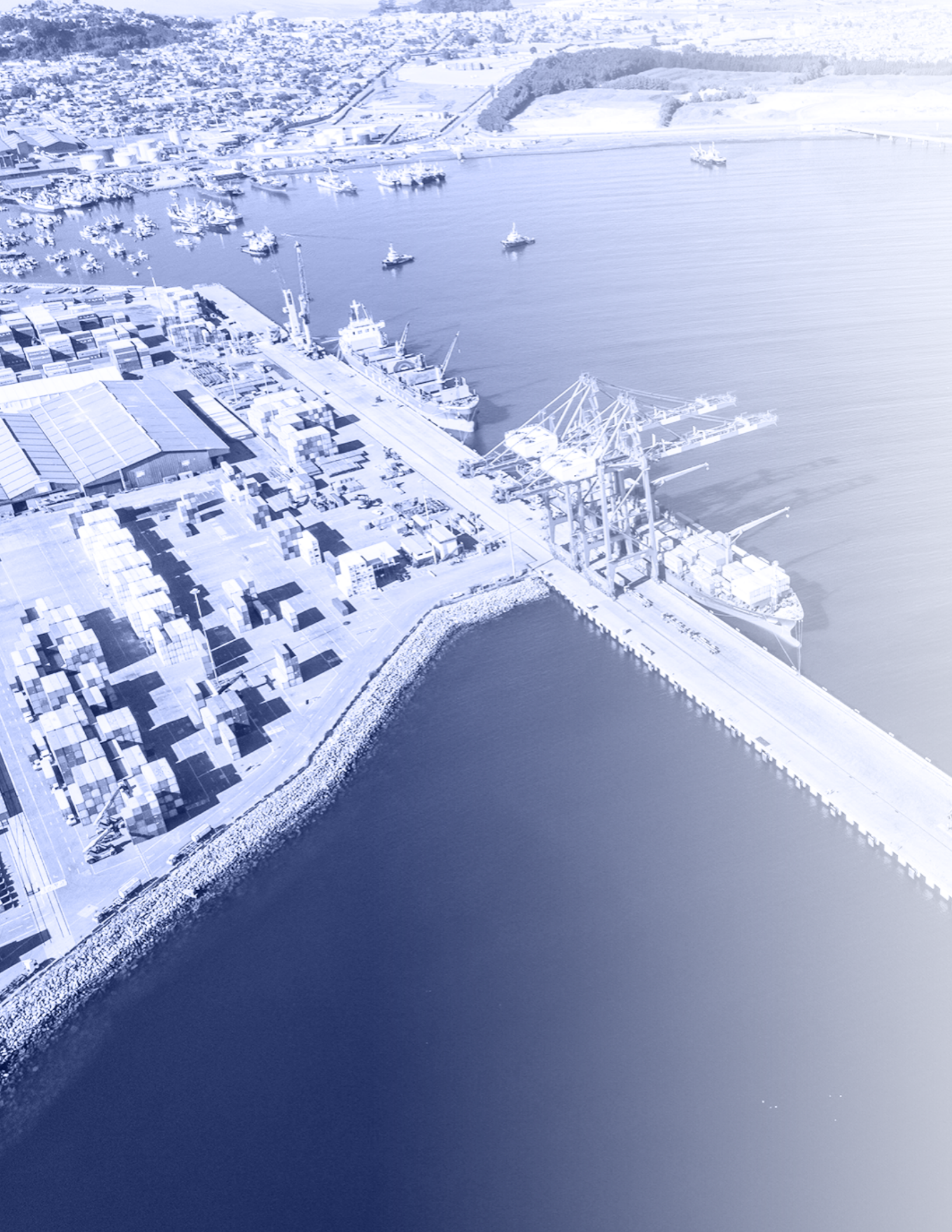




HOJA DE RUTA

PROGRAMA ESTRATÉGICO REGIONAL DE
TRANSICIÓN ENERGÉTICA E HIDRÓGENO
DEL BIOBÍO

2026 - 2050



SOBRE ESTE DOCUMENTO

Esta Hoja de Ruta 2026–2050 fue desarrollada por el Programa Estratégico Regional de Transición Energética e Hidrógeno del Biobío, iniciativa de articulación público-privada impulsada por Corfo, perteneciente a la línea Transforma y financiada por el Comité de Desarrollo Productivo Regional del Biobío, Corfo Biobío.

La Hoja de Ruta constituye el principal instrumento de planificación estratégica del Programa y orienta la implementación de iniciativas destinadas a fortalecer la transición energética, el desarrollo del hidrógeno sostenible y sus derivados, la competitividad regional y la descarbonización de los sectores productivos del Biobío durante el período 2026–2050.

Documento publicado en agosto de 2026.

INICIATIVA IMPULSADA Y FINANCIADA POR



CONTENIDOS

1. RESUMEN EJECUTIVO	10
1.1. Síntesis de la Hoja de Ruta actualizada	11
1.2. Principales cambios respecto a la versión anterior	11
1.3. Rol del Biobío en la transición energética	12
1.4. Principales iniciativas 2026 - 2050	12
2. CONTEXTO ESTRATÉGICO Y JUSTIFICACIÓN DE LA ACTUALIZACIÓN	14
2.1. Contexto global y nacional	15
2.1.1 Transición energética y descarbonización	15
2.1.2 Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde	16
2.1.3 Exigencias de mercado y regulación	17
2.2. Evolución del contexto y necesidad de actualización	18
2.2.1 Cambios en la competitividad del hidrógeno al 2026	18
2.2.2 Nuevas señales de demanda	18
2.2.3 Ajustes en el enfoque tecnológico	19
2.3. Aprendizajes del Programa 2023-2026	20
2.3.1 Aprendizajes de talleres y procesos participativos	20
2.3.2 Aprendizajes en gobernanza	20
3. DIAGNÓSTICO Y ROL ESTRATÉGICO DE LA REGIÓN DEL BIOBÍO	21
3.1. Base industrial como habilitador de demanda	22
3.2. Infraestructura logística, energética y portuaria	23
3.3. Capital humano, ciencia, tecnología e innovación	25
3.4. Síntesis: Plataforma industrial integrada del Biobío	26
4. OPORTUNIDADES DE TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SECTORES IDENTIFICADOS EN BIOBÍO	27
4.1. Activos y rutas transversales	28
4.1.1 CO ₂ Biogénico como activo estratégico diferencial	28
4.1.2 Derivados del hidrógeno y combustibles sostenibles	29
4.1.3 Energías renovables regionales	30
4.1.4 Otras rutas de descarbonización	30
4.1.5 Anillos industriales como modelo de articulación regional	31
4.2. Sectores industriales priorizados	33
4.2.1 Refinería	34
4.2.2 Química	36
4.2.3 Forestal	38
4.2.4 Ingeniería y Metalmecánico	40
4.2.5 Portuario	42
4.2.6 Transporte	46
4.2.7 Cemento	48
4.2.8 Aeropuerto y aviación	49
4.2.9 Pesca	50

CONTENIDOS

5. CONSTRUCCIÓN DE LA HOJA DE RUTA	52
5.1. Evolución del enfoque estratégico del programa	53
5.2. Metodología de trabajo	54
6. PROPÓSITO, OBJETIVOS Y FOCOS DEL PROGRAMA 2026 - 2050	58
6.1. Propósito estratégico	59
6.2. Visión del programa	59
6.3. Focos estratégicos del programa	60
6.4. Objetivos estratégicos	60
7. EJES ESTRATÉGICOS	61
8. BRECHAS	63
8.1. Gobernanza	64
8.2. Desarrollo territorial, social y ambiental	65
8.3. Capital humano, tecnología e innovación	65
8.4. Infraestructura habilitante y desarrollo industrial	66
8.5. Demanda	67
8.6. Competitividad y modelo económico	67
9. INICIATIVAS	69
9.1. Demanda y mercados	73
9.2. Modelos de negocio y financiamiento	76
9.3. Conocimiento y ecosistema	78
9.4. Pipeline regional de proyectos	81
10. CONCLUSIÓN	83
11. BIBLIOGRAFÍA	85

GLOSARIO

MARCOS REGULATORIOS INTERNACIONALES

- **CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism / Mecanismo de Ajuste en Frontera por Carbono):** regulación de la Unión Europea que aplica un costo a productos importados según las emisiones de CO₂ generadas en su producción. Cubre sectores como acero, aluminio, fertilizantes, cemento, hidrógeno y electricidad.
- **CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation):** esquema de compensación y reducción de emisiones para la aviación internacional, establecido por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).
- **Fit for 55:** paquete legislativo de la Unión Europea aprobado en 2021 que articula un conjunto de propuestas regulatorias para reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero en al menos un 55% al año 2030 respecto a los niveles de 1990. Incluye, entre otros, CBAM, RED III, FuelEU Maritime y ReFuelEU Aviation.
- **FuelEU Maritime:** regulación europea que obliga a reducir progresivamente la intensidad de gases de efecto invernadero de los combustibles utilizados en el transporte marítimo, en aplicación desde 2025.
- **Ley Marco de Cambio Climático (Chile):** Ley 21.455 promulgada en Chile en 2022, que establece la meta de carbono neutralidad al año 2050 e instituye los instrumentos de gobernanza climática nacional, regional y sectorial.
- **Pacto Verde Europeo (European Green Deal):** estrategia política de la Unión Europea presentada en 2019, que establece el marco de acción para alcanzar la neutralidad climática europea al 2050. De este pacto derivan los paquetes legislativos posteriores (Fit for 55, RED III, CBAM, entre otros).
- **IMO (International Maritime Organization / Organización Marítima Internacional):** organismo especializado de las Naciones Unidas responsable de la regulación del transporte marítimo internacional, incluyendo aspectos ambientales.
- **ReFuelEU Aviation:** regulación europea que obliga a incorporar combustibles sostenibles de aviación (SAF) en proporciones crecientes desde 2025.
- **Reglamento Delegado (UE) 2023/1184:** norma europea que define las reglas técnicas para certificar combustibles renovables de origen no biológico (RFNBO).
- **RFNBO (Renewable Fuels of Non - Biological Origin / Combustibles Renovables de Origen No Biológico):** categoría regulatoria europea definida en el Reglamento Delegado (UE) 2023/1184. Establece criterios para que los combustibles producidos con hidrógeno renovable sean elegibles para mercados regulados.
- **RSB (Roundtable on Sustainable Biomaterials / Mesa Redonda de Biomateriales Sostenibles):** estándar internacional de certificación de sostenibilidad para biomateriales y combustibles, reconocido por la Unión Europea.

GLOSARIO

PRODUCTOS Y COMBUSTIBLES

- **UE — Unión Europea:** organización política y económica conformada por 27 países europeos, que establece marcos regulatorios comunes (como CBAM, FuelEU Maritime, Re-FuelEU Aviation y RED III) que afectan el comercio internacional de productos
- **Amoníaco verde:** compuesto químico (NH_3) producido a partir de hidrógeno sostenible y nitrógeno del aire, sin emisiones asociadas a combustibles fósiles. Se utiliza como combustible marítimo, fertilizante y vector de transporte de hidrógeno.
- **Biogás:** gas combustible obtenido por la descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno, utilizable para generación eléctrica, calor industrial y, una vez purificado, como combustible vehicular.
- **CO_2 biogénico:** dióxido de carbono que proviene de procesos biológicos (forestales, celulosa, biomasa), no de combustibles fósiles. Es elegible para producir e-combustibles certificables bajo RFNBO.
- **CO_2 fósil:** dióxido de carbono emitido por la combustión o el procesamiento de combustibles fósiles, que representa una adición neta de gases de efecto invernadero a la atmósfera, a diferencia del CO_2 biogénico proveniente de fuentes biológicas.
- **e-combustibles:** combustibles sintéticos producidos a partir de hidrógeno verde y CO_2 capturado (incluye e-metanol, e-DME, SAF).
- **e-DME (dimetil éter sintético):** combustible sintético utilizado en transporte pesado y aplicaciones industriales.
- **e-metanol:** metanol sintético producido a partir de hidrógeno verde y CO_2 capturado.
- **Hidrógeno bajo en carbono:** hidrógeno producido con baja intensidad de emisiones, incluyendo opciones con captura de carbono. Categoría intermedia entre gris y verde.
- **Hidrógeno gris:** hidrógeno producido a partir de gas natural, sin captura de emisiones. Es el hidrógeno convencional usado hoy en la industria.
- **Hidrógeno verde / sostenible:** hidrógeno producido a partir de electricidad renovable mediante electrólisis del agua, sin emisiones directas de CO_2 .
- **Methanol-to-Kerosene:** ruta tecnológica que convierte e-metanol en kerosén sintético utilizado como Combustible Sostenible de Aviación (SAF).
- **SAF (Sustainable Aviation Fuel):** combustible sostenible de aviación, alternativa baja en carbono al keroseno tradicional.
- **Subderivados:** productos derivados de los derivados del hidrógeno, que incorporan procesos adicionales de transformación. Por ejemplo, los Combustibles Sostenibles de Aviación (SAF) producidos a partir de e-metanol son subderivados del hidrógeno sostenible.

CONCEPTOS TÉCNICOS Y FINANCIEROS

- **Activos varados:** infraestructura o instalaciones que pierden su valor económico antes del fin de su vida útil debido a cambios regulatorios, tecnológicos o de mercado.

GLOSARIO

- **Bancabilidad:** capacidad de un proyecto para obtener financiamiento, en función de su perfil de riesgo, ingresos predecibles y demanda asegurada.
- **AMERB — Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos:** áreas marinas geográficamente delimitadas, asignadas a organizaciones de pescadores artesanales para el manejo sustentable de recursos bentónicos.
- **Blended finance:** combinación de financiamiento público y privado para reducir el riesgo de inversiones en proyectos de impacto.
- **Blending de hidrógeno:** mezcla de hidrógeno con gas natural en redes de gasoductos existentes, como forma de transición.
- **Bunkering:** abastecimiento de combustible a embarcaciones en puerto.
- **Cabotaje:** transporte marítimo de carga o pasajeros entre puertos de un mismo país.
- **CAPEX (Capital Expenditure):** inversión inicial requerida para construir o adquirir activos fijos (infraestructura, equipos, plantas).
- **Certificación por competencias:** proceso que verifica las habilidades adquiridas por una persona mediante evaluaciones prácticas estandarizadas, sin requerir necesariamente formación académica formal.
- **DRI (Direct Reduced Iron / Reducción Directa de Hierro):** proceso siderúrgico mediante el cual el mineral de hierro se reduce utilizando hidrógeno (o gas natural, en los procesos convencionales).
- **FID (Final Investment Decision / Decisión Final de Inversión):** momento en que un proyecto industrial confirma su ejecución y compromete el capital. Hito crítico en proyectos de gran escala.
- **Formación dual:** modelo educativo que combina instrucción teórica en aula con práctica laboral en empresa, alineando la formación con las necesidades reales de la industria.
- **HaaS (Hydrogen as a Service / Producción como servicio):** modelo de negocio en el que un productor de hidrógeno provee el insumo a un consumidor industrial mediante un contrato de suministro de largo plazo, sin que el consumidor tenga que invertir en producción propia.
- **HRS (Hydrogen Refueling Station / Estación de Recarga de Hidrógeno):** instalación que provee hidrógeno como combustible a vehículos terrestres y maquinaria, equivalente a una estación de servicio para combustibles convencionales.
- **I+D — Investigación y Desarrollo:** actividades sistemáticas orientadas a generar nuevo conocimiento aplicado a soluciones productivas concretas.
- **I+D+i — Investigación, Desarrollo e Innovación:** concepto ampliado que incluye, además de investigación y desarrollo, la innovación en productos, procesos o modelos de negocio.
- **Licencia social:** legitimidad y aceptación que la comunidad y los actores del territorio otorgan a un proyecto, condición clave para su viabilidad operativa.
- **MRV (Medición, Reporte y Verificación):** sistemas estandarizados para medir, reportar y verificar emisiones de gases de efecto invernadero. Condición de acceso a mercados regulados.
- **Offtake:** contrato de compra de largo plazo entre productor y comprador, que asegura la demanda futura de un producto y reduce riesgo financiero.

GLOSARIO

- **Offtake conjunto:** compromiso colectivo de compra de hidrógeno entre múltiples actores, que permite consolidar volúmenes de demanda suficientes para viabilizar proyectos de producción.
- **OPS (Onshore Power Supply) / SET (Suministro Eléctrico desde Tierra):** sistema de suministro eléctrico desde tierra a embarcaciones atracadas en puerto, que evita el uso de motores diésel mientras están en el muelle. Conocido internacionalmente como OPS por su sigla en inglés (Onshore Power Supply) y como SET en español.
- **Permisología:** conjunto de autorizaciones, evaluaciones y trámites regulatorios que requiere un proyecto industrial para operar legalmente.
- **Pesquerías pelágicas, demersales y bentónicas:** clasificación de las actividades pesqueras según el hábitat de las especies capturadas. Las pelágicas corresponden a especies que viven en aguas abiertas (sardina común, anchoveta, jurel); las demersales a especies asociadas al fondo marino (merluza, reineta); y las bentónicas a especies adheridas al fondo marino (mariscos, algas, crustáceos).
- **Pipeline de proyectos:** cartera de proyectos en distintas etapas de desarrollo (prefactibilidad, ingeniería conceptual, evaluación ambiental, construcción y operación) en un territorio o sector determinado.
- **PYME — Pequeña y Mediana Empresa:** categoría de empresas según tamaño, que en Chile incluye empresas con ventas anuales hasta 100.000 Unidades de Fomento (UF).
- **Scope 3:** emisiones indirectas de la cadena de valor de una empresa (proveedores, transporte, uso del producto). Es una de las categorías del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero.

- **SEN:** Sistema Eléctrico Nacional.

CONCEPTOS DEL PROGRAMA

- **Anclas estratégicas:** actores o proyectos que dan estabilidad y dirección al ecosistema regional.
- **Anillos industriales:** agrupaciones territoriales de empresas que comparten infraestructura, insumos o servicios.
- **Bancabilidad transversal:** aplicabilidad amplia de un proyecto en múltiples cadenas de valor, lo que mejora su perfil de financiamiento.
- **Demanda anclada:** demanda industrial pre-existente (no especulativa) que asegura el consumo de un producto.
- **Habilitador:** condición o activo que hace posible el desarrollo de un proyecto sin ser su factor diferenciador principal.
- **LATAM:** abreviación de Latinoamérica.
- **Plataforma compartida / consorcio de infraestructura:** modelo de desarrollo donde múltiples actores comparten activos para reducir costos individuales.
- **Transferencia intermodal:** cambio de modo de transporte (camión a tren, tren a barco) usando la misma unidad de carga, típicamente un contenedor.
- **Valor por MWh:** criterio de asignación que prioriza el uso del hidrógeno en aplicaciones donde aporta más valor estratégico por unidad de energía.



GLOSARIO

INSTITUCIONES PÚBLICAS CHILENAS

- **ANID — Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo:** organismo público chileno responsable de financiar y coordinar la investigación científica y tecnológica en Chile.
- **Consejo Zonal de Pesca:** instancia consultiva regional de la institucionalidad pesquera chilena, presidida por el Director Zonal de Pesca y compuesta por representantes del sector pesquero, autoridades regionales y organismos vinculados al sector.
- **CORFO — Corporación de Fomento de la Producción:** organismo público chileno encargado del fomento productivo, la innovación y el emprendimiento.
- **-GORE — Gobierno Regional:** órgano de gobierno regional en Chile, responsable de la administración superior de cada región.
- **MINVU — Ministerio de Vivienda y Urbanismo:** ministerio responsable de las políticas habitacionales y de planificación urbana en Chile.
- **MMA — Ministerio del Medio Ambiente:** ministerio chileno responsable de las políticas ambientales y la protección de los recursos naturales.
- **SEA — Servicio de Evaluación Ambiental:** servicio público chileno responsable de administrar el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).
- **SEREMI — Secretaría Regional Ministerial:** representación regional de un ministerio en cada región de Chile.

- **SUBPESCA — Subsecretaría de Pesca y Acuicultura:** organismo público chileno dependiente del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, responsable de proponer la política pesquera nacional, regular y fiscalizar la actividad pesquera y acuícola en Chile.

INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN REGIONAL

- **ERD — Estrategia Regional de Desarrollo:** instrumento de planificación que define los lineamientos estratégicos del desarrollo de una región en Chile.
- **PROT — Plan Regional de Ordenamiento Territorial:** instrumento de planificación que define el uso del territorio regional para distintas actividades productivas y sociales.



1 RESUMEN EJECUTIVO



RESUMEN EJECUTIVO

1.1 SÍNTESIS DE LA HOJA DE RUTA ACTUALIZADA

La presente Hoja de Ruta corresponde a la actualización 2026-2050 del Programa Estratégico Regional de Transición Energética e Hidrógeno del Biobío, orientado al desarrollo de energías renovables, hidrógeno sostenible y sus derivados en la región.

Esta versión actualiza el documento original de 2023, recogiendo los aprendizajes de tres años de implementación, los cambios en el contexto regulatorio nacional e internacional y la evolución del mercado del hidrógeno hacia una fase de materialización de proyectos.

La Hoja de Ruta se construye sobre tres elementos integradores: las energías renovables como base habilitante del sistema, el hidrógeno sostenible como vector de descarbonización para sectores industriales y de transporte, y sus derivados (amoníaco, metanol, combustibles sintéticos, otros) como aplicaciones estratégicas para sectores de difícil abatimiento.

El documento articula la visión, los objetivos estratégicos y las iniciativas que orientarán la acción público-privada del Programa H2 Biobío en el período 2026-2050, en coherencia con los compromisos nacionales de carbono neutralidad establecidos en la Ley Marco de Cambio Climático.

1.2 PRINCIPALES CAMBIOS RESPECTO A LA VERSIÓN ANTERIOR

La presente versión da continuidad al trabajo del Programa H2 Biobío desde 2023, incorporando los aprendizajes de su implementación y la evolución del contexto. Los principales ajustes son:

1. Alcance temático. Se integran de forma explícita las energías renovables, el hidrógeno sostenible, sus derivados y subderivados, en coherencia con la Actualización de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde 2026-2030 (Ministerio de Energía, 2026).

2. Enfoque de implementación. Se profundiza la dimensión operativa del programa, con mayor énfasis en la materialización de proyectos y la consolidación de condiciones habilitantes (regulación, infraestructura, demanda y comercialización).

3. Sectores identificados. Se incorporan los sectores pesca, ingeniería y metalmecánico, ampliando la base industrial articulada por el programa.

4. Análisis de demanda. Se suma una perspectiva de demanda nacional e internacional de productos vinculados al hidrógeno sostenible (servicios marítimos, insumos mineros, entre otros).

5. Rol articulador del Programa. Se refuerza la lógica del programa como coordinador del ecosistema regional, promoviendo la colaboración entre instituciones públicas, empresas, academia, gremios y comunidades.



1.3 ROL DEL BIOBÍO EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

A diferencia de las regiones de Antofagasta y Magallanes, cuya competitividad se sustenta en recursos solares y eólicos de muy alta calidad para la producción a gran escala con orientación exportadora, la Región del Biobío articula su rol en la transición energética desde una lógica complementaria: la combinación entre demanda industrial consolidada y potencial renovable propio que permite proyectar al menos un autoabastecimiento parcial (Programa H2V Biobío, 2023).

El Biobío concentra una base industrial diversificada con presencia de sectores intensivos en energía y emisiones (refinería, química, forestal, metalmecánico, portuario, transporte, cemento, pesquero, aeroportuario y aviación), que constituyen una demanda anclada para el hidrógeno sostenible y sus derivados. A esto se suma la disponibilidad de dióxido de carbono biogénico forestal, insumo elegible bajo el Reglamento Delegado UE 2023/1184 para la producción de Combustibles Renovables de Origen No Biológico (RFNBO).

El rol estratégico de la región se fundamenta en cuatro habilitadores claves: una base industrial consolidada que ofrece demanda concreta; una infraestructura logística y portuaria que conecta con mercados internacionales; un potencial renovable propio con foco en el recurso eólico local (Programa H2V Biobío, 2023); y un capital humano, científico y tecnológico desarrollado en torno a sus universidades, centros de investigación y empresas regionales.

1.4 PRINCIPALES INICIATIVAS

La Hoja de Ruta articula 13 iniciativas distribuidas en tres horizontes temporales, organizadas en torno a los cuatro objetivos estratégicos del Programa:

CORTO PLAZO (2026-2030)

5 INICIATIVAS:

1.1

Estudio de caracterización y dimensionamiento de la demanda regional, nacional e internacional de hidrógeno y derivados.

1.2

Programa de articulación con empresas clave para gatillar proyectos ancla en la región.

3.1

Programa de formación y habilitación para actores clave del ecosistema regional.

3.2

Construcción de una plataforma de conocimiento e información compartida del sector en la región.

4.1

Levantamiento, sistematización y visibilidad del pipeline regional de proyectos.



MEDIANO PLAZO
(2031-2039)
4 INICIATIVAS:**1.3**

Análisis de oportunidades de exportación y visibilidad de nuevos mercados de derivados desde el Biobío.

2.1

Desarrollo de modelos de negocio y estructuración de mecanismos de financiamiento para proyectos de la transición energética.

3.3

Programa transversal de relacionamiento territorial temprano y licencia social.

4.2

Programa de acompañamiento para mejorar la madurez de proyectos del pipeline.

LARGO PLAZO
(2040-2050)
4 INICIATIVAS:**2.2**

Articulación de la visión regional sobre transición energética.

2.3

Estudio prospectivo de estándares técnicos regionales para componentes y servicios de hidrógeno.

3.4

Programa de I+D y desarrollo de tecnología aplicada en hidrógeno y derivados.

4.3

Estudio prospectivo de infraestructura de transporte y almacenamiento de hidrógeno y derivados.

Cada iniciativa responde a brechas concretas identificadas durante el levantamiento territorial del programa y se vincula directamente con los Objetivos Estratégicos:

- Demanda y Mercados (OE1)
- Modelos de Negocio y Financiamiento (OE2)
- Conocimiento y Ecosistema (OE3)
- Pipeline Regional de Proyectos (OE4)



2

CONTEXTO ESTRATÉGICO Y JUSTIFICACIÓN DE LA ACTUALIZACIÓN

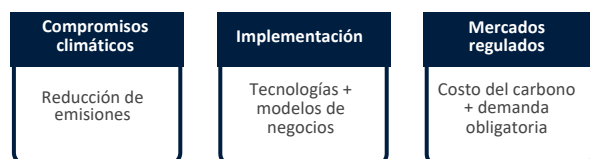


2.1

CONTEXTO GLOBAL Y NACIONAL

2.1.1 TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y DESCARBONIZACIÓN

La transición energética a nivel global ha experimentado un cambio sustantivo en su enfoque durante los últimos años, transitando desde una etapa inicial centrada en compromisos de reducción de emisiones hacia una fase orientada a la implementación efectiva de soluciones tecnológicas y modelos de negocio viables.



En este contexto, el hidrógeno sostenible y sus derivados se han posicionado como vectores estratégicos para la descarbonización de sectores de difícil abatimiento, tales como la industria pesada, el transporte marítimo y la aviación. No obstante, su desarrollo ya no se explica únicamente por objetivos climáticos, sino por la creciente incorporación de mecanismos regulatorios que internalizan el costo del carbono, transformando la reducción de emisiones en una variable económica relevante para la toma de decisiones.

En particular, economías como la Unión Europea han establecido marcos normativos que obligan progresivamente a la reducción de emisiones en sectores específicos, generando una demanda estructural por combustibles y productos bajos en carbono. Estos marcos se han consolidado a partir del Pacto Verde.

Europeo (European Green Deal, Comisión Europea, 2019) y del paquete legislativo Fit for 55 (Comisión Europea, 2021), materializados en la Ley Europea del Clima (Reglamento UE 2021/1119), que establece la meta vinculante de reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero en al menos un 55% al 2030 respecto a los niveles de 1990.

En materia específica de hidrógeno, la Directiva de Energías Renovables RED III (Directiva UE 2023/2413, en vigor desde el 20 de noviembre de 2023) y los Reglamentos Delegados UE 2023/1184 y 2023/1185 (en vigor desde el 10 de julio de 2023) definen los requisitos técnicos para que el hidrógeno y sus derivados califiquen como Combustibles Renovables de Origen No Biológico (RFNBO), incluyendo criterios de adicionalidad, correlación temporal y geográfica con la generación renovable, y una reducción mínima de emisiones de gases de efecto invernadero del 70%.

En este escenario, el hidrógeno sostenible deja de ser un objetivo en sí mismo, para constituirse como un insumo intermedio dentro de cadenas de valor más amplias, cuya viabilidad depende de su integración en mercados con demanda efectiva y condiciones comerciales definidas.



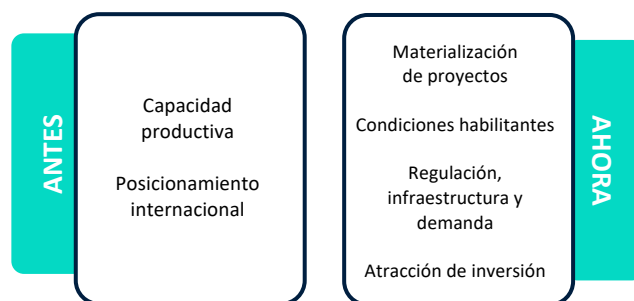
2.1.2 ESTRATEGIA NACIONAL DE HIDRÓGENO VERDE

A nivel nacional, Chile ha avanzado en la construcción de un marco estratégico y habilitante para el desarrollo de la industria del hidrógeno, a través de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, lanzada por el Ministerio de Energía en noviembre de 2020 (Ministerio de Energía, 2020), y de sus instrumentos asociados, los cuales se encuentran consolidados en el sitio institucional del Ministerio de Energía.

Entre estos destacan:

- El Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023-2030, que operacionaliza la Estrategia mediante acciones concretas en seis ejes, los cuales son: regulación, fomento productivo, infraestructura, capital humano, territorio y comunidades, y posicionamiento internacional.
- El Plan de Trabajo de Regulaciones Habilitantes para el Desarrollo de la Industria de Hidrógeno en Chile 2024-2030 (Ministerio de Energía, 2024), iniciativa interministerial que define el cronograma normativo para producción, almacenamiento, transporte y uso del hidrógeno, contemplando regulaciones a cargo de los Ministerios de Energía, Salud, Transporte y Minería.
- Instrumentos de fomento productivo de CORFO, orientados al financiamiento de proyectos de producción y aplicaciones industriales del hidrógeno.
- Líneas de cooperación con organismos multilaterales (Banco Mundial, Banco Interamericano de Desarrollo) para el desarrollo de la industria del hidrógeno en Chile.
- La Mesa Nacional de Hidrógeno Verde, instancia de gobernanza público-privada que articula al sector.

La evolución de este marco evidencia un cambio relevante de enfoque. Mientras que en su etapa inicial (2020) se priorizó el desarrollo de capacidades productivas, posicionamiento internacional y atracción de inversión, la Actualización de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde 2026-2030, lanzada por el Ministerio de Energía el 3 de marzo de 2026 (Ministerio de Energía, 2026), incorpora una orientación más pragmática, centrada en la materialización de proyectos y el desarrollo de condiciones habilitantes para su implementación.



En particular, se observa un énfasis en:

- El desarrollo de demanda interna como plataforma de aprendizaje y habilitación del escalamiento exportador.
- El fortalecimiento de marcos regulatorios, sistemas de certificación y contabilidad de emisiones.
- La consolidación de hubs industriales interregionales como base para el despliegue de proyectos.

Este cambio de enfoque reconoce que el principal desafío ya no radica en la disponibilidad de recursos o tecnologías, sino en la capacidad de articular condiciones de mercado, infraestructura y gobernanza que permitan viabilizar inversiones de manera efectiva.



2.1.3 EXIGENCIAS DE MERCADO Y REGULACIÓN

El entorno internacional en el que se inserta el desarrollo del hidrógeno sostenible y sus derivados está siendo configurado por un conjunto de exigencias regulatorias y comerciales que redefinen las condiciones de viabilidad económica de los proyectos.

En primer lugar, se observa la consolidación de una demanda regulada, particularmente en la Unión Europea. Instrumentos como el Reglamento sobre combustibles marítimos sostenibles (FuelEU Maritime, Reglamento UE 2023/1805), vigente desde 2025; el Reglamento sobre combustibles sostenibles de aviación (ReFuelEU Aviation, Reglamento UE 2023/2405), que obliga a incorporar SAF en proporciones crecientes desde 2025; y el Mecanismo de Ajuste en Frontera por Carbono (CBAM, Reglamento UE 2023/956), que entró en su fase definitiva el 1 de enero de 2026 con cobro efectivo de certificados (su expansión a derivados está propuesta para 2028), establecen obligaciones concretas de reducción de emisiones. En el ámbito marítimo, la adopción del Marco Net-Zero de la Organización Marítima Internacional (IMO) fue postergada en octubre de 2025, con votación reprogramada para fines de 2026, aunque FuelEU Maritime mantiene su vigencia. Estos marcos generan mercados donde la adopción de combustibles bajos en carbono responde a mandatos normativos más que a decisiones voluntarias.

En segundo lugar, la certificación y trazabilidad de emisiones adquieren un rol central como condición de acceso. El cumplimiento de estándares de medición, reporte y verificación de emisiones (MRV) y de los criterios de adicionalidad y correlación temporal

y geográfica del Reglamento Delegado UE 2023/1184 determina la elegibilidad de los productos para acceder a primas verdes o evitar penalizaciones.

Adicionalmente, la internalización del costo del carbono, mediante sistemas de comercio de emisiones como el EU ETS (Directiva 2003/87/CE) o mecanismos equivalentes, introduce un diferencial económico entre productos convencionales y bajos en carbono, afectando su competitividad relativa en costos.

A ello se suma una creciente selectividad del mercado: durante 2025, solo trece proyectos de producción alcanzaron la Decisión Final de Inversión en Europa, sumando cerca de 450 MW, muy por debajo de la capacidad anunciada. Esto evidencia que la demanda bancable se concentra en pocos proyectos con consumo ancla identificado, lo que refuerza la pertinencia de orientar el portafolio regional hacia escalas medianas con demanda anclada. La materialización de proyectos depende, además, de estructurar contratos de compra de largo plazo (offtake), mecanismos de estabilización de ingresos y marcos que reduzcan la incertidumbre.

En este contexto, la factibilidad económica de un proyecto no se define únicamente por sus costos de producción, sino por la capacidad de cumplir estándares, asegurar demanda a través de marcos regulados y estructurar ingresos de manera predecible.





EVOLUCIÓN DEL CONTEXTO Y NECESIDAD DE ACTUALIZACIÓN

2.2.1 CAMBIOS EN LA COMPETITIVIDAD DEL HIDRÓGENO AL 2026

El mercado del hidrógeno sostenible se encuentra actualmente en una fase de ajuste, caracterizada por una creciente brecha entre proyectos anunciados y proyectos que logran alcanzar etapas avanzadas de desarrollo o Decisión Final de Inversión (FID).



Este proceso no responde a una crisis tecnológica, sino a un mecanismo de filtrado en función de la bancabilidad de los proyectos. En la práctica, sólo avanzan aquellas iniciativas que logran asegurar condiciones mínimas de viabilidad económica, tales como demanda estructurada, ingresos predecibles y mitigación de riesgos regulatorios y financieros.

En este contexto, la competitividad del hidrógeno sostenible debe entenderse en un sentido amplio: no se trata únicamente de competir en costos frente a fuentes de energía convencionales, sino de la capacidad de cada proyecto para ser económicamente viable. Esta viabilidad depende, entre otros factores, del costo de producción y de la existencia de un mercado dispuesto a pagar por el producto, a lo que se suman la estructura de ingresos, el acceso a mercados y la capacidad de reducir la incertidumbre regulatoria y financiera.

2.2.2 NUEVAS SEÑALES DE DEMANDA

La demanda relevante para el hidrógeno sostenible y sus derivados ha evolucionado hacia esquemas más estructurados, alejándose de dinámicas de mercado spot o voluntarias.

Según lo establecido por el Ministerio de Energía en la Actualización de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde 2026-2030 (Ministerio de Energía, 2026) y complementado por la Agencia Internacional de Energía en su Global Hydrogen Review 2024 (IEA, 2024), se observa que la demanda se concentra en:

- Mercados con mandatos regulatorios explícitos, especialmente en economías desarrolladas.
- Contratos corporativos de largo plazo asociados a empresas con compromisos de descarbonización.



- Productos específicos con estándares definidos, tales como e-metanol, combustibles sostenibles de aviación (SAF) y derivados químicos.

Adicionalmente, la demanda doméstica adquiere un rol estratégico como plataforma de desarrollo, permitiendo validar tecnologías, generar capacidades operativas y reducir riesgos antes de escalar hacia mercados internacionales.

2.2.3 AJUSTES EN EL ENFOQUE TECNOLÓGICO

El enfoque tecnológico, en el desarrollo del hidrógeno sostenible, ha experimentado una transición desde una lógica centrada en la producción de hidrógeno como commodity, hacia una orientación enfocada en la generación de derivados con mercado existente.

En este marco, productos como el e-metanol presentan mayores niveles de viabilidad relativa, debido a su integración en cadenas de valor consolidadas y a la existencia de demanda estructurada. En contraste, otras aplicaciones, como el desarrollo de combustibles sostenibles de aviación, si bien presentan alto potencial, requieren mayores niveles de madurez en términos de infraestructura, certificación y logística.

Asimismo, la integración del hidrógeno con activos territoriales específicos, como el CO₂ biogénico (dióxido de carbono proveniente de procesos biológicos como la actividad forestal, la producción de celulosa y el tratamiento de biomasa, a diferencia del CO₂ de origen fósil) y las plataformas industriales existentes, se configura como un factor determinante de competitividad, especialmente en regiones con base industrial consolidada.





2.3

APRENDIZAJES DEL PROGRAMA 2023 - 2026

2.3.1 APRENDIZAJES DE TALLERES Y PROCESOS PARTICIPATIVOS

Los talleres, mesas técnicas y focus group empresarial desarrollados por el Programa entre 2023 y 2026 permiten identificar que la principal barrera para el desarrollo de proyectos no radica en la falta de iniciativas, sino en la dificultad de articular condiciones habilitantes comunes.

En particular, se observa una brecha en la coordinación de infraestructura, regulación y acceso a instrumentos, lo que limita la capacidad de escalar proyectos de manera efectiva.



2.3.2 APRENDIZAJES EN GOBERNANZA

Los aprendizajes levantados en los espacios de gobernanza del Programa evidencian la necesidad de transitar desde esquemas de coordinación hacia modelos de gestión activa de cartera.

En este sentido, la gobernanza debe asumir un rol articulador, orientado a:

- Articular infraestructura compartida entre actores del ecosistema regional.
- Desarrollar sistemas de certificación y trazabilidad que habiliten el acceso a mercados regulados.
- Estructurar demanda y modelos de negocio viables que reduzcan la dependencia de subsidios.



3**DIAGNÓSTICO Y ROL ESTRATÉGICO DE
LA REGIÓN DEL BIOBÍO**



3.1

BASE INDUSTRIAL COMO HABILITADOR DE DEMANDA

La Región del Biobío no se posiciona en la transición energética como un territorio orientado a la producción primaria de hidrógeno, sino como un ecosistema industrial capaz de habilitar demanda estructurada. Esta distinción define el modelo de negocio, el tipo de inversión requerida y el perfil de riesgo del portafolio regional.

La región concentra una base productiva diversificada, con presencia de sectores intensivos en energía y emisiones, tales como refinación, industria química, forestal y de celulosa, metalmecánico, cemento y actividades logístico-portuarias. A ellos se suma el sector pesquero industrial que, si bien no constituye un sector intensivo en emisiones, opera con flotas que utilizan combustibles fósiles y mantiene operaciones en zonas como Talcahuano, San Vicente, Coronel y Lirquén, configurándose como un actor con potencial de incorporación en esquemas de descarbonización mediante combustibles alternativos.

El valor estratégico de estos sectores no radica únicamente en su peso económico, sino en su capacidad de operar simultáneamente como:

- Plataforma de demanda temprana, a través de la sustitución de insumos fósiles en procesos existentes, sin requerir construcción de mercados nuevos.

Espacio de validación de tecnologías y modelos de negocio en condiciones operativas reales y a escala industrial, reduciendo el riesgo tecnológico para inversionistas y financiadores.

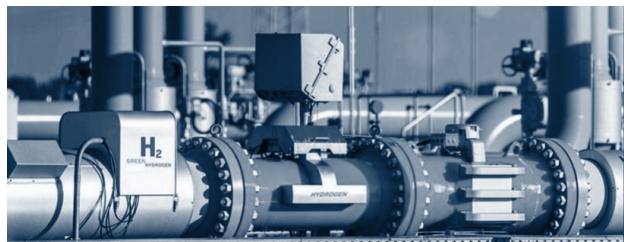
- Nodo de articulación entre oferta de

hidrógeno y aplicaciones industriales concretas, permitiendo cerrar contratos de offtake antes de comprometer fondos para la creación de nuevas instalaciones o plantas, CAPEX.

Este enfoque permite avanzar hacia modelos de desarrollo basados en la transformación del hidrógeno en derivados con mercado existente: productos con cadenas comerciales internacionales consolidadas, compradores identificables y especificaciones técnicas estandarizadas, tales como e-metanol, amoníaco y otros productos químicos. Según la Agencia Internacional de Energía (IEA, Global Hydrogen Review 2024), estos mercados presentan una demanda global creciente impulsada por compromisos de descarbonización corporativa y mandatos regulatorios, lo que mejora significativamente la viabilidad económica de los proyectos.

La estructura productiva regional genera además encadenamientos que integran la producción, transformación y uso del hidrógeno dentro de cadenas de valor existentes, evitando la creación de infraestructura aislada y de alto costo hundido. Estos encadenamientos se manifiestan en: la articulación entre los sectores forestal, químico y energético, que habilita la disponibilidad de CO₂ biogénico como insumo elegible para la producción de e-combustibles; la conexión entre producción de derivados y su uso en industrias locales, bunkering portuario o exportación hacia mercados con demanda regulada; y la integración de servicios de ingeniería, operación, mantenimiento, certificación y trazabilidad asociados al desarrollo de nuevos proyectos.

El rol estratégico de la región se fortalece en la medida en que logra consolidar circuitos productivos integrados, como los anillos industriales y los consorcios de infraestructura compartida, en lugar de promover iniciativas aisladas que enfrentan individualmente el costo total de habilitación.



INFRAESTRUCTURA LOGÍSTICA, ENERGÉTICA Y PORTUARIA



La Región del Biobío cuenta con una infraestructura industrial, energética y logística que la posiciona como una de las principales plataformas para el desarrollo de la industria del hidrógeno sostenible en el país. Su principal atributo estratégico no es la disponibilidad de activos en sí misma, sino su potencial de configuración como plataforma compartida, capaz de reducir costos, riesgos y barreras de entrada para el desarrollo de proyectos.

Los activos más relevantes incluyen:

- **Red portuaria consolidada**, conformada por puertos comerciales principales (San Vicente, Talcahuano, Lirquén, Coronel y Penco) y terminales especializados, incluido el terminal de combustibles de ENAP en San Vicente, con capacidad para operar a escala industrial y conectarse con mercados internacionales, además del Astillero de Maestranzas de la Armada de Chile (ASMAR).

- **Redes energéticas y de distribución**, que incluyen el Gasoducto del Pacífico (ducto binacional que transporta gas natural desde Argentina y que, por sus trazados y derechos de paso ya instalados, constituye un activo potencial para una futura red de transporte de hidrógeno o para esquemas de blending), infraestructura de transmisión y subestaciones del Sistema Eléctrico Nacional, y redes de distribución de gas natural en la zona industrial.

- **Instalaciones industriales existentes** que pueden ser adaptadas o integradas en procesos de descarbonización.

En materia de recursos renovables, según el Reporte Energético del Sistema Eléctrico Nacional del Coordinador Eléctrico Nacional (CEN, 2026), la Región del Biobío cuenta con una capacidad instalada de generación de aproximadamente 5.548 MW, una de las mayores del país, con la hidroelectricidad como tecnología dominante. A nivel nacional, el SEN alcanza 39.857,1 MW de capacidad instalada, de los cuales cerca del 55% corresponde a Energía Renovable No Convencional (ERNC, según la Ley 20.257), lo que evidencia el peso creciente de las fuentes renovables en la matriz.

En el segmento eólico onshore destacan factores de capacidad de planta que oscilan entre el 30 y 50%, como lo es el Parque Las Peñas, ubicado en la provincia de Arauco, que alcanzó un factor de planta del 47% durante 2020, posicionándose como el parque eólico de mayor eficiencia en Chile ese año (SEN).

Esta infraestructura cumple un rol estructural en la viabilidad de la industria, en la medida en que permite economías de escala mediante el uso compartido de activos, reduce el requerimiento de inversión individual por proyecto (CAPEX), facilita la integración de cadenas de valor desde la producción hasta la exportación, y habilita la implementación de sistemas de certificación y trazabilidad, particularmente en nodos logísticos como puertos.

La infraestructura portuaria adquiere un rol especialmente estratégico, operando como plataforma de inserción internacional del portafolio regional. Habilita la exportación de derivados hacia mercados con obligaciones regulatorias de descarbonización, el desarrollo de servicios de abastecimiento de combustibles alternativos para transporte marítimo (bunkering) alineado con el Reglamento FUEIU Maritime (Reglamento UE 2023/1805) vigente desde 2025, y la integración de cadenas logísticas bajo estándares de trazabilidad por lote, requisito de acceso a primas regulatorias en mercados europeos (RFNBO, CBAM). Su modernización ordenada y compartida resulta crítica durante el período 2025–2030, en el que convergen la entrada en vigor de regulaciones europeas, el cierre de contratos de largo plazo y la disponibilidad de financiamiento climático, con las decisiones de inversión más relevantes concentradas entre 2025 y 2027.





CAPITAL HUMANO, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

El capital humano de la Región del Biobío constituye uno de los activos estratégicos del territorio, sustentado en una sólida trayectoria industrial y en capacidades técnicas y profesionales vinculadas a la operación y mantenimiento de instalaciones industriales complejas, la gestión de procesos productivos en sectores intensivos en energía, y el desarrollo de servicios de ingeniería, construcción y montaje industrial.

Esta experiencia acumulada facilita la implementación de nuevas tecnologías, acorta las curvas de aprendizaje y reduce los riesgos operacionales en etapas tempranas de desarrollo, factor relevante en la evaluación de bancabilidad de los proyectos. En el marco de la transición energética, los actores del Programa han identificado tres líneas prioritarias de fortalecimiento:

- Especialización en tecnologías emergentes vinculadas al hidrógeno, sus derivados y la captura de CO₂.
- Desarrollo de capacidades en certificación y en medición, reporte y verificación de emisiones (MRV), condición de acceso a mercados regulados internacionales.
- Formación en nuevos modelos de negocio, incluyendo estructuración de contratos de offtake, instrumentos financieros mixtos y gobernanza de consorcios.

De este modo, el capital humano se articula con los demás activos estratégicos del territorio (el ecosistema industrial, el CO₂ biogénico y la infraestructura portuaria), conformando una propuesta integrada y competitiva para el desarrollo de la industria del hidrógeno sostenible.





3.4

SÍNTESIS: PLATAFORMA INDUSTRIAL INTEGRADA DEL BIOBÍO

El diagnóstico muestra que la principal ventaja del Biobío no proviene de la disponibilidad de recursos energéticos, sino de la convergencia de su base industrial, su infraestructura logística y sus capacidades técnicas acumuladas. Lo distintivo no son estos activos por separado, sino la posibilidad de articularlos como una plataforma industrial integrada.

Sin embargo, esta ventaja opera como potencial y no como resultado. Su materialización requiere un trabajo deliberado de coordinación entre actores, sin el cual los activos disponibles permanecen subutilizados.

La diferencia entre tener infraestructura y operar como plataforma integrada reside, precisamente, en la capacidad de articular los esfuerzos individuales en una propuesta común, orientando la estrategia hacia la activación de lo existente con mayor probabilidad de implementación y menor dependencia de mercados aún no consolidados (Programa H2V Biobío, 2023).



4

OPORTUNIDADES DE TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SECTORES IDENTIFICADOS EN BIOBÍO

Las oportunidades de transición energética del Biobío se diferencian de otras regiones por su origen: no provienen de la disponibilidad de recursos naturales, sino de la estructura industrial existente y de la posibilidad de articular demanda concreta para nuevas soluciones tecnológicas. Esta demanda proviene de sectores consolidados (refinación, química, forestal, pesquero, portuario y transporte de carga) que hoy dependen de combustibles fósiles y enfrentan exigencias regulatorias crecientes.

La priorización sectorial responde a tres criterios estructurales: demanda anclada o regulada, madurez tecnológica y capacidad de capturar prima comercial verificable. Bajo este marco, cada sector presenta una propuesta de valor, riesgos y factores críticos distintos. Adicionalmente, el hidrógeno ofrece una oportunidad transversal como almacenamiento de largo plazo y respaldo de suministro ante períodos prolongados de baja generación renovable, con aplicación potencial en cargas críticas como hospitales y centros de datos (Diabate et al., 2025; Gulzar et al., 2023).



ACTIVOS Y RUTAS TRANSVERSALES

Antes de desarrollar cada sector, se describen los activos y rutas que atraviesan a varios de ellos, para no repetirlos en cada caso.

4.1.1 CO₂ BIOGÉNICO COMO ACTIVO ESTRATÉGICO DIFERENCIAL

El dióxido de carbono biogénico (CO₂ biogénico), proveniente principalmente de procesos forestales, de celulosa y de tratamiento de biomasa, cumple los criterios de elegibilidad establecidos por el Reglamento Delegado (UE) 2023/1184 (RFNBO) en la Unión Europea, así como por estándares voluntarios como el RSB (Roundtable on Sustainable Biomaterials), aplicables en múltiples mercados de exportación. Su valor estratégico se expresa en tres dimensiones:

- **Habilitador técnico:** Insumo necesario para la síntesis de e-metanol y otros e-combustibles, sin el cual la producción de derivados no es viable a escala industrial.
- **Habilitador comercial:** Condición de acceso a mercados internacionales con demanda regulada y esquemas de certificación verificables por lote.
- **Habilitador de bancabilidad:** Reduce el riesgo de elegibilidad regulatoria, factor crítico en la estructuración financiera de proyectos exportadores.

La magnitud del recurso refuerza su carácter diferencial: las plantas de celulosa de la región generan en conjunto cerca de 7,4 millones de toneladas anuales de CO₂ biogénico, posicionando al Biobío como uno de los mayores reservorios de carbono biogénico aprovechable del país.



A modo de referencia internacional, la empresa sueca Södra estima emisiones de alrededor de 5 millones de toneladas anuales en sus plantas de celulosa, que proyecta capturar y utilizar (bio-CCU) para producir e-combustibles destinados a aviación y transporte marítimo (Södra, s.f.).

La oportunidad estratégica regional consiste en consolidar circuitos de captura, transporte y utilización de CO₂ biogénico bajo esquemas de infraestructura compartida, evitando que cada proyecto resuelva de forma individual su abastecimiento. Para ello resulta clave asegurar tempranamente la disponibilidad del recurso mediante acuerdos marco de largo plazo con las empresas forestales y de celulosa, junto con estudios de captura por planta y la cooperación técnica con referentes internacionales, habilitando un posicionamiento explícito del Biobío como clúster de CO₂ biogénico forestal de América Latina.

4.1.2 DERIVADOS DEL HIDRÓGENO Y COMBUSTIBLES SOSTENIBLES

Los derivados del hidrógeno representan la ruta de mayor bancabilidad transversal, en la medida en que se insertan en cadenas comerciales existentes con compradores identificables y especificaciones técnicas conocidas.

El e-metanol (metanol sintético producido a partir de hidrógeno sostenible y CO₂ biogénico) de amplia transversalidad, ya que tiene aplicación en bunkering marítimo bajo el Reglamento FuelEU Maritime (Reglamento UE 2023/1805), en la industria química como insumo, y como precursor para la producción de Combustible Sostenible de Aviación (CSA / SAF). Su bancabilidad relativa es superior porque combina demanda regulada, tecnología madura y comercio internacional consolidado.

El e-DME (dimetil éter sintético) constituye una alternativa para transporte pesado y aplicaciones industriales específicas, vinculado a la cadena del e-metanol.

El CSA / SAF (Combustible Sostenible de Aviación) presenta demanda regulada creciente bajo el Reglamento ReFuelEU Aviation (Reglamento UE 2023/2405), pero requiere integración previa de hidrógeno, CO₂ biogénico, infraestructura química y capacidades MRV avanzadas. Su despliegue depende de la consolidación previa de la cadena de e-metanol.

Los combustibles bio-basados aprovechan residuos y subproductos de las industrias forestal, de celulosa y agroindustrial. A diferencia de los e-combustibles, se producen directamente a partir de materias primas biológicas, lo que les permite aprovechar infraestructura ya instalada y reducir requerimientos de inversión, configurándose como alternativa de implementación temprana en aplicaciones donde los e-combustibles aún se consolidan. Ambas rutas bio-basadas y sintéticas son complementarias y comparten el CO₂ biogénico regional como insumo.

Los derivados químicos (fertilizantes, peróxido de hidrógeno y productos especializados con menor huella de carbono) acceden a sobrepuestos en mercados sujetos al CBAM (Reglamento UE 2023/956), diversificando la oferta exportadora más allá del segmento energético. CORFO ha implementado convocatorias específicas para el desarrollo de Anillos Industriales orientados al fomento de la demanda de hidrógeno sostenible y sus derivados en la Región del Biobío (CORFO, 2025).



4.1.3 ENERGÍAS RENOVABLES REGIONALES

Las energías renovables constituyen el insumo habilitante fundamental para la producción de hidrógeno sostenible. A diferencia de Antofagasta y Magallanes, cuya competitividad se sustenta en recursos solares y eólicos de gran escala con orientación exportadora, el Biobío articula su rol desde la combinación entre demanda industrial consolidada y potencial renovable propio que permite proyectar al menos un autoabastecimiento parcial (Programa H2V Biobío, 2023). El recurso eólico destaca como principal potencial regional. Una limitación identificada es que los recursos renovables no necesariamente coinciden territorialmente con los polos industriales consumidores, lo que requiere planificación específica de transmisión eléctrica entre zonas de generación y de consumo industrial.

4.1.4 OTRAS RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN

La descarbonización del Biobío no depende exclusivamente del hidrógeno sostenible. El criterio de asignación (denominado "valor estratégico por unidad de energía") debe orientar las decisiones hacia la ruta más eficiente en cada aplicación:

La eficiencia energética es la primera línea de descarbonización por costo y plazo: la optimización de procesos, la recuperación de calor residual y la digitalización industrial permiten reducir emisiones liberando recursos para los usos donde el hidrógeno aporta mayor valor.

La electrificación directa es la ruta preferente cuando es técnicamente viable, especialmente para aplicaciones de calor de baja y media temperatura, equipos portuarios (Onshore Power Supply) y movilidad liviana, reservando el hidrógeno para aquellos usos en los que la electrificación no resulta competitiva.

La sustitución de combustibles fósiles mediante biomasa certificada, biogás y blending (mezcla de gas natural con hidrógeno) aprovecha la infraestructura existente. En este ámbito, la conectividad con Vaca Muerta resulta estratégica: el acceso a gas natural competitivo habilita transformaciones tecnológicas en la industria regional y sostiene configuraciones de hidrógeno bajo en carbono, preparando las capacidades que luego migrarán al hidrógeno sostenible. A su vez, la red gasífera consolidada de la región cumple una doble función: habilita el blending como mecanismo de transición y permite proyectar una futura red de transporte de hidrógeno sobre trazados y derechos de paso ya instalados. Su marco habilitante está previsto en el Plan de Trabajo de Regulaciones Habilitantes 2024-2030 (Ministerio de Energía, 2024), iniciativa interministerial con modificaciones a cargo de los Ministerios de Energía, Salud, Transporte y Minería.

El hidrógeno bajo en carbono (producción con captura de carbono u otras configuraciones de baja intensidad de emisiones) puede funcionar como puente operativo en etapas tempranas, siempre que mantenga compatibilidad con criterios de trazabilidad y preserve la elegibilidad futura para mercados con prima verde. Su uso es transicional, no sustitutivo, y acotado a aplicaciones y plazos definidos.



4.1.5 ANILLOS INDUSTRIALES COMO MODELO DE ARTICULACIÓN REGIONAL

Una de las condiciones habilitantes más relevantes para el desarrollo del hidrógeno sostenible en el Biobío es la capacidad de articular la demanda industrial existente en señales concretas de mercado. Los anillos industriales son el mecanismo que permite hacer eso: agrupaciones territoriales de empresas que comparten infraestructura, insumos o servicios para consolidar volúmenes de demanda y reducir costos que individualmente serían difíciles de asumir.

La Región del Biobío presenta condiciones favorables para este modelo. La concentración geográfica de industrias intensivas en energía en zonas como Hualpén, Talcahuano, Penco, Coronel y la provincia de Arauco crea proximidad entre actores con necesidades y activos complementarios, lo que facilita la coordinación y hace viable compartir infraestructura que de otro modo cada empresa debería desarrollar por su cuenta.

En enero de 2026, CORFO adjudicó los dos primeros anillos industriales de hidrógeno verde en la región, en el marco de la convocatoria "Anillos Industriales para el fomento a la demanda de Hidrógeno Verde y sus derivados, y encadenamiento productivo en la Región del Biobío", financiada con recursos del Aporte I+D de SQM Salar SpA. El aporte total de CORFO alcanza los US\$10 millones, equivalente al 52% del costo total de los proyectos, con una demanda agregada comprometida de 1.300 toneladas de hidrógeno sostenible por año (Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, 2026).

Producción de insumos críticos para la minería en base a hidrógeno de baja huella (Fosfoquim S.A., coejecutores con Occidental Chemical Chile Ltda. y Eka Chile S.A.).

El anillo liderado por Fosfoquim integra hidrógeno verde en procesos químicos existentes en Talcahuano para producir reactivos sostenibles destinados a la minería del cobre y la industria de la celulosa. Lo que hace a este proyecto especialmente relevante es que no requiere construir mercado desde cero: Fosfoquim ya opera con hidrógeno como insumo productivo mediante electrólisis de agua; Occidental Chemical y Eka Chile ya integran hidrógeno en sus procesos. El anillo no crea una industria nueva, sino que actualiza y descarboniza una cadena química que ya existe, reduciendo sustancialmente el riesgo de implementación y mejorando la bancabilidad relativa del proyecto.

La escala del proyecto es de aproximadamente 1.000 toneladas anuales de hidrógeno sostenible integradas en procesos químicos, con puesta en operación proyectada a dos años desde el inicio y un plazo de ejecución de hasta seis años, prorrogable hasta siete.



Sus componentes principales son la planta piloto de concentración y dilución de reactivos, las mejoras al circuito existente de hidrógeno de los coejectores, el sistema de transporte de reactivos y el equipamiento crítico en proceso de adquisición. El proyecto contempla además la formalización de cartas de intención o MoU con clientes estratégicos de la minería y la celulosa para pruebas y validación de los reactivos verdes, generando evidencia para futuros contratos de largo plazo.

El proyecto "integrará del orden de 1.000 ton/año de hidrógeno verde dentro de procesos industriales químicos, sustituyendo insumos fósiles y habilitando la producción de reactivos sostenibles con potencial competitividad ESG, escalamiento nacional y tracción comercial en los sectores forestal, químico y minero", añadiendo que "su efecto multiplicador es alto, porque actúa sobre una cadena industrial instalada y consolidada en la región" (Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, 2026).

HyLog Zero Emissions Transport (Marítima Valparaíso – Chile SpA, en coejecución con la Universidad de Concepción).

El anillo liderado por Marval habilita el uso del hidrógeno sostenible en transporte pesado de carga mediante la operación de una Hydrogen Refueling Station (HRS) industrial y una flota de tractocamiones que prestará servicios logísticos a clientes industriales de la región, muchos de ellos vinculados a la cadena logística portuaria.

Su objetivo central es validar de manera integral la operación continua del hidrógeno verde como combustible, desde la purificación y dispensado hasta el uso final en condiciones reales de operación logística industrial.

La HRS tendrá capacidad para almacenar, comprimir y dispensar hasta 350 toneladas anuales de hidrógeno sostenible, con una autonomía por camión de 700 kilómetros. Sus componentes principales son la planta de purificación y dispensado, el sistema de compresión y almacenamiento, la flota de tractocamiones a hidrógeno y el servicio logístico integrado a clientes estratégicos. El proyecto contempla estudios de ingeniería básica y de detalle, un modelo económico con estimación del Costo Nivelado del Hidrógeno (LCOH), y la formalización de cartas de intención o MoU con clientes para servicios de transporte y compra de hidrógeno. El plazo de ejecución es de hasta cuatro años, prorrogable hasta siete.

El valor estratégico de HyLog reside en la evidencia operativa que genera. El proyecto permitirá validar costos, estándares de seguridad, operación continua y curva de aprendizaje territorial con impacto inmediato en el encadenamiento logístico y energético del Biobío, incluida su articulación con la operación portuaria regional (Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, 2026).





SECTORES INDUSTRIALES IDENTIFICADOS

La priorización sectorial constituye un ejercicio crítico para la Hoja de Ruta del Programa H2 Biobío. No todos los sectores presentan el mismo perfil de bancabilidad ni la misma capacidad de absorber demanda de hidrógeno sostenible y sus derivados en plazos compatibles con la maduración de los mercados regulados internacionales y los instrumentos habilitantes nacionales. La selección de sectores responde a tres criterios estructurales:

Existencia de demanda anclada o regulada

Capacidad de capturar prima comercial verificable

Madurez tecnológica de la solución

Bajo este marco, el Biobío concentra sectores con condiciones diferenciales para articular la transición energética regional. Cada uno presenta una propuesta de valor específica, riesgos característicos y factores críticos de implementación distintos.

SECTORES IDENTIFICADOS



Refinería



Química



Forestal



Ingeniería y Metalmecánico



Portuario



Transporte



Cemento



Aeropuerto y aviación



Pesca





REFINERÍA

El sector de la refinería se identifica como una de las rutas de sustitución de menor riesgo técnico y de mercado en la región, dado que opera sobre consumo preexistente de hidrógeno gris en distintas etapas del refinado de petróleo. Cabe señalar que el hidrógeno utilizado en estos procesos no solo se obtiene a partir del gas natural, sino que también se purifica el hidrógeno generado como subproducto del proceso de reformación.

Entre estas etapas se encuentran:

- El hidrotratamiento, proceso que utiliza hidrógeno para eliminar impurezas como azufre, nitrógeno y metales de los combustibles.
- El hidrocraqueo, proceso que utiliza hidrógeno para decomponer hidrocarburos pesados en productos más livianos como gasolina y diésel.

En la Región del Biobío, este sector está representado por dos actores principales: la Refinería Biobío de ENAP, ubicada en la comuna de Hualpén, principal refinería del país; y Petroquim, productora de propileno y consumidora de hidrógeno, también localizada en la zona industrial de Hualpén-Talcahuano (Programa H2V Biobío, 2023). Como productores y comercializadores de combustibles e insumos petroquímicos, ambas empresas cuentan con conocimiento técnico clave para la incorporación de hidrógeno sostenible y, eventualmente, e-combustibles en sus procesos productivos.

Según el levantamiento técnico del Programa, ENAP presenta el mayor consumo regional de hidrógeno gris, estimado en aproximadamente 30.000 toneladas anuales, con un consumo directo del orden de 9.000 toneladas anuales asociado a sus procesos



productivos. Se proyecta que al 2035 podría alcanzarse un reemplazo del 30% del hidrógeno gris consumido por hidrógeno sostenible en el sector. Adicionalmente, ENAP ha manifestado su intención de convertirse en productor de e-combustibles, aprovechando el dióxido de carbono biogénico generado por el sector forestal, lo que articula esta ruta con la cadena de valor regional del hidrógeno (Programa H2V Biobío, 2023).

La sustitución gradual de hidrógeno gris por hidrógeno sostenible no requiere construir demanda nueva ni desarrollar especificaciones técnicas inéditas, ya que opera sobre infraestructura, contratos y procesos ya consolidados. Esto reduce el riesgo de offtake (contrato de compra de largo plazo por parte del cliente final que asegura demanda al productor) y mejora la bancabilidad relativa frente a aplicaciones que dependen de mercados aún por estructurar.

Los factores críticos de implementación incluyen:

- Estructuración de contratos de suministro de largo plazo que establezcan ingresos para el productor y entreguen certidumbre de costos para el comprador.
- Compatibilidad con estándares de certificación definidos por el Reglamento Delegado (UE) 2023/1184, que regula los Combustibles Renovables de Origen No Biológico (RFNBO, por sus siglas en inglés: Renewable Fuels of Non-Biological Origin), o estándares equivalentes a nivel internacional, que permitan capturar sobrepagos o primas comerciales en productos refinados destinados a mercados regulados.
- Integración con infraestructura compartida de producción y distribución, que permita escalar la sustitución de forma ordenada.

En esta lógica, el sector de refinación opera como ancla de demanda industrial inicial que reduce el riesgo del portafolio regional y habilita el desarrollo de capacidades operativas y de certificación replicables hacia otros sectores.





QUÍMICA

El sector químico representa una de las oportunidades de mayor transversalidad en la Región del Biobío, dado que articula simultáneamente tres dimensiones: el consumo directo de hidrógeno como insumo productivo, la producción de derivados con potencial exportador y la disponibilidad de infraestructura especializada para el manejo de productos críticos.

En la región, este sector está representado por empresas como Fosfoquim, Solvay, Oxy, Eka Chile, Vidrios Lirquén, Oxiquim y Bakelite, ubicadas principalmente en las comunas de Coronel, Hualpén y Talcahuano (Programa H2V Biobío, 2023).

Estas empresas operan con hidrógeno como insumo productivo bajo distintas configuraciones tecnológicas:

- Producción de hidrógeno como subproducto mediante electrólisis de salmuera (proceso que utiliza electricidad para descomponer una solución de sal y agua, generando hidrógeno como producto secundario), aplicada por Eka Chile y Oxy.
- Producción de hidrógeno como producto principal mediante reformado de gas natural por vapor (SMR, por sus siglas en inglés: Steam Methane Reforming), proceso que separa el hidrógeno del gas natural utilizando vapor a alta temperatura, aplicado por Solvay.
- Producción de hidrógeno mediante electrólisis de agua (proceso que utiliza electricidad para separar las moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno), aplicado por Fosfoquim.

El hidrógeno producido se utiliza para la elaboración de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) (agente oxidante utilizado en la industria forestal y de celulosa), sulfhidrato de sodio (NaHS) (insumo clave para la flotación en la minería del cobre), y, en menor medida, ácido clorhídrico (HCl).

Adicionalmente, Oxiquim y Bakelite importan casi la totalidad del consumo nacional de metanol, utilizado para la producción de formaldehídos y resinas, lo que abre la oportunidad de sustitución por metanol renovable producido a partir de hidrógeno sostenible y dióxido de carbono biogénico generado en la región (Programa H2V Biobío, 2023).



Según el levantamiento técnico del Programa, el consumo directo de hidrógeno en el sector químico regional se estima en aproximadamente 6.500 toneladas anuales, con un potencial de reemplazo del 100% por hidrógeno sostenible sin requerir cambios tecnológicos en los procesos.

El consumo de metanol del sector supera las 80.000 toneladas anuales, concentrado principalmente en Oxiquim y Bakelite, donde se utiliza como insumo para la producción de formaldehído y resinas. Considerando las proyecciones de expansión identificadas para el sector, la sustitución de esta demanda por metanol renovable representaría un requerimiento estimado de aproximadamente 16.000 t H₂ eq./año al 2035. Esta demanda presenta potencial de reemplazo por metanol renovable, sin requerir recambios tecnológicos significativos en los procesos productivos existentes.

Adicionalmente, las ampliaciones proyectadas para las plantas de Solvay y Fosfoquim, según información disponible en el Servicio de Evaluación Ambiental (SEIA), suponen un aumento del consumo directo de hidrógeno regional en aproximadamente 4.000 t H₂/año, totalizando 37.000 t H₂/año al 2035 (Programa H2V Biobío, 2023).

En este contexto, la industria química regional habilita aplicaciones tales como:

- Producción de derivados químicos verdes (peróxido de hidrógeno, amoníaco, fertilizantes y derivados fosfóricos) con menor huella de carbono y potencial de capturar sobreprecios o primas comerciales en mercados europeos sujetos al Mecanismo de Ajuste en Frontera por Carbono (CBAM, Reglamento UE 2023/956), que internaliza el costo de emisiones en productos importados como fertilizantes, acero y aluminio.
- Sustitución de hidrógeno gris por hidrógeno sostenible en procesos productivos existentes, sin requerir modificaciones sustantivas en los procesos productivos.
- Producción de e-metanol y otros e-combustibles a partir de hidrógeno sostenible y CO₂ biogénico disponible en la región.

El sector químico se configura, así como un nodo de articulación industrial que conecta la producción de hidrógeno con derivados exportables y cadenas químicas de mayor valor agregado. Su priorización requiere abordar de forma temprana la certificación por lote (verificación trazable de cada partida producida bajo estándares internacionales) y la trazabilidad de insumos, ambas condiciones de acceso a mercados internacionales con demanda regulada.





FORESTAL

El sector forestal constituye uno de los activos diferenciales más relevantes del Biobío y aporta a la transición energética desde múltiples frentes simultáneos, posicionándose como plataforma habilitante transversal más que como demandante puro de hidrógeno.

En términos económicos, el sector forestal representa una de las principales actividades productivas de la región. Según el Anuario Forestal del Instituto Forestal de Chile (INFOR), el sector forestal aporta cerca del 15,8% del Producto Interno Bruto (PIB) regional del Biobío, mientras que la región concentra el 63,7% del PIB forestal total nacional, configurándose como el principal polo forestal del país en actividades de silvicultura, extracción, madera, celulosa y papel (INFOR, 2019).

En la región, este sector está representado por empresas como CMPC, Arauco y Masisa, que cuentan con presencia productiva relevante y proyección internacional. CMPC se posiciona como el cuarto mayor proveedor de celulosa a nivel mundial, mientras que los tableros producidos por Arauco y Masisa abastecen tanto al mercado nacional como internacional (Programa H2V Biobío, 2023). Las plantas de celulosa de la región se ubican en las comunas de Arauco, Laja, Nacimiento y Santa Fe.

Sus aportes estratégicos a la transición energética regional incluyen:

- Provisión de dióxido de carbono biogénico elegible bajo los criterios establecidos por el Reglamento Delegado (UE) 2023/1184 para los Combustibles Renovables de Origen No Biológico (RFNBO, por sus siglas en inglés: Renewable Fuels of Non-Biological Origin), condición técnica indispensable para la producción de e-combustibles certificables en mercados europeos. Las plantas de celulosa de la región generan en conjunto cerca de 7,4 millones de toneladas anuales de CO₂ biogénico, distribuidas entre Planta Arauco (3,2 millones de toneladas), CMPC Santa Fe (3,0 millones de toneladas) y CMPC Laja (1,2 millones de toneladas) (Programa H2V Biobío, 2023).



- Demanda industrial propia de hidrógeno sostenible para procesos de blanqueo de celulosa (etapa final del proceso productivo donde se utiliza hidrógeno y otros agentes para alcanzar el color blanco característico), generación de calor en hornos de cal y producción de combustibles bio-basados.
- Diferenciación comercial de productos forestales (celulosa baja en carbono y bioproductos certificados). Más allá de su aporte a las metas de Alcance 3 (Scope 3, emisiones de proveedores y usuarios finales en la cadena de valor de una empresa, según el Greenhouse Gas Protocol) de los compradores corporativos, su mayor relevancia está en el peso exportador: el sector concentra más del 60% de las exportaciones del Biobío, lo que lo convierte en el principal generador de carga marítima regional y el más expuesto a la descarbonización del transporte naviero internacional.

Adicionalmente, el sector forestal y de celulosa concentra el transporte terrestre de carga pesada de la región, con viajes interurbanos en camiones, así como movilidad off-road mediante operación de grúas horquilla, ambas potenciales aplicaciones de hidrógeno sostenible. Según el levantamiento técnico del Programa, el consumo potencial de hidrógeno asociado al sector se estima en 40.000 toneladas anuales para movilidad on-road, 700 toneladas anuales para movilidad off-road y 3.800 toneladas anuales para hornos de altas temperaturas al 2035 (Programa H2V Biobío, 2023).

Los factores críticos de implementación se concentran en consolidar circuitos integrados de captura y utilización de dióxido de carbono biogénico bajo esquemas compartidos, evitando que cada proyecto resuelva individualmente su abastecimiento. La articulación entre la industria forestal y los productores de e-combustibles configura uno de los encadenamientos de mayor valor estratégico para la región.





INGENIERÍA Y METALMECÁNICO

El sector de Ingeniería y Metalmecánico de la Región del Biobío articula una cadena productiva relevante a nivel nacional, vinculada al diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas, equipos industriales, componentes y soluciones para sectores estratégicos como minería, energía, infraestructura y actividades marítimo-portuarias. Más que un sector metalmecánico en sentido estricto se trata de un ecosistema integrado en el que participan de forma relacionada empresas metalmecánicas, de obras civiles y de control e instrumentación, varias de las cuales ya han manifestado interés en involucrarse. En el contexto de la transición energética, su principal oportunidad radica en posicionarse como proveedor de soluciones para la industria del hidrógeno sostenible y sus derivados, aportando capacidades de ingeniería, fabricación, montaje y mantenimiento de la infraestructura física requerida. Su incorporación opera en horizontes de mediano y largo plazo, con requerimientos de inversión significativos.

En la región existe un ecosistema de empresas con capacidades instaladas en fabricación estructural, montajes industriales, obras civiles, servicios metalmecánicos y manufactura avanzada. Entre ellas destacan Molycop, dedicada a la fabricación de bolas de molienda e insumos para la industria minera; Edyce, referente en estructuras metálicas de alta complejidad para los sectores minero y energético; Metalúrgica Arauco, ubicada en Coronel y especializada en fabricación estructural, montajes industriales y soluciones para el sector naval; Indama (Industria de Acero Manufacturado), con experiencia en estructuras metálicas y soluciones industriales personalizadas; Ingemet, enfocada en innovación y fabricación de estanques y componentes para la industria de procesos; Maestranza José Fuentes Rodríguez, con trayectoria en estructuras, puentes y piping industrial; y Conmetal, con experiencia en la fabricación de equipos industriales para procesos térmicos y energéticos, entre otras.



Asimismo, la vocación marítimo-portuaria de la región ha permitido el desarrollo de capacidades relevantes en industria naval, construcción naval y mantenimiento industrial, particularmente en la zona de Talcahuano. Este sector, además de su rol histórico, presenta una proyección concreta hacia la manufactura de productos sostenibles en la región, en línea con las nuevas cadenas de valor energéticas. Destaca ASMAR (Astilleros y Maestranzas de la Armada), principal astillero del país, que articula una extensa red de proveedores y empresas metalmecánicas regionales para procesos de reparación naval y construcción industrial. A ello se suma Hinrichsen & Sons, empresa especializada en diseño y fabricación de boyas de alta mar y componentes navales.

En conjunto, estas capacidades configuran al sector de Ingeniería y Metalmecánico regional como un potencial proveedor de ingeniería y manufactura avanzada para la cadena de valor del hidrógeno sostenible, tanto en la habilitación de infraestructura física como en la fabricación local de componentes críticos como estanques, electrolizadores e intercambiadores de calor. El desarrollo de esta línea permitiría reducir la dependencia de importaciones, generar empleo especializado y fortalecer las capacidades tecnológicas regionales en una industria emergente de alta complejidad, posicionando al sector no como demandante de hidrógeno, sino como habilitador industrial de su despliegue (Programa H2V Biobío, 2023).





PORTUARIO

El sistema portuario de la Región del Biobío constituye un eje articulador de la propuesta de valor regional, dado que conecta la producción industrial con mercados internacionales y, simultáneamente, configura una demanda propia de combustibles alternativos para sus operaciones. Junto con el sector transporte (sección 4.2.6), conforma un circuito logístico integrado en el que la producción de derivados, su transporte terrestre e intermodal y su despacho marítimo se articulan como una sola cadena de valor regional: el hidrógeno y sus derivados producidos en la zona industrial se movilizan por vía terrestre y ferroviaria hacia los terminales, donde se almacenan, se despachan a buques (bunkering) o se exportan.

En la región operan 13 terminales portuarios, de uso público y privado, distribuidos principalmente en las bahías de Talcahuano, San Vicente, Coronel y Penco-Lirquén, además del astillero ASMAR (Programa H2V Biobío, 2023). En conjunto concentran aproximadamente el 20% de la carga total movilizada a nivel nacional, operando como punto logístico clave de la macrozona sur.

Estos terminales no son homogéneos: presentan perfiles operativos, tipos de carga y volúmenes muy distintos, lo que implica plazos y requisitos de inversión diferenciados para incorporar infraestructura de combustibles alternativos. A continuación, se describen los principales puertos de la región, según el Boletín Estadístico Marítimo (DIRECTEMAR, 2025) con datos 2024:



- **Puerto de Coronel** (cerca de 8,5 millones de toneladas anuales): puerto de marcada vocación exportadora, con cerca del 99% de su carga vinculada a comercio internacional (exportación y tránsito). Opera contenedores y graneles, con fuerte presencia de exportación forestal y de celulosa. Por su escala y orientación internacional, es uno de los candidatos prioritarios para servicios de bunkering y exportación de derivados.

- **Puerto de Talcahuano** (cerca de 9,2 millones de toneladas anuales): terminal multipropósito con el perfil más mixto de la región (aproximadamente 42% comercio internacional y 58% cabotaje), que moviliza carga general, graneles líquidos e importaciones.

- **Terminal de San Vicente** (cerca de 7,9 millones de toneladas anuales): terminal de contenedores (San Vicente Terminal Internacional, SVTI), ubicado en la bahía homónima, con cerca del 63% de carga internacional y alto movimiento de exportación e importación. Su perfil contenedorizado lo orienta a la exportación de derivados envasados y a la trazabilidad por lote. En esta misma bahía se ubica, como instalación independiente, el terminal de combustibles de ENAP, lo que posiciona a la zona como nodo natural para el manejo de combustibles líquidos bajos en carbono.

- **Puerto de Lirquén** (cerca de 5,3 millones de toneladas anuales): terminal multipropósito, ubicado en la localidad de Lirquén (comuna de Penco), con cerca del 93% de carga internacional, especializado en contenedores y carga fraccionada, con fuerte exportación forestal.

- **Puerto de Penco** (cerca de 0,4 millones de toneladas anuales): terminal de menor escala, orientado principalmente a importación, con un rol más acotado en la cadena de derivados.



El rol estratégico del sector portuario en la transición energética se expresa en tres dimensiones:

- **Provisión de combustibles alternativos a embarcaciones** (bunkering marítimo), especialmente con e-metanol y amoníaco verde, para flotas internacionales sujetas a obligaciones de reducción de emisiones bajo el Reglamento FuelEU Maritime (Reglamento UE 2023/1805), vigente desde 2025. Dado que la mayor parte del tonelaje de los principales puertos regionales corresponde a comercio internacional (DIRECTEMAR, 2025), existe un mercado regulado con cronograma definido. Según el levantamiento técnico del Programa, el consumo potencial directo de metanol para bunkering en la región se estima en aproximadamente 10.500 toneladas equivalentes de hidrógeno anuales al 2035 (Programa H2V Biobío, 2023).

- **Plataforma logística para la exportación de derivados del hidrógeno** producidos en la región hacia mercados internacionales con presión regulatoria por reducción de emisiones, lo que requiere capacidades de trazabilidad por lote (verificación documental que permite identificar el origen, las características productivas y las emisiones asociadas a cada partida producida).

- **Descarbonización de las operaciones portuarias internas**, mediante la electrificación con sistemas de Suministro Eléctrico desde Tierra (SET, conocidos internacionalmente como OPS por su sigla en inglés Onshore Power Supply), que permiten que las embarcaciones atracadas se conecten a la red eléctrica del puerto en lugar de utilizar motores diésel auxiliares. Esta electrificación portuaria beneficia también a la flota pesquera industrial, que opera en los mismos terminales de Talcahuano, San Vicente y Coronel (ver sección 4.2.9). A esto se suma la incorporación de hidrógeno sostenible o equipos eléctricos en la movilidad interna del puerto, con un consumo potencial estimado de 130 toneladas anuales de hidrógeno al 2035 para equipos como grúas y maquinaria de patio (Programa H2V Biobío, 2023).

Los factores críticos para la implementación incluyen:

- **Modernización ordenada de los terminales e infraestructura** física específica para los nuevos combustibles. El bunkering de e-metanol requiere estanques de almacenamiento dedicados, brazos de carga y sistemas de control de derrames; el de amoníaco verde, por su toxicidad, exige además sistemas reforzados de seguridad, detección de fugas y protocolos de manejo especializados.



Conviene distinguir entre la inversión en infraestructura habilitante compartida (estanques comunes, líneas de suministro, sistemas de seguridad de uso común) y la inversión por operador (equipamiento propio de cada terminal), de modo de evitar duplicaciones y reducir el costo individual por proyecto.

- **Rol de las Empresas Portuarias Estatales y el marco concesional.** La habilitación de estas inversiones depende del marco de concesiones portuarias vigente en Chile, en el que las empresas portuarias estatales actúan como autoridades concedentes y los frentes de atraque son operados por concesionarios privados. Conviene evaluar tempranamente si los contratos de concesión actuales permiten incorporar instalaciones de bunkering de derivados del hidrógeno o si requieren modificación, ya que ello condiciona las decisiones y los plazos de inversión. El Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, a través de su institucionalidad portuaria, cumple un rol clave en habilitar este marco.

- **Coordinación interinstitucional entre operadores portuarios, autoridad marítima, sector industrial y entidades regulatorias,** alineada con la Hoja de Ruta para la Transición Energética Marítima 2050, presentada en febrero de 2026 a consulta pública por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones y el Ministerio de Energía (MTT y Ministerio de Energía, 2026).

- **Desarrollo de capacidades técnicas en monitoreo, reporte y verificación de emisiones (MRV)** específicas para combustibles marinos, condición de acceso a los mercados con demanda regulada. La región puede apoyarse en sus universidades, centros tecnológicos y laboratorios para asumir funciones de medición y verificación, articulando estas capacidades con el ecosistema del Programa y con la iniciativa de formación de capital humano.

En esta lógica, el sector portuario opera como plataforma de inserción internacional del portafolio regional de hidrógeno y derivados, y como demandante directo de soluciones bajas en carbono, articulando demanda propia con habilitación logística para otros sectores.





4.2.6

TRANSPORTE

El sector transporte presenta una oportunidad selectiva. No toda aplicación es viable en plazos cortos, pero ciertos segmentos presentan condiciones técnicas y económicas favorables para incorporar hidrógeno y derivados como complemento a la electrificación directa dentro de las rutas de descarbonización.

Los segmentos identificados por el Programa son (Programa H2V Biobío, 2023):

- **Carga pesada en operación cautiva** (flotas que operan en circuitos cerrados con rutas definidas y abastecimiento centralizado en una misma faena industrial), particularmente aquellas vinculadas al sector forestal, metalmecánico, pesquero y portuario. Según el levantamiento técnico del Programa, el potencial máximo de consumo de hidrógeno en movilidad de carga pesada en la región se estima en aproximadamente 40.000 toneladas anuales al 2035.
- **Transporte intermodal e intraportuario**, modalidad logística que combina distintos medios (camión, tren y barco) para transferir carga dentro y fuera del puerto. Este segmento incluye operaciones vinculadas al sector forestal y a sectores agroexportadores como el frutícola y el agrícola, donde la concentración de operaciones permite compartir infraestructura de abastecimiento y generar evidencia operativa replicable. La región del Biobío concentra una producción agrícola y frutícola de relevancia nacional, destacando como líder en la producción de castaño (81,6% del total nacional), frambuesa (46,9%) y arándano americano (32,9%) (ODEPA, 2018), lo que configura una demanda logística sostenida en el tiempo. Adicionalmente, la región cuenta con un universo aproximado de 5.000 grúas horquilla, mayoritariamente utilizadas en el sector forestal y de celulosa, lo que configura una demanda potencial relevante para hidrógeno (Programa H2V Biobío, 2023).



Adicionalmente, el sector transporte de la región opera como nodo logístico de la macrozona sur, conectando al Biobío con regiones vecinas como Ñuble, La Araucanía y el resto del sur de Chile. Esto abre oportunidades complementarias para la incorporación de hidrógeno sostenible en aplicaciones de transporte interregional de larga distancia, donde la electrificación directa enfrenta restricciones técnicas asociadas al peso de las baterías y a los requerimientos de autonomía.





CEMENTO

El sector cementero constituye uno de los actores industriales más relevantes de la Región del Biobío, dado el carácter intensivo en energía y emisiones de sus procesos productivos, particularmente en los hornos rotatorios utilizados para la producción de clinker.

En la región operan dos empresas productoras de cemento: Cementos Bío Bío (CBB) y Polpaico, que abastecen principalmente al mercado nacional de la construcción y mantienen presencia en proyectos relevantes a nivel país. Una tercera empresa, Melón, comercializa en la región sin contar con producción local (Programa H2V Biobío, 2023).

El sector trabaja desde 2016 en una hoja de ruta de descarbonización a nivel regional, nacional e interamericano. En el mediano y largo plazo, se identifica el potencial de sustituir entre un 5% y un 10% de los combustibles fósiles utilizados en los hornos rotatorios por hidrógeno sostenible, sin requerir recambio tecnológico. Una mayor adopción de hidrógeno requiere modificaciones en el proceso productivo. Según el levantamiento técnico del Programa, el consumo potencial de hidrógeno en hornos de altas temperaturas del sector se estima en aproximadamente 80 toneladas anuales al 2035 (Programa H2V Biobío, 2023).

Esta ruta de descarbonización se articula con un mercado más amplio de productos verdes diferenciados, donde el cemento y el clinker bajos en carbono representan una oportunidad de valor agregado. La producción local de clinker bajo en carbono permitiría además sustituir importaciones de mayor huella y reducir el riesgo de fuga de carbono, en un contexto de creciente presión regulatoria por la reducción de emisiones.





AEROPUERTO Y AVIACIÓN

El sector aeronáutico regional, articulado a través del Aeropuerto Internacional Carriel Sur ubicado en Talcahuano, constituye un punto estratégico para el despliegue futuro del Combustible Sostenible de Aviación (CSA / SAF) en la Región del Biobío.

El Aeropuerto Carriel Sur registró cerca de 26.000 vuelos en 2022, principalmente de carácter nacional, y presta servicios de transporte de pasajeros en tramos nacionales e internacionales hacia ciudades como Lima, Buenos Aires y Río de Janeiro. En él operan tres líneas aéreas: LATAM, Sky Airlines y JetSMART (Programa H2V Biobío, 2023).

Según el levantamiento del programa, Carriel Sur se proyecta como un consumidor relevante de CSA / SAF, con un potencial de demanda complementaria en los equipos de operación terrestre del aeropuerto. Se estima que en el mediano plazo el 50% del combustible de aviación podría ser reemplazado por SAF, y en el largo plazo la totalidad del combustible utilizado.

La ruta tecnológica priorizada es la conversión Metanol a Kerosene, que requiere e-metanol como insumo intermedio. Este e-metanol puede producirse a nivel regional aprovechando el dióxido de carbono biogénico generado por el sector forestal y de celulosa, y el hidrógeno sostenible. Esta vía se alinea con las metas de ENAP de convertirse en productor de combustibles sintéticos en su refinería regional. El levantamiento técnico del Programa estima un consumo potencial de aproximadamente 10.000 toneladas equivalentes de hidrógeno anuales al 2035 (Programa H2V Biobío, 2023).





PESCA

La Región del Biobío es la región de mayor importancia pesquera del país (SUBPESCA, Dirección Zonal de Pesca y Acuicultura de las Regiones de Ñuble y del Biobío). El sector pesquero regional presenta una alta diversidad de realidades sociales y económicas, con un sector artesanal especialmente relevante, y se organiza en torno a tres tipos principales de pesquerías: pelágicas, demersales y bentónicas.

La actividad pesquera regional incluye programas de manejo activos como el monitoreo participativo de sardina común y anchoveta, el plan de manejo de recursos bentónicos del Golfo de Arauco, el plan de administración del recurso reineta en Lebu y programas de repoblamiento de algas de interés comercial en Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) (SUBPESCA). Esta diversidad de pesquerías y de instancias institucionales constituye una base relevante para articular la transición energética del sector.

El rol del sector pesquero en la transición energética del Biobío se expresa en tres dimensiones complementarias:

Descarbonización de la operación portuaria de la flota pesquera, mediante la incorporación de Suministro Eléctrico desde Tierra (SET, conocido internacionalmente como OPS por su sigla en inglés Onshore Power Supply) en muelles pesqueros, que permite que las embarcaciones atracadas se conecten a la red eléctrica del puerto en lugar de utilizar motores auxiliares, reduciendo emisiones locales y ruido en zonas urbanas costeras.

Sustitución progresiva de combustibles en plantas de procesamiento y en la logística asociada, mediante la incorporación de hidrógeno sostenible, e-combustibles o biogás en procesos térmicos de plantas de harina, aceite y conservas, así como en la flota de camiones que transporta los productos del sector, sustituyendo el uso de combustibles fósiles tradicionales.



Articulación con sectores logísticos y portuarios para el desarrollo de combustibles alternativos (e-metanol, amoníaco verde) que puedan ser utilizados por embarcaciones pesqueras industriales, en coherencia con la transición regulatoria del sector marítimo bajo el Reglamento FuelEU Maritime (Reglamento UE 2023/1805).

La descarbonización conjunta de estos eslabones abre, además, una oportunidad de diferenciación comercial: productos pesqueros con menor huella de carbono pueden acceder en mejores condiciones a mercados exigentes en sustentabilidad, complementando los destinos de exportación actuales del sector.

Los factores críticos para la implementación incluyen:

- El acceso a financiamiento específico para la modernización progresiva de la flota y de las plantas procesadoras.
- La articulación con la institucionalidad pesquera regional, en particular con el Consejo Zonal de Pesca de la Región del Biobío y con las instancias de participación lideradas por la Dirección Zonal de SUBPESCA.

El sector pesquero opera como demandante potencial de soluciones de descarbonización progresiva, con énfasis inicial en la electrificación portuaria y la sustitución de combustibles en plantas de procesamiento.



5

CONSTRUCCIÓN DE LA HOJA DE RUTA

5.1 EVOLUCIÓN DEL ENFOQUE ESTRATÉGICO DEL PROGRAMA

El punto de origen es concreto y tiene fecha: el 2 de noviembre de 2023, en la Universidad Católica de la Santísima Concepción, donde 32 actores del territorio (industria, academia, gremios y sector público) definieron colectivamente la primera visión para la Región del Bío-bío: convertirse en un polo de descarbonización industrial mediante el uso de hidrógeno sostenible y sus derivados.

Luego de tres años de trabajo, surge un reajuste en el enfoque del programa. Este reenfoque responde a un aprendizaje clave del proceso: el hidrógeno verde no es un fin en sí mismo, sino una herramienta dentro de una transformación más amplia. En lugar de centrar el esfuerzo exclusivamente en desarrollar la industria del hidrógeno sostenible, el programa evoluciona hacia un enfoque integral de transición energética, donde el hidrógeno y sus derivados se posicionan como habilitadores de competitividad y descarbonización.

Este cambio implica transitar desde una lógica centrada en sustituir la matriz energética por hidrógeno, tal como se había planteado inicialmente, hacia una visión más amplia de transición energética, en la cual el hidrógeno se entiende como una de las alternativas disponibles para la descarbonización y la autonomía energética del territorio, articulada con otras rutas como la electrificación, las energías renovables, la eficiencia energética, entre otras.

Se busca habilitar un entorno donde existan mercados, modelos de negocio viables e infraestructura coherente con las necesidades de la industria regional.

En este contexto, el foco estratégico se traslada hacia la competitividad energética de la Región del Bío-bío, entendida como un factor clave para atraer inversión, impulsar la transformación productiva y asegurar una descarbonización efectiva. Así, el programa se posiciona como un articulador de condiciones habilitantes para el desarrollo industrial sostenible, más que como un impulsor aislado de una tecnología específica.

A partir del nuevo enfoque, se construye una metodología de trabajo que emerge como resultado de un proceso estructurado que integra levantamiento territorial, análisis estratégico y lectura sistémica del ecosistema.

Esta metodología no constituye una definición previa, sino una síntesis analítica que recoge la evidencia levantada en terreno mediante talleres territoriales, mesas técnicas, focus group empresarial y entrevistas a actores clave del ecosistema regional, desarrollados entre 2023 y 2026 con la participación de empresas, instituciones académicas, gremios y organismos públicos. Sobre esta base se identifican brechas y capacidades reales del territorio, lo que permite reorientar el programa hacia una lógica más aplicada, vinculada a las transiciones energéticas, al desarrollo de derivados y a la activación de demanda efectiva.





5.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Hoy la viabilidad de una inversión en proyectos de energía depende cada vez más de factores geopolíticos y macroeconómicos que condicionan la demanda futura. Las decisiones de inversión ya no se toman únicamente con criterios técnicos o de disponibilidad de recursos naturales: dependen de cómo evolucionan los mercados internacionales, las políticas climáticas de los países compradores, los precios de la energía, las tensiones comerciales entre bloques económicos y los marcos regulatorios globales. Si esa demanda potencial no logra visualizarse con claridad (con offtakers reales, contratos de largo plazo y señales de precio creíbles) el negocio simplemente no se sostiene, por muy competitivo que sea el recurso local.

Y cuando existe una oportunidad real, esta debe apalancarse sobre activos industriales existentes (puertos, redes eléctricas, plantas químicas, infraestructura logística, capacidades productivas instaladas) que permitan reducir CAPEX, disminuir riesgos de ejecución y construir modelos de negocio financieramente sostenibles.

Partir desde cero, en industrias intensivas en capital como el hidrógeno y sus derivados, suele ser inviable: la ventaja competitiva surge de integrar lo nuevo con lo que ya está operan-

do, aprovechando sinergias industriales, capital humano formado y cadenas de valor maduras.

Por eso esta metodología es, ante todo, un proceso ejecutable por los responsables de las iniciativas de negocio, que definen, financian y materializan las inversiones. Más que una secuencia técnica, ordena la conversación entre lo global y lo local: cada fase valida que la apuesta tenga sentido económico que se sustente en activos reales y cuente con el respaldo de quienes pueden hacerla viable. La gobernanza no ejecuta las iniciativas, sino que habilita las condiciones para que avancen.

La lógica aquí es: primero se define qué decisión estratégica está en juego en cada fase, y desde ahí se configura el comité o la dimensión de trabajo necesaria para habilitarla. Eso significa que los espacios de gobernanza se diseñan en función de su capacidad de traccionar en un momento específico del proceso. Un comité de offtake tiene sentido cuando hay casos de negocio priorizados que requieren cerrar demanda; un consorcio de infraestructura se justifica cuando hay proyectos concretos que necesitan compartir activos; una mesa de financiamiento se activa cuando ya existen estructuras de proyecto bancarizables.



Esta forma de operar tiene tres ventajas concretas. Primero, evita la sobre-institucionalización temprana, que tiende a burocratizar procesos que aún necesitan flexibilidad y exploración. Segundo, garantiza que cada instancia tenga un mandato claro y acotado, vinculado a una decisión específica, lo que aumenta la probabilidad de que efectivamente se tomen acuerdos vinculantes. Y tercero, permite movilizar a los actores correctos en el momento oportuno, respetando los tiempos, intereses y niveles de compromiso que cada uno puede aportar según la madurez del proceso.

Sobre esta base, el programa estructura su trabajo en seis pasos secuenciales, articulados en torno a un eje transversal de habilitación territorial:

1. Configuración de Gobernanza Habilitante y Anclas Estratégicas: Es el punto de partida porque define las "reglas del juego" y el liderazgo del proceso. Aquí se toman decisiones sobre quién articula, cómo se coordina lo público-privado-academia y qué anclas territoriales (puertos, parques industriales, zonas energéticas, comunidades) van a estructurar el desarrollo. Los actores clave son gobiernos regionales, ministerios sectoriales, gremios productivos, universidades y representantes territoriales.

2. Identificación de Desafíos Regionales e Impulsores de Demanda: Con la gobernanza instalada, se trabaja sobre el diagnóstico territorial: qué problemas reales puede resolver el hidrógeno (descarbonización minera, fertilizantes, etc.) y qué demanda existe o puede gatillar. Las decisiones se vuelven más sustantivas porque se prioriza dónde tiene sentido invertir energía y recursos. Se incorporan offtakers potenciales, sectores industriales pesados, operadores logísticos y centros de investigación.

3. Priorización de Casos de Negocio: Aquí la metodología se hace más concreta: se evalúan y jerarquizan los casos viables (técnica, económica y socioambiental) para decidir en qué apostar primero. Esta tarea la realizan los dueños y desarrolladores de cada proyecto, que definen y financian sus inversiones, con el apoyo de inversionistas, banca y consultores técnicos que aportan la mirada de viabilidad y retorno. La gobernanza no prioriza los proyectos, sino que habilita las condiciones para que avancen.

4. Plataformas y Consorcios de Infraestructura Compartida: Dado que los proyectos de H2 requieren infraestructura de gran escala (energía, agua, transporte, almacenamiento), individualmente son inviables. Esta fase decide cómo se comparte y financia esa infraestructura habilitante. Se involucran operadores de red, empresas portuarias, sanitarias, generadores eléctricos y agencias de fomento.

5. Modelo de Negocios y Estructura de Financiamiento: Con los casos priorizados y la infraestructura definida, se diseña cómo se monetiza y financia el ecosistema: contratos de largo plazo, instrumentos de garantía, blending público-privado, mecanismos de mitigación de riesgo.

6. Desarrollo de Capacidades, I+D Aplicada y Posicionamiento Estratégico: Cierra el ciclo asegurando sustentabilidad de largo plazo: formación de capital humano, innovación aplicada y posicionamiento del territorio en los mercados globales del H2. Aquí son protagonistas universidades, centros tecnológicos, agencias de promoción de exportaciones y organismos internacionales.



El eje transversal - Habilitación Territorial, Permisología y Licencia Social: atraviesa las seis fases, y esto es muy relevante: ningún paso avanza realmente si no se trabaja en paralelo la relación con comunidades, pueblos originarios, autoridades ambientales y servicios sectoriales. Es lo que evita que un proyecto técnicamente robusto fracase por falta de viabilidad social o demoras regulatorias.

En síntesis, la metodología permite decidir con evidencia y secuencia: cada fase reduce incertidumbre, ordena prioridades y suma a los actores justos en el momento justo, evitando que el proceso se vuelva una conversación general sin aterrizaje. Es, en el fondo, una hoja de ruta para pasar del entusiasmo declarativo a proyectos concretos, financiables y legitimados territorialmente, conectando la oportunidad global con la capacidad industrial real del territorio y diseñando la gobernanza al servicio de las decisiones, no al revés.



METODOLOGÍA DE TRABAJO



6

PROPÓSITO, OBJETIVOS Y FOCOS DEL PROGRAMA 2026 - 2050

6.1 PROPÓSITO ESTRATÉGICO

El Programa Estratégico Regional de Transición Energética e Hidrógeno del Biobío tiene como propósito fortalecer la competitividad energética y productiva de la región, impulsando su transición energética e industrial hacia un desarrollo más sostenible, resiliente y con mayor valor agregado. Aquí la transición no comienza desde cero: se construye sobre una base industrial y logística instalada hace décadas y sobre la articulación público-privada regional. Sobre esas capacidades, el programa habilita el desarrollo de proyectos de hidrógeno sostenible y sus derivados en articulación con el despliegue de energías renovables, como parte de una estrategia más amplia de descarbonización productiva.

El marco conceptual del programa se basa en la transición energética como concepto integrador, donde las energías renovables constituyen la base habilitante del sistema, y el hidrógeno sostenible y sus derivados se posicionan como aplicaciones estratégicas para sectores de difícil descarbonización. El camino habilitante es compartido: expansión de generación renovable, reducción del costo de la energía, desarrollo de líneas de transmisión e infraestructura que permita producir y distribuir productos basados en energéticos limpios de alto valor agregado.

La hoja de ruta busca orientar la acción público-privada para habilitar condiciones concretas de desarrollo industrial y fortalecer la competitividad regional, utilizando el hidrógeno sostenible y sus derivados como medio para descarbonizar la base productiva del territorio.

Para ello, se propone:

- Reducir incertidumbres regulatorias, económicas y tecnológicas que limitan la inversión.
- Impulsar el despliegue de energías renovables como base del proceso de descarbonización regional.
- Articular demanda industrial y mercados internacionales para derivados del hidrógeno.
- Desarrollar infraestructura compartida y plataformas habilitantes que reduzcan costos y riesgos.
- Posicionar al Biobío como plataforma industrial y logística para la transición energética.

6.2 VISIÓN DEL PROGRAMA

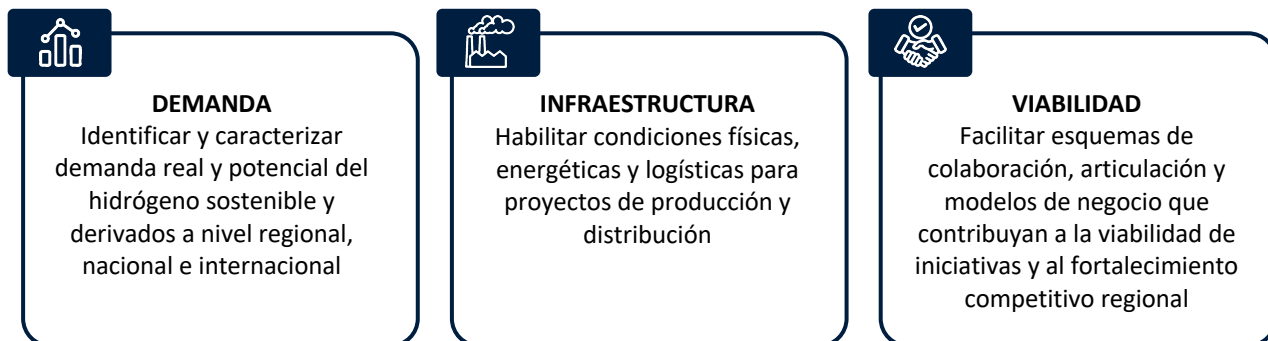
"BIOBÍO SE POSICIONA COMO LA PLATAFORMA INDUSTRIAL Y LOGÍSTICA LÍDER EN CHILE PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA,

desarrollando soluciones basadas en energías renovables, hidrógeno sostenible y sus derivados para descarbonizar la industria y abastecer mercados nacionales e internacionales."



6.3 FOCOS ESTRATÉGICOS DEL PROGRAMA

Los focos estratégicos orientan la priorización de acciones y recursos:



6.4 OBJETIVOS ESTRATÉGICOS

A partir de los focos estratégicos, se definen cuatro objetivos estratégicos que articulan el trabajo del programa:

- OE1** | **DEMANDA Y MERCADOS**
 Caracterizar y dimensionar la demanda real y potencial de hidrógeno y sus derivados en la región, identificando oportunidades a lo largo de la cadena de valor que permitan orientar el desarrollo de proyectos y la priorización de inversiones.
- OE2** | **MODELOS DE NEGOCIO Y FINANCIAMIENTO**
 Proponer y evaluar modelos de negocio, esquemas de colaboración y mecanismos de financiamiento que permitan mejorar la viabilidad económica y facilitar la materialización de proyectos asociados a hidrógeno sostenible y sus derivados.
- OE3** | **CONOCIMIENTO Y ECOSISTEMA**
 Fortalecer el entendimiento común sobre la transición energética y el rol de las energías renovables, el hidrógeno sostenible y sus derivados entre los actores clave del ecosistema regional, promoviendo una visión compartida sobre oportunidades, desafíos y condiciones habilitantes.
- OE4** | **PIPELINE REGIONAL DE PROYECTOS**
 Identificar, visibilizar y articular un pipeline regional de proyectos asociados a las energías renovables, el hidrógeno sostenible, sus derivados y subderivados, contribuyendo a reducir brechas de información, coordinación y madurez que dificultan su desarrollo.



7 EJES ESTRATÉGICOS

Los ejes habilitadores corresponden a las líneas de trabajo desarrolladas por los Comités Gestores del programa, orientadas a generar condiciones habilitantes para el desarrollo de proyectos. Cada eje tiene un comité gestor responsable y líneas de trabajo específicas.

EJE 1**GOBERNANZA**

Deja de ser solo coordinación y se orienta a movilizar acciones concretas, incorporando el financiamiento como un espacio de articulación para transformar acuerdos en iniciativas implementables.

EJE 2**DESARROLLO TERRITORIAL, SOCIAL Y AMBIENTAL**

El enfoque evoluciona desde una noción general de desarrollo hacia una perspectiva territorial, integrando la transición energética con las condiciones locales, la sostenibilidad y la legitimidad social.

EJE 3**CAPITAL HUMANO, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN**

Se prioriza el desarrollo de capacidades técnicas aplicadas, orientadas a la implementación industrial, desplazando el foco desde la investigación hacia la ejecución y adopción tecnológica.

EJE 4**INFRAESTRUCTURA HABILITANTE Y DESARROLLO INDUSTRIAL**

Se amplía la mirada desde la producción de hidrógeno hacia el desarrollo integral de su cadena de valor, incluyendo almacenamiento, transporte y uso, con foco en la habilitación industrial.

EJE 5**DEMANDA**

Se identifica la demanda y se amplía su alcance más allá del ámbito local, incorporando sectores industriales y mercados de mayor escala, como base para un desarrollo sostenible del ecosistema.

EJE 6**COMPETITIVIDAD Y MODELO ECONÓMICO**

Se incorpora una dimensión económica estructural, enfocada en asegurar y promover la viabilidad financiera, modelos de negocio claros y condiciones de competitividad necesarias para el desarrollo del hidrógeno y derivados.

8 BRECHAS

Las brechas presentadas en esta sección corresponden a los principales desafíos que limitan el desarrollo de la industria del hidrógeno sostenible y sus derivados en la Región del Biobío. El alcance se focaliza específicamente en este vector de la transición energética, en coherencia con el ámbito de acción del Programa Estratégico H2 Biobío.

Si bien la transición energética regional contempla un portafolio más amplio de rutas de descarbonización, entre ellas, eficiencia energética, electrificación directa, sustitución de combustibles y otras energías renovables, las brechas aquí identificadas se concentran en las condiciones habilitantes que requiere el desarrollo del hidrógeno sostenible y sus derivados como vector estratégico de la industria regional.

Las brechas se estructuran en función de los ejes habilitadores definidos por el Programa.

8.1

GOBERNANZA

01

DEPENDENCIA DE SUBSIDIOS PARA VIABILIDAD DE PROYECTOS PILOTO

Los proyectos piloto y de escala intermedia no son viables sin aportes no reembolsables, subsidios directos o mecanismos de reducción de riesgo financiero.

02

INSUFICIENTE DISPOSICIÓN A COLABORAR ENTRE LOS ACTORES CLAVE

Se evidencia una insuficiente disposición y capacidad de colaboración entre los actores clave, lo que dificulta la articulación efectiva del ecosistema y restringe el avance hacia objetivos compartidos.

03

ARTICULACIÓN PARCIAL ENTRE LA DEMANDA REGIONAL Y LA ESTRATEGIA NACIONAL DE HIDRÓGENO

La actualización 2026 de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde incorpora la demanda como foco estratégico, abriendo una oportunidad de alineación con el enfoque regional. No obstante, esta articulación es aún parcial: la Estrategia Regional de Hidrógeno Verde requiere profundizar su alineación con la estrategia nacional para potenciar sinergias y facilitar el acceso a instrumentos y apoyos existentes.

04

DEBILITAMIENTO DE PARTICIPACIÓN PRIVADA EN GOBERNANZA

Se reconoce un debilitamiento de la participación empresarial en la gobernanza del programa, que no se resuelve con invitaciones genéricas sino con gestión deliberada.

05

LIMITADO ACCESO A INFORMACIÓN CONFIDENCIAL DE LAS EMPRESAS NECESARIA PARA LA PREPARACIÓN DEL ECOSISTEMA

Las restricciones de confidencialidad sobre información de proyectos empresariales limitan la capacidad del ecosistema para anticiparse y prepararse adecuadamente. Esto frena la planificación territorial, la articulación de infraestructura compartida y el dimensionamiento de capacidades habilitantes.



8.2 DESARROLLO TERRITORIAL, SOCIAL Y AMBIENTAL

01

NECESIDAD DE FORTALECER LA LEGITIMIDAD TERRITORIAL DEL PROGRAMA

Los conflictos sociales no se resuelven cuando aparece el proyecto. Se requiere trabajo temprano con comunidades, no reactivo, como condición estructural de escalamiento.

02

INCERTIDUMBRE REGULATORIA QUE FRENA INVERSIÓN

La falta de certeza regulatoria es la barrera más citada para la inversión privada. Cambios de autoridades implican “volver a explicar todo” constantemente.

03

FRAGMENTACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL ENTRE INSTITUCIONES PÚBLICAS

La planificación territorial está fragmentada entre múltiples instituciones públicas con competencias en uso de suelo, energía, urbanismo y desarrollo regional, sin un mecanismo de coordinación efectivo para definir una zonificación industrial específica para proyectos de hidrógeno sostenible.

8.3 CAPITAL HUMANO, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

01

DESARROLLO DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS EN LA INDUSTRIA LOCAL DE SUS EQUIPOS

Se requiere fortalecer el desarrollo y transferencia de conocimiento en tecnologías clave (electrolizadores, membranas, celdas), promoviendo un rol local que trascienda el ensamblaje.

02

FORTALECIMIENTO DE LA CONEXIÓN ACADEMIA-INDUSTRIA EN I+D APLICADA

Se necesita potenciar la articulación entre investigación universitaria y necesidades industriales, junto con habilitar financiamiento para pruebas y prototipos en condiciones reales.

03

DESALINEACIÓN ENTRE EL MODELO FORMATIVO Y LAS NECESIDADES DE LA INDUSTRIA

Los contenidos y enfoques del modelo formativo regional no están plenamente alineados con las necesidades técnicas y operativas que demanda la industria del hidrógeno sostenible. Se requiere consolidar un modelo de formación vinculado al sector productivo, donde la relación empresa y academia sea parte del desarrollo del negocio.

04

DEFASE ENTRE LOS TIEMPOS DE FORMACIÓN Y LA DEMANDA DE CAPITAL HUMANO DE LA INDUSTRIA

Los plazos de los procesos formativos no responden oportunamente a la velocidad con que la industria del hidrógeno sostenible requiere capital humano calificado. Se necesita ajustar los tiempos formativos para reducir este desfase y entregar profesionales y técnicos en los plazos que demanda el desarrollo de proyectos.



05**ARTICULACIÓN DE APRENDIZAJES ENTRE GRANDES INICIATIVAS COLABORATIVAS EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO Y EL PROGRAMA**

Se requiere integrar sistemáticamente los aprendizajes, logros y experiencias provenientes de iniciativas colaborativas del ecosistema regional (tales como anillos industriales, programas tecnológicos estratégicos, consorcios de I+D y otros instrumentos similares) como insumo clave para habilitar futuros proyectos dentro del Programa.

06**FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES OPERACIONALES EN CAPITAL HUMANO**

Se necesita desarrollar capital humano con experiencia práctica en operación, mantenimiento y seguridad de tecnologías de hidrógeno sostenible, mediante espacios de formación en condiciones reales y mayor vinculación con infraestructura industrial.

8.4**INFRAESTRUCTURA HABILITANTE Y DESARROLLO INDUSTRIAL****01****INESTABILIDAD DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO RENOVABLE**

La intermitencia de las energías renovables variables compromete la continuidad operativa de procesos petroquímicos que requieren un suministro eléctrico estable y permanente. Esta condición técnica evidencia una brecha: la falta de sistemas de almacenamiento eficientes que aseguren un suministro continuo.

02**LIMITACIONES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS PARA ESCALAMIENTO DE BLENDING DE H2 EN REDES DE GAS EXISTENTES**

El blending (mezcla controlada de hidrógeno con gas natural en proporciones definidas para inyección en redes existentes) enfrenta restricciones físicas y regulatorias que limitan su escalamiento. A nivel nacional, el proyecto piloto H2GN, liderado por Gasvalpo en La Serena y Coquimbo (Región de Coquimbo), alcanzó al 2026 una inyección del 10% de hidrógeno sostenible en redes domiciliarias, abasteciendo a cerca de 4.600 hogares, con una meta del 20% en el largo plazo (PV Magazine Latam, 2026). Esta experiencia confirma la viabilidad técnica del blending en porcentajes acotados, pero también evidencia un tope técnico propio de la tecnología. Por ello, la brecha no está en ese límite, sino en definir el rol estratégico del blending: al ser una solución acotada y transitoria, muchos usos residenciales podrían resolverse mediante electrificación, reservando el hidrógeno para aplicaciones donde resulta indispensable.

03**AUSENCIA DE INFRAESTRUCTURA LOGÍSTICA PARA EXPORTACIÓN DE DERIVADOS**

No existe infraestructura logística moderna (portuaria, ferroviaria) para exportación a gran escala de derivados de hidrógeno sostenible como SAF (Combustible Sostenible de Aviación), metanol o amoníaco.



8.5 DEMANDA**01****CONSOLIDACIÓN DE UNA DEMANDA ARTICULADA A ESCALA REGIONAL**

Sin volúmenes de consumo coordinados entre los sectores priorizados (refinería, química, cemento, forestal, transporte pesado, portuario, pesca, ingeniería y metalmecánica, y aeropuerto y aviación), no se logran economías de escala que permitan habilitar proyectos competitivos de hidrógeno sostenible y sus derivados (Programa H2V Biobío, 2023).

02**NECESIDAD DE CONSOLIDAR UN MERCADO INTERNO PARA DERIVADOS DE HIDRÓGENO SOSTENIBLE**

No existe un mercado estructurado para derivados del hidrógeno sostenible. Sin demanda interna, los proyectos dependen exclusivamente de exportación.

03**ARTICULACIÓN DE DEMANDA Y OFERTA PARA HIDRÓGENO SOSTENIBLE**

Ausencia de señales claras de demanda y compromisos de adopción por parte de actores públicos y privados, lo que genera incertidumbre sobre el uso futuro de infraestructura y limita decisiones de inversión en producción, logística y derivados de hidrógeno.

8.6 COMPETITIVIDAD Y MODELO ECONÓMICO**01****COSTOS Y RIESGOS DEL HIDRÓGENO SOSTENIBLE VS COMBUSTIBLE FÓSIL**

La brecha de costos entre el hidrógeno gris (producido a partir de combustibles fósiles) y el hidrógeno sostenible es el principal desafío para la sustitución industrial, y reducir esa diferencia es la tarea pendiente, aunque el dato ha ido cambiando con el tiempo. Según estimaciones recientes, el hidrógeno proveniente de hidrocarburos se produce a un costo cercano a los 1,5 USD/kg, mientras que el hidrógeno verde se sitúa en un rango aproximado de 8 a 12 USD/kg (GIZ, 2021), brecha que dificulta la sustitución industrial sin instrumentos habilitantes como subsidios, impuestos al carbono o mecanismos regulatorios que permitan acortarla. Esta comparativa, sin embargo, no captura los riesgos sistémicos del hidrógeno fósil: volatilidad de los precios del gas natural, riesgos regulatorios por la creciente exigencia de reducción de emisiones, y riesgo de activos varados (infraestructura que pierde valor económico antes del fin de su vida útil) en cadenas fósiles cuyas inversiones podrían no recuperarse a largo plazo (IRENA, 2022). Por ello, cerrar la brecha de costos no depende solo de abaratar el hidrógeno sostenible, sino también de internalizar estos riesgos en la comparación; la transición debe entenderse como un proceso que va más allá de la competitividad de costos, abordando también la resiliencia y la seguridad energética del territorio.



02 OPORTUNIDAD NO CAPITALIZADA DEL CO₂ BIOGÉNICO FORESTAL

La industria forestal del Biobío genera dióxido de carbono biogénico aprovechable para la producción de e-combustibles y e-metanol, insumos elegibles bajo el Reglamento delegado (UE) 2023/1184 para los Combustibles Renovables de Origen No Biológico (RFNBO). No obstante, no existen contratos formales ni una cadena de suministro establecida que articule la oferta forestal con la demanda potencial de productores de e-combustibles a nivel regional (Programa H2V Biobío, 2023).

03 AUSENCIA DE ESTÁNDARES TÉCNICOS ESPECÍFICOS PARA COMPONENTES Y SERVICIOS DE HIDRÓGENO

La manufactura regional cuenta con capacidades técnicas instaladas, pero no dispone de estándares regulados específicos para componentes y servicios del sector hidrógeno (electrolizadores, tuberías, almacenamiento, equipamiento de seguridad), lo que restringe la integración regional en cadenas de suministro globales con certificación verificable (Programa H2V Biobío, 2023).

04 SOBRECOSTO ESTRUCTURAL DEL METANOL VERDE VS FÓSIL

El metanol verde, derivado del hidrógeno sostenible, presenta costos de producción más altos que el metanol fósil, lo que se traslada a toda la cadena productiva. Esta diferencia compromete la viabilidad del encadenamiento con la pequeña y mediana empresa (PYME) regional sin instrumentos habilitantes que distribuyan el sobre costo entre los actores de la cadena de valor (Mesas Técnicas, 2025).

05 ALTOS COSTOS ESTRUCTURALES DE MANO DE OBRA Y ENERGÍA

Chile tiene costos de mano de obra y energía (niveles salariales, regulaciones laborales y matriz energética) más altos que países vecinos, lo que reduce la competitividad de la manufactura local en la cadena del hidrógeno sostenible y sus derivados (Mesas Técnicas, 2025).

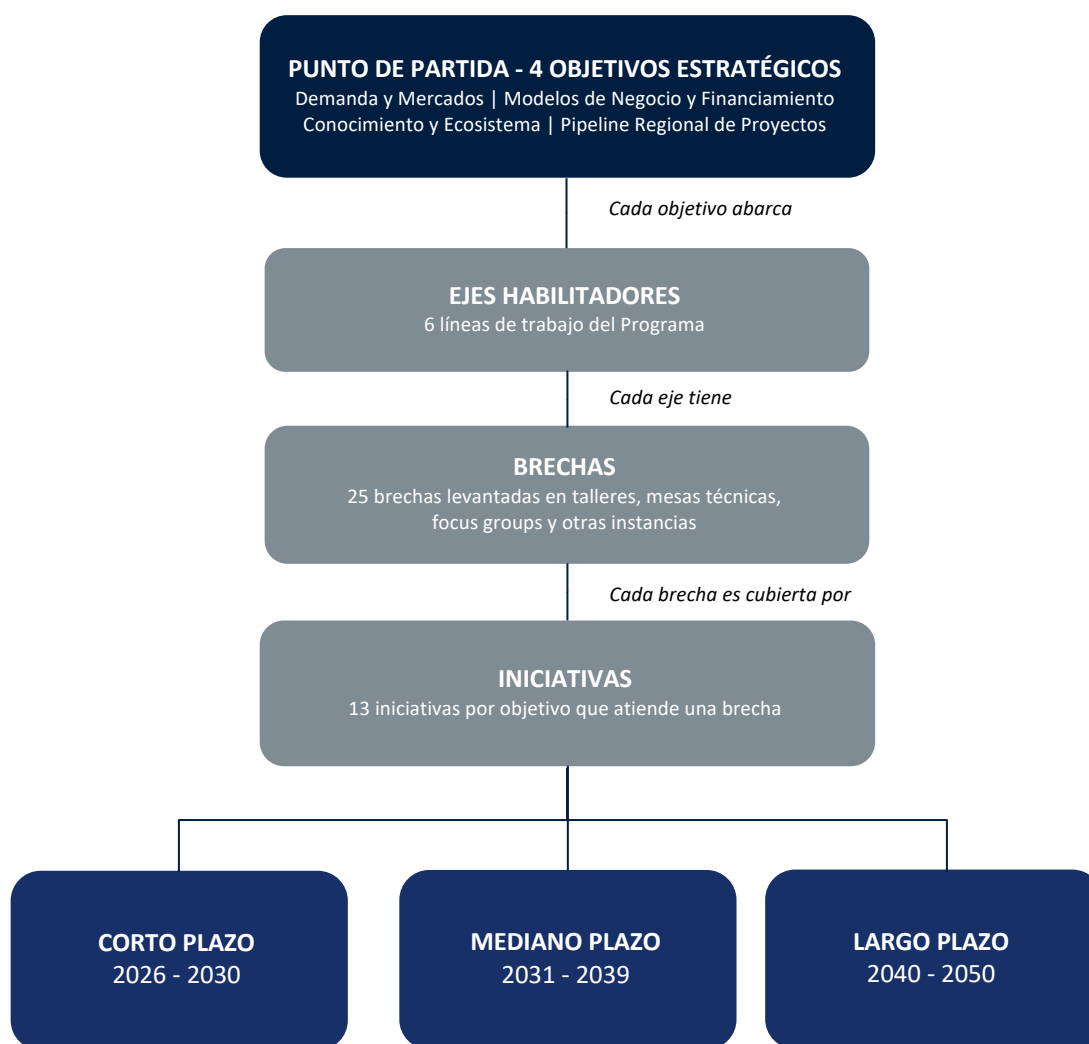


9 INICIATIVAS

CONSTRUCCIÓN DE LAS INICIATIVAS

Las iniciativas del Programa se desprenden directamente de los cuatro objetivos estratégicos de la Hoja de Ruta. Cada objetivo abarca un conjunto específico de ejes habilitadores y brechas levantadas, asegurando que cada iniciativa responda simultáneamente a una condición habilitante del ecosistema y a un desafío concreto del territorio.

¿CÓMO SE CONSTRUYEN LAS INICIATIVAS?



FUNDAMENTACIÓN DE LOS HORIZONTES TEMPORALES

En total se proponen 13 iniciativas organizadas en tres horizontes temporales: corto plazo (2026-2030), mediano plazo (2031-2039) y largo plazo (2040-2050).

Los horizontes temporales del Programa se alinean con la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde actualizada del Ministerio de Energía y con los compromisos de carbono neutralidad de Chile establecidos en la Ley Marco de Cambio Climático.

CORTO PLAZO (2026-2030)

Horizonte de despliegue inicial. Iniciativas habilitantes y de articulación.

MEDIANO PLAZO (2031-2039)

Horizonte de consolidación. Cierre de brechas estructurales y desarrollo de capacidades.

LARGO PLAZO (2040-2050)

Horizonte de carbono neutralidad. Iniciativas de cierre estructural y posicionamiento internacional.



INICIATIVAS DEL PROGRAMA

	INICIATIVAS	PLAZOS			BRECHAS ABORDADAS
		CORTO (2026-2030)	MEDIANO (2031-2039)	LARGO (2040-2050)	
OE1 - DEMANDA Y MERCADOS	1.1 Estudio de caracterización y dimensionamiento de la demanda regional, nacional e internacional de hidrógeno y derivados				8.5.1 - 8.5.2 - 8.5.3
	1.2 Programa de articulación con empresas clave para gatillar proyectos ancla en la región				8.5.1 - 8.5.2 - 8.5.3 - 8.1.4 - 8.1.2 - 8.6.2
	1.3 Análisis de oportunidades de exportación y visibilidad de nuevos mercados de derivados desde el Biobío				8.4.3 - 8.6.2
OE2 - MODELOS DE NEGOCIO Y FINANCIAMIENTO	2.1 Desarrollo de modelos de negocio y estructuración de mecanismos de financiamiento para proyectos de la transición energética				8.1.1 - 8.6.1 - 8.6.2 - 8.6.4 - 8.6.5
	2.2 Articulación de la visión Regional sobre Transición Energética				8.2.2 - 8.2.3 - 8.1.3 - 8.1.2
	2.3 Estudio prospectivo de estándares técnicos regionales para componentes y servicios de hidrógeno				8.1.2 - 8.6.3
OE3 - CONOCIMIENTO Y ECOSISTEMA	3.1 Programa de formación y habilitación para actores clave del ecosistema regional				8.3.3 - 8.3.4 - 8.3.6
	3.2 Construcción de una plataforma de conocimiento e información compartida del sector en la región				8.1.5 - 8.3.5
	3.3 Programa transversal de relacionamiento territorial y licencia social				8.2.1
	3.4 Programa de I+D y desarrollo de tecnología aplicada en hidrógeno y derivados				8.3.1 - 8.3.2 - 8.6.5
OE4 - PIPELINE REGIONAL DE PROYECTOS	4.1 Levantamiento, sistematización y visibilidad del pipeline regional de proyectos				8.5.3
	4.2 Programa de acompañamiento para mejorar la madurez de proyectos del pipeline				8.5.3
	4.3 Estudio prospectivo de infraestructura de transporte y almacenamiento de hidrógeno y derivados				8.4.2 - 8.4.1

9.1. DEMANDA Y MERCADOS (OE1)

9.1.1

ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LA DEMANDA REGIONAL, NACIONAL E INTERNACIONAL DE HIDRÓGENO Y DERIVADOS

HORIZONTE

Corto Plazo (2026-2030)

OBJETIVO

Caracterizar y dimensionar la demanda actual y potencial de hidrógeno sostenible y sus derivados en la Región del Biobío, así como identificar la demanda nacional e internacional de productos de baja huella vinculados al hidrógeno sostenible y sus derivados en su cadena productiva, generando una base de información sectorial confiable que permita orientar el diseño de proyectos, priorizar inversiones y articular oferta y demanda en el ecosistema regional.

DESCRIPCIÓN

Se levantará de manera sistemática la demanda actual y potencial de hidrógeno y sus derivados (amoníaco, metanol, combustibles sintéticos y otros) en la Región del Biobío, con foco en los sectores prioritarios: refinería, química, forestal y de celulosa, metalme-cánico, portuario, pesca, transporte pesado, cemento, y aeroportuario y aviación. Para cada sector se identificarán los atributos que condicionan su adopción: volúmenes mínimos viables, precios de referencia, plazos de sustitución, continuidad de suministro, especificaciones técnicas y requisitos de certificación. Adicionalmente, se analizará la demanda nacional y de los principales mercados de exportación, para productos de baja huella de carbono asociados al hidrógeno sostenible. El resultado no será un volumen agregado, sino una caracterización que apoyará el diseño de proyectos y las decisiones de negocio de potenciales productores y compradores.

BRECHAS ABORDADAS

- 8.5.1 — Consolidación de una demanda articulada a escala regional.
- 8.5.2 — Necesidad de consolidar un mercado interno para derivados de hidrógeno sostenible.
- 8.5.3 — Articulación de demanda y oferta para hidrógeno sostenible.



9.1.2

PROGRAMA DE ARTICULACIÓN CON EMPRESAS CLAVE PARA GATILLAR PROYECTOS ANCLA EN LA REGIÓN

HORIZONTE	Corto Plazo (2026-2030)
OBJETIVO	Identificar, articular y comprometer a empresas clave de la región como consumidores ancla de energías renovables, hidrógeno sostenible y sus derivados, transformando el interés declarado en señales de demanda verificables y consolidando un mecanismo permanente de participación empresarial en la gobernanza del programa.
DESCRIPCIÓN	Se identificarán y convocarán las empresas e instituciones con mayor potencial de actuar como consumidores ancla, capaces de suscribir compromisos de compra de largo plazo. A través de mesas de trabajo sectoriales, se evaluará la factibilidad técnica y económica de sustituir energéticos convencionales y se construirá, junto a cada empresa, una ruta de adopción concreta. Esta incluirá un roadmap de implementación con hitos anuales, la identificación de fricciones técnicas, regulatorias y financieras, así como oportunidades de articulación con proveedores y otros proyectos del pipeline regional. Adicionalmente, el programa instalará un mecanismo permanente de participación empresarial en la gobernanza, con calendario formal de instancias, roles definidos por empresa y un sistema de seguimiento de la contribución efectiva de cada actor.
BRECHAS ABORDADAS	8.5.1 — Consolidación de una demanda articulada a escala regional. 8.5.2 — Necesidad de consolidar un mercado interno para derivados de hidrógeno sostenible. 8.5.3 — Articulación de demanda y oferta para hidrógeno sostenible. 8.1.4 — Debilitamiento de participación privada en gobernanza. 8.1.2 — Insuficiente disposición a colaborar entre los actores clave. 8.6.2 — Oportunidad no capitalizada del CO₂ biogénico forestal.

9.1.3

ANÁLISIS DE OPORTUNIDADES DE EXPORTACIÓN Y VISIBILIDAD DE NUEVOS MERCADOS DE DERIVADOS DESDE EL BIOBÍO

HORIZONTE	Corto Plazo (2026-2030), Mediano Plazo (2031-2039)
OBJETIVO	Identificar mercados internacionales prioritarios, evaluar la posición competitiva del Bío-bío y mapear los requerimientos de infraestructura logística necesarios para exportar derivados del hidrógeno.



DESCRIPCIÓN	Se mapearán los mercados internacionales con mayor demanda proyectada de hidrógeno sostenible y sus derivados. El análisis incluirá el dimensionamiento de los volúmenes potenciales de exportación por mercado y producto, concluyendo con la determinación de los mercados más atractivos para la región en base a una matriz de oferta disponible. Se evaluará la posición competitiva del Biobío concentrando el análisis en los factores de mayor peso en la estructura de costos: el costo de producción, el costo energético y la disponibilidad de CO ₂ biogénico como insumo estratégico. Asimismo, se identificarán los corredores de exportación más viables, los offtakers internacionales relevantes y las certificaciones requeridas por cada mercado de destino (ISCC EU, RSB, CORSIA, IMO).
BRECHAS ABORDADAS	8.4.3 — Ausencia de infraestructura logística para exportación de derivados. 8.6.2 — Oportunidad no capitalizada del CO ₂ biogénico forestal.

9.2. MODELOS DE NEGOCIO Y FINANCIAMIENTO (OE2)

9.2.1

DESARROLLO DE MODELOS DE NEGOCIO Y ESTRUCTURACIÓN DE MECANISMOS DE FINANCIAMIENTO PARA PROYECTOS DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

HORIZONTE	Corto Plazo (2026-2030), Mediano Plazo (2031-2039)
OBJETIVO	Proponer modelos de negocio y mecanismos de financiamiento aplicables al contexto regional, entregando una hoja de ruta operativa que permita a los desarrolladores identificar la combinación más adecuada para sus proyectos, incluyendo modelos específicos para hidrógeno sostenible, sus derivados y el aprovechamiento del CO ₂ biogénico regional.
DESCRIPCIÓN	La iniciativa se desarrollará en dos componentes paralelos. Componente 1 — Levantamiento de instrumentos de financiamiento: se sistematizarán los instrumentos aplicables, tanto nacionales (CORFO, ANID, Ministerio de Energía) como internacionales (banca multilateral, fondos climáticos y banca privada de impacto). Componente 2 — Diseño y validación de modelos de negocio: se compararán modelos como producción para autoconsumo, HaaS (Hydrogen as a Service), consorcios público-privados, modelos cooperativos y esquemas de offtake conjunto. Se incluirán modelos específicos para derivados y para el aprovechamiento del CO ₂ biogénico forestal del Biobío.
BRECHAS ABORDADAS	8.1.1 — Dependencia de subsidios para viabilidad de proyectos piloto. 8.6.1 — Costos y riesgos del hidrógeno sostenible vs combustible fósil. 8.6.4 — Sobrecosto estructural del metanol verde vs fósil. 8.6.2 — Oportunidad no capitalizada del CO ₂ biogénico forestal. 8.6.5 — Altos costos estructurales de mano de obra y energía.



9.2.2

ARTICULACIÓN DE LA VISIÓN REGIONAL SOBRE TRANSICIÓN ENERGÉTICA

HORIZONTE	Corto Plazo (2026-2030), Mediano Plazo (2031-2039), Largo Plazo (2040-2050)
OBJETIVO	Articular la visión regional sobre transición energética entre el programa, el Gobierno Regional (GORE) del Biobío, las municipalidades clave y los servicios públicos, asegurando coherencia con los instrumentos de planificación territorial y con la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde y su actualización 2026-2030 del Ministerio de Energía.
DESCRIPCIÓN	Se instalará un trabajo sostenido entre el programa, el Gobierno Regional, las municipalidades de la zona industrial, portuaria y los servicios públicos con competencia territorial. Como punto de partida, se evaluará la factibilidad de articularse con mesas o instancias regionales ya existentes vinculadas al sector energético. En caso de no existir una instancia adecuada, se evaluará conformar una Mesa Regional de Energía abierta a la participación de asociaciones, empresas, gremios e instituciones del Biobío. El trabajo abordará la articulación con la Estrategia Regional de Desarrollo (ERD), la incorporación del Programa en el Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT) y en los planos reguladores comunales, y la identificación temprana de zonas con vocación industrial para el hidrógeno. De forma complementaria, se establecerá un canal formal de articulación con el Ministerio de Energía.
BRECHAS ABORDADAS	8.2.2 — Incertidumbre regulatoria que frena inversión. 8.2.3 — Fragmentación de la planificación territorial entre instituciones públicas. 8.1.3 — Articulación parcial entre la demanda regional y la Estrategia Nacional de Hidrógeno. 8.1.2 — Insuficiente disposición a colaborar entre los actores clave.

9.2.3

ESTUDIO PROSPECTIVO DE ESTÁNDARES TÉCNICOS REGIONALES PARA COMPONENTES Y SERVICIOS DE HIDRÓGENO

HORIZONTE	Mediano Plazo (2031-2039), Largo Plazo (2040-2050)
OBJETIVO	Identificar y proponer estándares técnicos regionales para componentes y servicios críticos del sector hidrógeno, habilitando que la manufactura y servicios del Biobío se integren en cadenas de suministro globales con certificación verificable.
DESCRIPCIÓN	Se desarrollará un estudio prospectivo orientado a identificar y proponer estándares técnicos regionales para componentes y servicios críticos del sector hidrógeno (electrolizadores, tuberías, almacenamiento, equipamiento de seguridad, servicios de operación y mantenimiento). El estudio mapeará los estándares internacionales



DESCRIPCIÓN	aplicables (ISO, IEC, normativas europeas y norteamericanas), evaluará la capacidad regional de cumplimiento y certificación, y propondrá una hoja de ruta para que la manufactura y servicios del Biobío puedan integrarse en cadenas de suministro globales. Esta iniciativa busca trascender el rol regional de ensamblaje hacia capacidades de manufactura certificada con valor agregado.
BRECHAS ABORDADAS	8.6.3 — Ausencia de estándares técnicos específicos para componentes y servicios de hidrógeno. 8.1.2 — Insuficiente disposición a colaborar entre los actores clave.

9.3. CONOCIMIENTO Y ECOSISTEMA (OE3)

9.3.1

PROGRAMA DE FORMACIÓN Y HABILITACIÓN PARA ACTORES CLAVE DEL ECOSISTEMA REGIONAL

HORIZONTE	Corto Plazo (2026-2030)
OBJETIVO	Habilitar a los actores clave del ecosistema regional (tomadores de decisión y profesionales técnicos) para participar con criterio en la gobernanza del programa y para responder a las necesidades técnico-operacionales de la industria del hidrógeno.
DESCRIPCIÓN	El programa H2 Biobío, en su rol articulador, coordinará junto a las instituciones de educación e industria pertenecientes a la gobernanza espacios de cooperación y formación. Se promoverá un programa de capacitación dirigido a funcionarios públicos, empresarios, académicos y representantes de la sociedad civil involucrados en la gobernanza del Programa, que abordará los fundamentos técnicos del hidrógeno, las cadenas de valor y los marcos regulatorios. Se incluirá además una línea de formación técnico-operacional con módulos prácticos en operación, mantenimiento y seguridad. Se promoverán mecanismos de formación dual y certificación por competencias en alianza con instituciones técnico-profesionales regionales.
BRECHAS ABORDADAS	8.3.3 — Desalineación entre el modelo formativo y las necesidades de la industria. 8.3.4 — Desfase entre los tiempos de formación y la demanda de capital humano de la industria. 8.3.6 — Fortalecimiento de capacidades operacionales en capital humano.



9.3.2

CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA DE CONOCIMIENTO E INFORMACIÓN COMPARTIDA DEL SECTOR EN LA REGIÓN

HORIZONTE	Corto Plazo (2026-2030)
OBJETIVO	Centralizar y poner a disposición del ecosistema regional la información relevante del sector hidrógeno (proyectos, actores, financiamiento, regulación, infraestructura habilitante y aprendizajes) a través de una plataforma digital que sirva como repositorio del ecosistema regional.
DESCRIPCIÓN	El Programa H2 Biobío evaluará alternativas viables para el desarrollo de una plataforma digital de acceso abierto, articulándose con instituciones u organismos especializados que cuenten con capacidad técnica y financiera para sostenerla. La plataforma centralizará información clave del ecosistema regional: proyectos en desarrollo, estudios y diagnósticos, mapa de actores, instrumentos de financiamiento vigentes, marco regulatorio aplicable y agenda de hitos. Adicionalmente, incluirá información detallada de la infraestructura habilitante regional, tanto física como inmaterial. La plataforma incorporará distintos niveles de acceso para gestionar la confidencialidad empresarial e incluirá un módulo de sistematización de aprendizajes de iniciativas colaborativas regionales.
BRECHAS ABORDADAS	8.1.5 — Acceso limitado a información confidencial de las empresas necesaria para la preparación del ecosistema. 8.3.5 — Articulación de aprendizajes entre grandes iniciativas colaborativas en la región del Biobío y el programa.

9.3.3

PROGRAMA TRANSVERSAL DE RELACIONAMIENTO TERRITORIAL Y LICENCIA SOCIAL

HORIZONTE	Corto Plazo (2026-2030), Mediano Plazo (2031-2039)
OBJETIVO	Incorporar la legitimidad social como un criterio habilitante transversal desde las etapas iniciales de diseño y desarrollo de cualquier iniciativa estratégica, asegurando la consideración temprana de los intereses, expectativas y dinámicas territoriales de las comunidades vinculadas al proyecto.
DESCRIPCIÓN	El Programa H2 Biobío levantará y sistematizará los programas de relacionamiento comunitario que ya implementan las empresas y entidades de las zonas con vocación industrial y portuaria de la región (entre ellas Arauco, CMPC, los puertos del Biobío, ENAP, Gas Sur, empresas pesqueras y otros actores del sector energético). Sobre esta base, se promoverá un programa estructurado de relacionamiento temprano con las comunidades de zonas como Talcahuano, San Vicente, Coronel, Hualpén y la provincia de Arauco.



DESCRIPCIÓN	A diferencia de los enfoques reactivos, este programa instala un trabajo continuo y anticipado a través de diálogos territoriales, mesas de información, mecanismos de participación ciudadana y herramientas de comunicación accesibles sobre los riesgos y beneficios de las tecnologías de hidrógeno.
BRECHAS ABORDADAS	8.2.1 — Necesidad de fortalecer la legitimidad territorial del programa.

9.3.4 PROGRAMA DE I+D Y DESARROLLO DE TECNOLOGÍA APLICADA EN HIDRÓGENO Y DERIVADOS

HORIZONTE	Corto Plazo (2026-2030), Mediano Plazo (2031-2039), Largo Plazo (2040-2050)
OBJETIVO	Fortalecer las capacidades tecnológicas regionales en componentes y procesos clave de la cadena del hidrógeno, trascendiendo el rol de ensamblaje y avanzando hacia capacidades de desarrollo, integración y certificación local.
DESCRIPCIÓN	Se implementará un programa de I+D aplicada orientado a fortalecer las capacidades tecnológicas regionales en componentes y procesos clave de la cadena del hidrógeno: electrolizadores, membranas, celdas de combustible, sistemas de almacenamiento y equipamiento auxiliar. El programa articulará a universidades regionales, centros tecnológicos y empresas industriales locales en torno a desafíos concretos planteados por la industria, promoviendo la búsqueda de financiamiento para pruebas, prototipos y pilotos en condiciones reales.
BRECHAS ABORDADAS	8.3.1 — Desarrollo de capacidades tecnológicas en la industria local de sus equipos. 8.3.2 — Fortalecimiento de la conexión academia-industria en I+D aplicada. 8.6.5 — Altos costos estructurales de mano de obra y energía.



9.4. PIPELINE REGIONAL DE PROYECTOS (OE4)

9.4.1

LEVANTAMIENTO, SISTEMATIZACIÓN Y VISIBILIDAD DEL PIPELINE REGIONAL DE PROYECTOS

HORIZONTE	Corto Plazo (2026-2030)
OBJETIVO	Levantar, sistematizar y dar visibilidad al pipeline regional de proyectos asociados al hidrógeno sostenible y sus derivados, generando una base estructurada que sirva como insumo para la planificación territorial, la articulación de infraestructura compartida y la coordinación entre iniciativas.
DESCRIPCIÓN	El Programa H2 Biobío coordinará el levantamiento sistemático del pipeline regional de proyectos asociados al hidrógeno sostenible y sus derivados, considerando iniciativas en distintas etapas de desarrollo (prefactibilidad, ingeniería conceptual, evaluación ambiental, construcción y operación). Para cada proyecto se caracterizarán atributos clave: ubicación, escala, tipo de derivado, nivel de madurez, actores involucrados, requerimientos de infraestructura habilitante y necesidades de financiamiento. La información se sistematizará en una base estructurada integrada a la plataforma de conocimiento del sector regional. La sistematización respetará criterios de confidencialidad acordados con los desarrolladores de proyectos.
BRECHAS ABORDADAS	8.5.3 — Articulación de demanda y oferta para hidrógeno sostenible.

9.4.2

PROGRAMA DE ACOMPAÑAMIENTO PARA MEJORAR LA MADUREZ DE PROYECTOS DEL PIPELINE

HORIZONTE	Mediano Plazo (2031-2039)
OBJETIVO	Apoyar el avance de los proyectos del pipeline regional con menor grado de madurez, entregando acompañamiento integral que permita avanzar en estudios de prefactibilidad, ingeniería conceptual, evaluación ambiental y mitigación de riesgos.
DESCRIPCIÓN	Una vez levantado el pipeline regional, se implementará un programa de acompañamiento para que los proyectos con menor grado de madurez avancen en sus estudios de prefactibilidad, ingeniería conceptual y evaluación ambiental. Este acompañamiento será integral e incluirá acceso a consultores y expertos especializados, vinculación con centros de investigación regionales, apoyo en la gestión interna y de stakeholders, y soporte para anticipar y mitigar riesgos regulatorios, financieros, sociales o técnicos que puedan afectar el desarrollo de los proyectos.
BRECHAS ABORDADAS	8.5.3 — Articulación de demanda y oferta para hidrógeno sostenible.



9.4.3

ESTUDIO PROSPECTIVO DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO Y DERIVADOS

HORIZONTE	Mediano Plazo (2031-2039), Largo Plazo (2040-2050)
OBJETIVO	Desarrollar un estudio prospectivo regional sobre soluciones de transporte, almacenamiento, distribución y repostaje de hidrógeno sostenible y sus derivados, incluyendo modalidades terrestres y marítimas (cabotaje), dejando disponibles propuestas técnicas regionales que puedan activarse cuando el marco regulatorio nacional avance.
DESCRIPCIÓN	El Programa H2 Biobío promoverá un estudio prospectivo regional sobre soluciones de transporte, almacenamiento, distribución y repostaje de hidrógeno sostenible y sus derivados, considerando las limitaciones técnicas, regulatorias y económicas para el escalamiento del blending en redes de gas existentes. El estudio analizará alternativas tecnológicas (almacenamiento subterráneo, gasoductos dedicados, transporte por amoníaco, redes de distribución adaptadas, transporte marítimo de cabotaje y estaciones de recarga HRS) y evaluará su viabilidad técnica y económica. Asimismo, se articulará con el Plan de Trabajo de Regulaciones Habilitantes para el Desarrollo de la Industria de Hidrógeno en Chile 2024-2030, iniciativa interministerial liderada por el Ministerio de Energía.
BRECHAS ABORDADAS	8.4.2 — Limitaciones técnicas y económicas para el escalamiento de blending de H₂ en redes de gas existentes. 8.4.1 — Inestabilidad del suministro eléctrico renovable.



10 CONCLUSIÓN

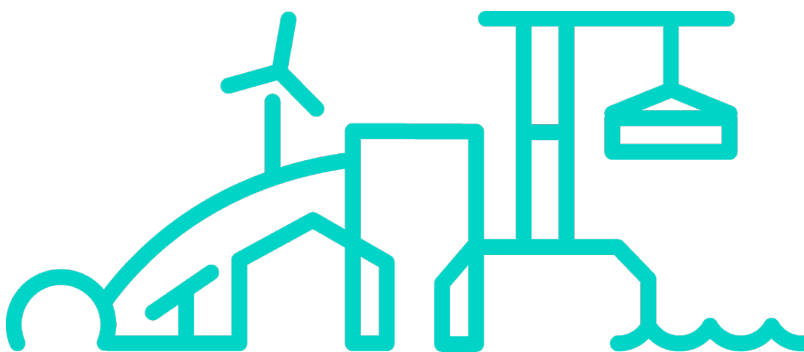


CONCLUSIÓN

La presente Hoja de Ruta 2026-2050 del Programa Estratégico Regional de Transición Energética e Hidrógeno del Biobío marca un punto de inflexión en la trayectoria del Programa. Tres años después de su versión original, el ecosistema regional ha consolidado un diagnóstico común, ha identificado brechas concretas y ha avanzado hacia un consenso compartido sobre el rol estratégico que la Región del Biobío puede desempeñar en la transición energética de Chile.

El rol del Biobío en esta transición es complementario y diferenciado. Mientras las regiones del norte y del extremo austral concentrarán la producción de hidrógeno a gran escala con orientación exportadora aprovechando sus recursos solares y eólicos, el Biobío articula un modelo basado en la demanda industrial consolidada, el potencial renovable propio y la disponibilidad de dióxido de carbono biogénico forestal, configurando un nodo estratégico para la producción de derivados con destino tanto al mercado interno como a la exportación de productos de mayor valor agregado (Programa H2V Biobío, 2023).

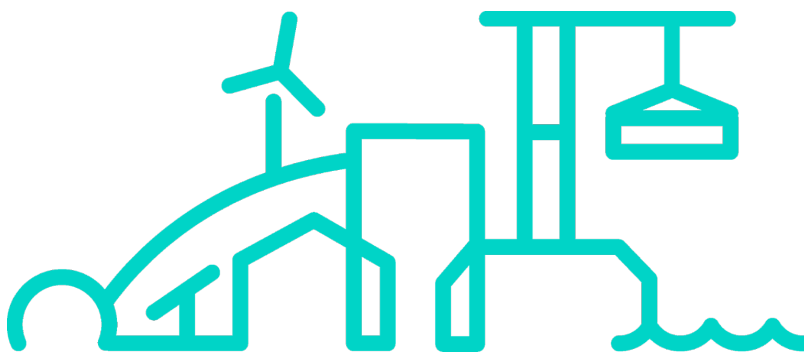
El éxito de esta Hoja de Ruta depende de la capacidad del ecosistema regional para articular condiciones habilitantes concretas: estructurar demanda real entre los sectores identificados (refinería, química, forestal y de celulosa, metal-mecánico, portuario, pesca, transporte, cemento y aeroportuario y aviación); desarrollar modelos de negocio y mecanismos de financiamiento viables; consolidar infraestructura compartida que reduzca los costos individuales de los proyectos; y construir un capital humano y un capital social que sostengan la legitimidad territorial de la transición.



El programa asume su rol como articulador del ecosistema regional, promoviendo la coordinación entre instituciones públicas, empresas, academia, gremios y comunidades, en lugar de ejecutar directamente las iniciativas. Este rol articulador reconoce que la materialización de los proyectos del pipeline regional dependerá del compromiso activo de cada uno de los actores del ecosistema, y que el Programa actúa como puente de articulación, facilitando información, promoviendo financiamiento, generando espacios de diálogo y construyendo capacidades comunes.

Las 13 iniciativas articuladas en tres horizontes temporales constituyen la operacionalización concreta de esta visión. Su implementación efectiva requerirá compromiso sostenido, financiamiento articulado, voluntad política regional y nacional, y la capacidad del ecosistema regional para construir confianza, transparencia y aprendizaje colectivo.

La Hoja de Ruta no es un documento estático, sino un instrumento dinámico de articulación que deberá actualizarse periódicamente para incorporar los aprendizajes de la implementación, los cambios del contexto regulatorio internacional y la evolución del mercado del hidrógeno y sus derivados.



11 BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Comisión Europea. (2019). *Pacto Verde Europeo (European Green Deal)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0640>

Comisión Europea. (2021). *Fit for 55*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550>

Comisión Europea. (s.f.). *Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)*. https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en

Coordinador Eléctrico Nacional. (2026). *Reporte energético del Sistema Eléctrico Nacional, mayo 2026*. <https://www.coordinador.cl/reportes/documentos/reportes-energetico/>

CORFO. (2025). *Convocatoria Anillos Industriales Biobío*. <https://www.corfo.gob.cl/sites/cpp/convocatoria/anillos-industriales-fomento-encadenamiento-productivo-biobio/>

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit [GIZ]. (2021). *Estudio de prefactibilidad técnica y económica de la producción de hidrógeno verde mediante electrólisis*. <https://4echile.cl/wp-content/uploads/2021/09/Produccion-y-costos-H2-GNA.pdf>

Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante [DIRECTEMAR]. (2025). *Boletín estadístico marítimo 2025*. <https://www.directemar.cl/>

El Periódico de la Energía. (s.f.). *Mercado europeo del hidrógeno*. <https://elperiodicodelaenergia.com>

Greenhouse Gas Protocol. (s.f.). *Corporate standard*. <https://ghgprotocol.org/corporate-standard>

Instituto Forestal [INFOR]. (2019). *Anuario forestal*. <https://wef.infor.cl/index.php/destacados/anuario/a-nivel-nacional-el-sector-forestal-participa-con-el-2-1-del-pib-total-en-la-region-del-biobio-se-alcanza-el-15-8>

International Energy Agency [IEA]. (2024). *Global hydrogen review 2024*. <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024>

International Renewable Energy Agency [IRENA]. (2022). *Geopolitics of the energy transformation*. <https://www.irena.org/Digital-Report/Geopolitics-of-the-Energy-Transformation>

Maritime News. (2025). *Postergación del marco Net-Zero de la IMO*. <https://www.maritime-news.com>



BIBLIOGRAFÍA

- Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. (2026). *Biministro valora adjudicación de dos proyectos de Anillos Industriales para fomentar la demanda de H2V en la Región del Biobío*. <https://www.economia.gob.cl/2026/01/09/biministro-valora-adjudicacion-de-dos-proyectos-de-anillos-industriales-para-fomentar-la-demanda-de-h2v-en-la-region-del-biobio.htm>
- Ministerio de Energía de Chile. (2020). *Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde*. https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf
- Ministerio de Energía de Chile. (2024). *Plan de trabajo de regulaciones habilitantes 2024-2030*. https://energia.gob.cl/sites/default/files/documento-pdt_h2.pdf
- Ministerio de Energía de Chile. (s.f.). *Actualización de la Estrategia Nacional de Hidrógeno (ENH) 2026-2030*. <https://energia.gob.cl/h2/Estrategia>
- Ministerio de Energía de Chile. (s.f.). *Mesa Nacional de Hidrógeno Verde* [sitio institucional]. <https://www.planhidrogenoverde.cl/>
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones [MTT] y Ministerio de Energía. (2026). *Hoja de ruta para la transición energética marítima 2050*. https://logistica.mtt.cl/wp-content/uploads/2026/02/Consulta-publica_Hoja-de-Ruta-de-Transicion-Energetica-Maritima.pdf
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias [ODEPA]. (2018). *Información regional Biobío*. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/Biobio.pdf>
- Programa H2V Biobío. (2023). *Hoja de ruta*. <https://www.h2vbiobio.cl/wp-content/uploads/2025/01/hojaderuta.pdf>
- PV Magazine Latam. (2026). *Proyecto pionero en Latinoamérica: Gasvalpo alcanza a inyectar un 10% de hidrógeno verde en redes domiciliarias*. <https://www.pv-magazine-latam.com/2026/04/13/proyecto-pionero-en-latinoamerica-la-chilena-gasvalpo-alcanza-a-inyectar-un-10-de-hidrogeno-verde-en-redes-domiciliarias/>
- Roundtable on Sustainable Biomaterials [RSB]. (s.f.). *Sitio institucional*. <https://rsb.org/>
- Södra. (s.f.). *Position on carbon dioxide*. <https://www.sodra.com/en/global/about-us/public-affairs/position-papers/position-on-carbon-dioxide/>
- Subsecretaría de Pesca y Acuicultura [SUBPESCA]. (s.f.). *Dirección Zonal Ñuble y Biobío*. <https://www.subpesca.cl/portal/sitio/Subsecretaria/Direcciones-Zonales/DZ-Regiones-de-Nuble>
- Unión Europea. (2003). *Directiva 2003/87/CE (EU ETS)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A02003L0087-20240301>



BIBLIOGRAFÍA

Unión Europea. (2021). *Reglamento (UE) 2021/1119 – Ley Europea del Clima*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32021R1119>

Unión Europea. (2023). *Directiva RED III (Directiva UE 2023/2413)*. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=OJ%3AL_202302413

Unión Europea. (2023). *Reglamento Delegado (UE) 2023/1184 (RFNBO)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1184>

Unión Europea. (2023). *Reglamento Delegado (UE) 2023/1185*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1185>

Unión Europea. (2023). *Reglamento (UE) 2023/1805 (FuelEU Maritime)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1805>

Unión Europea. (2023). *Reglamento (UE) 2023/2405 (ReFuelEU Aviation)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32023R2405>

Unión Europea. (2023). *Reglamento (UE) 2023/956 (CBAM)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32023R0956>



CONSTRUCCIÓN COLECTIVA

AGRADECIMIENTOS

La Hoja de Ruta 2026–2050 del Programa Estratégico Regional de Transición Energética e Hidrógeno del Biobío es el resultado de un proceso de construcción colaborativa. Agradecemos a todas las personas, instituciones y organizaciones que contribuyeron con su experiencia, conocimientos y visión durante las etapas de construcción, validación y revisión de este instrumento.

Reconocemos especialmente el compromiso de los integrantes de la gobernanza del programa, así como de todos los actores que fueron parte de este proceso mediante mesas de trabajo, entrevistas, focus group y otras instancias de participación, cuyos aportes fueron fundamentales para fortalecer y enriquecer esta hoja de ruta.

ELABORADO POR:



H2BIOBÍO
TRANSICIÓN ENERGÉTICA

Programa H2 Biobío

Mauricio Franjola

Gerente del Programa

Catalina Sepúlveda

Coordinadora del Programa

Daniela Rivas

Ejecutiva Codesser



Consultora responsable de la elaboración
de la Hoja de Ruta

Rolando Cabrera Libuy

Director Ejecutivo

Iva Fuentes

Jefa de Consultoría

Sebastián Cid

Líder de Proyectos



H2BIOBÍO

TRANSICIÓN ENERGÉTICA

HOJA DE RUTA

PROGRAMA ESTRATÉGICO REGIONAL DE
TRANSICIÓN ENERGÉTICA E HIDRÓGENO
DEL BIOBÍO