad operativa y buen funcionamiento de los equipos, de acuerdo a especificaciones del fabricante, procedimientos operacionales y protocolos de seguridad industrial”.

2.8. Entorno competitivo

Fortalezas

La Región del Biobío cuenta con un potencial teórico de generación eólica de 8 GW para suministrar la energía que se requiere para suplir la demanda potencial de H₂V estimada en la Región. Además, cuenta con polos industriales conformados, lo que puede habilitar encadenamientos industriales y facilitar la integración de nuevos proyectos en ellos, junto con tener infraestructura eléctrica, portuaria y vial, y contar con un gasoducto a nivel regional y red de gas interconectada.

- La Región cuenta con polos industriales en Talcahuano, Hualpén y Coronel, por lo que parte de las actividades productivas de la Región se concentran en estos puntos.
- Abundante recurso eólico en la Región, lo suficientemente competitivo para crear demanda local.
- Buen recurso hídrico para complementar el eólico y tener una mayor utilización de electrolizadores para disminuir el LCOH.
- Infraestructura existente: eléctrica, portuaria, vial.



- Buena conectividad vial.
- Demanda de H₂ y metanol existente en la industria local.
- Formación técnica local capacitada: Universidades y centros técnicos.
- Iniciativas de H₂V existentes.
- Red de gas natural interconectada.
- Línea base ambiental para el desarrollo de proyectos.
- Encadenamiento industrial por insumos: los insumos producidos en la Región son consumidos en la Región.

Oportunidades

En la Región, se identifica una potencial demanda de hidrógeno debido a las iniciativas de descarbonización de sectores, lo que representa una oportunidad para el desarrollo de la industria y ser pioneros en la utilización de hidrógeno y derivados para procesos industriales. Además, se cuenta con potencial renovable disponible que se puede utilizar para suministrar las plantas. Sectores presentes en la Región, como el petroquímico, han manifestado intenciones de convertirse en productores de eFuels y aportar en la transición energética.

- Industria local con potencial consumo de H₂V.
- Disponibilidad de CO₂ biogénico para producción de metanol y eFuels.
- Descarbonizar movilidad: carga pesada y grúas horquilla → descarbonizar alcance 3.
- Descarbonizar industria portuaria.
- Blending para los polos de distribución.
- Utilización de trazados de red de gas para pipeline de hidrógeno.
- Hub's existentes que reducen el impacto ambiental de futuros nuevos proyectos.
- Empresas de la Región cuentan con planes de descarbonización como, por ejemplo, CMPC, Masisa y Arauco del sector forestal y celulosa.
- ENAP tiene la intención de convertirse en productor de eFuels.
- Plan Regional de Ordenamiento Territorial: orienta al desarrollo de la Región para lograr un desarrollo sostenible.
- Ser el primer Hub industrial en Latinoamérica en utilizar hidrógeno verde y derivados como feedstock, para calor y movilidad.
- Puertos que complementan Hub's.
- Ser una Región energéticamente independiente y cero emisiones.



Debilidades

Se identifican aspectos que pueden obstaculizar el desarrollo de la industria del H₂V y derivados y su adopción, pero que pueden ser abordados. La falta de experiencia en la producción de metanol es una debilidad, pero se puede trabajar mediante programas de formación y capacitación, por ejemplo.

- Los recursos renovables no necesariamente están solapados con los polos industriales.
- La Región no tiene experiencia en la producción de metanol.
- El sector transporte de carga requiere involucrar muchos actores para la adopción de tecnologías cero emisiones (el generador de carga + el operador + el transportista).
- No hay HRS disponibles que apalanquen el uso de camiones.
- Sector industrial con bajo crecimiento, a excepción del Proyecto MAPA.
- Proyectos existentes que están generando problemas con las comunidades, proyectos de generación eólica, por ejemplo.
- Falta de infraestructura de transporte de H₂ (pipelines).
- Autoridades con periodo de gobierno limitado dificulta la continuidad de iniciativas.
- Los mercados objetivos de la Región son commodities, factor precio es muy relevante.
- La toma de decisiones de las empresas está centralizada en otros territorios (Región Metropolitana).
- Falta de instrumentos que incentiven la demanda local.
- LCOH menos competitivo que el de Antofagasta y Magallanes, para exportación.
- Disponibilidad de tecnologías en tiempos oportunos en la Región.

Amenazas

El desarrollo de la industria del H₂V en la Región del Biobío se puede ver amenazada por distintos factores que no están relacionados con la potencial demanda ni la intención de las empresas que se encuentran en la Región. Por ejemplo, la opción de exportar el CO₂ biogénico a otras regiones, la resistencia de distintos sectores al desarrollo de proyectos, los costos de inversión asociados y la disponibilidad de recursos necesarios para la producción de hidrógeno mediante electrólisis, como el agua, son algunos de ellos.

- Exportación de CO₂ biogénico a otras regiones para producir metanol y eFuels.
- Riesgos climáticos que impacten la infraestructura clave (puertos, pipelines, otros).
- Resistencia ciudadana a proyectos de gran escala industrial.
- Falta de compromiso público/privado que dé continuidad a iniciativas.
- Falta de regulación (regional y nacional).



- Fondos regionales sean asignados a otras iniciativas.
- Priorización de otros puertos para habilitar iniciativas green shipping.
- Que no esté la tecnología a hidrógeno para el movimiento de carga a tiempo y gane la electrificación.
- No disponibilidad de derechos de agua.
- Costos de inversión elevados asociados a los cambios tecnológicos.
- Demanda escasa de productos premium.
- Conflictos territoriales con comunidades indígenas.
- Falta de coordinación y cooperación entre entidades educativas.
- Priorización de otras iniciativas por urgencias a nivel territorial.

2.9. Brechas de competitividad

A partir del diagnóstico anterior, se identificaron brechas en torno a 6 ejes estratégicos:

■ **Gobernanza, acuerdos y alianzas público-privadas, financiamiento**

En este eje, se agrupan las brechas que se relacionan con la falta de organismos, alianzas y otras figuras, que se encarguen de articular el desarrollo de la industria y adopción del hidrógeno, buscando colaboración entre actores. Además, se encuentran las brechas de falta de instrumentos de financiamiento que limitan el desarrollo de proyectos, debido a la falta de capital o liquidez de los desarrolladores, entre otros aspectos.

■ **Desarrollo social, económico y ambiental de la comunidad**

En el eje de desarrollo sostenible (social, económico y ambiental), se abarcan brechas que se relacionan con la perspectiva que las comunidades tienen frente a las distintas tipologías de proyectos que contempla la cadena de valor del hidrógeno, junto con brechas para el desarrollo económico de la Región.

■ **Capital humano, investigación, desarrollo e innovación**

En este eje, se agrupan las brechas que abarcan la falta de formación y capacitación de los profesionales, técnicos y el personal en general que se va a relacionar con la industria del hidrógeno en la Región. Además, abarca las brechas que limitan el desarrollo de conocimiento técnico en la Región, en conjunto con los numerosos establecimientos de educación superior existentes en el territorio.

■ **Infraestructura habilitante y producción de H₂**

En el eje estratégico de infraestructura habilitante y producción de hidrógeno, se agrupan las brechas que se relacionan con la falta de infraestructura que permiten tanto el desarrollo de la industria y producción de hidrógeno, como la adopción del hidrógeno en distintas aplicaciones e industrias y la competitividad frente a las alternativas convencionales.



■ **Estandarización, normativa y regulación**

En este eje estratégico, se albergan todas las brechas en términos de regulación y estandarización del hidrógeno. Dentro de éstas, se encuentra la falta de definiciones respecto al hidrógeno y su manejo, los extensos plazos de evaluación del SEA y la falta de instrumentos que incentiven/mandaten la migración a combustibles más limpios, entre otros.

■ **Generación de demanda local**

En este eje, se agrupan las brechas que se deben cerrar para que en la Región del Biobío exista demanda de hidrógeno y ésta se pueda suplir, que están relacionadas con la cadena de valor del hidrógeno. Dentro de ellas, se encuentra la disponibilidad de tecnologías y recursos para la producción.





3. Construcción de la Hoja de Ruta

3.1. Visión compartida

La visión del Programa se construyó en forma participativa y representativa del territorio. El taller se realizó el 2 de noviembre de 2023 en la Universidad Católica de la Santísima Concepción (**Figura 13**). Tuvo una duración de 3 horas y contó con una participación de 32 asistentes vinculados a distintos sectores de la industria, la academia, asociaciones, gremios y sector público. El resultado del proceso fue el siguiente:

Convertir a la Región del Biobío en un **polo de descarbonización industrial** mediante la **introducción de hidrógeno verde y derivados** junto con la **transformación de sus procesos productivos y cadena logística**, priorizando la **competitividad**, creación de **valor local** y el **desarrollo sostenible** de la Región.

Para esto, buscaremos dinamizar y fortalecer la **colaboración** entre el sector público, privado y la academia, promoviendo el **desarrollo tecnológico local**, la **innovación** y la formación de **capital humano**, potenciando una **transición energética** en armonía con las **comunidades, el medio ambiente y el territorio**.



Taller N°1:
Visión estratégica y brechas

Participantes

43 inscritos

32 asistentes

66%

34%

Industria



Academia



Asociación/Gremio



Sector Público



Figura 13: Taller 1 construcción de Hoja de Ruta, Visión compartida

Fuente: Elaboración propia

Se tomaron aquellas ideas principales de lo levantado en el taller. En base a eso y a lo construido en la visión se construyeron 7 objetivos estratégicos y se establecieron metas en distintos horizontes de tiempo.



OBJETIVO	META
<p>1 Descarbonización los sectores productivos y aplicaciones priorizadas mediante la adopción competitiva de hidrógeno verde y derivados producido de forma local.</p>	<p>Alcanzar una adopción de 34.000 ton/año de hidrógeno verde producido de forma local en industrias y aplicaciones priorizadas al 2035.</p>
<p>2 Implementar proyectos de producción de hidrógeno verde en la región y su infraestructura habilitante para proveer la demanda local de la matriz productiva de la región.</p>	<p>Alcanzar una capacidad instalada de electrólisis de 300 MW a 2035 para abastecer la demanda local.</p>
<p>3 Desarrollar nuevos proyectos de generación renovable en la región, aprovechando el recurso eólico local, para la producción de hidrógeno verde y derivados que abastezca la demanda local de la región.</p>	<p>Alcanzar una capacidad instalada y en operación de proyectos nuevos de energía renovable de 800 MW a 2035.</p>
<p>4 Desarrollar competencias técnicas y profesionales que permitan capacitar y entregar oportunidades de empleo a los habitantes de la región a partir del desarrollo de la energía renovable y de la industria del hidrógeno verde a lo largo su cadena de valor.</p>	<p>Generar 4.000 empleos a 2035 en la región del Biobío producto del desarrollo de esta industria y habilitar la formación y capacitación de estos perfiles.</p>
<p>5 Posicionarse como el principal proveedor nacional de CO2 biogénico para la producción de e-metanol y e-Fuels a partir de la captura del dióxido de carbono emitido por la industria forestal y celulosa local.</p>	<p>Alcanzar la captura, la venta y uso del 25% de CO2 biogénico emitido en la región al 2035.</p>
<p>6 Desarrollar alianzas estratégicas para desarrollar e implementar soluciones innovadoras que mantengan competitiva a la matriz productiva regional y su cadena logística, estimulando la inversión en I+D+i.</p>	<p>Atraer socios tecnológicos nacionales e internacionales a todas las industrias y aplicaciones priorizadas al 2027.</p>
<p>7 Desarrollar programas de educación y sensibilización regional dirigido al nivel ciudadano y partes interesadas, sobre la importancia del desarrollo del hidrógeno verde para la descarbonización de la matriz productiva de la región del Biobío.</p>	<p>Tener diseñado el programa regional y empezando su primera fase de implementación al 2025.</p>



3.1. Construcción Hoja de Ruta

Para levantar líneas de acción que respondan a las brechas críticas para el desarrollo de la industria de H₂V en la Región del Biobío, se implementó un proceso de priorización para capturar la percepción de los actores de la Región. Este proceso participativo y estructurado tiene el fin de asegurar que las brechas identificadas reflejen las preocupaciones y prioridades colectivas, contribuyendo a la formulación de estrategias específicas para abordar los desafíos en el desarrollo de la industria de H₂V en la Región del Biobío (Figura 14).



Figura 14: Proceso de identificación, priorización y validación de brechas

Fuente: Inicio (2023)

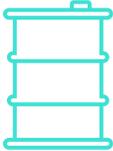
Eje estratégico	Brecha
 1. Gobernanza	1. Falta de continuidad de planes e iniciativas debido a alta rotación de cargos políticos de tomadores de decisión (discontinuidad).
	2. Falta de alineación de iniciativas regionales articuladas con políticas nacionales ambientales, mediante gobernanzas sectoriales complementarias.
	3. Baja efectividad en la coordinación entre actores y tomadores de decisión, con roles y responsabilidades claras, sobre todo entre entidades e instituciones a nivel central y regional/local.
	4. Escasa disponibilidad de recursos económicos e inversión para el desarrollo de la industria de hidrógeno verde en la región, desde las empresas y sector público, para promover proyectos piloto.
	5. Falta de posicionamiento de la región como un Hub caracterizado por sus ventajas comparativas para la producción y uso de hidrógeno.



Eje estratégico	Brecha
 <p data-bbox="337 583 561 678">2. Desarrollo social, económico y ambiental</p>	<ol data-bbox="589 323 1388 714" style="list-style-type: none"> 1. Falta de pilotos para demostrar beneficios a las comunidades y escasez de difusión y oportunidades de formación para la ciudadanía respecto a la industria Power-to-X. 2. Exceso de expectativas en las comunidades respecto a compromisos y compensaciones en nuevos proyectos, así como el desajuste entre las expectativas y la realidad en cuanto a los beneficios directos que genera el desarrollo de esta industria para la ciudadanía. 3. Falta de políticas para una distribución equitativa de beneficios en territorios vinculados al desarrollo de nuevas actividades, la carencia de un plan estratégico a largo plazo que refleje la visión regional para el hidrógeno.

Eje estratégico	Brecha
 <p data-bbox="342 1163 553 1289">3. Capital humano, ciencia, tecnología e innovación</p>	<ol data-bbox="589 833 1388 1400" style="list-style-type: none"> 1. Desaprovechamiento de oportunidades de vinculación y colaboración entre la academia y el sector industrial, limitando el intercambio de conocimientos y la búsqueda conjunta de soluciones. 2. Falta de compatibilidad tecnológica en la incorporación de hidrógeno en procesos industriales, lo cual implica un cambio tecnológico en su adopción. 3. Falta de apoyo para la implementación de programas piloto en instituciones educativas, incluyendo laboratorios dedicados a I+D+i en H2V, y falta de experiencias prácticas que impliquen el uso de tecnología de H₂V. 4. Falta de currículos y certificaciones específicas en torno al H₂V para la formación de profesionales, a nivel técnico y universitario, para las distintas partes de la cadena de valor del hidrógeno verde. 5. Falta de personal capacitado y certificado para la operación y mantenimiento de las tecnologías de H₂V.



Eje estratégico	Brecha
 <p>4. Infraestructura habilitante y producción de H₂V</p>	1. Falta de soluciones tecnológicas competitivas para el almacenamiento y transporte de hidrógeno verde y sus derivados.
	2. Falta de planificación de desarrollo de infraestructura compartida con enfoque territorial (desarrollo de HRS o pipelines).
	3. Falta de una estrategia clara para promover el desarrollo de infraestructura común y habilitante para la producción y uso de hidrógeno en el Biobío.
	4. Adaptación tecnológica para incorporar nuevos procesos.
	5. Incertidumbre sobre la disponibilidad oportuna de tecnología de hidrógeno necesarios para la materialización de los proyectos.

Eje estratégico	Brecha
 <p>5. Regulaciones, permisos y estandarización</p>	1. Falta de agilidad en revisión y aprobación de permisos ambientales.
	2. Falta de definiciones y clasificación del hidrógeno y sus derivados para su manejo.
	3. Falta de estandarización de tecnologías utilizadas en proyectos de hidrógeno, lo que puede dificultar la interoperabilidad y la optimización de los sistemas.
	4. Falta de incentivos a través de mecanismos que promuevan o mandaten la migración hacia alternativas limpias y al uso de combustibles limpios para la descarbonización.

Eje estratégico	Brecha
 <p>6. Generación de demanda local</p>	1. Incertidumbre sobre la disponibilidad oportuna de tecnología de hidrógeno (consumo /aplicación)) necesarios para la materialización de los proyectos.
	2. Falta de prioridad en la incorporación del hidrógeno verde en las operaciones del sector productivo.
	3. Baja competitividad (costos) de las alternativas cero emisiones, como el hidrógeno, sus derivados y los combustibles sintéticos, respecto a lo utilizado actualmente.
	4. Falta de supply (H ₂ y derivados) a tiempo.



Un segundo taller participativo se llevó a cabo para levantar el Plan Estratégico, cuyo objetivo fue generar iniciativas que dieran respuesta a las brechas identificadas y priorizadas para cada eje y sub-eje en el corto, mediano y largo plazo, que permitieran el alcance de los objetivos planteados. Éste se realizó el 14 de noviembre de 2023, en la Universidad de Concepción (**Figura 15**).



Figura 15: Taller 2 construcción de Hoja de Ruta, Plan estratégico
Fuente: Elaboración propia

Con el fin de orientar la toma de acciones y llevar a cabo las iniciativas levantadas y priorizadas, se desarrolló el Taller 3: Plan Táctico. Éste se realizó el 23 de noviembre de 2023, en la Universidad de Católica de la Santísima Concepción (**Figura 16**).



Taller N°3:
Plan táctico

Participantes

52 Inscritos

35 Asistentes

83%

17%

Industria



Academia



Asociación/Gremio



Sector Público



23 de noviembre del 2023

H2V BIOBÍO

Figura 16: Taller 3 construcción de Hoja de Ruta, Plan táctico

Fuente: Elaboración propia



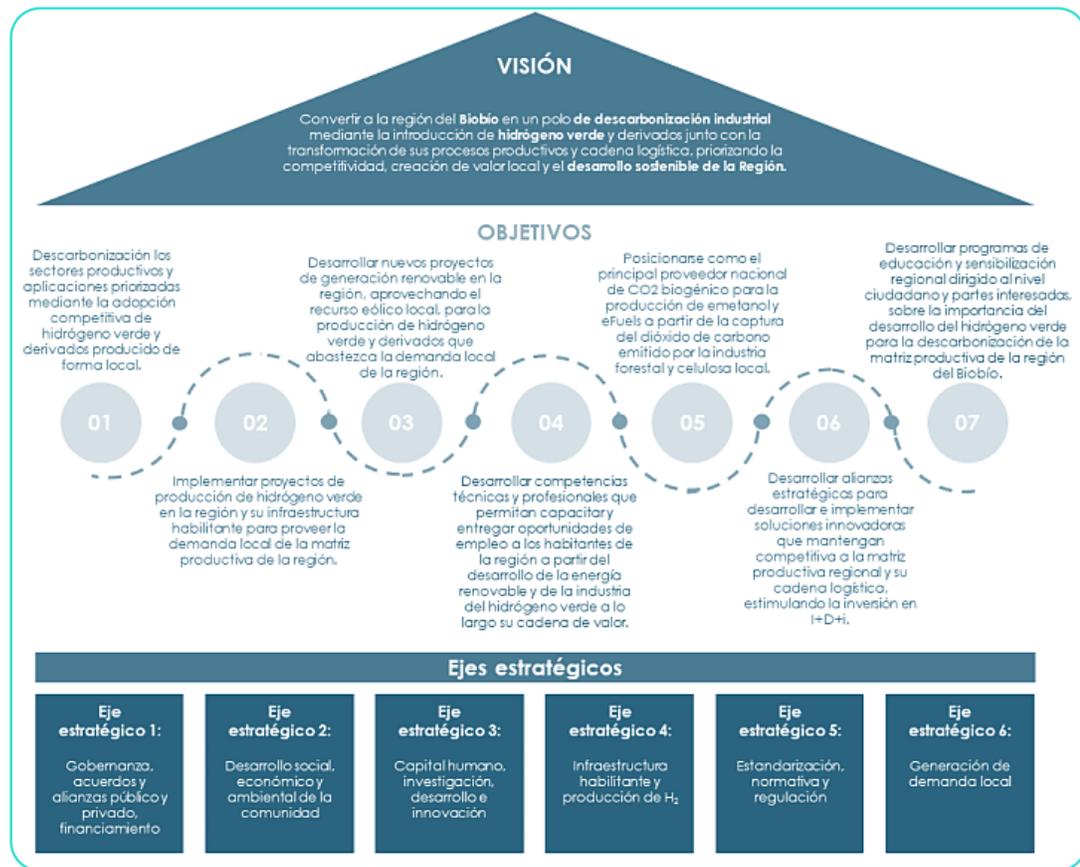


Figura 17: Esquema general de construcción de la Hoja de Ruta H2V Biobío
 Fuente: Inicio (2023)

3.2. Resultados de la Hoja de Ruta

La Figura 18 muestra los ámbitos de acción en los cuales pueden agruparse todas las iniciativas levantadas en la Hoja de Ruta y que se resumen en 3:

- **Gobernanza y articulación:** agrupa las iniciativas relacionadas con mantener a los actores clave articulados en torno a un modelo de Gobernanza bien estructurado, que pueda guiar estratégicamente la visión del Programa, desarrollar las mesas técnicas para abordar las brechas específicas y construir las redes de colaboración necesarias con los distintos niveles de vinculación nacional e internacional.
- **Posicionamiento:** considera las iniciativas que buscan posicionar, a nivel nacional e internacional, a la Región de Biobío como un hub de uso y/o producción de H₂V y derivados, de forma de atraer las inversiones necesarias y poder concretar los casos de negocio



identificados. Junto con lo anterior, mantener una correcta comunicación con los distintos públicos de interés y dar a conocer los avances del Programa.

- **Hoja de Ruta:** Contiene las acciones asociadas con las metas del Programa propiamente tal, contenidas en la Hoja de Ruta en la forma de acciones que buscan desarrollar la industria del H₂V y derivados en la Región del Biobío.

Como resultado del proceso, se obtuvieron 32 iniciativas, cada una con un plan de acción y plazos de ejecución. La **Figura 19** resume los resultados obtenidos.

Enseguida, se muestran las iniciativas que mejor reflejan el potencial de desarrollo del H₂V y derivados en la Región del Biobío.

Gobernanza y articulación	Orgánica de la Gobernanza, mesas técnicas y actualización de Hoja de Ruta.
	Articulación y alianzas estratégicas: Gobierno Nacional, Gobierno Regional, gremios, otros.
Posicionamiento	Potencial de la Región para convertirse en un hub de uso y/o producción de H₂V y derivados.
	Comunicar los avances de la Región a las distintas instancias de la ciudadanía.
Hoja de Ruta	Estudios relevantes para la definición de escenarios y toma de decisiones de la Hoja de Ruta.
	Iniciativas de inversión.
	Formación y educación.

Figura 18: Síntesis de la Hoja de Ruta H2V Biobío

Fuente: Elaboración propia



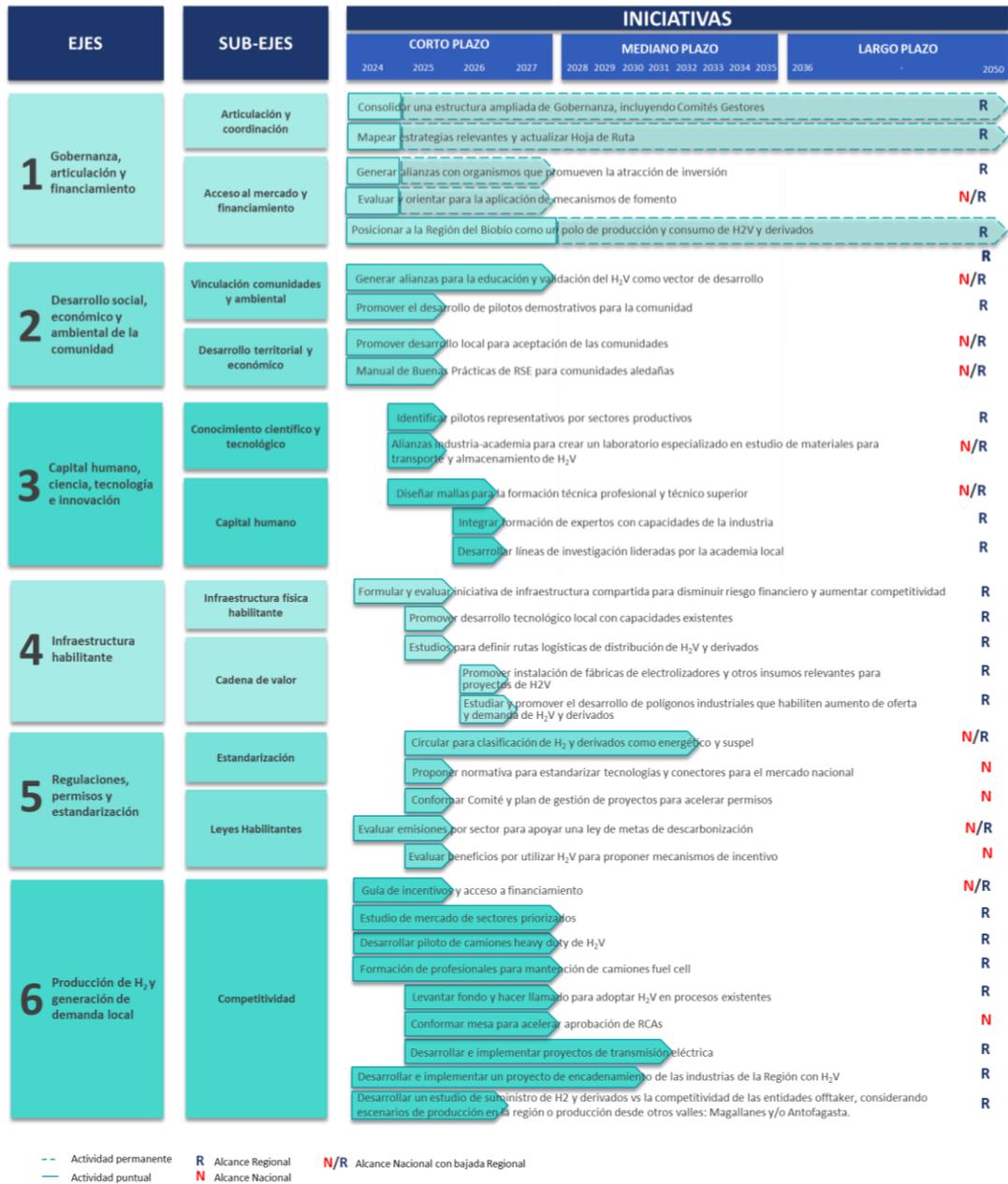


Figura 19: Síntesis de la Hoja de Ruta H2V Biobío

Fuente: Elaboración propia



ESTUDIOS PARA LA TOMA DE DECISIONES**Casos de negocio**

Desarrollar estudios de prefactibilidad para evaluar el aprovechamiento de los encadenamientos productivos, potenciar la formación de demanda agregada y los incentivos de los mercados, con el fin de obtener una cartera de casos de negocio.

**Rutas logísticas**

Buscar rutas logísticas óptimas para el transporte de H₂V y derivados desde los puntos de producción o llegada, hasta los puntos de consumo industrial, considerando infraestructura existente y aristas sociales y ambientales.

**Escenarios de suministro**

Evaluar los distintos escenarios de suministro de H₂V y derivados, considerando producción local o cabotaje desde los valles de Antofagasta y Magallanes.

INICIATIVAS DE FORMACIÓN**Diseñar mallas para la formación técnica profesional, técnico superior y liceos técnicos**

- Evaluar demanda de profesionales para campos identificados
- Intervenir mallas para el desarrollo de profesionales
- Implementar nuevas carreras
- Diplomados y cursos especializados
- Integrar personal ya calificado en los programas de capacitación
- Pasantías en instituciones extranjeras

**Formación de profesionales para mantención de camiones fuel cell**

- Creación de consorcio/MoU
- Modificación de malla
- Habilitación de taller mecánico
- Cursos formativos



INICIATIVAS DE INVERSIÓN



Adoptar H₂V en procesos existentes

- Construir fondo y llamado a participar
- Abrir proceso a empresas interesadas
- Hacer las inversiones para adaptar procesos existentes
- Operación durante, al menos, 6 meses
- Estudio huella de carbono y esquema de certificación
- Auditoría y certificación de hidrógeno verde producido

Piloto de camiones heavy duty de H₂V

- Crear un consorcio / MoU
- Estudio de prefactibilidad para definir configuración
- Ingeniería básica
- Implementación

Proyecto de encadenamiento industrial con H₂V

- Crear un consorcio / MoU.
- Estudio de prefactibilidad para definir configuración.
- Definición demanda, Ingeniería conceptual, línea base y presentación al SEA.
- Obtención de financiamiento, ingeniería básica, licitación y adjudicación de EPC, obtener RCA.
- Implementación

Promover el desarrollo de equipos a partir de las capacidades e industrias existentes en la Región

- Identificar equipos/procesos factibles de cubrir con producción local.
- Identificar fabricantes originales de tecnología (electrolizadores, turbinas eólicas, etc.) con interés de instalar fábricas en Chile.
- Caracterizar capacidades existentes en la Región.
- Identificar potencial de especialización de profesionales en la Región.
- Establecer estrategia para atraer la llegada de capital extranjero.
- Explorar ubicaciones estratégicas donde podrían instalarse las fábricas.





4. Conclusiones

La Región del Biobío tiene ventajas competitivas que permiten proyectarla como un cluster de uso y/o producción de hidrógeno verde y derivados como el metanol y los combustibles sintéticos. El mejor escenario de suministro debe aún evaluarse, en virtud de variables técnicas, económicas, sociales y ambientales. Si bien las Regiones de Antofagasta y Magallanes pueden producir H_2V a menor costo, también es cierto que tienen serias brechas de infraestructura, además de las dificultades propias del transporte de hidrógeno a largas distancias.

En cambio, la Región de Biobío tiene una industria madura que puede hacer una transición rápida hacia la introducción, al menos parcial en el corto plazo, de H_2V . La industria del Biobío cuenta con plantas industriales de producción de hidrógeno por reformado de metano y por electrólisis de agua y salmuera, además de ser el consumidor casi exclusivo de metanol, por lo cual no se requerirá hacer grandes transformaciones para tener resultados tempranos. Es el caso de la industria química y de refinería.

En el sector logístico existe también un potencial importante. El transporte fuera de ruta y de carga pesada han demostrado ser alternativas viables de ser transformadas a H_2V . Por lo tanto, la transferencia tecnológica puede ser rápida para el sector forestal y los puertos.

Otra característica importante de la Región del Biobío es su capacidad de formar profesionales que se insertan rápidamente en la industria. Los centros tecnológicos tienen capacidad de escalar procesos para la industria y de reconvertirse hacia nuevas tecnologías. Biobío puede



convertirse en el primer hub en Latinoamérica en utilizar H₂V y derivados como feedstock, para calor y movilidad.

Esta situación ofrece la oportunidad para la Región de transitar desde una matriz productiva asociada históricamente con el uso de materia fósil (como insumo de producción o como energético) hacia una industria descarbonizada, con productos que contengan un atributo ambiental significativo.

En lo particular, surgen nuevos modelos de negocio y productos de mayor valor agregado, asociados, por ejemplo, a la producción de acero verde o de otros productos/servicios con el atributo “verde”, como cemento, vidrio, combustibles sintéticos sustentables, plásticos y resinas, productos químicos, transporte de carga pesada o transporte fuera de ruta.

Esta reconversión y modernización no sólo abre posibilidades de mercado a la industria, sino que la hace competitiva frente a otros actores internacionales con los cuales resulta extremadamente difícil competir en costos. Como consecuencia, se rescata a la industria local de las amenazas externas, se conservan y crean puestos de trabajo, se dinamizan los servicios asociados, se ofrecen nuevas posibilidades a la formación de capital humano avanzado y la I+D+i por parte de la academia.

Para poder capturar ese valor agregado por sofisticación, será clave aprovechar los activos sectoriales que tiene la Región y que la hacen competitiva para convertirse en un hub de hidrógeno de referencia para Chile y el mundo. La presencia de polos industriales permitirá consolidar una demanda local concentrada, potenciar encadenamientos productivos existentes, aprovechar infraestructura compartida y hacer escalamiento progresivo de procesos con el fin de disminuir costos de producción. La disminución de costos de producción de H₂V es la clave para hacer competitiva esta industria.

Además, la amplia oferta académica, fuertemente vinculada con la industria local y nacional, permitirá apoyar el desarrollo de la industria del hidrógeno verde desde los desafíos de I+D+i que implica la adaptación de estas nuevas tecnologías a la realidad productiva local, hacer frente a los desafíos tecnológicos que aún están en desarrollo y preparar a los futuros especialistas de esta nueva industria.

Otro aspecto que ha caracterizado históricamente a la Región del Biobío es su capacidad de asociatividad. La articulación de los actores clave del ecosistema será crucial para que la industria del hidrógeno pueda desarrollarse en un esfuerzo conjunto coordinado, con sentido táctico y estratégico, en línea con las políticas y estrategias nacionales y de cara a los desafíos que plantea el mundo.





H2V BIOBÍO



www.h2vbiobio.cl

  @h2vbiobio