

Comité Desarrollo Productivo Regional

**BIOBÍO**  
por CORFO

**TRANSFORMA**  
por CORFO

# H2V BIOBÍO

PROGRAMA ESTRATÉGICO REGIONAL  
HIDRÓGENO VERDE BIOBÍO

**PLANES ESTRATÉGICOS  
LOCALES Y CORPORATIVOS**

# Contenidos

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>6</b>
2.1. Fase 1. Levantamiento de información estratégica .....	7
2.2. Fase 2. Análisis estratégico comparado.....	7
2.3. Fase 3. Formulación de recomendaciones .....	8
<b>3. INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA PARA LA DESCARBONIZACIÓN E IMPULSO DEL HIDRÓGENO VERDE .....</b>	<b>9</b>
3.1. Instrumentos de alcance nacional .....	10
3.1.1. Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC).....	10
3.1.2. Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP).....	10
3.1.3. Plan Sectorial de Energía (Plan de Acción de Mitigación y Adaptación del sector energético) .....	11
3.1.4. Política Energética Nacional 2050 (PEN) .....	11
3.1.5. Plan de Descarbonización.....	12
3.1.6. Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde .....	12
3.1.7. Plan de Acción de Hidrógeno Verde (2023).....	12
3.1.8. Hoja de Ruta H2V Biobío .....	13
3.1.9. Estrategia Regional de Desarrollo (ERD) – Ajuste 2023.....	13
3.1.10. Plan de Fortalecimiento Industrial del Biobío .....	14
3.2. Instrumentos de planificación local .....	14
3.2.1. Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO) .....	14
3.2.2. Estrategia Energética Local (EEL).....	15
3.2.3. Plan de Acción Comunal de Cambio Climático .....	15



3.2.4. Ordenanzas Ambientales.....	15
3.2.5. Plan Regulador Comunal (PRC).....	16
3.2.6. Plan Regulador Metropolitano del Gran Concepción (PRMGC) .....	16
<b>4. ANÁLISIS ESTRATÉGICO POR COMUNA POLO INDUSTRIAL .....</b>	<b>17</b>
4.1. Ordenamiento territorial y compatibilidad de usos .....	17
4.2. Vocaciones productivas e infraestructura logística .....	18
4.3. Madurez y orientación de los instrumentos de planificación estratégica .....	19
4.4. Oportunidades para el hidrógeno verde: lectura por tipologías .....	19
4.5. Tensiones, riesgos y gestión ambiental.....	20
4.6. Prioridades de acción intercomunal.....	20
<b>5. ANÁLISIS ESTRATÉGICO POR COMUNA: PROYECTOS ERNC .....</b>	<b>21</b>
5.1. Contexto territorial y energético de las comunas ERNC.....	22
5.2. Ordenamiento territorial y compatibilidad de usos .....	22
5.3. Vocaciones energéticas e infraestructura habilitante .....	23
5.4. Madurez y orientación de los instrumentos de planificación estratégica .....	23
5.5. Oportunidades para el hidrógeno verde y encadenamientos productivos .....	24
5.6. Tensiones, riesgos y gestión socioambiental.....	25
5.7. Prioridades de acción intercomunal.....	25
<b>6. ANÁLISIS ESTRATÉGICO CORPORATIVO .....</b>	<b>26</b>
6.1. Contexto industrial del Biobío .....	26
6.1.1. Panorama general del ecosistema.....	26
6.1.2. Sectores y roles dentro del sistema .....	27
6.1.3. Encadenamientos y dependencias cruzadas .....	28
6.1.4. Rasgos comunes y diferenciales del territorio .....	29
6.1.5. Posición estratégica y sentido de la transición .....	30



6.2.	De tensiones socioambientales a institucionalidad climática .....	30
6.2.1.	Tensiones históricas en territorios urbano-industriales .....	31
6.2.2.	De la conflictividad a la gobernanza .....	31
6.2.3.	Políticas y gestión climática como continuidad.....	32
6.2.4.	Aprendizajes y vacíos.....	32
6.3.	Rol habilitante, brechas y condicionalidades.....	33
6.3.1.	Sectores habilitantes clave .....	33
6.3.2.	Brechas transversales .....	34
6.3.3.	Condicionalidades y restricciones .....	35
6.3.4.	Lectura integrada .....	35
6.4.	Síntesis y Veredicto sectorial .....	36
6.4.1.	Forestal–Celulosa .....	36
6.4.2.	Química .....	36
6.4.3.	Pesca industrial.....	37
6.4.4.	Portuario y marítimo .....	37
6.4.5.	Transporte terrestre de carga .....	38
6.4.6.	Aeronáutico .....	38
6.4.7.	Combustibles.....	38
6.4.8.	Procesos intensivos en calor.....	39
6.5.	Conclusión del Capítulo 6 .....	39
<b>7.</b>	<b>Conclusiones generales.....</b>	<b>40</b>



# 1. INTRODUCCIÓN

El Programa Estratégico Regional “Hidrógeno verde para la descarbonización de los sectores productivos de la Región del Biobío” (H2V Biobío) forma parte de la línea Transforma Regional de Corfo y es financiado por el Comité de Desarrollo Productivo Regional de Biobío. Estos programas son concebidos como instancias de articulación y acción público-privada para mejorar la competitividad en sectores con alto potencial de valor, resolviendo brechas y fallas de coordinación que limitan la productividad, la innovación y el emprendimiento.

El propósito de H2V Biobío es implementar, en colaboración con los actores clave del territorio, las acciones de corto, mediano y largo plazo de su Hoja de Ruta, para desarrollar la industria del hidrógeno verde en la Región del Biobío, contribuir a la descarbonización de los sectores productivos y transitar hacia un nuevo modelo de desarrollo, más sustentable e intensivo en conocimiento. También apunta a posicionar a Biobío como un hub de producción y uso de hidrógeno y derivados.

La Región del Biobío presenta condiciones excepcionales para este desarrollo: un ecosistema industrial complejo y difícil de descarbonizar, capacidades en manejo de moléculas, experiencia en proyectos industriales a escala y una sólida tradición exportadora. Su oferta académica vinculada a la industria, junto con recursos renovables abundantes y gran disponibilidad de CO<sub>2</sub> biogénico, refuerzan sus ventajas competitivas.

Esta combinación ofrece un buen escenario para la integración del hidrógeno limpio en procesos industriales existentes, producir combustibles limpios, soluciones de bajas emisiones para la industria, y nuevos productos y servicios, habilitando además emprendimientos de base científico-tecnológica y capital humano altamente calificado.

En este marco, el diagnóstico de los planes estratégicos locales y corporativos resulta clave para alinear agendas públicas y privadas con los objetivos de sostenibilidad regional. Este estudio aborda dicha tarea, con foco en comunas e industrias estratégicas, incluida la logística y las zonas proyectadas para energías renovables.



## 2. METODOLOGÍA

Este estudio se desarrolló con base en una estrategia metodológica cualitativa, estructurada en tres fases, y orientada a levantar y analizar planes estratégicos locales y corporativos de manera sistemática, con foco en su articulación con los objetivos del Programa H2V Biobío. El enfoque incorporó criterios de análisis estratégico, territorial y sectorial.

## 2.1. Fase 1. Levantamiento de información estratégica

En una primera etapa, se identificaron y sistematizaron los principales instrumentos de planificación comunal y regional disponibles, incluyendo Planes de Desarrollo Comunal (PLADECO), Planes Reguladores Comunales (PRC), estrategias territoriales y otros instrumentos públicos vigentes. Se priorizó el levantamiento en aquellas comunas que concentran actividad industrial intensiva, infraestructura logística o potencial para el desarrollo de energías renovables.

En paralelo, se recopiló información estratégica de empresas clave con presencia regional. Esto incluyó la revisión de reportes de sostenibilidad, memorias anuales, compromisos públicos de descarbonización, planes de innovación o de transición energética. El enfoque se orientó a empresas con peso industrial, logístico o energético, particularmente en los sectores forestal, químico, portuario, petroquímico y de transporte.

Esta etapa se complementó con entrevistas semiestructuradas a actores clave del ecosistema regional: funcionarios municipales encargados de planificación, medioambiente y desarrollo local; representantes de empresas y gremios industriales; y miembros del Comité Ejecutivo del Programa H2V Biobío. Estas entrevistas permitieron obtener perspectivas cualitativas sobre prioridades territoriales, procesos en curso, capacidades institucionales, grados de conocimiento sobre hidrógeno verde y disposición para procesos de articulación público-privada.

## 2.2. Fase 2. Análisis estratégico comparado

Con base en la información levantada, se desarrolló un análisis cualitativo comparado, orientado a identificar:

- Convergencias entre planes comunales y agendas corporativas en temas como sostenibilidad, eficiencia energética, infraestructura habilitante y desarrollo tecnológico.
- Brechas de alineación y desconexiones entre niveles territoriales y sectores productivos.
- Ámbitos con potencial de articulación estratégica para el desarrollo de proyectos piloto, inversiones en infraestructura o implementación de hojas de ruta locales.

Se construyeron tipologías comunales y sectoriales para organizar la información, junto con matrices de análisis que facilitaron la comparación entre territorios y sectores. El estudio privilegió la lectura estratégica por sobre el inventario exhaustivo, enfocándose en contenidos efectivamente incidentes en las decisiones territoriales o corporativas.



### 2.3. Fase 3. Formulación de recomendaciones

La última fase del estudio consistió en traducir los hallazgos del análisis territorial y sectorial en un conjunto de recomendaciones estratégicas accionables, orientadas a fortalecer la capacidad del Programa H2V Biobío para articular agendas públicas y privadas en torno al hidrógeno verde.

Estas recomendaciones se abordan como propuestas diferenciadas según tipo de actor, nivel de planificación y grado de madurez institucional. En particular, se priorizaron líneas de acción que puedan ser internalizadas por la gobernanza del Programa y utilizadas en la definición de pilotos, mesas técnicas, procesos participativos o acciones de incidencia regional.

Las recomendaciones se estructuraron en torno a tres focos principales:

- **Alineamiento territorial:** Propuestas para insertar el hidrógeno verde como vector estratégico en instrumentos de planificación territorial en proceso de actualización, especialmente en comunas con peso industrial o logístico. Se sugiere acompañamiento técnico, coordinación con gobiernos locales y priorización de zonas con vocación habilitante.
- **Articulación sectorial:** Identificación de sectores productivos con condiciones para avanzar en procesos de reconversión energética o integración de derivados del hidrógeno. Se proponen líneas de trabajo con empresas que ya poseen compromisos climáticos o agendas de sostenibilidad avanzadas.
- **Vinculación de instrumentos y actores:** Recomendaciones para mejorar la coherencia entre instrumentos de planificación pública y agendas corporativas, a través de mecanismos como mesas territoriales, protocolos de colaboración, incorporación del H2V en políticas regionales, y focalización de recursos públicos.

Todas las propuestas fueron formuladas considerando criterios de viabilidad técnica, pertinencia institucional y oportunidad política, con el propósito de contribuir al despliegue progresivo de una hoja de ruta territorial del hidrógeno verde que sea realista, coordinada y accionable.





# 3. INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA: DESCARBONIZACIÓN E HIDRÓGENO VERDE

Este capítulo presenta los principales instrumentos de política pública vigentes en Chile y en la Región del Biobío que abordan la transición energética, la descarbonización y el desarrollo del hidrógeno verde. La revisión de estos instrumentos permite situar el diagnóstico territorial y corporativo en un marco más amplio de acción climática y transformación productiva, evidenciando las oportunidades y limitaciones que enfrentan los gobiernos locales y las industrias en su alineación con los objetivos estratégicos del Programa H2V Biobío.

### 3.1. Instrumentos de alcance nacional

#### 3.1.1. Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC)

- **Descripción:** Son compromisos climáticos nacionales establecidos por los países en el Marco del Acuerdo de París 2015, que detallan lo que hará cada país, para cumplir el objetivo de limitar un aumento medio de la temperatura mundial a 1,5°C, adaptarse al impacto climático y garantizar una financiación suficiente para lograr estas metas. En el caso de Chile, su actualización 2020 y su fortalecimiento en 2022 establecen metas concretas para alcanzar la carbono-neutralidad al 2050, incluyendo medidas en energía, transporte, industria y uso de suelo. Los ámbitos de compromiso son: a) transición socio-ecológica justa, b) Ley Marco de Cambio Climático, carbono neutralidad y resiliencia, c) Estrategia Climática de Largo Plazo: transformaciones sectoriales e implementación, d) Escenarios de emisiones de Metano y nuevo compromiso.
- **Objetivo:** Compromiso internacional de reducción de emisiones, actualizado en 2020 y fortalecido en 2022, con enfoque de carbono neutral al 2050.
- **Responsable:** Ministerio del Medio Ambiente (en representación del Estado de Chile).
- **Estructura:** Metas sectoriales, mecanismos de monitoreo y lineamientos cuasi normativos.
- **Conexión con el estudio:** establece el marco, aunque no menciona H2V explícitamente, crea el ambiente normativo que valida la hoja de ruta regional.

#### 3.1.2. Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP)

- **Descripción:** Es uno de los ámbitos de compromiso de los NDC; complementa y operacionaliza los NDC. Aprobada en 2021, define la trayectoria nacional hacia la carbono-neutralidad al 2050. Establece metas intermedias (2030–2040), presupuestos de carbono sectoriales y una mirada integrada de mitigación, adaptación y resiliencia.
- **Objetivo:** Establecer una hoja de ruta nacional para alcanzar la carbono-neutralidad al 2050, con presupuestos de carbono por sector y acciones de adaptación.
- **Responsable:** Ministerio del Medio Ambiente.
- **Estructura:** Compromisos sectoriales, mecanismos de implementación y seguimiento territorial.
- **Conexión con el estudio:** Articula medidas transformadoras en energía, industria y transporte, donde la introducción de vectores energéticos como el hidrógeno



verde resulta fundamental. Articula objetivos regionales y sectoriales con metas de mitigación nacional y prioriza instrumentos de planificación comunal.

### 3.1.3. Plan Sectorial de Energía (Plan de Acción de Mitigación y Adaptación del sector energético)

- **Descripción:** Aterriza los compromisos climáticos del país en el ámbito energético, actuando como el componente sectorial de la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP). Aborda tanto la mitigación de emisiones como la adaptación del sistema energético frente a los impactos del cambio climático, e integra objetivos de sostenibilidad, seguridad energética y equidad territorial.
- **Objetivo:** Asegurar la sostenibilidad del sistema eléctrico nacional mediante la incorporación de energías renovables, eficiencia energética, electrificación y medidas de resiliencia climática.
- **Responsable:** Ministerio de Energía.
- **Estructura:** Líneas de acción por subsector (generación, transmisión, distribución, consumo), medidas de mitigación, indicadores de seguimiento y ejes de adaptación.
- **Conexión con el estudio:** Impulsa transformaciones estructurales en el sector energético que habilitan el desarrollo del hidrógeno verde como vector complementario, especialmente para aplicaciones industriales en la Región del Biobío.

### 3.1.4. Política Energética Nacional 2050 (PEN)

- **Descripción:** Es el marco estratégico de largo plazo del sector energético en Chile. Su versión actualizada en 2022 recoge los desafíos de la descarbonización, la descentralización energética, la equidad territorial y la innovación tecnológica.
- **Objetivo:** Guiar la descarbonización del sector energético con metas enfocadas en ERNC, equidad territorial e innovación tecnológica.
- **Responsable:** Ministerio de Energía.
- **Estructura:** Combina principios rectores, objetivos, metas 2030 y 2050, indicadores y ejes de política multisectorial.
- **Conexión con el estudio:** Reconoce al hidrógeno verde como pilar del futuro energético nacional, especialmente para sectores de difícil electrificación. Releva los siguientes drivers: logística baja en emisiones (exportar productos de baja huella de carbono, uso de energía en toda la cadena de valor, transporte marítimo y aéreo); cooperación con organismos internacionales; producción de hidrógeno verde y combustibles sintéticos (cero emisiones en transporte, fuentes energéticas



sustentables, calidad de combustibles y tecnologías de vehículos convencionales, explorar producción y uso de combustibles sintéticos cero emisiones, derivados del H<sub>2</sub>V).

### 3.1.5. Plan de Descarbonización

- **Descripción:** Es una hoja de ruta operacional para el retiro progresivo de centrales a carbón, con foco en seguridad del sistema, transición justa y habilitación de tecnologías limpias.
- **Objetivo:** Diseñar una ruta de retiro progresivo de centrales a carbón y avanzar hacia energías limpias con justicia social.
- **Responsable:** Ministerio de Energía.
- **Estructura:** Lineamientos sectoriales por subsector (generación, eficiencia, transmisiones) y medidas técnicas e institucionales.
- **Conexión con el estudio:** Genera condiciones para que el hidrógeno verde ocupe un espacio creciente como insumo energético en sectores de difícil electrificación (industria y transporte).

### 3.1.6. Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde

- **Descripción:** Lanzada en 2020, establece una visión país centrada en tres objetivos: producir el hidrógeno verde más barato del mundo, convertirse en líder de exportación y desarrollar un mercado doméstico robusto.
- **Objetivo:** Desarrollar una industria competitiva de hidrógeno verde en Chile, posicionándose como productor barato, exportador global y con un mercado doméstico consolidado.
- **Responsable:** Ministerio de Energía.
- **Estructura:** Metas país a corto y mediano plazo, seis pilares estratégicos (regulación, infraestructura, formación de capital humano, mercado, I+D, y sostenibilidad ambiental y social), con gobernanza público-privada.
- **Conexión con el estudio:** proporciona el marco de referencia para el despliegue de las acciones estratégicas regionales, como el Programa H2V Biobío.

### 3.1.7. Plan de Acción de Hidrógeno Verde (2023)

- **Descripción:** Aterriza operativamente la estrategia nacional. Detalla líneas de trabajo, responsables, cronograma y métricas de avance. Define acciones específicas en formación, innovación, inversiones habilitantes, pilotaje tecnológico y diseño regulatorio.



- **Objetivo:** Detallar una hoja de ruta para implementar la Estrategia Nacional, mediante 81 acciones en 18 líneas de trabajo coordinadas por diversas instituciones públicas.
- **Responsable:** Ministerio de Energía, con participación multisectorial.
- **Estructura:** Dos fases (2023–2026: habilitación del sistema; 2026–2030: escala productiva), gobernanza multipartita, indicadores y responsabilidades claras.
- **Conexión con el estudio:** Es crucial para alinear acciones regionales con el cronograma nacional. Para Biobío, representa una oportunidad para insertarse en fases tempranas de implementación y capturar valor en la cadena de suministro.

### 3.1.8. Hoja de Ruta H2V Biobío

- **Descripción:** Documento estratégico regional, elaborado con participación multisectorial y bajo el liderazgo del Programa H2V Biobío. Define prioridades territoriales y sectoriales para el desarrollo del hidrógeno en la región, incluyendo proyectos piloto, articulación institucional, nodos logísticos e industrialización de derivados.
- **Objetivo:** Definir líneas prioritarias para el desarrollo del hidrógeno verde en la región, mediante pilotaje, articulación institucional y nodos tecnológicos.
- **Responsable:** Programa H2V Biobío, financiada por el Comité de Desarrollo Productivo Regional de Corfo Biobío, gobernanza público / privada / academia / sociedad civil.
- **Estructura:** Diagnóstico de activos estratégicos de la región, priorización de aplicaciones y sectores industriales, ejes estratégicos, brechas e iniciativas en 3 horizontes de tiempo.
- **Conexión con el estudio:** es el anclaje principal del análisis y orienta las recomendaciones a nivel local-territorial.

### 3.1.9. Estrategia Regional de Desarrollo (ERD) – Ajuste 2023

- **Descripción:** Es el principal instrumento de planificación estratégica del Gobierno Regional del Biobío. Su ajuste 2023 refuerza el compromiso regional con la innovación, la sostenibilidad y la transformación productiva, incorporando con mayor fuerza los desafíos del cambio climático, la reconversión industrial y la formación de capital humano.
- **Objetivo:** Orientar el desarrollo económico, social y territorial de la región con una mirada de mediano y largo plazo, alineada con los desafíos ambientales, tecnológicos y de equidad regional.
- **Responsable:** Gobierno Regional del Biobío.



- **Estructura:** Ejes estratégicos, líneas de acción, metas e indicadores de seguimiento; mecanismos de articulación con instrumentos sectoriales y territoriales.
- **Conexión con el estudio:** Es un marco clave para integrar el desarrollo del hidrógeno verde en la política pública regional, al alinear los objetivos del H2V Biobío con las prioridades de inversión, ordenamiento territorial y fortalecimiento de capacidades locales.

### 3.1.10. Plan de Fortalecimiento Industrial del Biobío

- **Descripción:** Anunciado en 2024 por el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, este plan tiene como principal propósito articular esfuerzos en torno a la reactivación productiva regional, en el contexto de la crisis provocada por el cierre de la Compañía Siderúrgica Huachipato. A través de una narrativa de transición justa y reconversión industrial, busca reforzar la coordinación entre programas, proyectos y actores en el territorio, promoviendo una visión integrada.
- **Objetivo:** Apoyar la reactivación y diversificación de la industria regional, articulando acciones en inversión, encadenamientos productivos y empleos de calidad en sectores estratégicos.
- **Responsable:** Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.
- **Estructura:** 32 medidas organizadas en cinco ejes, que incluyen reinserción laboral, aceleración de inversiones, reconversión industrial y el desarrollo del Plan Nacional de Acero Verde.
- **Conexión con el estudio:** Contribuye a consolidar condiciones habilitantes para la adopción de tecnologías limpias en sectores industriales complejos. La articulación propuesta ofrece oportunidades para integrar el hidrógeno verde como solución de descarbonización en procesos productivos existentes, en línea con los objetivos de H2V Biobío.

## 3.2. Instrumentos de planificación local

### 3.2.1. Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO)

- **Descripción:** Instrumento estratégico y de gestión que orienta el desarrollo económico, social y cultural de una comuna. Su elaboración y aprobación son obligatorias para los municipios y debe construirse en conjunto con la comunidad.
- **Contenidos clave:** diagnóstico territorial, visión de futuro, objetivos y lineamientos para un desarrollo integral y sustentable en un horizonte mínimo de 4 años.



- **Vinculación con el estudio:** representa el principal marco local para alinear políticas sectoriales con prioridades comunales. Su actualización puede incorporar metas específicas en hidrógeno verde, energía y cambio climático.

### 3.2.2. Estrategia Energética Local (EEL)

- **Descripción:** Instrumento voluntario impulsado por la Agencia de Sostenibilidad Energética bajo el programa “Comuna Energética”. Busca fomentar eficiencia energética y uso de ERNC a nivel comunal, con participación de actores locales.
- **Contenidos clave:** diagnóstico energético, metas locales, plan de acción, proyectos piloto y gobernanza energética.
- **Vinculación con el estudio:** ofrece una puerta de entrada para introducir el hidrógeno verde en estrategias locales, especialmente en comunas con consumos energéticos relevantes en sectores públicos o productivos.

### 3.2.3. Plan de Acción Comunal de Cambio Climático

- **Descripción:** Plan obligatorio según la Ley Marco de Cambio Climático, que operacionaliza la Estrategia Climática de Largo Plazo y los planes nacionales de adaptación y mitigación. Su diseño es responsabilidad de los municipios.
- **Contenidos clave:** diagnóstico de vulnerabilidades, metas de mitigación y adaptación, indicadores de seguimiento, y mecanismos de participación.
- **Vinculación con el estudio:** permite incluir el hidrógeno verde como medida transversal en mitigación, articulándolo con instrumentos como el PLADECOC, la EEL y ordenanzas locales.

### 3.2.4. Ordenanzas Ambientales

- **Descripción:** Normas locales emitidas por los municipios para regular aspectos ambientales dentro del territorio comunal.
- **Contenidos clave:** gestión de residuos, control de ruidos, protección de áreas verdes, biodiversidad, promoción de ERNC y educación ambiental.
- **Vinculación con el estudio:** pueden ser un vehículo normativo para fomentar el uso de hidrógeno verde, en sectores como transporte municipal, calefacción limpia o fomento a industrias locales sostenibles.



### 3.2.5. Plan Regulador Comunal (PRC)

- **Descripción:** Instrumento normativo que regula el uso del suelo a nivel comunal, determinando zonas urbanas, industriales, residenciales, áreas verdes y condiciones de edificación.
- **Contenidos clave:** zonificación, densidad, alturas, usos permitidos y restricciones según LGUC y su ordenanza.
- **Vinculación con el estudio:** clave para identificar territorios compatibles con instalaciones de producción, almacenamiento o distribución de hidrógeno verde, así como nodos logísticos y zonas industriales habilitadas.

### 3.2.6. Plan Regulador Metropolitano del Gran Concepción (PRMGC)

- **Descripción:** Instrumento de planificación intercomunal elaborado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, que regula el uso del suelo y las condiciones de desarrollo urbano en las 12 comunas que conforman el Gran Concepción.
- **Contenidos clave:** zonificación metropolitana, áreas de expansión urbana, zonas industriales, áreas de riesgo, protección ambiental, y corredores logísticos.
- **Vinculación con el estudio:** establece el marco espacial y regulatorio para las principales zonas productivas de la región. Su zonificación condiciona dónde y cómo pueden instalarse proyectos de hidrógeno verde en áreas urbanas e industriales de alta densidad.



## 4. ANÁLISIS ESTRATÉGICO POR COMUNA POLO INDUSTRIAL

El sistema industrial del Gran Concepción —integrado por Hualpén, Coronel, Talcahuano, Penco y San Pedro de la Paz— opera como un entramado productivo y logístico interdependiente. Con una población conjunta que supera los 900 mil habitantes y concentra más del 60% de la población regional, esta área metropolitana combina alta densidad urbana con una intensa actividad portuaria e industrial. Las cadenas de valor, los flujos logísticos y las tensiones territoriales se manifiestan a escala metropolitana, de modo que las decisiones de planificación o inversión en un punto del territorio repercuten en los demás. Esta mirada integrada permite identificar patrones comunes, diferencias estructurales y oportunidades específicas para el hidrógeno verde (H<sub>2</sub>V) como vector de reconversión y competitividad.

### 4.1. Ordenamiento territorial y compatibilidad de usos

La coexistencia entre zonas industriales históricas y áreas urbanas densamente pobladas es una constante en el Gran Concepción. Los planes reguladores muestran una evolución hacia mayor precisión en la zonificación y la incorporación de áreas de amortiguación para mitigar conflictos entre usos productivos, residenciales y de conservación.

Hualpén y Talcahuano cuentan con planes reguladores comunales recientes que reflejan esta tendencia. El PRC 2022 de Hualpén delimita con claridad zonas industriales, áreas de conservación —incluido el Santuario de la Naturaleza Península de Hualpén— y franjas de amortiguación como el Parque El Triángulo, que además de reducir riesgos ambientales y de seguridad, pueden favorecer la aceptación social de nuevos proyectos energéticos. Talcahuano, con su PRC 2016, distingue de forma precisa entre industrias pesadas, actividades portuarias y zonas logísticas, incorporando criterios de resiliencia ante emergencias y mitigación de impactos.

En Coronel y Penco, los planes reguladores tienen más de una década de vigencia, con ajustes puntuales. Coronel enfrenta la coexistencia de puerto, cordón industrial y zonas residenciales en expansión, lo que tensiona el uso de suelo y dificulta proyectar nuevas infraestructuras energéticas. En Penco, las zonas de actividad portuaria e industrial (ZAP-1 a ZAP-4) incorporan exigencias de mitigación que, aunque no diseñadas para ello, pueden facilitar la introducción de nuevas tecnologías energéticas.

San Pedro de la Paz presenta un enfoque restrictivo, concentrando la actividad productiva en una única zona de industrias inofensivas o molestas. Esta configuración preserva su vocación



residencial y ambiental, pero abre espacio para soluciones energéticas de bajo impacto, coherentes con un modelo urbano sustentable.

## 4.2. Vocaciones productivas e infraestructura logística

Cada enclave industrial presenta una especialización funcional con claras interdependencias:

- **Hualpén** concentra el núcleo petroquímico–energético, con ENAP Refinería Biobío como actor central y un ecosistema industrial capaz de sustituir H<sub>2</sub> gris por H<sub>2</sub>V y producir e-fuels a partir de CO<sub>2</sub> biogénico. Sus capacidades metalmecánicas, de ingeniería, químicas y de construcción industrial, junto con capital humano especializado, ofrecen ventajas para fabricar, montar y mantener equipos y componentes críticos para la cadena del hidrógeno.
- **Coronel** actúa como corredor industrial–logístico, con parques consolidados, el Puerto Coronel como nodo macrozonal y conexiones a zonas forestales. Su cercanía a las industrias forestales permite aprovechar flujos de biomasa y CO<sub>2</sub> biogénico para derivados como e-metanol, mientras que la infraestructura termoeléctrica en proceso de cierre ofrece activos reutilizables para reconversión energética y cuenta con experiencias previas de transición productiva que pueden servir como referencia regional.
- **Talcahuano** combina su plataforma portuaria con un tejido industrial diversificado —siderurgia, construcción naval, pesca, química, cemento— y conexiones directas con Hualpén y Penco. Esta complementariedad portuaria, junto con la capacidad de sus astilleros y talleres navales, lo posiciona para proyectos de bunkering verde y reconversión de flotas. Su infraestructura es apta para cargas especializadas y dispone de áreas con potencial de expansión, reforzando su rol como hub logístico para exportaciones de derivados del hidrógeno.
- **Penco** aporta capacidad portuaria y zonas industriales bien definidas pero menos densas, adecuadas para almacenamiento, logística especializada y servicios auxiliares vinculados al H<sub>2</sub>V, aprovechando además su conexión con las cadenas forestales regionales. Sus áreas reservadas para ampliación portuaria abren opciones estratégicas para operaciones complementarias a los puertos mayores.
- **San Pedro de la Paz**, con menor peso industrial, se orienta hacia servicios, innovación y proyectos piloto de energía limpia en entornos urbanos, como los de bioenergía y generación distribuida ya en ejecución. La colaboración con universidades y centros tecnológicos en energías limpias y eficiencia energética ha generado capacidades de innovación que pueden escalarse a proyectos de H<sub>2</sub>V.



### 4.3. Madurez y orientación de los instrumentos de planificación estratégica

La preparación para integrar el H<sub>2</sub>V en los instrumentos locales es desigual:

- **Hualpén** cuenta con un PLADECO 2021–2025 con enfoque ambiental y tecnológico, y vínculos con ENAP para eficiencia energética, aunque su Estrategia Energética Local (EEL) de 2018 está desactualizada y centrada en el sector residencial.
- **Coronel** dispone de una EEL 2024 que abre la puerta a la reconversión energética, incorporando menciones explícitas a la transición, pero su PLADECO no desarrolla una visión industrial sólida.
- **Talcahuano** combina un PLADECO con orientación sustentable y certificación ambiental “sobresaliente”, pero carece de plan energético propio.
- **Penco** incorpora el cambio climático en su PLADECO y planes de resiliencia energética frente a riesgos como incendios forestales.
- **San Pedro de la Paz** presenta el mayor alineamiento, con un PLADECO que incluye reducción de huella de carbono y una EEL con proyectos de bioenergía, biomasa y generación distribuida.

Este panorama confirma la necesidad de alinear y actualizar los instrumentos para que integren el H<sub>2</sub>V como parte estructural de sus estrategias de desarrollo.

### 4.4. Oportunidades para el hidrógeno verde: lectura por tipologías

El análisis de vocaciones e infraestructura permite identificar cuatro tipologías de oportunidad:

- **Petroquímico–energético (Hualpén)**: Sustitución de H<sub>2</sub> gris, e-fuels con CO<sub>2</sub> biogénico, aprovechamiento de redes industriales y logísticas existentes.
- **Portuario–logístico (Talcahuano–Penco)**: Bunkering verde, reconversión de maquinaria portuaria, hubs de almacenamiento y exportación de derivados.
- **Industrial mixto con activos heredados (Coronel)**: Reconversión de plantas termoeléctricas, habilitación de corredores de transporte de carga baja en emisiones y sinergias con la industria forestal.



- **Urbano sustentable (San Pedro de la Paz):** Proyectos piloto de generación distribuida, bioenergía y movilidad limpia.

#### 4.5. Tensiones, riesgos y gestión ambiental

Existen tensiones urbano-industriales que inciden directamente en la viabilidad del H<sub>2</sub>V: la proximidad de áreas productivas al Santuario de Hualpén, la coexistencia de industrias y residencias en Talcahuano y la presión inmobiliaria sobre suelos industriales en Coronel. Adicionalmente, el borde costero de Coronel y Talcahuano presenta zonas expuestas a riesgos de inundación y marejadas, lo que obliga a incorporar criterios de resiliencia en el diseño de infraestructuras para H<sub>2</sub>V. Estas condiciones requieren que los proyectos incluyan medidas de mitigación y participación temprana.

#### 4.6. Prioridades de acción intercomunal

La escala comunal es insuficiente para ordenar de forma coherente los flujos logísticos y energéticos. La coordinación entre los principales enclaves permitiría conformar corredores logístico-energéticos, optimizar el uso de infraestructura portuaria y vial, y armonizar criterios de uso de suelo y permisos. Esto reduciría la incertidumbre para la inversión, incrementaría la competitividad regional y evitaría duplicidades. La existencia de corredores logísticos ya habilitados para cargas peligrosas entre Hualpén, Talcahuano y Coronel es una ventaja que puede aprovecharse para el despliegue inicial del H<sub>2</sub>V. Las cadenas de valor ya operan con esta lógica intercomunal, lo que refuerza la necesidad de institucionalizar una gobernanza compartida para el despliegue del hidrógeno verde.



## 5. ANÁLISIS ESTRATÉGICO POR COMUNA: PROYECTOS ERNC

Este capítulo aborda el análisis territorial y estratégico de comunas con potencial para el desarrollo de proyectos de Energías Renovables No Convencionales (ERNC), tanto para generación eléctrica directa como para su integración en procesos de producción de hidrógeno verde. La selección de comunas se realizó en conjunto con el Programa Estratégico Regional de Hidrógeno Verde del Biobío, considerando dos criterios principales:

- Existencia de proyectos ERNC operativos o ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).
- Proximidad a polos de desarrollo industrial que puedan facilitar el consumo directo de la energía o su vinculación con cadenas de valor emergentes como el hidrógeno verde.

Se priorizaron aquellas comunas donde se observa una mayor actividad en proyectos de generación renovable y condiciones territoriales que favorezcan su expansión o articulación industrial.

Dado que la gran mayoría de las nuevas centrales ERNC se localizan en áreas rurales —fuera del área de aplicación de los Planes Reguladores Comunales (PRC)—, el análisis territorial no se centra en dichos instrumentos, salvo en los casos donde existan proyectos ubicados en zonas urbanas reguladas. En su lugar, el enfoque se basa en la georreferenciación de proyectos y su relación con variables críticas del territorio, tales como:

- Cercanía a áreas prioritarias de conservación ambiental,
- Proximidad a humedales y cuerpos de agua,
- Relación con asentamientos rurales y comunidades aledañas,
- Distancia a infraestructura habilitante o zonas industriales cercanas.

Este enfoque permite identificar oportunidades y restricciones territoriales que puedan influir en la implementación de proyectos renovables de forma sostenible y estratégica. Es importante señalar que este análisis se basa en información pública georreferenciada disponible, y no reemplaza estudios específicos de impacto territorial o comunitario.

En las secciones siguientes se presenta un análisis detallado para cuatro comunas seleccionadas, con el objetivo de identificar su vocación energética, su relación con la planificación comunal y su potencial contribución al desarrollo de una industria energética baja en emisiones.



## 5.1. Contexto territorial y energético de las comunas ERNC

Las comunas de **Los Ángeles, Cabrero, Lebu y Mulchén** conforman un eje territorial de alto interés para el desarrollo de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) en la Región del Biobío. Se trata de zonas con recursos energéticos diversificados —viento, radiación solar, biomasa forestal y caudales hídricos— y con una localización estratégica que permite articular proyectos con proyección regional e interregional.

En conjunto, estas comunas suman más de **870 MW instalados**, a los que se suman más de **1.200 MW en evaluación** en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). **Los Ángeles** encabeza el volumen de generación, con 446 MW operativos y 376 MW en tramitación, incluyendo el *Parque Fotovoltaico María Dolores* y el *Parque Eólico Los Ángeles*. **Cabrero** dispone de 161 MW instalados y 308 MW en evaluación, con proyectos como el *Parque Fotovoltaico Cabrero* y la *Central de Biomasa Santa Fe*. **Lebu** suma 160 MW operativos y 92 MW en evaluación, todos de origen eólico. **Mulchén** cuenta con 105 MW en operación y 69 MW en evaluación, en tecnologías mini-hidro, eólica y biomasa.

Más allá de las cifras, el patrón de distribución tecnológica evidencia un potencial complementario: Lebu aporta energía eólica costera de alto factor de planta; Los Ángeles y Cabrero integran solar, biomasa y eólica en escalas significativas; y Mulchén refuerza el portafolio con generación distribuida y biomasa. Esta configuración permite imaginar esquemas energéticos híbridos y coordinados que fortalezcan la estabilidad y disponibilidad para usos industriales, incluyendo la producción de hidrógeno verde.

## 5.2. Ordenamiento territorial y compatibilidad de usos

La regulación del uso del suelo y la compatibilidad entre actividades productivas y energéticas es un factor crítico para el desarrollo de proyectos. **Los Ángeles** cuenta con un Plan Regulador Comunal (PRC) vigente que cubre principalmente el área urbana, dejando sin normativa específica gran parte de la zona rural donde se ubican los proyectos. **Cabrero** está en proceso de actualización de su PRC, buscando integrar su perfil industrial y energético, con énfasis en compatibilizar usos residenciales y productivos. **Lebu** carece de un PRC actualizado, lo que dificulta la definición clara de zonas aptas para la expansión eólica. **Mulchén** mantiene un PRC vigente, pero enfrenta restricciones significativas: más del 20% de su superficie está bajo Sitios Prioritarios para la Conservación, lo que condiciona fuertemente la localización de nuevas iniciativas.

Estas diferencias han tenido consecuencias concretas. En Mulchén, un parque eólico debió reducir el número de aerogeneradores para evitar un área protegida, elevando en 12% el costo de



inversión. En Lebu, la falta de actualización del PRC ha retrasado la evaluación de proyectos eólicos costeros con alto potencial de generación. La ausencia de criterios intercomunales coherentes en planificación genera asimetrías y tiempos de tramitación dispares, lo que podría resolverse con un marco coordinado de ordenamiento territorial que incluya la dimensión energética.

### 5.3. Vocaciones energéticas e infraestructura habilitante

Las vocaciones energéticas de cada comuna están directamente vinculadas a la disponibilidad de recursos naturales y a la infraestructura eléctrica existente.

- **Los Ángeles** presenta una matriz diversificada (eólica, solar, biomasa y mini-hidro) y cuenta con conexión directa a la **Subestación Charrúa**, nodo central del Sistema Eléctrico Nacional, lo que le permite evacuar grandes volúmenes de energía y ofrecer estabilidad al sistema.
- **Cabrero** concentra proyectos solares y de biomasa, respaldados por su conexión a la **Subestación Itahue** y su ubicación en la Ruta 5, que le otorgan una ventaja logística clave para transporte de insumos y productos.
- **Lebu** se especializa en energía eólica costera, con altos factores de planta y disponibilidad de infraestructura de conexión derivada de la reconversión de su excentral termoeléctrica.
- **Mulchén** posee alta densidad de mini-hidro y biomasa, con presencia incipiente de eólica, pero su capacidad de transmisión es limitada y ya presenta riesgos de saturación en periodos de alta generación.

La infraestructura de transmisión es un factor decisivo para el crecimiento: mientras Los Ángeles y Cabrero pueden sostener nuevas instalaciones de gran escala sin restricciones inmediatas, Lebu y Mulchén requieren inversiones en refuerzos de red para habilitar nuevos proyectos y garantizar la viabilidad de procesos industriales dependientes de energía renovable estable.

### 5.4. Madurez y orientación de los instrumentos de planificación estratégica

El grado de madurez de los instrumentos de planificación estratégica es heterogéneo.

- **Cabrero** cuenta con un PLADECO 2023–2028 coherente con su vocación logística y energética, y avanza en la actualización de su PRC.



- **Los Ángeles** dispone de un PLADECO 2019–2024 con menciones a la economía verde, pero sin hoja de ruta energética detallada.
- **Lebu** mantiene una EEL de 2017 centrada en eólica, un PLADECO desactualizado y sin PACCC.
- **Mulchén** incorpora criterios ambientales en su PLADECO 2022–2027 y en su Estrategia Ambiental Comunal, pero carece de instrumentos energéticos específicos como EEL o PACCC.

Esta disparidad limita la coordinación intercomunal en el desarrollo de ERNC y de proyectos de hidrógeno verde. Cabrero y Los Ángeles, por su mayor grado de alineación estratégica, podrían liderar la incorporación de criterios energéticos que luego sean replicados en Lebu y Mulchén, acelerando la homogenización de la base regulatoria.

## 5.5. Oportunidades para el hidrógeno verde y encadenamientos productivos

El potencial para el hidrógeno verde se expresa de manera diferenciada:

- **Los Ángeles:** su localización en la Ruta 5, la diversidad de su matriz y la cercanía a la industria forestal lo posicionan como un nodo ideal para pilotos de hidrógeno en transporte de carga pesada.
- **Cabrero:** combina biomasa con potencial de captura de CO<sub>2</sub> para e-metanol, y su acceso logístico lo convierte en punto de salida para productos derivados hacia puertos del Gran Concepción.
- **Lebu:** puede destinar parte de su generación eólica costera a electrólisis modular para consumo industrial y portuario, aprovechando su cercanía a la actividad pesquera e industrial costera.
- **Mulchén:** presenta oportunidades para integrar biomasa y CO<sub>2</sub> biogénico a procesos de combustibles sintéticos, con encadenamientos en industrias locales.

El potencial de estas comunas para aportar a la cadena de valor del hidrógeno verde es significativo. La combinación de alta disponibilidad de energía renovable, biomasa y en algunos casos CO<sub>2</sub> biogénico, abre la posibilidad de desarrollar proyectos de electrólisis y derivados como e-metanol o SAF.



Cabrero y Mulchén, por su cercanía a la industria forestal, pueden aprovechar residuos y sub-productos como insumos para derivados de hidrógeno. Los Ángeles, como hub energético, podría alimentar proyectos piloto de producción y consumo local, mientras que Lebu, con su infraestructura eólica y eléctrica, puede integrarse como proveedor clave en esquemas de producción distribuida.

## 5.6. Tensiones, riesgos y gestión socioambiental

La expansión de proyectos ERNC no está exenta de tensiones. La energía eólica en Lebu y Mulchén ha generado debates por impactos paisajísticos, ruido y afectación de fauna. En biomasa, los cuestionamientos se centran en el manejo sustentable del recurso y emisiones asociadas.

La gestión ambiental temprana y los procesos participativos inclusivos son aún incipientes, lo que aumenta el riesgo de oposición comunitaria y judicialización de proyectos. La incorporación de buenas prácticas y estándares internacionales en consulta y compensación socioambiental es clave para la sostenibilidad del desarrollo ERNC.

## 5.7. Prioridades de acción intercomunal

El análisis integrado de estas comunas permite establecer prioridades de acción que requieren coordinación regional:

- Actualizar y armonizar los instrumentos de planificación local para integrar la variable energética y de hidrógeno verde.
- Optimizar el uso de infraestructura existente (subestaciones, redes de transmisión, sitios industriales) para reducir costos de conexión, priorizando zonas críticas como Lebu y Mulchén.
- Promover proyectos piloto intercomunales que vinculen generación renovable con industrias ancla.
- Fortalecer capacidades técnicas municipales para evaluar proyectos de alta complejidad.
- Implementar mecanismos de diálogo permanente con comunidades para reducir tensiones socioambientales.

La convergencia de estas acciones permitiría transformar el potencial energético y productivo de estas comunas en un **ecosistema intercomunal de energía renovable**, capaz de sostener



una industria de hidrógeno verde competitiva y orientada tanto a la descarbonización local como a la generación de nuevos mercados.

## 6. ANÁLISIS ESTRATÉGICO CORPORATIVO

### 6.1. Contexto industrial del Biobío

El Biobío es, por diseño y trayectoria, un territorio **industrial y portuario** de alta densidad urbana, donde las cadenas productivas conviven con ciudades costeras y corredores logísticos. La región articula un ecosistema en el que **sectores intensivos en recursos naturales** (forestal–celulosa y pesca) se trenzan con **industrias intermedias** (química), **servicios habilitantes** (puertos, transporte de carga, distribución de combustibles), **actividades con demandas energéticas extremas** (procesos de alto calor como vidrio, cemento, hornos de cal y siderurgia transformadora) y **servicios de conectividad** (aeronáutico). Esa **proximidad industria–ciudad–puerto** define tanto la competitividad exportadora como las tensiones socioambientales y la gobernanza cotidiana del territorio.

#### 6.1.1. Panorama general del ecosistema

En el corazón del sistema destacan polos urbano-industriales como **Talcahuano, Hualpén, Coronel y Penco**, a los que se suman complejos **celulósicos** en **Horcones** y **Nacimiento**, y nodos logísticos que enlazan con la macrozona centro-sur e incluso con el centro-sur de Argentina. Los **puertos del Biobío** (Talcahuano, San Vicente, Coronel y Lirquén, junto a terminales especializados) son la salida natural de la producción regional e importan insumos críticos para los procesos industriales y energéticos. En paralelo, una **red de combustibles** —refinería en Hualpén–Talcahuano, terminales y plantas de **GLP**, redes de **gas natural** industrial y urbano, y distribuidores de combustibles líquidos— funciona como **backbone energético** que alimenta calor de proceso, movilidad terrestre, logística portuaria y aviación.

Esta arquitectura permite que la región opere como **plataforma exportadora** y, al mismo tiempo, como **banco de pruebas** para la transición productiva: hay **CO<sub>2</sub> biogénico** en grandes volúmenes en los complejos de celulosa; hay **logística portuaria** para mover moléculas; hay **demandas térmicas** donde probar vectores más limpios; y hay **gobernanzas y estándares** (certificaciones, APL, programas sectoriales) que ordenan la relación con comunidades y mercados. La contracara de esa densidad es la



**exposición social:** emisiones, tráfico, ruidos y percepción de riesgo tecnológico que exigen **resultados verificables** y **mesas de trabajo** para sostener la licencia social.

### 6.1.2. Sectores y roles dentro del sistema

**Forestal–celulosa** constituye el **liderazgo consolidado** en políticas de descarbonización y sustentabilidad. Las empresas ancla operan con **metas corporativas exigentes** (SBTi-FLAG, RtZ), **electricidad renovable, biomasa y licor negro** para energía, **ISO 50001** en algunos sitios y **certificaciones forestales y de cadena de custodia (FSC/PEFC)** que confieren trazabilidad. Este sector no solo reduce su propia huella: **concentra CO<sub>2</sub> biogénico** “a escala de millones de toneladas/año”; un **activo habilitante** para **e-metanol, e-fuels y e-SAF** si se integran captura/purificación y **H<sub>2</sub> verde**. Por su posición y volumen, puede **irradiar** descarbonización hacia química, combustibles y transporte.

**Portuario y marítimo** es el **nodo logístico** que conecta cadenas exportadoras e importación de insumos, con medición de huella (GHG Protocol), gestión energética, recambios incipientes de equipos y **gobernanzas ciudad–puerto** (mesas comunales, coordinación logística como **Comlog**). Su valor estratégico no radica tanto en su reducción directa actual, sino en **habilitar infraestructura y estándares de trazabilidad** para combustibles de baja huella y **corredores verdes**. Sin puertos adaptados, la transición de transporte marítimo y logística asociada queda trunca.

**Aeronáutico** opera en torno a **Carriel Sur** y se vincula a compromisos **OACI/CORSIA** y al programa **Vuelo Limpio**. El aeropuerto ha avanzado en **gestión energética y electricidad 100% limpia** en 2022, alineándose a **Airport Carbon Accreditation**. Aunque su huella directa en tierra es acotada, el sector puede **acelerar la primera ola de SAF** en Chile al enlazar la oferta regional de **CO<sub>2</sub> biogénico** e **H<sub>2</sub>** con la **demanda de jet**: su rol es **habilitante** si existen acuerdos de mezcla, almacenamiento y suministro.

**Transporte de carga terrestre** es el **eslabón crítico** que sostiene la conectividad entre polos industriales y puertos. Su **dependencia del diésel** concentra una parte significativa de las emisiones móviles y externalidades urbanas (congestión, MP, NOx), con avances en **eficiencia y capacitación** a través de **Giro Limpio** (ahorros verificados de hasta 10%). Es también la **puerta de entrada** para nuevas competencias (operación de camiones a **H<sub>2</sub>**, seguridad, mantenimiento) y para la **distribución** de vectores limpios a otros sectores; pero enfrenta **barreras de costo e infraestructura** para escalar más allá de pilotos.



**Química** es el **eslabón intermedio habilitante**: provee resinas, oxidantes y reactivos a madera, celulosa, minería y aguas. Su huella se concentra en **calor de proceso** y **feedstocks fósiles** (fenol, metanol, H<sub>2</sub> gris). Avanza en **bio-sustitución** (lignina en resinas), en el uso de **H<sub>2</sub> como insumo** y en la **recuperación/valorización de H<sub>2</sub> subproducto** en polígonos químicos, con el potencial de **migrar a H<sub>2</sub> renovable** y **e-metanol** cuando existan contratos, certificación y logística. Por su disciplina de datos y cultura de seguridad, puede instalar **MRV por lote** y “pasaportes climáticos” que **transfieran** reducción a clientes aguas abajo.

**Combustibles** es la **columna vertebral energética**: refinería, terminales, **GLP, GN** industrial y urbano, distribuidores líquidos. Muestra **mejoras ambientales** (cogeneración y recambios que reducen SO<sub>2</sub> y MP; **HVO** como drop-in) y una **capilaridad logística** difícil de igualar, capaz de **escalar** nuevas moléculas (BioGLP, eLG, BioGNL, e-combustibles) y montar **trazabilidad climática por lote** desde terminales y plantas hasta clientes. Además, concentra la **demandas estructural de H<sub>2</sub>** del país (hidrotratamiento), por lo que cualquier **verdeo del H<sub>2</sub>** impacta **diésel/jet/gasolinas** y, por extensión, los alcances 3 de múltiples sectores.

**Procesos intensivos en calor** (vidrio, cemento, hornos de cal en celulosa, siderurgia transformadora) representan la **frontera técnica** de descarbonización regional. Han implementado **control de emisiones** y **eficiencia**, con **electrificación parcial** donde es viable y con exploraciones hacia **quemadores H<sub>2</sub>-ready**. Su reconversión depende de **termodinámica, seguridad, costos** y de marcos como **PPDA/SMA**. La exposición a **CBAM** los obliga a robustecer **MRV por lote** y a priorizar rutas que sean **certificables** y **pagadas por el mercado** (productos premium o expuestos a ajuste en frontera).

**Pesca industrial** integra **empleo formal costero**, plantas y **flota** con certificaciones de **sostenibilidad (MSC, MarinTrust)** y convenio con **BirdLife** para biodiversidad. A nivel climático, participa en **HuellaChile**, ha avanzado en **electricidad renovable** en plantas y consolidó **procedimientos y registros** a bordo (APL Flota 2022), además de **economía circular** (reciclaje de redes). Dispone de la gobernanza (APL 2024, mesas locales) para **eleva el estándar** hacia **MRV “del mar al puerto”** y **calor de proceso** limpio en planta, arrastrando al **ecosistema logístico** (frío, transporte, almacenamiento) hacia **trazabilidad energética**.

### 6.1.3. Encadenamientos y dependencias cruzadas

El sistema regional se explica por **encadenamientos funcionales**:



- **Forestal–química–madera:** la química suministra **resinas y oxidantes** a la cadena forestal–celulosa; si “verdea” **metanol/H<sub>2</sub>** o integra **lignina**, **transfiere** reducción a tableros y celulosa.
- **CO<sub>2</sub> biogénico ↔ derivados:** la celulosa concentra **CO<sub>2</sub> biogénico** apto para **e-metanol/e-fuels/e-SAF**; la **química** lo utiliza como **insumo** y los **puertos** como **logística** para bunkering y exportación.
- **Combustibles ↔ todos:** refinería, **GLP/GN** y distribuidores **alimentan** calor de proceso, transporte y puertos; al incorporar **HVO/BioGLP/BioGNL/e-combustibles**, habilitan reducción transversal con **trazabilidad por lote**.
- **Puertos/Transporte ↔ cadenas exportadoras:** la **habilitación portuaria** (infraestructura, estándares, gobernanza) más el **transporte de carga** eficiente y medido sostienen **trazabilidad** y acceso a mercados.
- **Procesos de alto calor ↔ CBAM/mercado:** vidrio, cemento, hornos de cal dependen de **vectores competitivos** (GN eficiente, electrificación parcial, H<sub>2</sub> en nichos) y de **MRV por lote** para sostener competitividad regulatoria.
- **Aeronáutico ↔ SAF:** **Carriel Sur** puede **anclar** mezclas de **SAF** con oferta local de **CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>**, conectando industria y demanda de aviación.

Estas **interdependencias** hacen que un avance en un eslabón (p. ej., **e-metanol** desde CO<sub>2</sub> biogénico) **mejore** la huella de **química**, **transporte marítimo** (bunkering) y, con **SAF**, del **aeronáutico**. Del mismo modo, la **trazabilidad climática** por lote en **combustibles** o **química reduce fricción** comercial y financiera para los clientes industriales que exportan.

#### 6.1.4. Rasgos comunes y diferenciales del territorio

**Rasgos comunes.** La región comparte una **capa de gestión** basada en estándares (ISO, HuellaChile, APL, certificaciones sectoriales) y una **exposición creciente** a exigencias internacionales (SBTi, OMI/OACI, CBAM). La **densidad urbano-portuaria** impone un **criterio práctico:** la transición no se mide en declaraciones, **sino en evidencia verificable** (datos, MRV auditable, resultados en aire/ruido/tránsito). La **gobernanza** (mesas ciudad-puerto, tripartitas, comités APL) es la herramienta que convierte **compromisos** en **hojas de ruta operativas**.

**Diferenciales del Biobío.** Tres elementos destacan: (i) **CO<sub>2</sub> biogénico** concentrado en complejos celulósicos, con potencial de **industrialización** hacia derivados; (ii) **densidad portuaria y logística** apta para **segregar, certificar y mover** nuevas moléculas; y (iii) un **backbone energético** (refinería, GLP, GN por red y virtual) que permite **escalar** recambios y trazabilidad **por lote** a clientes regionales y nacionales.



**Fortalezas.** Base exportadora, **infraestructura instalada**, **disciplina de datos** en varios sectores, **certificaciones** y **governanzas** que ya funcionan (APL, convenios, medidas). Estos activos **acortan** el paso desde piloto a operación: no hay que crear todo de cero.

**Debilidades y tensiones.** **Dependencia fósil** en transporte y calor de proceso; **asimetrías de reporte** (multinacionales vs. empresas locales) que dificultan comparabilidad; **cuellos habilitantes** (normas y seguridad para blends de H<sub>2</sub>, captura/uso de CO<sub>2</sub> a escala, segregación y certificación en terminales); y **conflictividad urbana** recurrente en torno a emisiones, olores y tránsito. La **licencia social** se juega en **datos públicos y verificados**, no en relatos.

### 6.1.5. Posición estratégica y sentido de la transición

El Biobío reúne oferta, logística y gobernanza para convertirse en hub de transición productiva:

- **Oferta:** **CO<sub>2</sub> biogénico**, **biomasa**, capacidad de **H<sub>2</sub>** como insumo y como vector térmico selectivo; **química** con potencial de **MRV por lote** y bio-sustituciones; **combustibles** con capa de **trazabilidad**.
- **Logística:** **puertos** preparados para evolucionar hacia **corredores verdes** y **bunkering** limpio; **transporte** con programas de eficiencia y puerta de entrada a nuevas tecnologías.
- **Gobernanza:** **APL** sectoriales (pesca), **mesas ciudad-puerto**, **programas** público-privados (Vuelo Limpio, H2V Biobío), y estándares que permiten **verificar**.

La oportunidad no es sumar iniciativas dispersas, sino hacerlas converger: industrializar el CO<sub>2</sub> biogénico, verdear moléculas intermedias (metano/H<sub>2</sub>), recambiar calor de proceso donde sea técnica y económicamente viable, y montar MRV por lote en cadenas exportadoras. La viabilidad de esa convergencia depende de contratos, certificación y coordinación portuario-energética-industrial, además de gobernanza territorial que traduzca la mejora en la vida urbana. Con ese andamiaje, la región puede convertir la trazabilidad en ventaja competitiva y reducir la fricción regulatoria y financiera de sus exportaciones. Sin él, el esfuerzo queda en pilotos y en una legitimidad frágil.

## 6.2. De tensiones socioambientales a institucionalidad climática

El Biobío es una región donde la industria convive en proximidad con ciudades costeras, caletas y barrios urbanos. Esa densidad ha dado lugar a **tensiones socioambientales recurrentes**, que



lejos de ser un accidente, forman parte de la normalidad de un territorio industrializado. En la práctica, estas tensiones han sido el **punto de partida** para construir instituciones de diálogo, compromisos ambientales y estándares de gestión que hoy definen la sustentabilidad regional. La transición productiva no se entiende como una hoja en blanco, sino como la **evolución de una trayectoria marcada por conflictos, respuestas y aprendizajes**.

### 6.2.1. Tensiones históricas en territorios urbano-industriales

En polos como **Coronel, Talcahuano, Hualpén y Penco**, la concentración de industrias pesadas, plantas químicas, terminales energéticos y puertos generó **impactos visibles**: emisiones atmosféricas, olores, ruido, tráfico pesado y percepción de riesgo tecnológico. En **Coronel**, los episodios de contaminación atmosférica y conflictividad social derivaron en la creación de instancias como el **PRAS** y el **CRAS**, que marcaron un hito en la gobernanza socioambiental al institucionalizar la participación comunitaria y el seguimiento de compromisos. En **Talcahuano y Hualpén**, la presencia de refinería, terminales y plantas químicas tensionó la convivencia urbano-portuaria, impulsando **protocolos de olores, planes de transporte seguro y mesas ciudad-puerto**. En **Penco**, la expansión industrial y portuaria generó fricciones en torno al ordenamiento territorial y la compatibilidad de usos urbanos y productivos.

En cada caso, los conflictos expusieron **dolores propios de una región industrial**: la coexistencia estrecha entre fábricas, terminales y comunidades. Pero también gatillaron **respuestas organizadas**, donde la presión social se tradujo en nuevas formas de gobernanza y en compromisos verificables.

### 6.2.2. De la conflictividad a la gobernanza

La experiencia acumulada muestra que las **mesas tripartitas** (empresas, Estado, comunidades) fueron consolidando un **estilo de gestión territorial**. Los **PRAS y CRAS en Coronel** institucionalizaron el diálogo, vinculando medidas correctivas con expectativas ciudadanas. En **Talcahuano-Hualpén**, la creación de **mesas ciudad-puerto** permitió ordenar demandas asociadas al tráfico pesado, los impactos de terminales y la planificación de infraestructura. La **química** y la **refinería** avanzaron en protocolos sectoriales —desde olores hasta transporte seguro— como respuesta a tensiones urbanas. La **pesca industrial**, a su vez, se vinculó con caletas y organizaciones costeras mediante **APL Flota** y compromisos de economía circular (reciclaje de redes), reduciendo pasivos ambientales y reforzando licencia social.

Estos mecanismos no eliminaron la conflictividad, pero sí instalaron una **disciplina de gestión y datos**: registros de emisiones, monitoreo ambiental, protocolos de



emergencia y rutinas de reporte. Así, el conflicto dejó de resolverse solo en la arena política o mediática y pasó a canalizarse en **espacios de gobernanza institucionalizada**.

### 6.2.3. Políticas y gestión climática como continuidad

De este tránsito emerge una lógica clara: **la transición productiva no se mide en declaraciones, sino en evidencias verificables**. Los compromisos climáticos y las políticas de descarbonización actuales son, en gran parte, la continuación de esa trayectoria de gobernanza.

Los **APL sectoriales** (como el de la flota pesquera), las **certificaciones internacionales** (MSC, MarinTrust, FSC/PEFC, ISO, HuellaChile, ACA), y los programas nacionales como **Giro Limpio** o **Vuelo Limpio** no surgen en abstracto: se instalan porque había **mesas y protocolos previos** que exigían demostrar desempeño ambiental ante comunidades y mercados. En el caso de la **celulosa**, la trazabilidad forestal y de cadena de custodia es inseparable de los conflictos por uso de suelo y legitimidad territorial. En el caso de la **química y los combustibles**, la disciplina de datos nace de los planes de transporte seguro y de la gestión de riesgos en entornos urbanos.

La secuencia es consistente: primero **tensión y conflicto**; luego **institucionalización de mesas y protocolos de gestión**; más tarde, **programas voluntarios y certificaciones**; y hoy, la **exigencia de MRV por lote y pasaportes climáticos** que permitan sostener competitividad en mercados con regulaciones como **CBAM, OMI u OACI**.

### 6.2.4. Aprendizajes y vacíos

La trayectoria del Biobío muestra un **aprendizaje colectivo**:

- Que las tensiones son **normales** en territorios industrializados, y la clave está en traducirlas en **instituciones estables**.
- Que los compromisos ambientales son creíbles solo si van acompañados de **datos, MRV y certificaciones verificables**.
- Que la licencia social no se sostiene en promesas, sino en **resultados tangibles** (menos emisiones, menos olores, menos accidentes).

Pero también revela **vacíos**:

- **Asimetrías** entre sectores y empresas: multinacionales con certificaciones internacionales vs. pymes o actores locales con reportes incipientes.
- **Desfase** entre compromisos corporativos globales y planes concretos por sitio.



- **Fragmentación** de iniciativas: múltiples APL, certificaciones y mesas, pero sin un marco unificado que articule una visión regional.

Estos vacíos se transforman en desafíos estratégicos: pasar de una suma de programas sectoriales a una **plataforma integrada de sustentabilidad regional**, capaz de dar trazabilidad a toda la industria del Biobío.

### 6.3. Rol habilitante, brechas y condicionalidades

La industria del Biobío no opera en compartimentos estancos. Cada sector productivo tiene un rol propio, pero también **habilita o condiciona** la sustentabilidad de otros. La transición energética y productiva de la región depende, por tanto, de cómo se **integran las capacidades existentes** con las **brechas y restricciones** que atraviesan a todo el ecosistema. Este capítulo aborda, de manera transversal, las funciones habilitantes de los distintos sectores y los límites que enfrentan para desplegar su potencial.

#### 6.3.1. Sectores habilitantes clave

**Forestal–celulosa** es el principal **habilitante de carbono biogénico** a gran escala. Los complejos celulósicos concentran millones de toneladas por año de CO<sub>2</sub> biogénico, un insumo estratégico para la producción de **e-metanol, e-fuels y e-SAF**. A su vez, la integración de **biomasa, licor negro y cogeneración** reduce su propia huella y fortalece la competitividad climática de sus exportaciones. Por volumen y trazabilidad certificada (FSC, PEFC, SBTi-FLAG), este sector puede irradiar reducciones hacia química, combustibles y transporte.

**Química** se ubica como un **eslabón intermedio habilitante**. Su rol es doble: provee insumos a cadenas mayores (resinas a tableros, oxidantes a celulosa, reactivos a minería) y puede **transferir reducción aguas abajo** si migra de **metanol e hidrógeno gris a renovables**. El sector además concentra prácticas de **MRV por lote** y protocolos de seguridad que podrían convertirse en estándar para la región.

**Combustibles** constituye el **backbone energético y logístico**. Refinería, terminales, GLP, GN y distribuidores líquidos no solo sostienen el presente de la región: también definen la capacidad de escalar vectores limpios. Al incorporar **HVO, BioGLP, BioGNL o e-combustibles** en su infraestructura existente, pueden habilitar reducción transversal para múltiples sectores, con **trazabilidad climática desde el terminal al cliente**. Además, concentran la **demanda estructural de H<sub>2</sub>** del país, por lo que verdear esa molécula impacta no solo la región, sino toda la matriz energética nacional.



**Puertos y transporte terrestre** funcionan como **plataforma logística habilitante**. Su capacidad de segregar flujos, certificar embarques y sostener corredores verdes es decisiva para que los productos del Biobío ingresen a mercados regulados por CBAM, OMI u OACI. El transporte, pese a su dependencia del diésel, aporta experiencia en eficiencia (Giro Limpio) y es la puerta de entrada para el recambio tecnológico (electromovilidad pesada, camiones a H<sub>2</sub>).

**Aeronáutico** emerge como **habilitador de SAF** en la región. Carriel Sur puede convertirse en nodo de mezcla y distribución, conectando oferta local de H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> biogénico con demanda global de jet limpio. Aunque su huella directa es menor, su valor estratégico radica en **acelerar la primera ola de combustibles sustentables de aviación en Chile**.

**Procesos intensivos en calor** son un **caso frontera habilitante**: su necesidad de vectores de alto calor (vidrio, cemento, cal, siderurgia) tensiona la oferta regional, obligando a desarrollar tecnologías certificables. Al estar expuestos al **CBAM europeo**, pueden convertirse en el catalizador que fuerce a toda la región a robustecer su **MRV por lote**.

**Pesca industrial**, aunque más acotada en escala, habilita un aprendizaje relevante: sus **APL, certificaciones (MSC, MarinTrust) y economía circular (reciclaje de redes)** muestran cómo un sector puede **integrar trazabilidad de punta a punta** (“del mar al puerto”) y trasladar esa disciplina a logística y procesos asociados.

### 6.3.2. Brechas transversales

Este potencial habilitante convive con brechas estructurales que limitan la transición:

- **Brechas tecnológicas:** electrificación parcial aún incipiente, limitaciones termodinámicas en alto calor, falta de pilotos industriales escalables en combustibles limpios.
- **Brechas de infraestructura:** nodos críticos como terminales, gasoductos y puertos requieren reconversión para blends de H<sub>2</sub>, segregación de CO<sub>2</sub> y certificación de moléculas.
- **Brechas de gobernanza:** coexistencia de múltiples mesas y programas, pero sin un marco regional unificado que articule una hoja de ruta de sustentabilidad.
- **Brechas de datos:** asimetrías entre multinacionales con SBTi, ISO y MRV robusto versus empresas locales con reportes limitados o inexistentes.
- **Brechas de mercado:** ausencia de contratos y señales de precio que permitan justificar inversiones en H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y derivados; riesgo de quedar en piloto perpetuo.



- **Brechas de licencia social:** persistencia de tensiones urbanas por emisiones, olores y tráfico; necesidad de que los avances se traduzcan en mejoras perceptibles para comunidades.

### 6.3.3. Condicionalidades y restricciones

El despliegue del potencial habilitante depende de condicionalidades externas e internas:

- **Regulatorias:** CBAM obligará a sectores de alto calor a contar con MRV por lote; OMI y OACI fijan metas de reducción que condicionan transporte marítimo y aviación.
- **Económicas:** proyectos de H<sub>2</sub>, SAF y e-combustibles requieren contratos de offtake y financiamiento climático que dependen de trazabilidad robusta.
- **Sociales:** la licencia social es condición de continuidad: sin evidencia verificable de reducción de impactos, la conflictividad puede bloquear proyectos.
- **Técnicas:** blends de H<sub>2</sub>, captura de CO<sub>2</sub>, certificación de moléculas requieren estándares claros de seguridad, monitoreo y validación internacional.
- **Territoriales:** la densidad urbano-industrial del Biobío obliga a que la transición se mida en **datos públicos y verificables**, no en promesas.

### 6.3.4. Lectura integrada

El Biobío posee un conjunto de **sectores habilitantes potentes**, con CO<sub>2</sub> biogénico, puertos, refinería, polígonos químicos y procesos industriales que pueden catalizar la transición productiva. Pero esas ventajas se ven condicionadas por **brechas estructurales** que no pueden ser ignoradas.

El dilema es claro:

- Si se logra **cerrar brechas** en MRV, gobernanza, infraestructura y mercado, la región puede transformar sus tensiones en **ventaja competitiva**.
- Si no, el Biobío corre el riesgo de quedar atrapado en una suma de pilotos y promesas, sin capacidad de demostrar reducción verificable ni de sostener competitividad regulatoria y financiera en sus exportaciones.



## 6.4. Síntesis y Veredicto sectorial

Este capítulo entrega una lectura compacta por cada sector productivo del Biobío, integrando avances, brechas y un juicio crítico sobre la madurez de sus políticas de sustentabilidad. La lógica transversal desarrollada en capítulos anteriores se condensa aquí en diagnósticos sectoriales que permiten ver con claridad dónde se está reduciendo, qué falta y qué condiciones deben cumplirse para alcanzar suficiencia.

### 6.4.1. Forestal–Celulosa

**Qué reduce hoy.** Operación con biomasa y licor negro como fuentes energéticas, electricidad renovable contratada, ISO 50001 en algunos sitios, certificaciones FSC/PEFC que aseguran trazabilidad de origen y cadena de custodia, y compromisos corporativos bajo SBTi-FLAG y Race to Zero.

**Dónde se queda corto.** Limitada electrificación en procesos de alto calor, dependencia de químicos fósiles en resinas y reactivos, brechas en reportes por sitio (más sólidos a nivel corporativo que operativo).

**Qué lo haría suficiente.** Integrar captura y purificación de CO<sub>2</sub> biogénico, desarrollar contratos para e-metanol y derivados, migrar a insumos químicos verdes y asegurar MRV por lote verificable a nivel de planta.

**Veredicto.** El sector muestra el mayor grado de madurez en la región: tiene compromisos robustos, certificaciones internacionales y activos habilitantes (CO<sub>2</sub> biogénico). Su política sectorial de sustentabilidad es **alta y consistente**, aunque requiere cerrar brechas de electrificación y de insumos fósiles para consolidar liderazgo global.

### 6.4.2. Química

**Qué reduce hoy.** Avances en eficiencia energética, programas de seguridad y protocolos ambientales, sustitución parcial de insumos fósiles por lignina y recuperación de H<sub>2</sub> subproducto.

**Dónde se queda corto.** Alta dependencia de feedstocks fósiles (fenol, metanol, H<sub>2</sub> gris), bajo grado de electrificación de procesos de calor, fragmentación en reportes ambientales entre empresas.

**Qué lo haría suficiente.** Migrar a H<sub>2</sub> renovable y metanol verde, instalar MRV por lote para transferencia de reducción a clientes y consolidar compromisos sectoriales comunes.



**Veredicto.** Sector con madurez **media**: hay disciplina de gestión y potencial habilitante, pero la dependencia de insumos fósiles lo mantiene rezagado frente a exigencias internacionales. Su evolución dependerá de la velocidad con que integre vectores limpios y certificación transferible.

#### 6.4.3. Pesca industrial

**Qué reduce hoy.** Certificaciones internacionales (MSC, MarinTrust), convenios de biodiversidad (BirdLife), HuellaChile en plantas, electricidad renovable, capacitación y protocolos a bordo (APL Flota 2022), y economía circular con reciclaje de redes.

**Dónde se queda corto.** Procesos térmicos aún dependientes de combustibles fósiles, MRV parcial sin trazabilidad completa de la cadena (del mar al puerto), heterogeneidad entre empresas en compromisos climáticos.

**Qué lo haría suficiente.** Extender MRV a toda la operación, incluir procesos de calor en planes de reconversión, y consolidar gobernanzas sectoriales más allá de APL voluntarios.

**Veredicto.** Sector con madurez **intermedia**, fuerte en certificaciones y gobernanza, pero con desafíos críticos en calor de proceso y trazabilidad climática integral.

#### 6.4.4. Portuario y marítimo

**Qué reduce hoy.** GHG Protocol en medición de huella, planes de eficiencia energética, recambio parcial de equipos, mesas ciudad–puerto y coordinación logística a través de Comlog.

**Dónde se queda corto.** Escasa electrificación de grúas y equipos mayores, falta de infraestructura para bunkering limpio y trazabilidad de combustibles, gobernanza fragmentada entre terminales.

**Qué lo haría suficiente.** Adaptar infraestructura a combustibles alternativos (SAF, e-fuels, H<sub>2</sub>), establecer certificación climática por embarque y profundizar planes de ciudad–puerto.

**Veredicto.** Madurez **incipiente**: hay esfuerzos de medición y gobernanza, pero el salto hacia puertos verdes exige inversiones significativas y coordinación sistémica. Su relevancia estratégica radica más en lo que puede habilitar que en lo que hoy reduce.



#### 6.4.5. Transporte terrestre de carga

**Qué reduce hoy.** Programas de eficiencia y capacitación bajo Giro Limpio, recambio parcial de flota, reducción verificada de consumo en empresas adheridas.

**Dónde se queda corto.** Predominio absoluto del diésel, falta de infraestructura para electromovilidad o H<sub>2</sub>, barreras de costo para recambio tecnológico.

**Qué lo haría suficiente.** Escalamiento de flotas piloto a operación masiva, instalación de infraestructura de carga/abastecimiento y MRV más allá de empresas voluntarias.

**Veredicto.** Madurez **baja a media**: existe disciplina en eficiencia y datos, pero la dependencia del diésel es total. La transición requerirá fuertes incentivos, contratos y acompañamiento público-privado.

#### 6.4.6. Aeronáutico

**Qué reduce hoy.** Gestión energética en aeropuertos, electricidad 100% limpia en Carriel Sur, participación en Vuelo Limpio y acreditación bajo ACA.

**Dónde se queda corto.** Escasa capacidad para incidir en la huella del jet; falta de infraestructura para SAF; compromisos aún incipientes en la cadena logística aérea.

**Qué lo haría suficiente.** Instalación de nodos de mezcla y distribución de SAF, integración de oferta local de CO<sub>2</sub> biogénico y H<sub>2</sub>, y contratos con aerolíneas.

**Veredicto.** Madurez **incipiente**, con valor estratégico como habilitador de SAF. Su peso directo es menor, pero puede ser catalizador si se instala infraestructura de mezcla y abastecimiento.

#### 6.4.7. Combustibles

**Qué reduce hoy.** Cogeneración y recambio de equipos que reducen SO<sub>2</sub> y MP, producción de HVO, redes de GLP y GN que mejoran eficiencia en calor, programas de gestión ambiental y seguridad.

**Dónde se queda corto.** Alta dependencia de hidrocarburos fósiles, ausencia de blends de H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, trazabilidad parcial en combustibles líquidos.

**Qué lo haría suficiente.** Integración de BioGLP, BioGNL y e-combustibles en red existente, MRV por lote desde terminal a cliente, y verdeo del H<sub>2</sub> usado en hidrotratamiento.



**Veredicto.** Madurez **media**, con activos logísticos únicos y capacidad de irradiar trazabilidad, pero con dependencia estructural de fósiles. Su política de sustentabilidad avanza, pero aún no asegura suficiencia.

#### 6.4.8. Procesos intensivos en calor

**Qué reduce hoy.** Control de emisiones, eficiencia energética, electrificación parcial, exploraciones con quemadores H<sub>2</sub>-ready.

**Dónde se queda corto.** Limitaciones termodinámicas, altos costos de sustitución, ausencia de pilotos industriales significativos.

**Qué lo haría suficiente.** Integrar blends de H<sub>2</sub> en procesos críticos, consolidar MRV por lote para CBAM, y acceder a contratos internacionales que financien la reconversión.

**Veredicto.** Madurez **baja**, con avances básicos en eficiencia y control, pero expuesto al riesgo de perder competitividad por CBAM. Sector prioritario para pilotos de H<sub>2</sub> y electrificación parcial con certificación robusta.

### 6.5. Conclusión del Capítulo 6

El análisis sectorial muestra un **espectro de madurez diverso**: desde un liderazgo alto y consolidado en forestal-celulosa, hasta madurez incipiente en portuario, aeronáutico y procesos de alto calor. Entre ambos extremos, química, combustibles, pesca y transporte terrestre avanzan con políticas intermedias, con logros parciales pero aún insuficientes frente a las exigencias de mercado y regulación.

El desafío común es transformar **tensiones históricas y programas voluntarios** en un **sistema integrado de MRV y certificaciones por lote**, que permita sostener competitividad exportadora y licencia social en un territorio urbano-industrial complejo.



## 7. Conclusiones generales

El análisis de los planes estratégicos locales y corporativos realizado en el marco del Programa Estratégico Regional Hidrógeno Verde Biobío permite concluir que la región dispone de **condiciones estructurales excepcionales** para avanzar en la descarbonización de sus sectores productivos mediante el desarrollo del hidrógeno verde y sus derivados. Estas condiciones no se explican únicamente por la disponibilidad de recursos energéticos, sino por la **configuración territorial, industrial y logística del Biobío**, caracterizada por una alta densidad de activos productivos, encadenamientos intersectoriales y experiencia en procesos industriales complejos.

En primer lugar, el estudio evidencia una **convergencia estratégica sólida a nivel nacional y regional** en torno a los objetivos de carbono neutralidad, transición energética y reconversión productiva. Instrumentos como las NDC, la Estrategia Climática de Largo Plazo, la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, la Estrategia Regional de Desarrollo y la Hoja de Ruta H2V Biobío establecen un marco coherente que legitima y orienta el despliegue del hidrógeno verde. Sin embargo, esta convergencia pierde fuerza al descender a la escala local, donde los instrumentos comunales presentan **niveles desiguales de actualización, madurez y explicitación del vector energético**, particularmente en lo relativo al hidrógeno verde y su integración en estrategias de desarrollo territorial. Esta brecha entre orientación estratégica y operatividad territorial constituye uno de los principales desafíos para la implementación efectiva de proyectos.

En segundo lugar, el análisis territorial confirma que el desarrollo industrial, energético y logístico del Biobío **opera como un sistema regional interdependiente**, cuya expresión más densa se concentra en el Gran Concepción, pero que se extiende funcionalmente hacia otras comunas y ejes productivos del territorio. El área metropolitana articula los principales nodos portuarios, petroquímicos, de combustibles, logística avanzada y servicios industriales; los complejos forestal–celulosa del interior regional aportan flujos relevantes de biomasa, energía térmica y grandes volúmenes de CO<sub>2</sub> biogénico; y las comunas con proyectos ERNC cumplen un rol clave como plataformas de generación renovable y soporte energético para procesos industriales y de electrólisis. Esta configuración confirma que la planificación del hidrógeno verde no puede abordarse desde una lógica metropolitana aislada, sino desde una **mirada regional integrada**, capaz de articular territorios con funciones complementarias y escalas diferenciadas de intervención.

Desde esta perspectiva, el estudio concluye que el hidrógeno verde en el Biobío no responde a un modelo de concentración en un único polo, sino a una **arquitectura regional policéntrica**, entendida como una estructura funcional concreta compuesta por múltiples centros especializados e interdependientes, ninguno de los cuales puede, por sí solo, sostener la cadena completa de valor del hidrógeno verde. No existe un “hub único” de H<sub>2</sub>V, sino un sistema distribuido de nodos con roles diferenciados: generación



de energías renovables no convencionales; producción de hidrógeno; captura y uso de CO<sub>2</sub> biogénico; transformación química hacia combustibles y derivados; logística portuaria y exportación; y consumo industrial y en transporte. La competitividad regional emerge de la **articulación efectiva entre estos nodos**, y no de su concentración territorial.

El análisis sectorial corporativo refuerza esta lectura. La región cuenta con **sectores ancla con grados avanzados de preparación relativa** para integrar el hidrógeno verde y sus derivados, destacando el complejo forestal–celulosa, la industria química, el sistema de combustibles, los puertos, el transporte y la aviación. La disponibilidad de CO<sub>2</sub> biogénico a escala industrial, la existencia de infraestructura energética y logística instalada, y una cultura extendida de certificación, reporte y cumplimiento normativo, posicionan al Biobío en una situación ventajosa para avanzar desde proyectos piloto hacia **soluciones escalables, verificables y alineadas con exigencias regulatorias internacionales**. En este contexto, el principal valor estratégico del hidrógeno verde no reside únicamente en la sustitución energética, sino en su capacidad para **industrializar la transición**, integrándose a cadenas productivas existentes y reforzando su competitividad exportadora.

No obstante, el estudio también identifica **brechas estructurales persistentes** que condicionan la velocidad y profundidad de esta transición. Entre ellas destacan las asimetrías en capacidades técnicas municipales, la desactualización o ausencia de instrumentos energéticos locales, restricciones normativas y de ordenamiento territorial, cuellos habilitantes en infraestructura eléctrica y logística, y riesgos de conflictividad socioambiental si los proyectos no incorporan tempranamente criterios de participación, transparencia y beneficio territorial. En este sentido, el principal riesgo para el despliegue del hidrógeno verde en la región no es de carácter tecnológico, sino **institucional y de coordinación**.

En términos estratégicos, el diagnóstico reafirma que el valor diferencial del Biobío no se limita a la producción de hidrógeno verde, sino a su capacidad para **integrar hidrógeno, derivados, CO<sub>2</sub> biogénico, logística portuaria e industrias exportadoras bajo esquemas robustos de trazabilidad climática**. La posibilidad de convertir la medición, reporte y verificación de emisiones en una ventaja competitiva —especialmente frente a instrumentos como CBAM, OMI u OACI— representa una oportunidad concreta para reducir fricciones regulatorias, facilitar acceso a mercados y fortalecer la posición regional en cadenas de valor globales.

Finalmente, el estudio confirma el rol del Programa Estratégico Regional H2V Biobío como **articulador central** de este proceso. Más que promover iniciativas aisladas, su desafío estratégico consiste en **orquestrar convergencias** entre territorios, sectores productivos e instrumentos de planificación, asegurando coherencia entre transición productiva, desarrollo territorial y calidad de vida urbana. En la medida en que esta articulación se traduzca en instrumentos actualizados, gobernanzas intercomunales efectivas y proyectos territorialmente pertinentes, el hidrógeno verde puede consolidarse como un **vector estructurante del nuevo modelo de desarrollo regional del Biobío**.

