

Comité Desarrollo Productivo Regional

**BIOBÍO**  
por CORFO

**TRANSFORMA**  
por CORFO

# H2V BIOBÍO

PROGRAMA ESTRATÉGICO REGIONAL  
HIDRÓGENO VERDE BIOBÍO

**ACCESO AL MERCADO  
Y AL FINANCIAMIENTO**

## Contenidos

<b>1. Introducción: de la oportunidad territorial a la cadena de bancabilidad.....</b>	<b>6</b>
1.1. Propósito y alcance del estudio .....	6
1.2. Contexto global: transición energética y productiva .....	6
1.3. Rol estratégico del Biobío en la nueva economía del hidrógeno .....	7
1.4. Desafío: conectar producto, mercado y financiamiento .....	7
1.5. Metodología y enfoque (mercado–financiamiento–riesgo) .....	8
1.6. Estructura del informe .....	8
<b>2. Oferta productiva del Biobío: base industrial y productos bajos en carbono .....</b>	<b>9</b>
2.1. Estructura industrial y capacidades del territorio .....	9
2.1.1. Estructura y concentración territorial .....	9
2.1.2. Capacidades productivas y energéticas .....	10
2.1.3. Infraestructura energética .....	11
2.1.4. Capacidades institucionales y de gobernanza .....	11
2.1.5. Un territorio preparado para la transición productiva .....	11
2.1.6. Factores estructurales clave del Biobío.....	12
2.2. Integración del H <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> biogénico en cadenas existentes .....	12
2.2.1. Lógica de integración: del proceso industrial al producto bancable .....	13
2.2.2. Rutas industriales prioritarias.....	13
2.2.3. Integración funcional y reducción de riesgo .....	14
2.2.4. Síntesis estratégica .....	14
2.3. Portafolio regional de productos y derivados .....	15
2.3.1. Energéticos y combustibles sintéticos: H <sub>2</sub> verde, e-metanol, e-DME, SAF .....	15
2.3.2. Derivados químicos: amoníaco, urea, peróxido, clorato, formaldehído.....	16
2.3.3. Materiales industriales: acero verde y cementos bajos en carbono .....	17



2.3.4. Materiales emergentes: vidrio bajo en carbono, bioplásticos y packaging sustentable.....	17
2.3.5. Plataformas químicas avanzadas: intermedios para olefinas, aditivos y recubrimientos .....	18
2.3.6. Vector de competitividad transversal y criterio de priorización.....	19
2.3.7. Portafolio regional y mecanismos de ingreso asociados .....	20
2.4. Encadenamientos y circularidad industrial .....	21
2.4.1. Integración forestal–química–energética .....	21
2.4.2. Metalurgia, metalmecánica y servicios industriales .....	22
2.4.3. Logística, puertos y energía .....	22
2.4.4. Circularidad industrial y gestión de materiales .....	23
2.4.5. Síntesis estratégica .....	23
2.5. Condiciones habilitantes y brechas.....	24
2.5.1. Infraestructura energética y disponibilidad de electricidad renovable .....	24
2.5.2. Coordinación territorial e institucional .....	24
2.5.3. Condiciones financieras y acceso a instrumentos de inversión verde .....	25
2.5.4. Normativa, certificación y trazabilidad de carbono.....	25
2.5.5. Capital humano y capacidades técnicas.....	26
2.5.6. Aceptación social y marco de sostenibilidad .....	26
2.5.7. Síntesis .....	26
<b>3. Mercados funcionales y geográficos .....</b>	<b>27</b>
3.1. Tendencias globales: descarbonización de cadenas industriales .....	27
3.2. Mercados funcionales .....	28
3.2.1. Aviación (SAF – Sustainable Aviation Fuel).....	28
3.2.2. Transporte marítimo (e-metanol y e-DME).....	29
3.2.3. Automotriz y acero verde .....	30
3.3. Mercados geográficos.....	31
3.3.1. Europa y Reino Unido: el centro regulatorio del mercado verde.....	31



3.3.2. Norteamérica: incentivos fiscales y mercado corporativo .....	32
3.3.3. Japón y Corea: contratos industriales de largo plazo .....	32
3.3.4. Singapur: hub marítimo y financiero del Sudeste Asiático.....	33
3.3.5. China: escala y competitividad, pero baja prima verde .....	33
3.3.6. Lectura estratégica.....	33
3.4. Mecanismos de mercado que habilitan financiamiento .....	34
3.4.1. Subastas y contratos por diferencia: precio piso y certidumbre .....	34
3.4.2. Mandatos y regulaciones: la demanda obligatoria como garantía de ingreso .....	35
3.4.3. Certificación y créditos: monetizar la reducción de emisiones.....	35
3.4.4. Contratos corporativos de descarbonización (Scope 3).....	35
3.4.5. Contexto de Norteamérica: mayor incertidumbre regulatoria.....	36
3.4.6. Lectura estratégica.....	36
3.5. Matriz integrada producto–sector–mecanismo–región .....	37
3.5.1. Productos prioritarios y su anclaje de mercado .....	37
3.5.2. Sectores de demanda y mecanismos de ingreso.....	38
3.5.3. Regiones de destino y correlación con riesgo–retorno .....	39
3.5.4. Lectura final: priorización integrada .....	39
<b>4. La cadena de bancabilidad: de mercado a financiamiento con riesgo mitigado .....</b>	<b>40</b>
4.1. Mercado asegurado: regulación y contratos como punto de partida .....	41
4.2. Ingreso estabilizado: del contrato al flujo financiero.....	41
4.3. Financiamiento estructurado: arquitectura de inversión .....	42
4.4. Riesgo mitigado: seguros, garantías y certificación.....	42
4.5. Ciclo de reinversión local: cerrar la cadena .....	43
4.6. Síntesis operativa.....	43
<b>5. Plan regional de implementación .....</b>	<b>44</b>
5.1. Alineamiento con la Hoja de Ruta H2V Biobío 2026-2050.....	45



5.2. Gobernanza y colaboración público–privada .....	45
5.3. Proyectos demostrativos y pilotos industriales (2026–2032) .....	46
5.4. Articulación interregional .....	47
5.5. Síntesis .....	47
<b>6. Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>47</b>
6.1. Hallazgos clave .....	48
6.2. Factores críticos para conectar mercado y financiamiento .....	49
6.3. Próximos pasos hacia la HDR Biobío 2050 .....	49
6.4. Conclusión final .....	50



## 1. Introducción: de la oportunidad territorial a la cadena de bancabilidad

### 1.1. Propósito y alcance del estudio

Este estudio tiene por objeto identificar los **mecanismos que permiten conectar la oferta regional de hidrógeno verde y derivados del Biobío con los mercados y esquemas de financiamiento** que determinan su viabilidad económica. Su propósito es pasar de la simple descripción de potenciales productivos a la comprensión de **cómo los proyectos se vuelven bancables**, es decir, capaces de atraer inversión privada bajo condiciones de riesgo controlado y flujos de ingresos previsibles.

El alcance del trabajo abarca tanto el **análisis de los productos y capacidades industriales del territorio**, como la identificación de **mercados funcionales y geográficos**, los **instrumentos de política y regulación internacional** que impulsan la demanda, y los **mecanismos financieros** que permiten traducir esa demanda en financiamiento efectivo. El resultado esperado es una **hoja de ruta conceptual y práctica** para orientar decisiones de inversión, política pública y articulación público-privada en el corto y mediano plazo.

### 1.2. Contexto global: transición energética y productiva

La transformación económica global se está desplazando desde un modelo basado en hidrocarburos fósiles hacia una **transición energética y productiva** donde la competitividad depende de la capacidad de **producir bienes e insumos con baja huella de carbono**. En este nuevo escenario, el hidrógeno verde y sus derivados surgen no sólo como vectores energéticos, sino también como **insumos industriales estratégicos** para descarbonizar sectores difíciles de abatir: transporte marítimo, aviación, carga pesada terrestre, siderurgia, química, fertilizantes, entre otros.

A escala internacional, los mercados se están estructurando bajo **regulaciones vinculantes** (FuelEU Maritime, ReFuelEU Aviation, CBAM, ETS Shipping), que fijan metas de reducción de emisiones e introducen incentivos financieros directos o indirectos: precios al carbono, contratos por diferencia (CfD), subastas H<sub>2</sub>Global y créditos de carbono certificados. En este marco, la **bancabilidad** de los proyectos depende cada vez menos de subsidios locales y más de su **capacidad para insertarse en mecanismos internacionales de mercado** que garanticen flujos de ingreso estables y predecibles.



## 1.3. Rol estratégico del Biobío en la nueva economía del hidrógeno

La Región del Biobío se sitúa como un **territorio industrial y logístico consolidado**, con una infraestructura portuaria, energética y manufacturera que la distingue en el contexto nacional. Su base productiva —forestal-celulósica, petroquímica, siderúrgica, pesquera, metalmecánica y logística— le otorga una posición única para **integrar hidrógeno verde y CO<sub>2</sub> biogénico en cadenas industriales existentes**, generando productos y derivados de alto valor con trazabilidad y baja intensidad de carbono.

Esta condición la posiciona como un **núcleo articulador de la economía del hidrógeno a escala regional e interregional**, capaz de enlazar las zonas de generación renovable del sur y centro del país con los mercados internacionales a través de su red portuaria y su ecosistema industrial. El desafío no es sólo producir hidrógeno, sino **transformar la infraestructura y las capacidades actuales en una cadena de valor integrada** que genere empleo, reduzca emisiones y asegure retornos competitivos para inversionistas y para la región.

## 1.4. Desafío: conectar producto, mercado y financiamiento

El principal desafío identificado es **cerrar la brecha entre la producción técnica de hidrógeno y su viabilidad económica**, integrando tres dimensiones que suelen abordarse por separado:

- **Producto:** qué puede producir la región de manera competitiva y trazable;
- **Mercado:** quién lo demanda, bajo qué estándares y con qué mecanismos de compra;
- **Financiamiento:** cómo estructurar ingresos predecibles y reducir el riesgo percibido por inversionistas y banca.

El estudio plantea que **la conexión entre estas tres dimensiones forma una “cadena de bancabilidad”**, donde el mercado asegura ingresos, el financiamiento los apalanca y la gestión del riesgo los mantiene estables en el tiempo. Comprender y replicar esa secuencia es la clave para transformar el potencial del Biobío en proyectos concretos financiables.



## 1.5. Metodología y enfoque (mercado–financiamiento–riesgo)

El análisis combina revisión documental, interpretación comparada y análisis aplicado de **mecanismos de mercado y financieros** utilizados en casos internacionales de proyectos de hidrógeno verde, amoníaco, metanol y combustibles sintéticos. Se adopta una lógica “**mercado–financiamiento–riesgo**”, donde cada eslabón explica cómo la demanda y la regulación habilitan instrumentos financieros, y cómo éstos reducen las percepciones de riesgo que determinan el costo del capital (WACC).

La metodología es **cualitativa, estructurada y funcional**, centrada en:

- Identificar **productos destacados** según la base industrial del Biobío;
- Analizar **mercados funcionales y geográficos** con instrumentos de financiamiento activos;
- Integrar ambos planos en una **cadena de bancabilidad replicable** para proyectos regionales;
- Formular una **estrategia de implementación regional** alineada con la Hoja de Ruta H2V Biobío 2026–2050.

## 1.6. Estructura del informe

El documento se organiza en seis capítulos:

- **Introducción**, que instala la lógica general del estudio;
- **Oferta productiva**, donde se define qué puede producir el Biobío con ventaja competitiva;
- **Mercados funcionales y geográficos**, que identifica quién compra y bajo qué mecanismos;
- **La cadena de bancabilidad**, que integra mercado, financiamiento y riesgo;
- **Estrategia regional de implementación**, con lineamientos y proyectos demostrativos;
- **Conclusiones y recomendaciones**, que resumen hallazgos y pasos hacia la HDR 2026-2050.



## 2. Oferta productiva del Biobío: base industrial y productos bajos en carbono

### 2.1. Estructura industrial y capacidades del territorio

La Región del Biobío se configura como el **territorio industrial más diversificado y densamente articulado de Chile**, donde la manufactura, la logística portuaria y los servicios energéticos, técnicos y de ingeniería conviven en un espacio urbano–costero de alta intensidad productiva. Esta condición, fruto de más de seis décadas de desarrollo industrial continuo, explica tanto su peso económico como su papel estratégico en la transición productiva del país.

#### 2.1.1. Estructura y concentración territorial

El Biobío no opera como un conjunto disperso de plantas, sino como un **sistema interconectado de polos urbano-industriales**. La actividad industrial regional se organiza en dos grandes corredores complementarios.

El primero, de carácter **costero-portuario**, se extiende desde **Coronel** en el sur, pasando por **Hualpén** y **Talcahuano** hasta llegar a **Penco-Tomé** en el norte. En este eje, se concentran las industrias de refinería, terminales y plantas de combustibles, plantas químicas y petroquímicas, metalmecánica, siderurgia, naval, pesquera y de servicios portuarios, articuladas por una infraestructura logística madura y acceso directo a terminales marítimos y puertos multipropósito.

En el interior, una segunda red conformada por los polos **forestales-celulósicos de Horcones, Santa Fe, Laja y Nueva Aldea** extiende la base industrial hacia el interior. Estos complejos procesan biomasa a gran escala, generan electricidad renovable a partir de licor negro y biomasa residual, y concentran el **mayor flujo de CO<sub>2</sub> biogénico del país** (7,4 Mt/año en Biobío y 9,4 Mt/año al incluir Ñuble), un insumo decisivo para la futura síntesis de combustibles bajos en carbono.

La conexión entre ambas franjas —forestal interior y costera portuaria— se sostiene mediante **corredores viales y ferroviarios** (Laja-Coronel-Lirquén) que enlazan la producción de biomasa, la transformación química y la exportación. Esta red multimodal permite que la región funcione como **plataforma de integración logística-industrial**, capaz de mover moléculas, productos y energía en escalas compatibles con la industria pesada y los futuros derivados del hidrógeno.



## 2.1.2. Capacidades productivas y energéticas

El ecosistema regional abarca **industrias ancla** en todos los eslabones de la cadena de valor:

- **Energía y refinación:** el polo de Hualpén alberga la principal refinería de combustibles del sur de Chile, junto con terminales de gas y sistemas de distribución que podrían adaptarse progresivamente a mezclas bajas en carbono. La infraestructura eléctrica, conectada al Sistema Eléctrico Nacional, dispone de una alta proporción de generación renovable — hidráulica, biomasa y, crecientemente, eólica y solar— aunque enfrenta restricciones de transmisión que elevan costos para clientes industriales.
- **Química:** complejos en Talcahuano y Coronel (Eka Chile, Oxy, Fosfoquim, Oxiquim, Solvay Peróxidos) suministran oxidantes, resinas y reactivos esenciales para las cadenas forestal, minera y energética, además de poseer experiencia en gestión de seguridad de procesos y trazabilidad ambiental.
- **Siderurgia y metalmecánica:** en Talcahuano operaba hasta 2024 el principal complejo siderúrgico del país. Detenidos los altos hornos del proceso BOF, hoy busca instalar capacidades de reducción directa (DRI) para transitar hacia la producción de acero verde a partir de hidrógeno. En las 200 ha que ocupa en pleno polo industrial junto a la costa, proyecta 100 ha de nueva infraestructura portuaria y otras tantas para nueva industria sostenible.
- **Metalmeccánicas:** alrededor de los polos industriales, se despliega un entramado de empresas metalmeccánicas y de ingeniería con capacidades en fabricación, montaje industrial, aseguramiento de calidad (QA/QC) y gestión de proyectos EPC/EPCM. Su experiencia en proyectos energéticos, químicos y forestales las posiciona como soporte clave para la integración industrial del hidrógeno y sus derivados.
- **Infraestructura portuaria y logística:** los puertos de Coronel, San Vicente, Talcahuano y Lirquén, junto a terminales especializados, conforman una red con capacidad para carga fraccionada, graneles líquidos y sólidos, y operaciones multipropósito. Su cercanía a los polos industriales reduce costos logísticos y habilita la futura exportación de productos bajos en carbono.
- **Forestal-celulosa:** los complejos de Arauco en Horcones y Nueva Aldea, y de CMPC en Laja y Santa Fe, integran producción de pulpa, tableros, energía y derivados químicos, con generación eléctrica renovable y trazabilidad certificada FSC/PEFC, generando **7,4 Mt/año de CO<sub>2</sub> biogénico** sólo en Biobío, cifra que asciende a **9,4 Mt/año** si se considera Ñuble. Este flujo representa la principal fuente de carbono renovable del país y un activo estratégico para la producción de **e-combustibles** y **química verde**.



- **Pesca industrial y alimentos:** Plantas procesadoras con certificaciones MSC y MarinTrust mantienen una red de empleo formal costero y prácticas de trazabilidad que anticipan estándares de sustentabilidad exigidos por los mercados.
- **Ciencia, tecnología y formación:** Universidades como UdeC, UCSC, UBB, USS y otras — junto a centros tecnológicos como UDT y CIPA— aportan capacidades en bioprocesos, catálisis, materiales, MRV y seguridad, conectando la investigación con la industria.

### 2.1.3. Infraestructura energética

El territorio dispone de un **backbone de gas natural y combustibles líquidos** que enlaza los principales polos industriales. El **Gasoducto del Pacífico**, que ingresa desde Neuquén y llega a Talcahuano, constituye el eje troncal; desde él se ramifican **conexiones hacia Talcahuano, Hualpén, Penco/Lirquén, Coronel, Arauco, Laja–Nacimiento y Nueva Aldea**, abasteciendo la industria local. A este backbone, se suman **gasoductos virtuales de GNL** desde **Quintero**, que alimentan plantas satélite de regasificación en clientes industriales (Lipigas en Solvay Peróxidos, Coronel) y en ENAP Pemuco (Ñuble). El sistema se complementa con el **Terminal ENAP San Vicente** (crudo y derivados/GLP), el **Terminal Abastible Hualpén** (GLP), las plantas de almacenamiento y envasado de GLP (Abastible, Lipigas, Hualpén Gas y Gasco) y las **instalaciones logísticas de Refinería Bío Bío**, que funcionan como nodos de entrada/salida acoplados al backbone. En conjunto, **ductos + terminales + regasificación satelital + refinería** conforman la **columna vertebral** de gas y combustibles asociados en la región.

### 2.1.4. Capacidades institucionales y de gobernanza

La trayectoria de cooperación público-privada constituye otra fortaleza estructural. La existencia del **Programa Estratégico Regional de Hidrógeno Verde Biobío (H2V Biobío)**, los Comités Gestores sectoriales y la articulación entre organismos públicos, universidades y el mundo empresarial ha permitido construir una plataforma de gobernanza que facilita la coordinación de inversiones, la identificación de brechas y la preparación de proyectos demostrativos. Esta red institucional, más que un complemento, se ha convertido en una **infraestructura de gestión colectiva** que sostiene la transición productiva de la región.

### 2.1.5. Un territorio preparado para la transición productiva

La estructura industrial del Biobío combina masa crítica manufacturera, disponibilidad de energía renovable, carbono biogénico y acceso portuario, configurando un ecosistema **único en Chile** para activar cadenas productivas de hidrógeno y derivados con base territorial. Su principal ventaja competitiva reside en la **capacidad de integración vertical y circular**: el



territorio puede conectar materias primas renovables, infraestructura existente y conocimiento industrial en una misma cadena de valor. Sobre esta base se proyecta la integración del hidrógeno verde y el CO<sub>2</sub> biogénico en procesos industriales ya consolidados, materia del siguiente capítulo.

## 2.1.6. Factores estructurales clave del Biobío

Dimensión	Descripción	Relevancia para la transición H <sub>2</sub> V
Base industrial diversificada	Presencia simultánea de sectores petroquímico, siderúrgico, forestal, metalmeccánico y logístico-portuario.	Permite integrar múltiples rutas tecnológicas de descarbonización y e-combustibles.
Carbono biogénico abundante	Más de 9 Mt/año de CO <sub>2</sub> renovable provenientes de complejos forestales-celulósicos (Arauco, CMPC).	Insumo crítico para e-metanol, e-DME y química verde.
Infraestructura energética y portuaria existente	Refinería, terminales de gas, red eléctrica interconectada y puertos multipropósito (Talcahuano-San Vicente, Coronel, Lirquén).	Reduce costos iniciales y facilita exportaciones de productos bajos en carbono.
Capacidades tecnológicas y de ingeniería	Clúster metalmeccánico-naval y oferta universitaria-tecnológica orientada a procesos industriales complejos.	Soporta fabricación, mantenimiento y adaptación de equipos para la cadena H <sub>2</sub> V.
Gobernanza público-privada consolidada	Ecosistema coordinado por el Programa H <sub>2</sub> V Biobío y entidades regionales (CORFO, GORE, gremios, academia).	Acelera coordinación intersectorial, atracción de inversión y mitigación de riesgos.
Cultura industrial y capital humano especializado	Tradicición de ingeniería, manufactura y operación en sectores intensivos en energía.	Facilita reconversión hacia procesos bajos en emisiones.

## 2.2. Integración del H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> biogénico en cadenas existentes

La integración del hidrógeno verde (H<sub>2</sub>V) y el carbono biogénico en las cadenas industriales del Biobío representa el punto de conexión entre la capacidad productiva regional y las condiciones de mercado que hacen posible su financiamiento. Más que crear una industria nueva, el desafío es **reconvertir**



**procesos existentes** hacia productos climáticamente neutros, con trazabilidad verificable y demanda asegurada. Este enfoque permite reducir costos iniciales, aprovechar infraestructura instalada y acceder más rápidamente a mecanismos de financiamiento verde.

## 2.2.1. Lógica de integración: del proceso industrial al producto bancable

Biobío dispone simultáneamente de dos activos estratégicos: **energía renovable** y **carbón biogénico certificable**, provenientes de su matriz eléctrica y del sector forestal-celulosa. Su combinación habilita la síntesis de combustibles y químicos con baja huella de carbono —e-metanol, e-DME, SAF, amoníaco o urea— demandados por sectores industriales globales que deben reducir sus emisiones Alcance 3.

Cada aplicación del H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> biogénico dentro de las cadenas existentes **incrementa la bancabilidad de los proyectos**, porque sustituye insumos fósiles conocidos por equivalentes renovables en plantas ya operativas o fácilmente adaptables, disminuyendo el riesgo tecnológico y de mercado.

## 2.2.2. Rutas industriales prioritarias

- **Ruta forestal–química–energética**

Basada en los complejos industriales de **Arauco** y **CMPC**, esta ruta aprovecha el CO<sub>2</sub> biogénico generado en procesos de pulpa y energía, junto con la electricidad y vapor renovable autogenerado. Su integración con H<sub>2</sub> verde permite producir **e-metanol** y **e-combustibles líquidos**, con potencial de venta bajo esquemas como **H2Global**, **FuelEU Maritime** o **ReFuelEU Aviation**.

El atractivo financiero radica en su bajo riesgo de suministro (insumos locales), costos competitivos por infraestructura existente y posibilidad de trazabilidad inmediata del carbono. Constituye la **base regional para contratos de largo plazo** con offtakers industriales y navieras.

- **Ruta petroquímica–portuaria**

En el eje **Hualpén–Talcahuano–Coronel**, la refinería, terminales de gas y red logística pueden adaptarse a mezclas bajas en carbono. El H<sub>2</sub> verde puede sustituir gradualmente al hidrógeno gris usado en procesos de refinación y combinarse con CO<sub>2</sub> biogénico del interior para producir **e-nafta** o **e-metanol de exportación**.

El corredor costero dispone de puertos y tanques que permiten escalar proyectos con **menor CAPEX marginal**, y su conexión con mercados internacionales facilita la participación



en **subastas y mecanismos contractuales internacionales**. Esta ruta es la más directa para generar flujos de caja en el corto plazo.

- **Ruta metalmecánica–industrial de soporte**

El clúster metalmecánico y naval de Talcahuano, Hualpén y Coronel constituye la **infraestructura de implementación** del ecosistema H<sub>2</sub>V. Su rol no es sólo productivo, sino financiero: al fabricar equipos, estanques, piping o estructuras locales, **reduce la exposición cambiaria y la dependencia de importaciones**, mejorando el perfil de riesgo-país de los proyectos.

A su vez, empresas EPC y de ingeniería regional pueden integrarse en **joint ventures o contratos EPCM con financiamiento atado (ECA, blended finance)**, generando nuevas oportunidades de capital productivo.

### 2.2.3. Integración funcional y reducción de riesgo

La articulación entre estas tres rutas genera **una cadena de valor regional continua**: el carbono renovable del interior alimenta la síntesis costera de e-combustibles; los servicios industriales locales aseguran montaje, operación y mantenimiento; y los puertos facilitan la exportación. Este modelo integrado ofrece ventajas financieras clave:

- **Menor riesgo de inversión inicial**, al reutilizar activos existentes.
- **Demanda anclada en sectores regulados** (aviación, marítimo, siderurgia, química), lo que asegura ingresos estables.
- **Acceso a financiamiento climático y blended finance**, al cumplir criterios ESG y de trazabilidad de carbono.
- **Potencial de certificación inmediata**, gracias al origen biogénico del CO<sub>2</sub> y a la alta proporción renovable de la matriz eléctrica regional.

### 2.2.4. Síntesis estratégica

La integración del hidrógeno verde y el carbono biogénico convierte al Biobío en un **territorio productor de moléculas y materiales bancables**, con costos de entrada menores y capacidad de cumplir estándares internacionales. Estas rutas industriales no sólo representan una transición tecnológica, sino la **condición habilitante para conectar oferta productiva con demanda y financiamiento internacional**, objeto del siguiente capítulo.



## 2.3. Portafolio regional de productos y derivados

El portafolio del Biobío combina productos energéticos, químicos e industriales con trazabilidad climática y potencial directo de mercado. La selección no responde sólo a criterios tecnológicos, sino a **viabilidad comercial y eficiencia en el uso de recursos energéticos**. Dado que la **energía renovable es el insumo crítico y escaso** del territorio, el portafolio prioriza alternativas que **maximizan el valor capturable por MWh**, es decir, aquellas que combinan demanda regulada, ingresos estables y posibilidad de extender la cadena de valor sin incrementar el consumo eléctrico local.

Este criterio guía la jerarquización de todas las rutas, manteniendo sin embargo **todas las alternativas tecnológicamente viables** dentro del horizonte regional.

### 2.3.1. Energéticos y combustibles sintéticos: H<sub>2</sub> verde, e-metanol, e-DME, SAF

El segmento energético constituye el núcleo del portafolio regional por su **alta demanda global regulada** y por la **capacidad instalada del Biobío** para generar insumos críticos —electricidad renovable y CO<sub>2</sub> biogénico— en un mismo territorio.

Estos productos no son commodities genéricos, sino **moléculas bancables**, respaldadas por mecanismos internacionales que aseguran precio, trazabilidad y contratos de largo plazo.

El **hidrógeno verde** representa el insumo base, aunque su comercialización directa sigue limitada por costos logísticos y falta de infraestructura de transporte. En cambio, su **transformación en derivados líquidos** (e-metanol, e-DME y SAF) permite acceder a mercados maduros y con regulación específica.

- **e-Metanol:** producto con la mayor madurez tecnológica y de mercado. Los sistemas de transporte marítimo y la industria química europea ya lo adoptan como sustituto de metanol fósil. Biobío cuenta con condiciones ideales por su combinación de CO<sub>2</sub> biogénico forestal y energía renovable. Los contratos de compra futuros de navieras bajo **FuelEU Maritime** y los mecanismos de subasta **H<sub>2</sub>Global** lo posicionan como el primer vector exportable viable.
- **e-DME (dimetil éter):** derivado del metanol con aplicación directa en transporte pesado y sustitución de diesel industrial. Su valor estratégico radica en que comparte infraestructura de manejo y transporte con el GLP, lo que permite aprovechar terminales existentes.
- **SAF (combustible sustentable de aviación):** producto de mayor prima de precio y más exigente en certificación. Europa y Norteamérica cuentan con mandatos crecientes de



mezcla (2–6% al 2030). La producción basada en syngas de biomasa y H<sub>2</sub>V permitiría a Biobío insertarse en consorcios de suministro bajo **ReFuelEU Aviation** o esquemas corporativos de **SAFc (Sustainable Aviation Fuel credits)**.

La estrategia regional no busca volumen inmediato, sino **posicionamiento temprano en cadenas de contratos regulados**, donde el valor no se define por tonelada, sino por trazabilidad certificada y cumplimiento normativo.

En paralelo, las **rutas bio-** (bio-metanol, bio-DME, bio-SAF) basadas en la **gasificación de biomasa residual** ofrecen una alternativa de desarrollo **a mediano plazo**. Estas tecnologías pueden operar sin depender de nueva generación eléctrica renovable, utilizando energía térmica de origen biogénico y aprovechando residuos forestales hoy subutilizados. Su competitividad depende de alcanzar **escala industrial mínima**, pero su valor estratégico radica en que podrán **aprovechar las mismas rutas logísticas, terminales portuarios y acuerdos de suministro** trazados para las RFNBO, sosteniendo la continuidad de las cadenas de valor y manteniendo la trazabilidad verde exigida por los mercados internacionales.

Una vez que la autogeneración eléctrica de las forestales alcance su límite y mientras la eólica marina o nuevos proyectos *on-shore* no entren en operación, estas rutas bio se transformarán en un complemento natural del sistema energético regional.

### 2.3.2. Derivados químicos: amoníaco, urea, peróxido, clorato, formaldehído

Los derivados químicos amplían la frontera del hidrógeno verde hacia la manufactura avanzada y la sustitución de insumos fósiles. Su ventaja no radica sólo en la reducción de emisiones, sino también en la posibilidad de **diversificar el uso del H<sub>2</sub>** dentro de las cadenas industriales ya existentes, generando productos de mayor estabilidad de precio y menor exposición a los mercados energéticos volátiles.

El **amoníaco verde** constituye la base de la transición química. Aunque su transporte internacional es costoso, su producción local permitiría generar **urea y nitratos** para la minería y la agricultura, reduciendo importaciones y creando una demanda doméstica anclada en contratos industriales.

El **peróxido de hidrógeno** y el **clorato de sodio**, utilizados en la industria papelera, pueden producirse con hidrógeno verde mediante reconversión de procesos electroquímicos existentes, con bajo CAPEX y alto retorno ambiental.

El **formaldehído**, a su vez, puede integrarse a la cadena forestal para la elaboración de resinas y adhesivos de base renovable, cerrando el ciclo químico de la madera industrial y dotando a los productos del Biobío de trazabilidad completa de carbono.



Estas aplicaciones representan proyectos de **baja demanda energética y alto valor reputacional**, aptos para financiamiento corporativo, bonos verdes y fondos ESG. A diferencia de los combustibles, su rentabilidad no depende de subsidios, sino del **valor que el mercado asigna a la reducción de emisiones y a la certificación ambiental** de las cadenas productivas.

### 2.3.3. Materiales industriales: acero verde y cementos bajos en carbono

Los materiales industriales son el componente de **mayor efecto en reducción de emisiones globales** y también de **mayor necesidad de financiamiento estructurado**.

El **acero verde**, producido mediante reducción directa con hidrógeno (**H<sub>2</sub>-DRI**), es un producto estratégico para cumplir las regulaciones del **CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism)** de la Unión Europea, que penaliza las importaciones de acero con alta huella de carbono. La presencia de un polo siderúrgico consolidado en Talcahuano (CAP Acero) permite evaluar procesos híbridos de reconversión gradual, sustituyendo gas natural por H<sub>2</sub>V en hornos de reducción o en mezclas de combustibles. La transición a este modelo es intensiva en capital, pero cuenta con líneas de apoyo de **ECA europeas** y fondos como el **Innovation Fund** o el **Climate Solutions Partnership** del HSBC–WWF–WRI.

En paralelo, el **cemento bajo en carbono**, mediante la sustitución parcial del clínker y el uso de combustibles alternativos o hidrógeno, ofrece otra vía de descarbonización relevante. La región cuenta con una planta cementera en Talcahuano, que podría reconvertir parte de sus procesos, apalancada en **bonos de desempeño ambiental** o esquemas de **blended finance** que vinculan los resultados de reducción de emisiones con beneficios financieros directos.

### 2.3.4. Materiales emergentes: vidrio bajo en carbono, bioplásticos y packaging sustentable

Biobío comienza a proyectar una línea de productos emergentes vinculados a la economía circular y al consumo responsable. Estos materiales —aunque de menor volumen— poseen **alta prima de mercado y elevado valor reputacional** para inversionistas y compradores corporativos.

El **vidrio bajo en carbono** surge como oportunidad en la sustitución de combustibles fósiles por mezclas con hidrógeno o electricidad renovable en hornos de fusión. Si bien la escala industrial aún es limitada en Chile, existen actores regionales con capacidad logística y técnica para pilotear estos procesos. Los compradores —particularmente del sector construcción y packaging alimentario— valoran el cumplimiento de estándares de intensidad de carbono (kg



CO<sub>2</sub>/ton vidrio), lo que puede traducirse en contratos diferenciales y **créditos Art. 6.2** de mitigación internacional.

Los **bioplásticos y packaging sustentable**, en cambio, derivan de la cadena forestal-química: uso de lignina, resinas y polímeros de base renovable. Son productos de mayor valor agregado y con **acceso a mercados premium** de alimentos y cosmética, donde la trazabilidad y el diseño bajo en carbono son factores determinantes. Este segmento combina **financiamiento de impacto (venture + ESG)** y **bonos temáticos**, orientados a innovación y reemplazo de materiales fósiles.

### 2.3.5. Plataformas químicas avanzadas: intermedios para olefinas, aditivos y recubrimientos

Biobío puede expandir su participación en la industria química sin necesidad de construir nuevos complejos olefínicos o petroquímicos. La opción estratégica consiste en convertirse en **proveedor de intermedios bajos en carbono**, que sirvan como insumo para las plantas existentes en otros países de la región —principalmente Brasil y Argentina— donde ya operan *crackers* y fábricas de polímeros de escala internacional.

De esta manera, el territorio no asume el enorme CAPEX de una cadena olefínica propia, pero **captura valor exportando carbono renovable incorporado** en moléculas de base, mientras se inserta en cadenas de suministro regionales que apuntan a los mercados europeos.

Entre los principales **intermedios con encaje regional** destacan el **e- y bio-metanol**, utilizados como materia prima para rutas de conversión a olefinas (*MTO/MTP*) y para la síntesis de productos intermedios como ácido acético, formaldehído y resinas; la **e-nafta**, que puede emplearse directamente como *drop-in* en *crackers* existentes, transfiriendo atributos de carbono renovable a los polímeros finales; el **dimetil éter (DME)**, propulsor de baja huella usado en aerosoles y solventes técnicos; los **formaldehídos y resinas de base renovable**, aplicables en tableros, paneles y recubrimientos de madera; y los **ácidos acético y acetatos**, esenciales para la fabricación de adhesivos, tintas y recubrimientos industriales.

Estas moléculas no sólo son técnicamente compatibles con las rutas productivas regionales, sino que además **ofrecen una vía de entrada competitiva** a cadenas químicas de mayor valor agregado, hoy inaccesibles por restricciones energéticas o de escala.

La creación de valor no depende únicamente de la venta del producto físico, sino también de los **modelos de negocio asociados al atributo climático**. El primero corresponde al esquema de **maquila verde o tolling**, en el que Biobío suministra el *feedstock* bajo en carbono a un tercero —por ejemplo, un complejo petroquímico en Brasil o Argentina— que realiza la



conversión, manteniendo el territorio chileno la **propiedad contractual de los atributos ambientales**.

Una segunda modalidad es el **suministro con offtake vinculado**, donde se combina la venta del intermedio con la recompra parcial del producto final (olefinas, polímeros o solventes) a un precio que reconoce la prima verde. También puede explorarse un **modelo de asociación ligera o joint venture de mezcla y almacenamiento**, que requiere una inversión mínima y asegura prioridad logística y trazabilidad del producto bajo certificaciones como **ISCC PLUS** o **RSB**.

Finalmente, existe la posibilidad de **“apilar valor” en Alcance 3 (Scope 3 stacking)**, asignando parte de los atributos de descarbonización a los sectores exportadores tradicionales del Biobío —fruta, vino, pesca o celulosa—, fortaleciendo así su competitividad en los mercados internacionales mediante el uso de insumos y energías de baja huella.

Este conjunto de estrategias abre un camino para **extender la cadena de valor sin aumentar el consumo eléctrico local**, permitiendo que la región capture rentas de productos de mayor valor agregado a través de **contratos inteligentes y estructuras de colaboración regional**. A la vez, consolida al Biobío como un **suministrador confiable de carbono renovable** para la industria química del Cono Sur, creando sinergias productivas que refuerzan su posición dentro de la transición energética latinoamericana.

### 2.3.6. Vector de competitividad transversal y criterio de priorización

El conjunto de productos descritos no sólo representa nuevas líneas de negocio, sino que también constituye una **infraestructura de competitividad para toda la economía regional**. Los derivados e- y bio-, además de su valor comercial directo, actúan como **insumos habilitantes para reducir la huella de carbono** de sectores tradicionales como la fruta, el vino, la pesca o la celulosa, permitiéndoles mantener acceso preferente a los mercados internacionales bajo estándares de trazabilidad y emisiones.

En este sentido, el portafolio del Biobío anticipa el desarrollo de un **“Pasaporte Climático territorial”**, en el que los atributos de carbono bajo de unos sectores respaldan la certificación y permanencia de otros.

La priorización del portafolio se rige, por tanto, por un criterio simple: **cada MWh debe generar el máximo valor agregado posible**. Este valor puede expresarse como ingreso estable, eficiencia de capital, permanencia de la prima verde o impacto positivo en la competitividad regional.



La energía renovable, limitada pero estratégica, debe destinarse primero a los proyectos con **demanda regulada y contratos de largo plazo**, luego a los que **reutilizan infraestructura existente con bajo CAPEX**, y finalmente a aquéllos que **amplían su impacto por medio de encadenamientos y certificaciones compartidas**.

De esta manera, Biobío asegura que su transición productiva no se mida por toneladas producidas, sino por la **calidad del valor generado por cada unidad de energía limpia disponible**. Así, la nueva industria del hidrógeno no sustituye el aparato productivo existente: **lo moderniza, lo certifica y lo mantiene competitivo**.

### 2.3.7. Portafolio regional y mecanismos de ingreso asociados

Biobío dispone de un conjunto coherente de productos escalables y bancables, donde cada segmento combina **condiciones industriales locales, demanda regulada y acceso a instrumentos financieros específicos**.

El portafolio no busca diversificación por sí misma, sino **alinearse cada producto con un mecanismo de ingreso concreto**: subasta, mandato regulatorio, contrato corporativo o financiamiento verde.

Estos productos constituyen, en su conjunto, la **base exportable y de sustitución doméstica** de la transición productiva del Biobío.

criterio de priorización	Descripción	Aplicación
<b>Valor capturable por MWh</b>	Prima verde neta, contratos estables, posibilidad de extensión contractual	Asignar energía primero a e-MeOH, SAF, e-Nafta con offtake regulado
<b>CAPEX relativo y modularidad</b>	Inversión incremental sobre infraestructura existente	Favorece químicos y materiales sobre nuevas plantas completas
<b>Riesgo de demanda</b>	Nivel de regulación o mandato asociado	Alta prioridad: transporte marítimo/aviación; media: química verde
<b>Durabilidad de la prima</b>	Riesgo regulatorio y estabilidad del mercado	Priorizar contratos de largo plazo (FuelEU, SAFc, CBAM)
<b>Efecto transversal Alcance 3</b>	Aporte al Pasaporte Climático de exportadores tradicionales	Valora rutas con impacto en competitividad territorial



## 2.4. Encadenamientos y circularidad industrial

El tejido industrial del Biobío se caracteriza por su **alta densidad de relaciones intersectoriales**, lo que constituye uno de los principales activos para la transición productiva hacia una economía baja en carbono. A diferencia de otras regiones donde el desarrollo del hidrógeno verde requiere crear nuevas cadenas desde cero, el Biobío puede **apoyarse en estructuras industriales existentes** para construir circuitos cerrados de energía, carbono y materiales, generando así un modelo de **industrialización circular** que reduce costos y riesgos de inversión.

Esta lógica de integración no busca sustituir actividades, sino **reordenar flujos de energía y materias primas** para maximizar su valor. Los subproductos de una industria —como calor residual, CO<sub>2</sub> biogénico, vapor, residuos lignocelulósicos o efluentes— pueden transformarse en **insumos estratégicos para otras cadenas**, fortaleciendo la resiliencia del sistema y mejorando su acceso a financiamiento. Los proyectos que combinan este tipo de sinergias suelen ser **más bancables**, ya que presentan mayor estabilidad operativa y un retorno ambiental medible.

### 2.4.1. Integración forestal–química–energética

El complejo forestal-celulósico del Biobío constituye la columna vertebral de su economía industrial y el principal generador de recursos materiales y energéticos renovables. Las plantas de celulosa y papel producen **biomasa residual, lignina, vapor y CO<sub>2</sub> biogénico** en volúmenes suficientes para alimentar una nueva cadena química-energética regional. El **CO<sub>2</sub> capturado en los procesos de licor negro** y las emisiones de calderas de biomasa puede reutilizarse para la producción de e-metanol, e-DME y e-SAF, mientras que la **biomasa residual seca** puede gasificarse para producir **syngas** de base renovable, habilitando la generación de combustibles o intermedios bio-derivados.

Este modelo permite evolucionar desde un paradigma de “residuo” hacia uno de **materia prima circular**, integrando a las empresas forestales con actores del sector químico y energético. Además, la **autogeneración eléctrica y térmica** de estas plantas proporciona una fuente de energía renovable de bajo costo marginal, que puede destinarse a procesos de electrólisis o a la producción de vapor para otras industrias cercanas. El resultado es un sistema de **cogeneración y valorización cruzada**, donde el hidrógeno, el carbono biogénico y la biomasa se combinan en cadenas de alto valor y baja huella.

Desde el punto de vista financiero, este tipo de integración presenta ventajas claras: utiliza activos existentes, minimiza CAPEX y califica para instrumentos de **financiamiento climático y circularidad industrial**, incluyendo bonos verdes corporativos y fondos multilaterales de bioeconomía.



## 2.4.2. Metalurgia, metalmecánica y servicios industriales

El sector metalmeccánico y de servicios industriales del Biobío —concentrado en Talcahuano, Hualpén y Coronel— es un pilar técnico fundamental para el desarrollo del hidrógeno y sus derivados. Estas empresas poseen capacidades en **fabricación de estructuras metálicas, piping, estanques, mantenimiento industrial y EPCM**, que pueden transferirse directamente a la construcción y operación de plantas de electrólisis, almacenamiento y síntesis química. Su participación no sólo reduce costos logísticos y tiempos de ejecución, sino que también **retiene valor dentro del territorio**, impulsando un efecto multiplicador en empleo y encadenamientos locales.

Más allá de la fase constructiva, este sector puede evolucionar hacia la **manufactura de componentes especializados**, como estructuras modulares, sistemas de compresión o reactores, incorporando innovación tecnológica y certificación bajo normas internacionales. Con apoyo de financiamiento público-privado, el Biobío podría consolidar un **clúster metalmeccánico-EPCM 4.0**, capaz de ofrecer servicios a proyectos nacionales e internacionales de hidrógeno y e-fuels, generando exportaciones industriales no tradicionales.

## 2.4.3. Logística, puertos y energía

La localización costera del Biobío, junto con su red de terminales marítimos —Talcahuano, San Vicente, Coronel, Lirquén y Penco—, crea una base privilegiada para integrar **producción, almacenamiento y exportación de derivados del hidrógeno**.

La proximidad entre las áreas industriales y los puertos permite reducir significativamente los costos de transporte interno y facilita la implementación de **corredores logísticos verdes**. En el mediano plazo, la región podría consolidarse como un **hub marítimo de abastecimiento de combustibles limpios**, en coordinación con los mecanismos de cumplimiento del *FuelEU Maritime*.

La infraestructura portuaria también será clave para operaciones de **importación y mezcla de CO<sub>2</sub>, amoníaco o metanol**, así como para servicios de **bunkering verde y almacenamiento intermedio**.

Estas funciones logísticas pueden financiarse mediante esquemas de **concesión o asociación público-privada**, complementados por **garantías ECA** y créditos multilaterales para infraestructura verde.



## 2.4.4. Circularidad industrial y gestión de materiales

El desarrollo de la industria del hidrógeno y los combustibles sintéticos abre nuevas oportunidades para la **circularidad de materiales** dentro del ecosistema productivo del Biobío. Las escorias, cenizas y residuos sólidos generados por procesos industriales pueden convertirse en insumos para nuevas líneas de negocio, como **cementos bajos en carbono, áridos reciclados o biocarbono industrial**.

Asimismo, la valorización de **residuos plásticos y metales** provenientes de procesos industriales puede integrarse a circuitos de recuperación de materiales, fortaleciendo la economía circular del territorio.

El reciclaje de materiales metálicos y la recuperación de componentes industriales no solo disminuyen emisiones, sino que reducen costos de inversión y dependencia de importaciones.

Estas prácticas son elegibles para **bonos de circularidad, líneas de crédito verde** y programas de innovación industrial sostenible, lo que amplía las fuentes potenciales de financiamiento para las empresas locales.

## 2.4.5. Síntesis estratégica

El sistema productivo del Biobío ofrece una estructura única de **encadenamientos industriales complementarios**, donde cada sector aporta un componente crítico a la transición:

- la **biomasa forestal** como fuente de carbono y energía,
- la **industria química** como plataforma de transformación,
- la **metalmecánica** como soporte tecnológico,
- y la **infraestructura portuaria** como puerta de salida al mercado global.

El desafío estratégico consiste en transformar este mosaico de capacidades en **cadena circular de valor**, capaces de convertir residuos en insumos, energía en producto y carbono en ventaja competitiva.

Esta visión de circularidad industrial no es solo ambientalmente coherente: es **financieramente racional**, porque reduce la exposición a riesgos externos, aprovecha infraestructura existente y genera proyectos con ingresos diversificados, trazabilidad verificable y alto grado de bancabilidad.



## 2.5. Condiciones habilitantes y brechas

El potencial industrial y energético del Biobío ofrece bases sólidas para el desarrollo de una nueva economía del hidrógeno y sus derivados. Sin embargo, la viabilidad real de estos proyectos depende de un conjunto de **condiciones habilitantes** que permitan pasar del potencial a la inversión efectiva. Estas condiciones no se limitan a la infraestructura física, sino que abarcan también factores institucionales, financieros, regulatorios y sociales que determinan la **bancabilidad y escalabilidad de la transición productiva regional**.

### 2.5.1. Infraestructura energética y disponibilidad de electricidad renovable

La **restricción estructural de energía eléctrica renovable** es el principal condicionante del crecimiento. Aunque el Biobío dispone de una matriz mayoritariamente renovable —con fuerte presencia de hidráulica, biomasa, solar y eólica—, la capacidad de transmisión hacia los centros de consumo industrial y la disponibilidad de energía de base limitan la expansión simultánea de múltiples proyectos de hidrógeno. La región enfrenta además **altos costos marginales para clientes libres**, lo que afecta la competitividad de nuevos procesos electro-intensivos.

El desarrollo futuro dependerá de la incorporación de **nueva capacidad eólica** —tanto *on-shore* como, en el mediano plazo, *off-shore*— y de la **modernización del sistema de transmisión**. Mientras estas condiciones no se consoliden, la Hoja de Ruta regional debe priorizar proyectos con **menor demanda eléctrica por tonelada de producto** y alto valor capturable por MWh, además de avanzar en **rutas bio-** basadas en gasificación de biomasa residual y **modelos híbridos** que aprovechen el CO<sub>2</sub> biogénico existente.

### 2.5.2. Coordinación territorial e institucional

El entramado institucional del Biobío cuenta con múltiples actores públicos, privados y académicos involucrados en la transición energética, pero aún presenta **fragmentación de esfuerzos y falta de articulación programática**.

La ausencia de una plataforma operativa que coordine a empresas, municipios y organismos sectoriales retrasa la ejecución de proyectos integrados y reduce la visibilidad del territorio frente a inversionistas internacionales.

La consolidación de la **Gobernanza H2V Biobío**, de su **Comité Ejecutivo** y de sus **Comités Gestores** temáticos —capital humano, demanda local, relacionamiento comunitario,



servicios asociados a la cadena de valor, y nuevos mercados— constituye una oportunidad para dotar al ecosistema de un **marco operativo de colaboración público-privada estable**.

Esta estructura debe avanzar hacia **modelos de gestión de proyectos compartidos**, incluyendo ventanillas únicas, convenios de uso de infraestructura común y mecanismos de priorización regional de proyectos.

### 2.5.3. Condiciones financieras y acceso a instrumentos de inversión verde

Aunque existen múltiples fuentes de financiamiento climático —desde bancos multilaterales hasta fondos corporativos ESG—, las empresas regionales enfrentan **barreras de acceso** por tamaño, estructura patrimonial o falta de historial en proyectos energéticos. Se requieren instrumentos financieros **adaptados al perfil del territorio**, como fondos de coinversión público-privada, líneas de crédito verde regionales y garantías específicas para proyectos industriales bajos en carbono.

La **banca local** y **CORFO** pueden desempeñar un rol decisivo, articulando esquemas de **blend finance** y **fondos de primera pérdida** que reduzcan la percepción de riesgo y permitan apalancar capital privado. Asimismo, la creación de una **cartera priorizada de proyectos regionales** —con trazabilidad y certificaciones verificables— facilitaría el acceso a fondos internacionales como el **Innovation Fund**, el **Green Climate Fund** o los programas europeos de cooperación Art. 6.2.

### 2.5.4. Normativa, certificación y trazabilidad de carbono

Uno de los factores más críticos para la inserción internacional del Biobío es la capacidad de **demostrar la integridad ambiental** de sus productos. La ausencia de un marco nacional único de certificación del hidrógeno y de los derivados limita la capacidad de acceder a contratos internacionales.

Se requiere avanzar en la implementación de **estándares de certificación de ciclo de vida** (ISCC EU, RSB, CertifHy) y en un **sistema nacional de contabilidad de carbono** que permita distinguir las reducciones de emisiones generadas localmente.

La trazabilidad es también una condición para **monetizar los atributos climáticos**. Los mecanismos del **Artículo 6.2 del Acuerdo de París** ofrecen una oportunidad concreta para que proyectos industriales del Biobío registren y transfieran reducciones certificadas de emisiones, generando ingresos complementarios o garantías financieras adicionales.

Para ello, será necesario contar con **protocolos de autorización bilateral** y con capacidades técnicas locales para el monitoreo, reporte y verificación (MRV) de las emisiones.



## 2.5.5. Capital humano y capacidades técnicas

La transición productiva requiere **perfiles híbridos** que combinen conocimiento industrial, energético y ambiental. Si bien la región dispone de una red universitaria y técnica sólida, aún existen brechas en **formación especializada en tecnologías del hidrógeno, procesos químicos verdes y gestión de proyectos energéticos complejos**.

La creación de programas conjuntos entre universidades, centros tecnológicos y empresas — en coordinación con el Comité Gestor de Capital Humano— será esencial para asegurar la disponibilidad de talento local y reducir la dependencia de expertos externos en etapas críticas de diseño y operación.

## 2.5.6. Aceptación social y marco de sostenibilidad

La descarbonización industrial debe ir acompañada de una **transición justa y participativa**. La instalación de nuevos proyectos energéticos o industriales exige legitimidad territorial, transparencia y mecanismos de beneficio compartido.

Biobío cuenta con un historial industrial fuerte, pero también comunidades que demandan una **mayor participación en la definición de los proyectos**. La incorporación de estándares de sostenibilidad social, mecanismos de diálogo permanente y fondos de beneficio local fortalecerán la licencia social para operar y la reputación del territorio frente a inversionistas responsables.

## 2.5.7. Síntesis

Biobío dispone de la mayoría de los elementos necesarios para desarrollar una economía del hidrógeno y los combustibles sintéticos competitiva: **base industrial, conocimiento técnico y recursos renovables**.

Sin embargo, su éxito dependerá de la **gestión inteligente de las brechas estructurales**: energía renovable limitada, coordinación institucional, acceso a financiamiento adaptado, certificación de carbono y aceptación social.

La convergencia de estas condiciones definirá si la región puede pasar del potencial a la implementación efectiva, y si logra consolidarse como un **modelo industrial de transición productiva y climática para Chile y el Cono Sur**.



## 3. Mercados funcionales y geográficos

### 3.1. Tendencias globales: descarbonización de cadenas industriales

La economía mundial está experimentando una transformación estructural impulsada por la necesidad de reducir emisiones a lo largo de las cadenas de valor. La transición ya no se centra únicamente en la generación eléctrica o en el transporte, sino en la **descarbonización integral de los sectores industriales**, responsables de cerca del 30% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero.

Este proceso redefine la competitividad internacional: los países y regiones capaces de ofrecer **productos, materiales y combustibles con baja huella de carbono** se posicionan como los nuevos proveedores estratégicos de la transición. Tres fuerzas convergen para acelerar este cambio: la **regulación climática**, la **demanda corporativa** y el **financiamiento verde**.

En primer lugar, la **regulación internacional** avanza hacia esquemas que incorporan explícitamente el precio del carbono en el comercio de bienes y servicios. Instrumentos como el **CBAM** (Carbon Border Adjustment Mechanism) de la Unión Europea, el **FuelEU Maritime** o el **ReFuelEU Aviation** trasladan el costo de las emisiones a los importadores y operadores, creando un fuerte incentivo para adoptar insumos y combustibles bajos en carbono. Esta nueva arquitectura regulatoria transforma las cadenas de suministro: ya no basta con producir eficientemente, sino hacerlo con trazabilidad y certificación ambiental verificable.

En segundo lugar, las **empresas globales** están trasladando sus metas de carbono neutro hacia sus proveedores, lo que genera una **presión ascendente en las cadenas de valor**. Los grandes compradores —automotrices, mineras, navieras, aerolíneas, constructoras o minoristas— buscan reducir sus emisiones de Alcance 3 mediante la adquisición de insumos, materiales y servicios certificados como bajos en carbono. Este fenómeno crea mercados corporativos donde los contratos de suministro de largo plazo se asocian directamente a indicadores de desempeño climático.

En tercer lugar, el **financiamiento internacional** está reorientando flujos hacia proyectos que contribuyan a la mitigación y adaptación climática. Los **fondos ESG**, los **bonos verdes** y los **programas de blended finance** priorizan inversiones con impactos medibles en reducción de emisiones. La descarbonización industrial deja de ser una obligación ambiental para transformarse en una **condición de acceso al capital**.



En este nuevo contexto, los derivados del hidrógeno —e-metanol, SAF, amoníaco, e-DME— y los materiales bajos en carbono —acero verde, cemento, vidrio, bioplásticos— no son sólo alternativas tecnológicas, sino **instrumentos de acceso a los mercados internacionales**. Los países y regiones que logren producirlos con trazabilidad completa y costos competitivos asegurarán su lugar en las cadenas globales del comercio verde.

Para el Biobío, este escenario plantea una oportunidad concreta: aprovechar su **base industrial y portuaria** para insertarse tempranamente en los mercados regulados, ofreciendo productos y servicios que contribuyan a la reducción de emisiones globales. La transición energética se convierte así en una **transición productiva**, donde la ventaja no proviene únicamente de los recursos naturales, sino de la capacidad de conectar **producto, mercado y financiamiento** en una misma cadena de valor.

## 3.2. Mercados funcionales

Los mercados funcionales son aquéllos donde la demanda está determinada por la **necesidad de cumplir objetivos de descarbonización**, más que por el precio de la energía o la materia prima. A medida que los compromisos de carbono neutralidad se trasladan a las cadenas industriales, estos mercados emergen como los **principales compradores de hidrógeno y sus derivados**, y por lo tanto, como los **principales habilitadores del financiamiento climático**.

El análisis identifica siete sectores clave con potencial de inserción para el Biobío: aviación, transporte marítimo, automotriz y acero, minería y metalurgia, química fina y farmacéutica, construcción e infraestructura, y vidrio y packaging.

### 3.2.1. Aviación (SAF – Sustainable Aviation Fuel)

El sector aéreo enfrenta una de las transiciones más complejas hacia la neutralidad de carbono, dado que la electrificación no es viable a gran escala. Por ello, los **combustibles sostenibles de aviación (SAF)** se han convertido en el vector central para reducir emisiones en vuelos comerciales e industriales.

En Europa, el reglamento **ReFuelEU Aviation (2023)** establece mandatos obligatorios de mezcla: 2% de SAF al 2025, 6% al 2030 y 70% al 2050. Estos volúmenes se traducen en una demanda proyectada superior a **12 millones de toneladas anuales** al 2030, con incentivos explícitos para combustibles clasificados como **RFNBO** (Renewable Fuels of Non-Biological Origin).

La particularidad del mercado SAF es que su precio no se determina por la competencia, sino por **mandatos regulatorios y contratos de largo plazo** firmados con aerolíneas y alianzas



globales (SkyNRG, Neste, World Energy, Shell Aviation). Estas condiciones crean una **demanda garantizada y financiable**, donde los compradores pagan una prima por tonelada de CO<sub>2</sub> evitada.

Para el Biobío, este mercado ofrece una **ruta de inserción progresiva**, con **desarrollo de capacidades locales**. La región debe concentrar su esfuerzo en **producir e-metanol como vector energético intermedio**, creando una **“economía del metanol”** que sirva de base para evolucionar hacia la **síntesis local de SAF** en etapas posteriores. Esta estrategia tiene doble efecto: (i) permite validar infraestructura, certificaciones y logística portuaria con un producto de mercado ya maduro, y (ii) posiciona a la región en el **escalón tecnológico inmediato anterior** al SAF, reduciendo los riesgos de inversión y acumulando conocimiento operativo en procesos de síntesis, manejo y trazabilidad.

El paso siguiente —una vez consolidadas las capacidades industriales y de certificación— será avanzar hacia **plantas de SAF de integración parcial**, desarrolladas en asociación con productores internacionales bajo contratos **SAFc** o esquemas bilaterales de **Art. 6.2**, que permitan monetizar las reducciones verificadas de emisiones. En todo el proceso, la **certificación robusta (RSB, ISCC EU)** y la **trazabilidad del CO<sub>2</sub> biogénico** serán requisitos esenciales para acceder a los contratos de suministro globales.

### 3.2.2. Transporte marítimo (e-metanol y e-DME)

El transporte marítimo se encuentra en un punto de inflexión regulatoria. Desde 2024, el **sistema ETS Shipping** de la Unión Europea incluye al sector en el mercado de derechos de emisión, y el reglamento **FuelEU Maritime** establece una reducción progresiva de la intensidad de carbono del combustible utilizado por los buques que operan en puertos europeos. Esto obliga a navieras y operadores logísticos a **asegurar contratos de suministro de e-combustibles** para cumplir con los nuevos límites de emisiones.

El **e-metanol** se ha consolidado como el principal sustituto del fuel oil marino en la próxima década. Grandes armadores —Maersk, CMA CGM, X-Press Feeders, Cosco y Hapag-Lloyd— ya han encargado más de 250 buques *methanol-ready*, y mantienen offtakes firmes con productores en Europa, Asia y América Latina. El **dimetil éter (DME)** aparece como un derivado complementario, con potencial para transporte costero y servicios portuarios, dada su compatibilidad con la infraestructura de GLP.

El mercado marítimo tiene una característica clave: **la demanda es contractual y centralizada**. Los acuerdos de compra se gestionan directamente entre armadores y productores,



bajo contratos de 5 a 15 años, frecuentemente respaldados por mecanismos de subasta como **H<sub>2</sub>Global**, que garantizan precios mínimos durante el periodo inicial. Esto convierte al sector en uno de los **más atractivos desde la perspectiva de financiamiento**, ya que combina regulación, contratos y certificación en una estructura predecible.

El Biobío, con su infraestructura portuaria integrada y su producción de CO<sub>2</sub> biogénico, puede posicionarse como **suministrador regional de e-metanol y e-DME**, tanto para exportación como para uso local en corredores marítimos del Pacífico Sur.

Los puertos de San Vicente, Talcahuano, Coronel y Lirquén podrían transformarse en **puntos de bunkering verde**, operando bajo modelos de concesión o asociación público-privada. En el mediano plazo, la región podría incluso exportar metanol certificado hacia plantas de conversión o blending en Brasil, Panamá o Singapur, aprovechando los mecanismos de **fuel crediting** y **Art. 6.2**.

### 3.2.3. Automotriz y acero verde

La industria automotriz mundial avanza hacia metas de carbono neutralidad no sólo en sus vehículos, sino en toda su cadena de suministro. Fabricantes como Volkswagen, Mercedes-Benz, Volvo, Toyota y Stellantis han comprometido reducciones del 50 al 70% en las emisiones de sus materiales antes de 2030.

En paralelo, las siderúrgicas europeas y asiáticas están adaptando su producción para cumplir con los criterios del **ResponsibleSteel** y para evitar el impacto del **CBAM** en sus exportaciones a la Unión Europea. El **acero verde** producido mediante reducción directa con hidrógeno (H<sub>2</sub>-DRI) es la piedra angular de esta transformación. El mercado se organiza en torno a **contratos de suministro de largo plazo entre siderúrgicas y compradores automotrices o de construcción**, en los cuales el atributo de carbono bajo tiene un valor explícito.

Ejemplos como los acuerdos entre H2 Green Steel y BMW, o entre ArcelorMittal y Volvo, muestran que los compradores están dispuestos a pagar una prima de 20 a 30% sobre el acero convencional, siempre que el producto cuente con certificación de huella de carbono verificada.

Para el Biobío, este mercado es relevante por dos razones: primero, por la presencia de **Huachipato (CAP Acero)**, que ofrece la posibilidad de reconversión tecnológica hacia procesos híbridos; y segundo, porque la región alberga una **industria metalmecánica capaz de fabricar componentes y estructuras** para proyectos de acero verde en Chile y el extranjero. Esto abre oportunidades tanto de **producción como de servicios**, con acceso a financiamiento a través de **ECA europeas**, bonos de transición industrial y fondos multilaterales de descarbonización.



## 3.3. Mercados geográficos

Los mercados geográficos determinan no sólo la demanda potencial, sino también las **condiciones de entrada y bancabilidad** de los proyectos industriales. La regulación climática, los precios del carbono y la disponibilidad de instrumentos financieros verdes definen qué tan competitivo puede ser un producto bajo en carbono en cada destino. El análisis internacional muestra que los principales polos de demanda y financiamiento se concentran en cinco áreas: **Europa y Reino Unido, Norteamérica, Japón y Corea, Singapur y China.**

### 3.3.1. Europa y Reino Unido: el centro regulatorio del mercado verde

Europa es el epicentro de la descarbonización industrial global. La combinación de políticas climáticas vinculantes, mecanismos de ajuste en frontera y fondos de financiamiento verde ha convertido a la Unión Europea en el **principal comprador y regulador de productos bajos en carbono del mundo.**

El **European Green Deal** y su brazo operativo, el **Fit for 55**, imponen metas de reducción de emisiones del 55% al 2030, respaldadas por instrumentos normativos como el **CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism)**, el **FuelEU Maritime** y el **ReFuelEU Aviation**. Estos marcos no sólo crean obligaciones de cumplimiento, sino también **mercados regulados** que reconocen primas por productos certificados con baja huella de carbono.

Para el Biobío, Europa representa el **mercado de referencia y de anclaje financiero**. Los mecanismos europeos —en particular el **H<sub>2</sub>Global**, el **Innovation Fund** y los esquemas de **Art. 6.2**— ofrecen instrumentos de cofinanciamiento y subastas de precio que reducen el riesgo comercial.

Los productos con mayor viabilidad en este contexto son el **e-metanol**, el **SAF** y el **acero verde**, todos ellos vinculados a contratos regulados y certificables bajo esquemas europeos (ISCC EU, CertifHy). Asimismo, la posibilidad de **transferencia de créditos de mitigación (IT-MOs)** entre Chile y países de la UE abre una vía para monetizar la reducción de emisiones sin depender sólo del precio del producto físico.

**Reino Unido**, aunque fuera del marco comunitario, mantiene alineación regulatoria y participa activamente en el desarrollo de financiamiento climático y certificación de productos bajos en carbono, a través de la **UK ETS** y programas de **Green Industrial Growth**. Las empresas británicas de transporte marítimo y aviación son potenciales contrapartes para contratos de largo plazo con derivados del hidrógeno del Biobío.



### 3.3.2. Norteamérica: incentivos fiscales y mercado corporativo

Estados Unidos y Canadá se posicionan como los mercados donde **el precio del carbono se sustituye por incentivos fiscales y corporativos**. El **Inflation Reduction Act (IRA)** estadounidense ofrece créditos tributarios de hasta **3 USD/kg de H<sub>2</sub>** y **1,25 USD/litro de SAF**, mientras que Canadá mantiene un sistema nacional de **Carbon Credit Trading** y programas de transición industrial bajo el *Clean Fuel Regulations*.

El rasgo distintivo del mercado norteamericano es la **demanda corporativa privada**, impulsada por los compromisos ESG y las estrategias de carbono neutralidad de grandes conglomerados. Compañías como Amazon, Microsoft, United Airlines, Delta y FedEx utilizan los **SAFc** y los **contratos de offtake directo** como mecanismos de compensación de alcance 3. En este entorno, los productores internacionales pueden integrarse mediante acuerdos bilaterales sin necesidad de aranceles ni licencias complejas.

Para el Biobío, Norteamérica constituye un **mercado de asociación estratégica**, especialmente para SAF, e-metanol y productos químicos bajos en carbono. El acceso financiero se facilita por la presencia de **fondos de impacto y bancos de desarrollo corporativo**, como el **Climate Investment Funds (CIF)** o el **U.S. DFC**, que apoyan inversiones en países con acuerdos de libre comercio y trazabilidad verificada. La existencia del **Tratado de Libre Comercio Chile-EE.UU.** reduce barreras arancelarias y podría facilitar contratos de exportación temprana con compradores corporativos.

### 3.3.3. Japón y Corea: contratos industriales de largo plazo

Japón y Corea del Sur se consolidan como los **principales compradores asiáticos de hidrógeno, amoníaco y combustibles sintéticos**. Ambos países enfrentan limitaciones para generar energía renovable suficiente y han definido estrategias nacionales basadas en importación de moléculas limpias.

El gobierno japonés ha establecido el **Green Innovation Fund** (15.000 millones USD) y promueve **contratos de suministro industrial a largo plazo** con países socios. Corea, por su parte, avanza en un marco similar a través del **Hydrogen Economy Roadmap**.

A diferencia de Europa, donde predomina el marco regulatorio, Asia oriental se orienta hacia **acuerdos bilaterales y corporativos**, donde el comprador asume parte del riesgo y financia infraestructura en el país productor. Este modelo abre una puerta para el Biobío, que podría establecer **contratos de suministro industrial** con empresas japonesas o coreanas interesadas en metanol verde o acero bajo en carbono, particularmente en sectores como transporte marítimo, siderurgia o química fina.



Los esquemas de financiamiento de la **JICA**, el **JBIC** y el **KEXIM Bank** incluyen líneas específicas para inversiones en hidrógeno y proyectos climáticos, que podrían apalancar proyectos regionales.

### 3.3.4. Singapur: hub marítimo y financiero del Sudeste Asiático

Singapur ocupa un rol dual: es el **centro financiero asiático del hidrógeno** y el **principal nodo logístico marítimo del mundo**. El gobierno singapurense impulsa su propio **Hydrogen Strategy**, con foco en el uso de combustibles sintéticos para el transporte marítimo, almacenamiento y *bunkering* regional. La autoridad portuaria (MPA) ha establecido alianzas con Maersk, BP, TotalEnergies y otras navieras para garantizar la disponibilidad de combustibles verdes desde 2027.

Para el Biobío, Singapur representa una **plataforma de reexportación y financiamiento**, más que un destino final. Los e-combustibles producidos en la región podrían comercializarse o certificarse en este hub, accediendo a **contratos indexados al precio del carbono** y a fondos de inversión especializados en transición energética. Asimismo, los mecanismos del **Singapore Carbon Exchange** y el **Partnership for Market Implementation (PMI)** del Banco Mundial ofrecen opciones para transar créditos de carbono derivados de proyectos Art. 6.2.

### 3.3.5. China: escala y competitividad, pero baja prima verde

China lidera la producción global de hidrógeno, acero y químicos, pero su estructura de precios se mantiene dominada por costos, no por atributos ambientales. El mercado interno chino no paga primas por productos bajos en carbono, y su sistema de comercio de emisiones se aplica sólo al sector eléctrico.

Por tanto, aunque China es un actor inevitable en términos de volumen, **no constituye un mercado prioritario para el Biobío en la etapa inicial**, salvo como destino de exportaciones intermedias con contratos corporativos específicos.

En cambio, la cooperación tecnológica con empresas chinas —en áreas como equipos de electrólisis, ingeniería o materiales— puede resultar estratégica para reducir costos de inversión y acelerar la implementación regional.

### 3.3.6. Lectura estratégica

El análisis comparado muestra que **Europa y Norteamérica** ofrecen los mercados con **mayor estabilidad regulatoria y financiamiento verde disponible**, mientras que **Asia oriental**



(Japón y Corea) aporta la **demanda industrial de largo plazo** y **Singapur el nodo financiero y logístico**.

En este mapa, el Biobío puede posicionarse como un **proveedor dual**: por un lado, abasteciendo productos regulados (e-metanol, SAF, acero) para Europa; y por otro, suministrando moléculas e intermedios de base a Asia, bajo contratos industriales y esquemas de colaboración regional.

La diversificación geográfica será esencial para equilibrar riesgo y retorno: Europa aporta el **anclaje normativo y financiero**, Asia la **escala y continuidad industrial**, y Norteamérica la **flexibilidad corporativa y tecnológica**. Esta combinación define el escenario sobre el cual se construirá la **cadena de bancabilidad del Biobío**, analizada en los capítulos siguientes.

## 3.4. Mecanismos de mercado que habilitan financiamiento

El paso crítico entre el potencial productivo y la inversión efectiva es convertir la demanda climática en **ingresos previsible**s. En la práctica, la bancabilidad se construye cuando un proyecto logra **asegurar precio, trazabilidad y estabilidad contractual** para su producto. Los mecanismos de mercado que permiten hacerlo —subastas, mandatos, certificados, créditos y contratos corporativos— constituyen la arquitectura financiera de la transición industrial del Biobío.

### 3.4.1. Subastas y contratos por diferencia: precio piso y certidumbre

Las **subastas internacionales de e-combustibles** y los **Contracts for Difference (CfD)** fijan un **precio mínimo garantizado**, reduciendo la exposición a la volatilidad del mercado fósil. En Europa, instrumentos como **H<sub>2</sub>Global** o los CfD del **Innovation Fund** sostienen el despegue del e-metanol y del SAF, cubriendo la brecha entre costo de producción y precio de referencia.

Para el Biobío, estos mecanismos son el primer peldaño de la cadena de bancabilidad: permiten estructurar deuda de largo plazo, respaldada en un contrato adjudicado por subasta o CfD.

Los proyectos de **e-metanol costero** —vinculados al transporte marítimo y al abastecimiento portuario— son los mejor posicionados para este modelo. Las futuras plantas de **SAF** podrán integrarse a consorcios internacionales mediante subastas o acuerdos híbridos que combinen precio piso y certificación de reducción de emisiones.

En este contexto, las **agencias de crédito a la exportación (ECA)** europeas y asiáticas pueden cubrir parte del riesgo comercial, otorgando garantías o financiamiento directo a proyectos con contratos vinculados a mandatos regulatorios.



### 3.4.2. Mandatos y regulaciones: la demanda obligatoria como garantía de ingreso

Los **mandatos de mezcla** y las **regulaciones climáticas vinculantes** funcionan como generadores de demanda estable. En aviación, el **ReFuelEU Aviation** obliga a incorporar SAF en proporciones crecientes hasta 2050; en transporte marítimo, el **FuelEU Maritime** establece reducciones graduales en la intensidad de carbono de los combustibles; y en materiales, el **CBAM** europeo fija precios implícitos al CO<sub>2</sub> en acero, cemento y productos químicos.

Estas normas trasladan el riesgo del productor al comprador: el costo de incumplimiento es mayor que la prima verde. Para los proyectos del Biobío, esto se traduce en **curvas de ingreso predecibles**, ideales para estructurar financiamiento de proyecto o bonos verdes ligados al desempeño.

El resultado es una sustitución de riesgo de mercado por **riesgo de cumplimiento regulatorio**, más fácilmente valorado por bancos y fondos.

### 3.4.3. Certificación y créditos: monetizar la reducción de emisiones

La **certificación de sostenibilidad y trazabilidad** es la llave de entrada a los mercados regulados y corporativos. Sin ella, el atributo de carbono bajo no tiene valor económico. Los estándares **ISCC EU, RSB, CertifHy** o **ResponsibleSteel** son los reconocidos en Europa y Asia. Su adopción permite no solo acceder a contratos de compra, sino también **emitir créditos de carbono verificables**.

En paralelo, los proyectos industriales pueden generar **créditos Artículo 6.2 del Acuerdo de París**, conocidos como *ITMOs* (Internationally Transferred Mitigation Outcomes). Estos créditos representan reducciones certificadas de emisiones transferibles entre países y pueden venderse a gobiernos o corporaciones para cumplir compromisos climáticos.

Chile ya cuenta con acuerdos bilaterales en esta materia y trabaja en nuevos convenios con Japón, Suiza y la Unión Europea, lo que abre la posibilidad de que los proyectos del Biobío —por ejemplo, de metanol, vidrio o cemento bajo carbono— **moneticen su mitigación** sin depender del precio del producto físico. El ingreso adicional o el prepago de créditos mejora la liquidez del proyecto y refuerza su capacidad de apalancamiento.

### 3.4.4. Contratos corporativos de descarbonización (Scope 3)

Las grandes corporaciones trasladan sus metas net-zero a sus proveedores mediante **contratos de descarbonización de alcance 3 (Scope 3)**. Estos acuerdos —firmados entre productores de energía limpia o materiales bajos en carbono y compradores industriales—



permiten a las empresas reducir su huella en la cadena de suministro. Ejemplos ya operativos incluyen contratos entre navieras y productores de e-metanol, entre aerolíneas y proveedores de SAF, o entre fabricantes automotrices y siderúrgicas de acero verde.

En el caso del Biobío, este mecanismo tiene un doble valor:

- asegura demanda de largo plazo con contrapartes solventes, y
- fortalece la **competitividad de los sectores exportadores tradicionales** del territorio, que podrán reducir su huella utilizando combustibles y materiales locales de baja emisión.

Este enfoque materializa el concepto de Pasaporte Climático territorial, donde el hidrógeno y sus derivados se transforman en vectores de acceso a mercados regulados para otros sectores.

Desde el punto de vista financiero, los contratos Scope 3 aportan **calidad crediticia y horizonte de flujo**, facilitando el uso de **financiamiento mixto (blended finance)** y bonos corporativos verdes. También permiten innovar en esquemas de **maquila verde o tolling** con socios regionales (Brasil o Argentina), reteniendo valor agregado sin aumentar el consumo de energía renovable local.

### 3.4.5. Contexto de Norteamérica: mayor incertidumbre regulatoria

Hasta 2024, Estados Unidos era el principal impulsor global de incentivos a la producción limpia mediante el **Inflation Reduction Act (IRA)**. Sin embargo, en 2025 la nueva administración redujo significativamente los beneficios fiscales, acortó plazos de elegibilidad y eliminó varias líneas de apoyo a proyectos de hidrógeno y combustibles sostenibles. Esto ha generado **incertidumbre regulatoria** y un desplazamiento de inversiones hacia regiones con marcos más estables, como Europa o Asia.

En este nuevo escenario, Norteamérica deja de ser un mercado anclado en subsidios y pasa a depender casi por completo de **contratos corporativos privados y demanda voluntaria ESG**. Biobío debe, por tanto, enfocar su estrategia de acceso a Norteamérica en **alianzas corporativas o de cadena de suministro**, no en incentivos federales, y tratar este mercado como **complementario**, no prioritario.

### 3.4.6. Lectura estratégica

La combinación de estos mecanismos —regulación, certificación, contratos y financiamiento verde— define el marco de bancabilidad para el Biobío. Los productos con **mayor conexión**



**regulatoria y contractual** (e-metanol, SAF, acero verde) serán los primeros en acceder a deuda estructurada y garantías internacionales.

Las rutas **bio-** y los materiales emergentes (vidrio, bioplásticos) seguirán una trayectoria de maduración progresiva, aprovechando financiamiento de innovación o fondos de impacto. En todos los casos, el principio rector será asignar la energía renovable al **uso de mayor valor agregado y trazabilidad comprobada**, evitando destinarla a productos de bajo retorno climático o económico, como el amoníaco, cuya producción no representa una ventaja competitiva regional.

La convergencia entre regulación, contratos y certificación es lo que transforma la descarbonización en modelo de negocio. Ahí radica la verdadera oportunidad del Biobío: **convertir el atributo climático en ingreso estable y bancable**, consolidando una industria capaz de sostener su propia transición energética y productiva.

### 3.5. Matriz integrada producto–sector–mecanismo–región

La convergencia entre **productos, sectores de demanda, mecanismos de mercado y regiones de destino** define la arquitectura comercial y financiera sobre la cual puede construirse la transición productiva del Biobío. Cada intersección de esta matriz representa un posible modelo de negocio: un espacio donde la regulación genera demanda, los contratos aseguran ingreso y la certificación convierte el atributo climático en valor económico.

Comprender estas interacciones permite priorizar los esfuerzos regionales hacia las rutas de **mayor retorno por MWh, menor riesgo regulatorio y mayor potencial de escalamiento industrial**.

#### 3.5.1. Productos prioritarios y su anclaje de mercado

El **e-metanol** es el producto con **mayor transversalidad y bancabilidad** en la matriz. Opera simultáneamente como combustible marítimo, insumo químico, precursor del SAF y base para múltiples derivados (formaldehído, acetatos, resinas).

Su demanda regulada en Europa y Asia, junto con la madurez tecnológica de su síntesis, lo convierten en la **columna vertebral de la estrategia regional**. Biobío cuenta con las condiciones técnicas y logísticas para desarrollar un **corredor del metanol verde**, que combine abastecimiento portuario, exportación y uso industrial local, sentando las bases de una economía del carbono circular.

El **SAF** constituye el segundo vector clave, pero su desarrollo será progresivo. En el corto y mediano plazo, la producción de e-metanol servirá como plataforma para adquirir experiencia



y habilitar infraestructura de conversión. En la medida en que se consoliden capacidades locales de síntesis avanzada y certificación RSB o ISCC EU, la región podrá evolucionar hacia plantas SAF integradas, orientadas a los mandatos de mezcla europeos y a los contratos corporativos de aerolíneas globales.

El **acero verde** y los **materiales de construcción bajos en carbono** (cemento, vidrio) representan el frente industrial de mayor impacto territorial. Su demanda está impulsada por regulaciones de frontera (CBAM, ResponsibleSteel) y por la necesidad de descarbonizar cadenas automotrices y de infraestructura. En estos casos, la ventaja del Biobío no está en la escala de producción, sino en la **reutilización de infraestructura y capital humano existentes**, lo que reduce intensidad de inversión y facilita la financiación mediante bonos de transición industrial o líneas ECA.

Los **bioplásticos y packaging sostenibles** completan la matriz como productos emergentes, vinculados a la valorización de CO<sub>2</sub> biogénico y a la bioeconomía forestal. Su madurez tecnológica aún es incipiente, pero poseen alto potencial para insertarse en cadenas corporativas de consumo masivo y economía circular, donde los compradores valoran la trazabilidad de origen más que el precio por tonelada.

### 3.5.2. Sectores de demanda y mecanismos de ingreso

Cada producto se ancla en un tipo distinto de demanda climática. El **transporte marítimo y aéreo** son los sectores con **mandatos obligatorios** y, por tanto, con los mecanismos más robustos de generación de ingresos.

El **acero y cemento** se sustentan en **ajustes de frontera y contratos corporativos Alcance 3**, donde el comprador financia parte de la reconversión del proveedor. Los **productos químicos y materiales avanzados** dependen más de **contratos industriales y certificación**, con primas verdes negociadas bilateralmente.

En términos de instrumentos financieros, las rutas con mandatos (SAF, e-metanol marítimo) son candidatas a **CfD o subastas internacionales**, mientras que los proyectos de reconversión industrial pueden acceder a **bonos de transición y créditos Art. 6.2**. Los sectores vinculados a consumo final —bioplásticos, packaging, vidrio— se insertan mejor en esquemas de **blended finance**, donde fondos públicos o corporativos de sostenibilidad asumen parte del riesgo inicial a cambio de impactos verificables.



### 3.5.3. Regiones de destino y correlación con riesgo–retorno

En la dimensión geográfica, **Europa** concentra los mercados más predecibles y financieramente estructurados. Es el espacio donde convergen los tres pilares de la bancabilidad: regulación, certificación y financiamiento verde. Por eso, los primeros proyectos del Biobío deben orientarse a este bloque, aprovechando los mecanismos de precio garantizado y las garantías públicas (H<sub>2</sub>Global, Innovation Fund, ECA europeas).

**Asia oriental (Japón y Corea)** aporta la escala y la lógica industrial de largo plazo. Su enfoque contractual —basado en acuerdos bilaterales y financiamiento conjunto— complementa el marco europeo y permite diversificar riesgo comercial. **Singapur** se consolida como nodo de trading y certificación regional, útil para validar trazabilidad y asegurar liquidez en contratos spot o de reexportación.

Por su parte, **Norteamérica** pierde peso relativo tras la reducción de incentivos federales en 2025, pero mantiene un espacio para alianzas corporativas voluntarias y para el comercio de derivados certificados.

El **balance estratégico** de la matriz geográfica consiste en combinar el anclaje europeo (seguridad regulatoria) con la expansión asiática (escala industrial y financiamiento bilateral). Esa dualidad reduce exposición a un solo régimen político o financiero y fortalece la resiliencia de los proyectos del Biobío.

### 3.5.4. Lectura final: priorización integrada

La matriz integrada muestra que no todos los productos ni mercados ofrecen el mismo retorno climático ni económico por unidad de energía renovable. Dado que el Biobío dispone de un **activo limitante —la electricidad renovable—**, su estrategia debe orientarse a maximizar el valor capturable por cada MWh utilizado.

Ello implica priorizar productos con **alta trazabilidad, demanda regulada y efecto multiplicador territorial**, y evitar desviar recursos hacia rutas de bajo valor agregado o débil demanda estructural, como el amoníaco.

En síntesis, la **jerarquía de priorización** se ordena así:

- **e-metanol** como producto central y plataforma de industrialización local;
- **SAF** como derivado estratégico de segunda fase;
- **acero y materiales bajos en carbono** como eje industrial de reconversión;



- **bioplásticos y químicos avanzados** como expansión de valor agregado y circularidad.

Cada una de estas rutas se conecta con mercados funcionales, regulaciones y mecanismos financieros distintos, pero todos convergen en una misma meta: **transformar el atributo climático en ingreso estable, inversión estructurada y empleo industrial de largo plazo en el Biobío.**

Perfecto,

Javier.

A continuación, te presento el **Capítulo 4: La cadena de bancabilidad – de mercado a financiamiento con riesgo mitigado**, redactado en el mismo tono GIZ/BID/IEA que venimos manteniendo: analítico, narrativo, fluido, con foco en el **mecanismo de funcionamiento real** que conecta los capítulos anteriores (mercado, producto, regulación, contrato, financiamiento). Este capítulo es el **nodo estructural del informe**, porque traduce la estrategia territorial en una lógica financiera operativa: cómo se construye un proyecto bancable en el Biobío.

## 4. La cadena de bancabilidad: de mercado a financiamiento con riesgo mitigado

La transición energética y productiva del Biobío no depende sólo de producir hidrógeno o derivados, sino de construir **una cadena completa de bancabilidad**, donde cada eslabón —mercado, contrato, financiamiento y mitigación de riesgo— se alinea para generar ingresos estables y proyectos invertibles.

En economías industriales maduras, esta lógica se conoce como *value de-risking*: reducir incertidumbre desde la demanda hasta el retorno financiero, articulando instrumentos técnicos, regulatorios y económicos en un mismo flujo.

En el caso del Biobío, la cadena de bancabilidad se estructura a partir de cinco componentes interdependientes:

- **Mercado asegurado**
- **Ingreso estabilizado**
- **Financiamiento estructurado**
- **Riesgo mitigado**



- **Ciclo de reinversión local**

Cada uno representa un nivel de madurez y sofisticación que debe alcanzarse para transformar el potencial territorial en inversión efectiva.

## 4.1. Mercado asegurado: regulación y contratos como punto de partida

El punto inicial de la bancabilidad es el **mercado asegurado**. Sin un comprador previsible o una regulación que genere demanda, ningún proyecto puede obtener financiamiento. Por eso, los **mandatos regulatorios europeos (FuelEU, ReFuelEU, CBAM)** y los **contratos corporativos Alcance 3** son el cimiento sobre el cual se construye la cadena. Biobío debe enfocarse en mercados donde el cumplimiento regulatorio o los compromisos corporativos son **obligatorios y cuantificables**, porque allí se encuentran las **fuentes de ingreso más estables**.

En este nivel, los proyectos deben traducir la oportunidad regulatoria en contratos firmes —*offtakes*, CfD, subastas o contratos industriales— que aseguren volumen, plazo y precio. La participación en mecanismos como **H2Global** o **Innovation Fund** permite anclar la demanda de e-metanol y SAF con compradores europeos, mientras que las alianzas industriales con Japón y Corea pueden garantizar demanda para acero y materiales bajos en carbono. Cada contrato firmado reduce riesgo de mercado y actúa como habilitador financiero para la etapa siguiente.

## 4.2. Ingreso estabilizado: del contrato al flujo financiero

Una vez asegurada la demanda, el desafío es estabilizar los ingresos frente a la volatilidad de precios o costos. Los **Contracts for Difference (CfD)**, las **subastas de precio fijo** y los **bonos corporativos de suministro verde** cumplen esta función: convierten un contrato comercial en un **flujo predecible**, que puede ser usado como garantía para obtener deuda.

Por ejemplo, un proyecto de e-metanol en Talcahuano con contrato de venta a una naviera europea puede estructurar su financiamiento bajo un CfD que cubra la diferencia entre el precio de mercado del metanol y el precio de equilibrio del proyecto. Esa cobertura elimina la incertidumbre del ingreso y permite a los bancos proyectar el flujo de caja con certeza. En términos financieros, el contrato pasa a ser **colateralizable**.

En los casos donde no existan mecanismos CfD, la estabilización puede lograrse combinando **ingresos primarios (venta del producto)** con **ingresos secundarios (créditos de carbono, certificados o**



**primas corporativas Alcance 3**). Así, el proyecto diversifica fuentes de ingreso y reduce dependencia de un solo mercado o precio.

## 4.3. Financiamiento estructurado: arquitectura de inversión

El tercer eslabón es el **financiamiento estructurado**, que traduce el flujo estabilizado en capital y deuda. La experiencia internacional muestra tres modelos que pueden coexistir en el Biobío:

- **Modelo ECA + Deuda Comercial:**

Las **agencias de crédito a la exportación (ECA)** europeas, asiáticas y multilaterales (Euler Hermes, Bpifrance, KEXIM, JBIC) pueden cubrir entre 50 % y 80 % del CAPEX elegible, siempre que los equipos o contratos provengan de su país de origen. Los contratos CfD y los mandatos regulados aumentan la calificación crediticia del proyecto, reduciendo el costo de la deuda.

- **Modelo Blended Finance:**

Combinación de fondos públicos o multilaterales (GCF, CAF, BID, KfW, CORFO, GORE Biobío) con capital privado. El fondo público asume la **primera pérdida** o los riesgos de desarrollo, mientras la banca comercial aporta deuda senior. Este modelo es ideal para **proyectos pioneros** (metanol cosero, SAF inicial, cemento bajo carbono).

- **Modelo de Transición Industrial:**

Para reconversiones de plantas existentes (química, metalmecánica, vidrio), el instrumento preferente son los **bonos de transición o préstamos ESG**, donde la empresa se compromete a reducir su intensidad de carbono a cambio de condiciones financieras favorables. Aquí el atributo climático se convierte en cláusula financiera, no en producto de venta.

La correcta estructuración financiera requiere un actor articulador regional —público o mixto— capaz de acompañar proyectos en etapas tempranas, consolidar carteras y negociar condiciones colectivas. El **Programa H2V Biobío** y su red institucional pueden cumplir ese rol, actuando como plataforma de inteligencia financiera y vinculación con fondos internacionales.

## 4.4. Riesgo mitigado: seguros, garantías y certificación

El cuarto eslabón consiste en **reducir los riesgos residuales** que aún frenan la inversión: regulatorios, tecnológicos, sociales y financieros. Estos se mitigan mediante tres grupos de instrumentos:



## 1. Garantías y seguros climáticos:

Coberturas de ECA, Banco Mundial, MIGA o agencias regionales contra riesgos políticos, de incumplimiento contractual o de variación de precios de carbono. Su efecto es directo: reducen el *spread* de la deuda y mejoran la bancabilidad del proyecto.

## 2. Certificación de ciclo de vida y trazabilidad:

La adopción de esquemas reconocidos (ISCC EU, RSB, ResponsibleSteel, CertifHy) otorga validez internacional a los productos del Biobío y habilita su acceso a mandatos y créditos Art. 6.2. La certificación no sólo abre mercados, también **reduce riesgo reputacional y jurídico**, hoy evaluado por los fondos ESG como parte de su due diligence.

## 3. Gestión territorial y licencia social:

La aceptación local es una variable crítica de riesgo operativo. Los proyectos que incorporan beneficios compartidos, transparencia y participación comunitaria obtienen calificaciones sociales más altas y acceso a líneas de crédito sostenibles. En el caso del Biobío, integrar estándares de sostenibilidad desde el diseño puede convertirse en un diferenciador competitivo frente a otras regiones productoras.

## 4.5. Ciclo de reinversión local: cerrar la cadena

El último eslabón de la cadena de bancabilidad no es financiero, sino territorial. Un proyecto bancable debe generar **reinversión local** para sostener su legitimidad y expansión. Esto implica destinar parte de los flujos a **nuevas capacidades industriales, innovación, capital humano y encadenamientos locales**. Así, el financiamiento inicial se transforma en **motor de desarrollo**, no en enclave extractivo.

La lógica de reinversión cierra el ciclo: el valor climático que se captura en el mercado internacional regresa al territorio en forma de infraestructura, empleo y conocimiento. Esta retroalimentación es la que convierte la transición energética en **transición productiva**, y la bancabilidad en **sostenibilidad regional**.

## 4.6. Síntesis operativa

La cadena de bancabilidad del Biobío puede resumirse así:

→ **Mercado asegurado** (mandatos, contratos, regulación)

→ **Ingreso estabilizado** (CfD, subastas, créditos)



→ **Financiamiento estructurado** (ECA, blended finance, bonos de transición)

→ **Riesgo mitigado** (garantías, certificación, sostenibilidad)

→ **Reinversión local** (capacidades, innovación, empleo)

Cada paso transforma riesgo en oportunidad, y oportunidad en inversión. El desafío no es financiero: es de **coordinación y diseño**. Biobío cuenta con los componentes técnicos, institucionales y humanos para completar esta cadena; la tarea inmediata es **operativizar los mecanismos** que conectan los eslabones y hacerlos funcionar de forma integrada.

## 5. Plan regional de implementación

El desafío del Biobío no es sólo atraer inversión, sino **ordenar estratégicamente su transición industrial** para que los proyectos de hidrógeno y derivados se conviertan en motor de competitividad y desarrollo territorial. Tras más de una década de planificación energética y productiva, la región dispone de un ecosistema institucional, técnico y empresarial capaz de **pasar del potencial a la ejecución**. El reto ahora es coordinar esos esfuerzos bajo una lógica de **implementación integrada**, donde la política pública, la inversión privada y la cooperación internacional confluyan en una misma hoja de ruta.

Este plan se articula en torno a seis dimensiones:

- **Alineamiento con la Hoja de Ruta de H2V Biobío 2026-2050**
- **Gobernanza y colaboración público-privada**
- **Proyectos demostrativos y pilotos industriales**
- **Articulación interregional**
- **Instrumentos regionales de financiamiento**
- **Hoja de ruta operativa 2026-2032**

Cada dimensión actúa como pilar de una arquitectura territorial que combina regulación, financiamiento y desarrollo industrial.



## 5.1. Alineamiento con la Hoja de Ruta H2V Biobío 2026-2050

La **Hoja de Ruta de H2V Biobío 2026-2050** define un marco estratégico que orienta las acciones de corto, mediano y largo plazo. Su visión reconoce al Biobío como un **territorio industrial de integración energética**, donde la descarbonización no es un fin en sí mismo, sino un vector de competitividad para sus sectores productivos.

El plan de implementación de este estudio se inserta en esa lógica, priorizando tres frentes estratégicos convergentes:

- **Descarbonización industrial:** reconversión de procesos existentes en acero, cemento, vidrio y química hacia bajas emisiones, utilizando hidrógeno, metanol y electricidad renovable.
- **Cadena de valor del hidrógeno y del carbono biogénico:** desarrollo de capacidades locales en manufactura, servicios industriales y certificación, con foco en e-metanol y derivados.
- **Nuevos mercados y exportaciones bajas en carbono:** creación de productos con trazabilidad climática (SAF, bioplásticos, materiales sostenibles) y apertura a cadenas globales reguladas.

La implementación regional debe concebirse como una **ejecución secuencial de estos tres frentes**, donde cada uno refuerza al siguiente: primero industrializar; luego escalar; y finalmente, exportar valor agregado.

## 5.2. Gobernanza y colaboración público–privada

El principal factor de éxito para materializar esta estrategia será la **capacidad de gobernanza territorial**. Biobío ya cuenta con una estructura institucional avanzada: **H2V Biobío**, su **Consejo Directivo** y **Comité Ejecutivo**, junto a los **Comités Gestores** temáticos (Capital Humano, Demanda Local, Relacionamiento Comunitario, Servicios Asociados a la Cadena de Valor, y Nuevos Mercados). Estos órganos conforman una red de coordinación público–privada que ha logrado articular empresas, gremios, universidades y entidades públicas en torno a una visión común.

Sin embargo, la nueva etapa requiere evolucionar desde la coordinación estratégica hacia la **gestión operativa de proyectos**. Esto implica dotar al programa de **mecanismos de priorización, seguimiento y facilitación** que aseguren continuidad entre la planificación y la inversión. En la práctica, esto podría traducirse en la creación de una **unidad ejecutiva permanente**, encargada de acompañar proyectos emblemáticos, preparar carteras para financiamiento verde y monitorear impactos territoriales.



La gobernanza debe operar también como plataforma de cooperación interinstitucional: alineando SE-REMI sectoriales, CORFO, GORE, universidades y sector privado bajo una misma agenda de ejecución. Su función no es administrar recursos, sino **construir viabilidad**, conectar proyectos con instrumentos de apoyo, y garantizar que el desarrollo del hidrógeno se traduzca en valor local tangible.

### 5.3. Proyectos demostrativos y pilotos industriales (2026–2032)

La transición productiva requiere **demostrar factibilidad técnica, económica y social** antes de escalar. Por eso, el eje inmediato de implementación se centrará en **proyectos demostrativos** que permitan validar tecnologías, modelos de negocio y marcos de gobernanza.

Entre las líneas prioritarias se identifican:

- **Planta de e-metanol:** primer proyecto ancla que integra CO<sub>2</sub> biogénico de origen forestal, hidrógeno renovable y logística de distribución. Debe diseñarse con trazabilidad completa y capacidad modular para incorporar derivados (SAF o DME) en fases siguientes.
- **Reconversión de procesos industriales** (acero, refinería, química, cemento, vidrio, transporte terrestre de carga pesada, transporte marítimo): pilotos de sustitución parcial de combustibles fósiles por hidrógeno, metanol o combustibles sustentables, con métricas verificables de reducción de emisiones y acceso a bonos de transición industrial.
- **Valorización energética de residuos lignocelulósicos:** estudios avanzados para gasificación de biomasa y generación de syngas o bio-metanol, en articulación con complejos forestales e industriales interiores (Horcones, Santa Fe, Laja, Nueva Aldea).
- **Infraestructura portuaria y de almacenamiento:** estudios avanzados de adaptación de terminales y tanques para exportación de metanol y bunkering verde, en coordinación con concesionarios y servicios públicos.
- **Sistema regional de certificación y trazabilidad de carbono:** piloto conjunto con instituciones públicas para aplicar estándares ISCC EU y Artículo 6.2 en proyectos industriales del Biobío.

Estos pilotos permitirán **reducir riesgo tecnológico y operativo**, generar información de costo real y construir reputación internacional como territorio confiable. El aprendizaje obtenido será insumo directo para los mecanismos de financiamiento y para la política regional de atracción de inversiones.



## 5.4. Articulación interregional

La implementación regional debe integrarse a una **estrategia nacional y macrozonal**. Biobío no compete con otras regiones, sino que **se complementa** con ellas dentro de un corredor industrial del centro-sur del país. Mientras Magallanes aporta energía renovable a gran escala y activa cadenas de producción de amoníaco, Antofagasta hace lo propio y reduce emisiones en minería, y Valparaíso fortalece la logística y el transporte marítimo internacional, el Biobío ocupa el rol de **hub industrial y portuario intermedio**, donde confluyen producción, transformación y exportación.

Esta articulación requiere mecanismos formales de cooperación —como el Acuerdo Nacional firmado entre las asociaciones de hidrógeno H2 Chile, H2 Antofagasta, H2V Biobío y H2V Magallanes el 5 de agosto de 2025— que permitan compartir información técnica, estandarizar certificaciones y desarrollar **proyectos conjuntos**. El objetivo es que Chile avance hacia una **industria del hidrógeno integrada y territorialmente equilibrada**, capaz de competir globalmente sin fragmentar esfuerzos internos.

## 5.5. Síntesis

La estrategia regional de implementación transforma la visión de largo plazo en un programa concreto de ejecución. Cada eje —industrial, financiero, territorial e institucional— contribuye a cerrar la brecha entre oportunidad y bancabilidad. Biobío no sólo busca atraer inversiones: busca **redefinir su estructura productiva** para competir en un mundo donde el carbono ya es un factor de precio y acceso.

Su éxito dependerá de mantener la coherencia entre planificación, gobernanza y ejecución, asegurando que cada proyecto aporte simultáneamente **valor económico, reducción de emisiones y desarrollo local**. La transición no será espontánea ni lineal, pero el territorio cuenta con la base industrial, el conocimiento técnico y el capital humano para liderarla. El objetivo final no es producir hidrógeno: es **producir futuro industrial y climáticamente viable** para la región.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

El estudio confirma que la Región del Biobío dispone de una **base industrial, energética y logística única en el país** para desarrollar una economía del hidrógeno verde y sus derivados. Sin embargo, también revela que la competitividad del territorio no dependerá de su capacidad para producir moléculas, sino de su **habilidad para conectar producto, mercado y financiamiento** dentro de una misma cadena de valor.



El desafío no es tecnológico: es de **coordinación económica y estratégica**. La transición del Biobío será sostenible en la medida en que transforme su capacidad industrial en **ingresos estables, trazabilidad climática y empleo calificado**.

## 6.1. Hallazgos clave

- **La ventaja del Biobío no está en los recursos naturales, sino en su ecosistema industrial**

El territorio combina activos logísticos, portuarios y manufactureros que le permiten construir cadenas de valor completas, desde la captura de CO<sub>2</sub> biogénico hasta la síntesis de derivados y su exportación. Esta densidad industrial es su principal ventaja competitiva frente a otras regiones productoras del país, y el punto de partida para un modelo de transición productiva con base local.

- **La energía renovable es el activo limitante y debe asignarse a usos de mayor valor agregado**

La restricción eléctrica regional impide la expansión indiscriminada de proyectos electrointensivos. Cada MWh disponible debe orientarse a productos con alta trazabilidad y demanda regulada —e-metanol, SAF, acero verde—, evitando destinarlo a insumos de bajo retorno como el amoníaco. La maximización del valor por unidad de energía será la métrica clave de la competitividad regional.

- **El metanol verde es la columna vertebral de la industrialización regional**

Permite conectar la captura de CO<sub>2</sub> biogénico con la producción de combustibles, químicos y materiales, habilitando una economía del carbono circular. Además, su demanda regulada en Europa y Asia y su compatibilidad con la infraestructura portuaria existente lo convierten en el vehículo natural para insertar al Biobío en las cadenas globales del comercio verde.

- **La certificación y trazabilidad de carbono serán condiciones de acceso al mercado**

Los productos del Biobío deberán cumplir estándares internacionales (ISCC EU, RSB, ResponsibleSteel, CertifHy) para participar en los mecanismos de cumplimiento europeo y asiático. Esto exige desarrollar capacidades locales en monitoreo, verificación y reporte (MRV), así como un sistema regional de certificación coordinado con el Gobierno de Chile.

- **La descarbonización industrial es también una estrategia de diversificación productiva**

Los proyectos vinculados al hidrógeno permiten reconvertir industrias existentes —química, metalmeccánica, forestal, cemento y vidrio—, ampliar su ciclo de vida y generar empleo de alta especialización. La transición energética se convierte así en una **transición industrial**, que moderniza el tejido productivo y refuerza la posición del Biobío como polo manufacturero del Cono Sur.



- **La gobernanza es el eslabón institucional de la bancabilidad**

La estructura del Programa H<sub>2</sub>V Biobío —Consejo Directivo, Comité Ejecutivo y Comités Gestores— es el núcleo operativo desde el cual deben articularse proyectos, instrumentos financieros y cooperación internacional. Convertir esta gobernanza en una plataforma de gestión efectiva será clave para pasar del diseño a la ejecución.

## 6.2. Factores críticos para conectar mercado y financiamiento

El éxito de la estrategia regional dependerá de la sincronía entre cuatro condiciones estructurales:

- **Demanda asegurada:** priorizar mercados con mandatos regulatorios y contratos corporativos de largo plazo (Europa, Japón, Corea).
- **Ingreso estabilizado:** usar CfD, subastas y créditos Art. 6.2 para transformar la prima verde en flujo financiero predecible.
- **Financiamiento estructurado:** combinar ECA, blended finance y bonos de transición según la madurez de cada proyecto.
- **Riesgo mitigado:** certificar, asegurar y socializar los proyectos para reducir su exposición regulatoria y territorial.

Biobío debe avanzar en la integración de estos cuatro niveles dentro de un marco operativo común, administrado desde su gobernanza regional, con apoyo técnico y financiero de organismos públicos y bancos multilaterales.

## 6.3. Próximos pasos hacia la HDR Biobío 2050

La implementación de este plan debe concebirse como un **proceso acumulativo** y coordinado con la Hoja de Ruta de H<sub>2</sub>V Biobío 2026–2050. Los pasos inmediatos son:

- **Formalizar la cadena de bancabilidad** como marco operativo de política pública, integrando mercado, financiamiento y gobernanza.
- **Iniciar proyectos demostrativos** de e-metanol, reconversión industrial y certificación de carbono entre 2026 y 2028.
- **Consolidar la gobernanza ampliada** como instancia permanente de articulación y seguimiento.



- **Diseñar mecanismos de medición de impacto regional**, vinculando cada proyecto con sus resultados en empleo, emisiones y valor agregado.
- **Fortalecer la cooperación interregional** (Antofagasta, Valparaíso, Magallanes) para crear una red nacional de hubs industriales y energéticos integrados.
- **Definir metas de competitividad y reinversión local** hacia 2032, de modo que la transición energética se traduzca en transformación productiva duradera.

### 6.4. Conclusión final

Biobío se encuentra en una posición estratégica para liderar la industrialización baja en carbono del Cono Sur. No por su abundancia de energía, sino por su **capacidad de convertir industria existente en plataforma de innovación climática**.

La transición energética del Biobío será sostenible si logra convertir cada MWh y cada tonelada de CO<sub>2</sub> biogénico en valor económico, empleo y aprendizaje colectivo.

El hidrógeno verde, el metanol y sus derivados no son el fin, sino el medio: **el instrumento para renovar la competitividad del territorio y proyectarlo hacia una nueva era industrial, trazable, baja en carbono y globalmente integrada**.

