



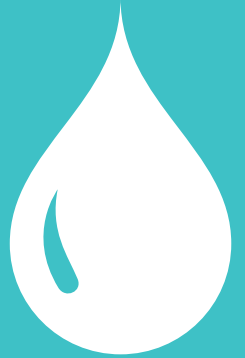
ICAO

PROYECTO FINANCIADO POR



Ministry of Infrastructure
and Water Management
of the Netherlands

CHILE



ESTUDIO DE FACTIBILIDAD SOBRE EL USO DE COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN SOSTENIBLES

Autor: **Alan Lecocq**

Consultor técnico de la OACI sobre combustibles de aviación sostenibles

Proyecto financiado por:



Ministry of Infrastructure
and Water Management
of the Netherlands

Proyecto desarrollado conjuntamente con:



Este documento se elaboró en el marco del Proyecto de Asistencia ACT-SAF de la OACI a Chile, financiado por una contribución del Gobierno de los Países Bajos al Fondo de la OACI para el Medio Ambiente.

© OACI 2025. Todos los derechos reservados.

Las opiniones expresadas son fruto del análisis técnico del autor y no reflejan necesariamente las opiniones individuales o colectivas ni las posiciones de Chile, de los Países Bajos o de la OACI.

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican ninguna opinión sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni sobre la delimitación de sus fronteras o límites. Las líneas punteadas y discontinuas de los mapas, en caso de aparecer, representan líneas fronterizas aproximadas sobre las que aún puede no haber pleno acuerdo.

La mención de determinadas sociedades mercantiles o de nombres comerciales de ciertos productos no implica que se dé preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Se han tomado todas las precauciones razonables para verificar la información contenida en esta publicación. No obstante, el material se publica sin garantías de ningún tipo, expresas o implícitas, en cuanto a la exactitud, integridad y actualidad de la información. La OACI y sus asociados declinan expresamente toda responsabilidad derivada de, o relacionada con, cualquier interpretación o uso del material contenido en este informe.

PRÓLOGO

En junio de 2022, con motivo del 50.º aniversario del Convenio de Estocolmo, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) lanzó el programa de Asistencia, Creación de Capacidades y Capacitación para Combustibles de Aviación Sostenibles (ACT-SAF), con el fin de apoyar a los Estados en desarrollo en su transición hacia una energía más limpia para la aviación.

Más adelante, en 2022, la 41.ª Asamblea de la OACI adoptó un objetivo aspiracional global a largo plazo (LTAG) para la aviación civil internacional: lograr colectivamente cero emisiones netas de carbono para 2050, como contribución a la acción climática mundial, en línea con los objetivos del Acuerdo de París de la CMNUCC. La Asamblea de la OACI, a través de la Resolución A41-21, enfatizó la necesidad de brindar apoyo específico a los Estados en desarrollo, incluyendo un mayor acceso a recursos financieros, transferencia de tecnología e iniciativas de creación de capacidades.

Con la adopción, en la 3.ª Conferencia de la OACI sobre Combustibles Alternativos para la Aviación (CAAF/3) en noviembre de 2023, del Marco Global de la OACI para Combustibles de Aviación Sostenibles (SAF), Combustibles de Aviación de Menor Carbono (LCAF) y otras Energías Más Limpias para la Aviación, la OACI y sus Estados miembros acordaron esforzarse por alcanzar una Visión global aspiracional colectiva para reducir las emisiones de CO₂ en la aviación internacional en un 5 por ciento para 2030 mediante el uso de SAF, LCAF y otras energías más limpias para la aviación (en comparación con la ausencia de uso de energías más limpias).

La Visión tiene cuatro pilares, siendo el tercero el apoyo a la implementación. Este expresa la importancia de brindar apoyo a los países en desarrollo y a los estados con necesidades particulares, que debe abordarse a través del programa ACT-SAF. Se trata de un programa sólido y sustancial de creación de capacidades y apoyo a la implementación, diseñado para asistir a los estados, fomentar asociaciones y colaboración en iniciativas de SAF bajo la coordinación de la OACI y servir como plataforma global para el intercambio de conocimientos.

En 2022, los Países Bajos realizaron una contribución financiera voluntaria al Fondo Medioambiental de la OACI para financiar tres estudios de factibilidad. En la CAAF/3 se anunció que Chile sería uno de los estados beneficiarios. Este estudio de factibilidad evalúa el potencial de producción y utilización de Combustible de Aviación Sostenible (SAF) de tipo “drop-in” en Chile, asegurando la alineación con los criterios de sostenibilidad ambiental y socioeconómica establecidos en el Esquema de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA) de la OACI. El estudio sigue las directrices establecidas en la Plantilla de Estudios de Factibilidad sobre Combustibles de Aviación Sostenibles de la OACI y en la Guía para Estudios de Factibilidad sobre Combustibles de Aviación Sostenibles (Versión 1, julio de 2023)¹.

¹ <https://www.icao.int/ACT-SAF>

AGRADECIMIENTOS

Este estudio de factibilidad no habría sido posible sin el inestimable compromiso y liderazgo de la Junta de Aeronáutica Civil (JAC) y el equipo del Programa Vuelo Limpio, formado por la Agencia de Sostenibilidad Energética (AgenciaSE), por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones y por el Ministerio de Energía.

Especial agradecimiento a la colaboración de Fernanda Cabañas, Romina Altamirano, Claudia Atiquipa, Karla Chace, Sebastián Flores, Yerko Arteaga y Cristóbal Correa, cuya participación y coordinación han sido fundamentales para poder desarrollar el presente estudio de factibilidad.

También debe reconocerse el papel decisivo de los numerosos agentes nacionales que contribuyeron al desarrollo de este trabajo, proporcionando información y valiosa orientación para identificar el potencial de SAF en el país.

Los autores expresan su gratitud a todos esos colaboradores que están detallados en el Anexo 1.

ALCANCE Y METODOLOGÍA

ALCANCE

El estudio brinda apoyo técnico a la Junta de Aeronáutica Civil de Chile para realizar un análisis de factibilidad sobre el desarrollo y despliegue del SAF, como paso previo a posibles estudios posteriores de implementación empresarial.

Este estudio se lleva a cabo en estrecha colaboración con el país y tiene como propósito ofrecer una guía estratégica para el desarrollo futuro de SAF elegibles bajo el marco de CORSIA, considerando las características específicas del entorno chileno. Asimismo, busca contribuir a la reducción de emisiones de CO₂ en la aviación civil internacional y al cumplimiento de los objetivos de SAF establecidos en el Marco Global de la OACI.

El trabajo incluye los siguientes elementos:

- Información sobre las circunstancias específicas de Chile, explicando las características y factores que podrían afectar al desarrollo del SAF.
- La identificación de vías tecnológicas y materias primas prioritarias para la producción de SAF.
- Información sobre el apoyo y la financiación necesarios para la implantación de las vías prioritarias identificadas.
- Recomendación de un plan de acción alineado con las políticas gubernamentales del Estado relacionadas con el desarrollo de los SAF (Figura 1).



Figura 1. Aspectos principales del análisis de SAF en Chile.

En resumen, el resultado ofrece un diagnóstico estratégico inicial como base para futuros proyectos de implementación de SAF. Este diagnóstico considera los informes existentes en Chile realizados por entidades públicas y privadas del país, analizando normativas, estudios y proyectos relacionados. Todo ello está alineado con la meta nacional de alcanzar la carbono-neutralidad para 2050 mediante la incorporación de fuentes de energía limpias.

Por último, este análisis busca mostrar que el desarrollo de una industria nacional de combustibles de aviación sostenibles en Chile puede generar un impacto altamente positivo en los ámbitos medioambiental, industrial y socioeconómico, contribuyendo significativamente al progreso integral del país.

El estudio de factibilidad ha sido llevado a cabo por un consultor técnico en combustibles de aviación sostenibles, contratado a tal efecto por la OACI para su realización en estrecha coordinación con la Junta de Aeronáutica Civil de Chile y con el equipo del “Programa Vuelo Limpio” (gestionado por la Agencia de

Sostenibilidad Energética y apoyado por la Junta de Aeronáutica Civil del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones y por el Ministerio de Energía)².

METODOLOGÍA

Chile, en la transición hacia su descarbonización nacional, ha establecido un horizonte cuya génesis se encuentra en su Política Nacional Energética, Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) y la Ley Marco de Cambio Climático.

Este horizonte ha marcado un plan de acción interministerial que ha movilizado a múltiples actores en los sectores industriales, económicos, académicos y de investigación, tanto de carácter público como privado, que se ha concretado en diversos análisis, estudios y proyectos que sitúan a Chile con una planificación muy avanzada hacia la transición energética. Esta planificación incluye la descarbonización del sector aeronáutico, materializada en el lanzamiento en abril de 2024 de la Hoja de Ruta de SAF y su plan de acción, cuyo objetivo principal es que el SAF constituya al menos el 50% del combustible utilizado en la aviación de Chile.

El objetivo de este estudio es llevar a cabo un análisis preliminar que evalúe la potencial producción y uso de SAF en Chile, que cumpla los criterios de sostenibilidad establecidos por el estándar CORSIA, y reconocido en 2023 como marco global de aplicación³. Adicionalmente, el estudio de factibilidad debe servir para:

- Identificar singularidades y oportunidades de una potencial cadena de suministro del SAF.
- Definir la capacidad potencial de materias primas y su conversión.
- Evaluar su impacto medioambiental (GEI, agua, suelo) y el impacto regional, social y económico.
- Buscar claves de implementación (políticas, retos y alternativas).
- Identificar oportunidades para el potencial desarrollo de proyectos de producción de SAF.

Para la realización del presente estudio de factibilidad, se han empleado diversas fuentes de información, material de investigación y datos estadísticos, así como la interacción con expertos y actores clave del sector. Estas fuentes abarcan tanto el ámbito público como el privado y provienen de una amplia variedad de áreas relevantes. En particular, se realizó un análisis bibliográfico procedente de las siguientes categorías:

- Marco regulatorio: Normativas y políticas relacionadas con el sector energético y el desarrollo sostenible.
- Sector energético: Información sobre energías convencionales, generación de electricidad, fuentes renovables y el desarrollo del hidrógeno como vector energético.
- Industria de la aviación: Estudios y datos sobre la demanda y producción de combustibles sostenibles y su integración en la logística y operaciones del sector.
- Industrias productivas, transformadoras o extractivas: Sectores como el forestal, agrícola, petroquímico y otros, que podrían aportar insumos o ser parte de la cadena de valor para la producción de SAF.
- Universidades y centros de investigación: Contribuciones académicas, estudios científicos y desarrollo de tecnologías relevantes.
- Instituciones, asociaciones e industrias relacionadas: Entidades vinculadas con posibles materias primas o insumos, como CO₂, biomasa, y otros recursos clave.
- Proyectos e iniciativas relevantes: Análisis de proyectos y propuestas innovadoras en energías limpias que sirvan como referencia o inspiración para la implementación de SAF.

² Vuelo-Limpio - programa de sostenibilidad energética para la aviación - 2025

³ Marco Mundial OACI para SAF, LCAF y otras energías más limpias para la aviación (adoptado por la CAAF/3 el 24 de noviembre de 2023)

- Entidades o asociaciones públicas y privadas dedicadas a la financiación y promoción de proyectos de SAF.

En cuanto a los actores que, desde sus roles en entidades públicas o privadas, desempeñan un papel clave en toda la cadena de valor para la potencial futura producción y comercialización del SAF en Chile, se han realizado debates, consultas, intercambio de información y alineación estratégica. Estas interacciones se han llevado a cabo a través de reuniones presenciales y virtuales, promoviendo la colaboración, participación y el intercambio de conocimientos sobre el SAF, alcanzando un nivel de profundización que va más allá de lo expuesto en el presente estudio (ver más detalles sobre los colaboradores y participantes en dichas interacciones en el Anexo 1).

Es importante destacar que el presente estudio se ha desarrollado en total alineación con la “Ruta de SAF 2050” lanzada en Chile en 2024, con el objetivo de definir acciones y políticas públicas y privadas orientadas a impulsar la descarbonización del sector aeronáutico y alcanzar las metas globales de cero emisiones netas en carbono para 2050 asumidas para la industria de la aviación⁴. El presente estudio, pretende dar soporte a las acciones futuras que implemente la Ruta del SAF, utilizando como nexo al equipo del programa Vuelo Limpio.

El trabajo se inició con un taller presencial llevado a cabo en Santiago de Chile (Workshop ACT-SAF), los días 26 y 27 de noviembre de 2024 bajo el proyecto ACT-SAF financiado por los Países Bajos (ver Figura 2). Este evento fue coordinado por el Programa Vuelo Limpio, y los Ministerios de Transporte y de Energía, y contó con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la participación de las principales entidades públicas y privadas del país vinculadas al potencial desarrollo del SAF. Durante el taller, la OACI presentó su visión global sobre el SAF, y se generó un debate enfocado en los principales desafíos para su implementación futura (su programa detallado se incluye en el Anexo 2).



Figura 2. Workshop ACT-SAF 26-27 de noviembre 2024 – Santiago de Chile.

⁴ Objetivo global aspiracional a largo plazo de la OACI (LTAG) para la aviación internacional

RESUMEN EJECUTIVO

AVIACIÓN INTERNACIONAL

Los combustibles de aviación sostenibles se definen como combustibles renovables o procedentes de residuos que cumplen con los criterios de sostenibilidad aceptados⁵. El análisis técnico hecho por la OACI⁶ muestra que el SAF tiene el mayor potencial para reducir las emisiones de CO₂ de la Aviación Internacional (LTAG). Adicionalmente, el SAF presenta la ventaja de no requerir modificaciones en los motores de las aeronaves ni en las infraestructuras logísticas utilizadas para los combustibles convencionales.

La Tercera Conferencia de la OACI sobre la aviación y los combustibles alternativos (CAAF/3)⁷ adoptó un nuevo Marco mundial de la OACI para los combustibles de aviación sostenibles (SAF), los combustibles de aviación con bajas emisiones de carbono (LCAF) y otras energías más limpias para la aviación, mediante el cual la OACI y sus Estados miembros han acordado esforzarse por alcanzar una visión colectiva mundial que aspira a reducir las emisiones de CO₂ en la aviación internacional en un 5% para 2030, esto significa el uso de 23 millones de toneladas del uso de energías más limpias en la aviación internacional en el 2030.

La iniciativa de la OACI “Ningún país se queda atrás” (ver Figura 3) resalta un nuevo marco mundial que incluye una visión colectiva para la transición hacia energías más limpias, bases reguladoras armonizadas, apoyo a la implementación y un mejor acceso a la financiación⁸.



Figura 3. Iniciativa de la OACI “Ningún país se queda atrás”.

La 41ª Asamblea de la OACI adoptó un objetivo global a largo plazo (LTAG) para la aviación internacional de cero emisiones netas de carbono para 2050 en apoyo del objetivo de temperatura del Acuerdo de París de la UNFCCC. Este acuerdo histórico refuerza el liderazgo de la OACI en cuestiones relacionadas con la aviación internacional y el cambio climático⁹.

El informe LTAG elaborado por el CAEP (Comité sobre la Protección del Medio Ambiente en la Aviación) de la OACI en 2022 muestra que el SAF tiene el mayor potencial para reducir las emisiones de CO₂ de la Aviación Internacional. Con el marco de modelización del CAEP se evaluaron las emisiones de CO₂ de la aviación internacional para tres escenarios, IS1, IS2 e IS3. En la Figura 4, extraemos el escenario más ambicioso para la reducción de GEI de combustibles. Este escenario muestra que, en el año 2044, la demanda de SAF

⁵ ICAO - Annex 16 - Environmental Protection, Volume IV, CORSIA (2023)

⁶ ICAO - LTAG Report (2020)

⁷ ICAO - Third ICAO Conference on Aviation and Alternative Fuels (CAAF/3) (2023)

⁸ ICAO - Ningún país se queda atrás (2025)

⁹ ICAO - The ICAO Assembly at its 41st - Resolution A41-21 - Climate Change (2022)

superaría a la demanda actual global de combustibles de aviación y por tanto alerta de la necesidad de poner en marcha una acción inmediata para acelerar el desarrollo de SAF a nivel global.

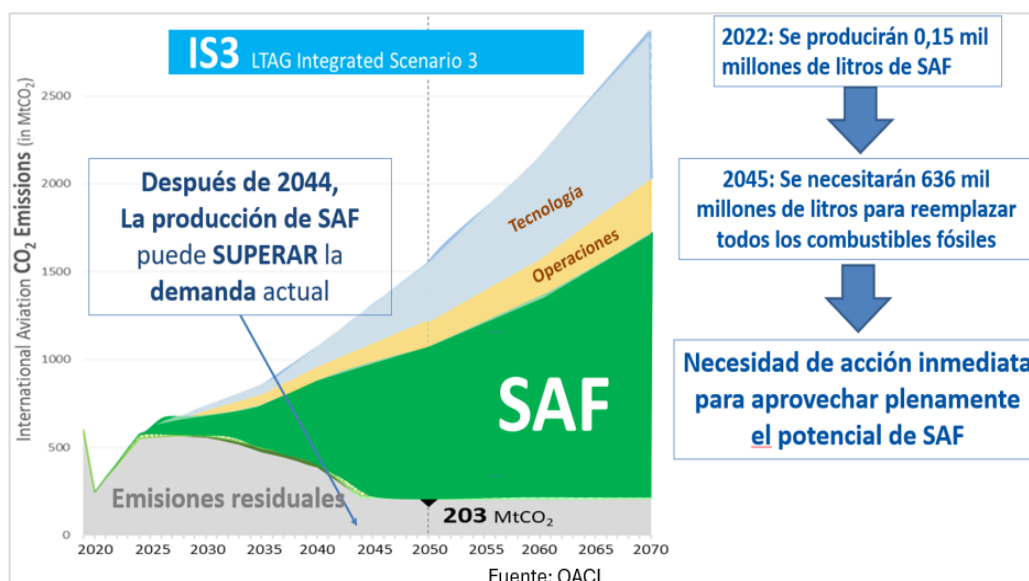


Figura 4. Proyección de demanda de SAF según el escenario más ambicioso del LTAG (2044).

CONTEXTO CHILE

Chile, por su singular configuración geográfica y climática, es un país muy vulnerable al cambio climático, lo que hace más necesaria la adopción de medidas urgentes y efectivas para su mitigación. En el año 2020, Chile se convirtió en el primer país de América Latina, en cumplir el primer *ciclo* de renovación de los compromisos climáticos nacionales en el marco del Acuerdo de París, con la actualización de su Contribución Determinada Nacional (NDC), donde establece como objetivo principal alcanzar la neutralidad en carbono a más tardar en el 2050¹⁰.

En Chile, el consumo final de la energía depende en dos terceras partes de los combustibles fósiles, siendo el 99% de este consumo procedente de fuentes fósiles importadas. El sector del transporte en Chile es responsable del 33% del consumo energético, de los cuales el 12,9% corresponde al sector aéreo, representando aproximadamente un 4,3% del consumo energético nacional.

En términos de emisiones GEI la aviación civil a nivel nacional, tomando como referencia el 2019 (año pre-COVID) representan el 7,3% del sector transporte y el 1,9% total del país. A nivel global la contribución de Chile es de alrededor del 0,3%¹¹.

Debido a la escasez de reservas de combustibles fósiles y a su abundante potencial en fuentes de energía renovable, Chile se ha posicionado como un líder mundial en el desarrollo de energías renovables, especialmente solar y eólica. El país posee un potencial energético de 1.800 GW, equivalente aproximadamente a 70 veces la demanda energética nacional¹². Estos recursos naturales permiten a Chile

¹⁰ MMA-NDC (2020)

¹¹ Estadísticas de la Agencia Internacional de Energía (2010)

¹² Invest Chile, Información Clave hidrógeno verde en Chile (2024)

generar energías renovables a los precios más competitivos a nivel global y tener la oportunidad de producir hidrógeno verde a un costo nivelado de los más bajos del mundo en el año 2030¹³.

Adicionalmente, Chile dispone de un gran potencial de generación de biomasa gracias a su abundancia de residuos provenientes de actividades forestales, agrícolas o por la recogida de residuos municipales, los cuales son altamente susceptibles de ser transformados en combustibles sostenibles.

La visión de las autoridades y reguladores nacionales con respecto al sector aeronáutico es aprovechar esta oportunidad para posicionarse como un gran productor de combustibles de aviación sostenibles, considerando los siguientes factores:

- La aviación es un sector donde sus emisiones son difíciles de mitigar.
- En Chile, la mayor parte del petróleo crudo utilizado para su refinación proviene del exterior. En lo que respecta a combustibles de aviación, Chile es principalmente un importador donde un 51% del queroseno de aviación es importado. En este contexto la producción propia de SAF representa una oportunidad para reducir esta dependencia del exterior y avanzar hacia una mayor autonomía energética.
- Los SAF son la mejor opción para conseguir la meta de descarbonización del sector en el país¹⁴.
- El gran potencial de los recursos naturales chilenos para la producción de SAF, tanto como derivado del hidrógeno como por otras rutas de producción a través de biomasa.

En este marco, en cumplimiento de sus objetivos y metas para alcanzar la neutralidad en emisiones en el año 2050, Chile reafirma su compromiso con la descarbonización del sector aeronáutico y el desarrollo de combustibles sostenibles con dos hitos importantes (ver Figura 5):

1. El lanzamiento del programa “Vuelo Limpio” en noviembre de 2024, con el objetivo de promover la colaboración entre el sector público y privado en el desarrollo de SAF.
2. La presentación en marzo de 2022 en la OACI del “Plan de Acción para Reducir las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Provenientes de la Aviación Civil Internacional”.
3. Hoja de Ruta SAF 2050 (abril 2024), cuyo objetivo es construir una estrategia para la producción y comercialización de SAF, que involucre a todos los actores públicos y privados con la meta de alcanzar el 50% de consumo de SAF en el 2050.



Figura 5. Compromiso de Chile para la descarbonización de la aviación.

PRINCIPALES HALLAZGOS

Chile, es reconocido como uno de los líderes mundiales en el desarrollo de energías renovables y cuenta con un destacado potencial para la generación de biomasa, derivado de su abundancia de residuos provenientes de actividades forestales, agrícolas y de la gestión de residuos municipales. Este panorama, sumado al firme

¹³ MEN, Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (2020)
¹⁴ Ver Figura 4, extraída del Informe de factibilidad de la OACI un objetivo ambicioso a largo plazo, LTAG Report (2020)

compromiso del país con el cumplimiento de los objetivos climáticos globales, posicionaría estratégicamente a Chile como un actor clave para impulsar la producción y el uso de combustibles sostenibles para la aviación.

Chile se establece como un referente en América Latina por sus compromisos climáticos¹⁵. Donde, además, ha alineado sus estrategias con las iniciativas globales destinadas a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, demostrando su compromiso con los objetivos climáticos internacionales, incluidos aquellos del sector de aviación. En este contexto, el programa Vuelo Limpio, que establece una política nacional e integradora con la industria de aviación para alcanzar la neutralidad climática y la presentación del Plan de Acción de Chile para Reducir las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Provenientes de la Aviación Civil Internacional ante la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) representan un avance significativo en la transición hacia un sector de aviación más sostenible dentro del país.

En relación con sus recursos, su liderazgo en el desarrollo de energías renovables le permite generar energía limpia a costos altamente competitivos. Esta ventaja posiciona a Chile como un potencial productor de hidrógeno verde a un costo esperado muy competitivo, un insumo esencial para la producción de SAF mediante la ruta denominada “Power to Liquid” (PtL), que recibe también las denominaciones de e-fuels o combustibles sintéticos.

Por otra parte, Chile dispone de extensas fuentes de biomasa, provenientes principalmente de los subproductos y residuos de su industria forestal, así como de desechos agrícolas, urbanos e industriales. Estas materias primas se presentan clave para la producción de SAF a través de tecnologías de “Biomass to Liquid” como la gasificación.

La apuesta de Chile por el liderazgo en la producción del hidrógeno verde, siendo uno de los pilares principales para cumplir sus objetivos de descarbonización, ha supuesto el desarrollo de líneas estratégicas interministeriales, metas nacionales, apoyo financiero, alianzas público-privadas y promoción de centros regionales de producción. Este gran avance, refuerza la oportunidad que representa Chile para establecer una estrategia para el desarrollo de SAF, aprovechando los vínculos existentes con la producción de hidrógeno verde.

En relación con la biomasa, el aprovechamiento de los residuos disponibles en Chile representa una alternativa de gran valor para la producción de SAF. La escala y disponibilidad de estos recursos refuerzan su viabilidad como materia prima estratégica para este propósito.

En este contexto, el sector forestal, una de las principales actividades económicas de Chile, desempeña un papel central. Con una extensa superficie de bosque forestal, donde 2,4 millones corresponden a plantaciones forestales productivas, el país ha desarrollado una industria robusta en la producción de madera, celulosa y papel, destacándose como uno de los líderes en Sudamérica. En este sector, la producción de SAF ofrece la oportunidad de gestionar y aprovechar de manera sostenible los residuos generados por esta industria, incluidos aquellos provenientes de las tareas de saneamiento y limpieza sostenible de toda la extensión de sus bosques forestales.

¹⁵ UNDP - Plan de Acción Nacional de Cambio Climático de Chile (2020)

El aprovechamiento de estos recursos no solo impulsa la transición hacia una aviación más sostenible, sino que también contribuye a la valorización de residuos o subproductos, generando beneficios económicos y medioambientales adicionales para el país.

Por otro lado, la industria termoeléctrica basada en biomasa forestal y agrícola en Chile ofrece una infraestructura integral para el manejo de este recurso, que incluye procesos de recolección, distribución, pretratamiento y almacenamiento. Esto facilita el uso eficiente de la biomasa como materia prima en la producción de SAF. Alternativamente, la producción de CO₂ biogénico derivado de la biomasa podría constituir un insumo relevante para la fabricación de SAF a través de la ruta Power to Liquid (PtL), lo que refuerza aún más el potencial de este recurso.

En cuanto a la biomasa proveniente de los residuos destinados a vertederos o depósitos sanitarios, la tasa de recuperación o reciclaje de estos materiales en Chile es muy baja. Aunque la reciente entrada en vigor de la Ley REP (Responsabilidad Extendida del Productor) facilitará un aumento progresivo de la tasa de recuperación, la potencial transformación de estos residuos en SAF representa una gran oportunidad para incrementar valorización o eliminación y, al mismo tiempo, minimizar su impacto ambiental.

El desarrollo de plantas de gasificación para la producción de SAF, aprovechando los niveles de escala actuales en Chile, permite no solo procesar los residuos que concentran una mayor masa crítica, sino que también es una solución para aquellas otras materias primas o residuos de origen industrial o agrícola que, aunque en menor escala, pueden mezclarse eficazmente en los procesos o plantas de gasificación que potencialmente sean desarrolladas.

Como se ha indicado, se pone de manifiesto el potencial de producción del SAF en Chile a partir de sus recursos naturales y del desarrollo de la ruta tecnológica “Power to Liquid” a partir de hidrógeno verde y “Biomass to Liquid” mediante el procesamiento de la biomasa. Adicionalmente, existiría una oportunidad adicional, para casos concretos, de hibridar ambas tecnologías, “Power to Liquid” y “Biomass to Liquid”. Al integrar estas dos rutas de producción, Chile puede generar sinergias que optimicen el uso de sus recursos naturales y mejoren la eficiencia en la producción del SAF.

Por otro lado, el impacto directo que el SAF puede tener en el crecimiento industrial y económico multisectorial de Chile es significativo, especialmente en el desarrollo de su cadena de valor, que incluye el acceso a materias primas e insumos, generación energética, producción y distribución. Además, el SAF tiene el potencial de influir en otros sectores clave del país. Un ejemplo podría ser en el sector minero, donde su conexión con las plantas desalinizadoras, las energías renovables, el hidrógeno, los residuos generados y los objetivos de descarbonización puede abrir nuevas oportunidades para el desarrollo de proyectos de SAF.

Un actor clave en la implementación del SAF en Chile será la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP), debido a varios factores estratégicos. En primer lugar, la empresa cuenta con infraestructuras logísticas estratégicas que facilitan la potencial producción y distribución de este combustible. Además, ENAP participa activamente en proyectos de hidrógeno y sus derivados, lo que refuerza su capacidad para integrarse en la cadena de valor del SAF.

En relación con su actividad actual de refino, ENAP tiene la oportunidad de producir SAF en sus refinerías mediante el proceso de coprocesado con materias primas como el aceite de cocina usado (UCO) u otras materias primas oleaginosas, lo que podría constituir una de las vías más ágiles y competitivas para la producción de SAF en el país en el corto plazo.

ENAP también, por su amplia experiencia y capacitación en la operación de procesos de refinación, puede jugar un papel importante para transferir ese conocimiento para su aplicación a determinadas áreas de las nuevas rutas para la producción del SAF.

A nivel nacional, la producción del SAF contribuirá a reducir la dependencia de productos fósiles importados, fomentando una mayor autonomía energética en Chile. Esta nueva industria generará un impacto significativo en el ámbito económico, industrial y social, permitiendo impulsar al país como un referente en la producción de combustibles sostenibles.

Entre las ventajas que traerá consigo este desarrollo, destacan:

- El crecimiento del SAF actuará como motor para el desarrollo de diversas industrias auxiliares relacionadas.
- Promoverá el avance tecnológico, impulsando el desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas.
- Creación de nuevas oportunidades sectoriales vinculadas a subproductos, residuos e insumos, como la industria de gestión de residuos, forestal, agrícola y el sector energético (en especial en energías renovables y producción de hidrógeno), entre otros.
- Beneficios medioambientales por las reducciones de emisiones del SAF y su contribución a eliminar y aprovechar residuos provenientes de fuentes forestales, agrícolas, urbanas e industriales.

En este horizonte prometedor, Chile deberá enfrentar ciertos desafíos para facilitar el despliegue de plantas de SAF y su creciente demanda. Entre los principales retos se encuentran:

- El fortalecimiento del sistema eléctrico nacional para garantizar que disponga de la capacidad y de las infraestructuras necesarias para transportar la energía renovable generada en los puntos de producción hasta las ubicaciones óptimas para la fabricación de SAF o sus insumos.
- Desarrollar un marco normativo que agilice la implementación de proyectos de SAF.

Un futuro desarrollo de un plan de acción integral permitirá establecer una estrategia coherente que aborde la planificación y un esquema regulatorio necesarios para impulsar la producción y uso de combustibles de aviación sostenibles en Chile. Este plan debe involucrar a todos los actores clave, tanto públicos como privados, asegurando la colaboración y alineación de esfuerzos para garantizar su éxito.

En este contexto, Chile dio un paso significativo al publicar en abril de 2024, la “Hoja de Ruta SAF 2050”, una iniciativa promovida por la Agencia de Sostenibilidad Energética, el Ministerio de Energía y el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, a través del programa Vuelo Limpio. El objetivo de esta hoja de ruta es establecer una política nacional e integradora que permita al país alcanzar las metas globales de carbono neutralidad que se han asumido para la industria de la aviación.

La Hoja de Ruta (ver Figura 6) busca sentar las bases para el desarrollo del SAF en Chile, promoviendo la inversión, la innovación tecnológica, y la colaboración intersectorial. Este esfuerzo estratégico tiene como propósito convertir a Chile en un sólido productor de SAF, enfocado adicionalmente a que el país no solo cumpla con sus compromisos climáticos, sino que también aproveche las oportunidades económicas y sociales asociadas a la transición hacia una aviación más sostenible.



Figura 6. Hoja de Ruta SAF 2050.

El despliegue de políticas e incentivos adecuados, junto con el aprovechamiento eficiente de los recursos naturales y materias primas disponibles, será clave para que Chile logre superar los desafíos que enfrenta en el camino hacia una aviación más sostenible. Este enfoque integral permitirá al país consolidarse entre los grandes productores a nivel internacional de combustibles de aviación sostenibles.

IMPLICACIONES POLÍTICAS

Si bien se ha confirmado la viabilidad técnica de los SAF, lograr su disponibilidad y producción rentable sigue siendo un desafío crítico a nivel global. La producción de SAF está limitada por una serie de barreras, como los costos de producción significativamente más altos en comparación con el queroseno convencional; la limitada infraestructura existente para su producción, así como de materias primas; y la percepción de altos riesgos y costos para financiar la infraestructura habilitante de SAF.

Ante tales barreras, se requiere una intervención política para desarrollar la producción de SAF a escala industrial. En aquellos estados del mundo donde se ha iniciado la producción de SAF, existe un marco de políticas de apoyo específico. Debido a las diferencias climáticas, los sistemas agrícolas, los recursos y los factores económicos, las oportunidades para la producción de SAF son únicas en cada estado. Las posibles barreras políticas, la estructura regulatoria existente y la economía también son únicas en cada estado. Por lo tanto, no existe un único camino globalmente aplicable para la implementación exitosa de políticas de SAF. Más bien, será necesaria una estrategia meditada y personalizada para el caso de Chile.

La OACI publicó en 2024 un Documento de Orientación sobre Políticas¹⁶ con el objeto de servir de referencia para sus Estados miembros que buscan desarrollar la producción de SAF o parte de la cadena de suministro de SAF, como la producción de materia prima. Se ofrece como introducción y guía básica sobre los tipos de mecanismos de políticas y sus impactos. Incluye ejemplos de enfoques de políticas de SAF que se utilizan y consideran en todo el mundo. También proporciona enlaces a recursos adicionales que pueden resultar útiles. Es un recurso para considerar qué posibles instrumentos de política podrían contribuir a superar las barreras y catalizar la producción de SAF en un Estado interesado.

En el contexto nacional, para establecer las bases de una futura política para el apoyo en la comercialización y producción del SAF, en el marco del programa Vuelo Limpio, se llevó a cabo en noviembre de 2024 el lanzamiento de la primera versión del Acuerdo Público-Privado SAF 2024, una iniciativa que busca promover la colaboración entre el sector público y privado en el desarrollo de Combustibles de Aviación Sostenibles (SAF) en Chile, como parte de la implementación de la Hoja de Ruta SAF.

¹⁶ ICAO, Guidance on SAF Policies – versión 3 (2023)

La iniciativa, impulsada por la JAC del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, el Ministerio de Energía y la Agencia de Sostenibilidad Energética (Agencia SE), puede ser un contexto adecuado para analizar las recomendaciones de dicho Documento de Orientación de la OACI y valorar las políticas que mejor puedan adaptarse en el caso de Chile para el impulso nacional de los SAF.

El próximo “Plan Sectorial de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático del Sector Transporte”, establece para el sector aéreo una serie de metas, medidas y acciones encaminadas a apoyar el cumplimiento de los requisitos establecidos por la Ley Marco del Cambio Climático y con los objetivos sectoriales definidos en la Estrategia Climática de Largo Plazo.

Este Plan Sectorial asigna a La Junta Aeronáutica Civil (JAC) dependiente del MTT “la responsabilidad de la identificación de regulación habilitante para propiciar el desarrollo adecuado de las actividades asociadas a la industria de los SAF, la determinación de brechas existentes en Chile para monitorear y cumplir estándares internacionales para certificar materias primas y sostenibilidad de los SAF y la realización de instancias de difusión para informar la importancia y avance de los SAF”.

RUTAS TECNOLÓGICAS Y PLAZO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SAF

De acuerdo con la capacidad efectiva de producción de SAF y el compromiso de Chile con sus metas nacionales e internacionales, el país podría estar en condiciones de establecer objetivos para su uso a partir de 2030.

Este estudio identifica un alto potencial para el desarrollo de al menos cinco rutas tecnológicas en Chile para la producción de SAF, considerando los recursos naturales, las materias primas e insumos disponibles, así como la configuración industrial del país (ver Figura 7). Todas estas rutas son compatibles entre sí y presentan distintos plazos de implementación, lo que permitirá alcanzar los objetivos en el corto, mediano y largo plazo.

Las cinco rutas identificadas

1. Coprocesado

- Potencialmente primera tecnología en poder ser operativa en la Refinería de ENAP (con anterioridad al año 2030).
- Principal materia prima disponible para este proceso es el aceite de cocina usado (UCO).

2. Power to Liquid - Fischer-Tropsch

- Aprovechamiento del potencial para la generación de energías renovables y desarrollo del hidrógeno verde para la producción de combustibles sintéticos a través de esta ruta.
- En el medio y largo plazo se contempla como la ruta con mayor capacidad de producción.
- El principal desafío para su despegue es su conexión con fuentes puntuales de CO₂ y la conexión al sistema eléctrico.

3. Gasificación Fischer-Tropsch

- Residuos forestales
 - Gran disponibilidad de residuo con alta eficiencia en esta tecnología.
 - Participación de actores conectados con empresas de papel y celulosa y producción de electricidad a través de biomasa.
- Residuos agrícolas

- El principal residuo con una escala suficiente es la paja del trigo (especialmente en la región de Araucanía).
 - Se pueden incorporar en el mismo proceso, otros residuos con menor escala (residuos de otros cereales, podas o del sector frutícola).
 - Conecta también con empresas termoeléctricas de biomasa.
 - Residuos urbanos e industriales
 - Existencia de grandes vertederos, especialmente en la región Metropolitana.
 - Se presenta como una solución para resolver el problema de la gestión de los Residuos Sólidos Municipales (RSM) y el daño medioambiental generado por los vertederos.
4. Alcohol-to-Jet
- Oportunidad de obtención de alcoholes de la paja del trigo y/o residuo forestal.
 - Requiere mayor madurez tecnológica.
 - Se contempla como una opción a medio plazo, donde las materias primas podrán ser compatibles con la tecnología de gasificación.
5. Metanol-to-Jet
- No es una ruta tecnológica aún aprobada para la producción de SAF, pero se espera su incorporación a los estándares técnicos internacionales de certificación (ASTM D7566) en un corto plazo.
 - Esta ruta está ligada al proyecto Haru Oni liderado por HIF en la Región de Magallanes, con un horizonte para producir SAF a través de esta tecnología a partir del año 2030.
 - Condicionado al éxito del proyecto Haru Oni, potencialmente sería la segunda ruta en entrar en funcionamiento en Chile (después de la ruta de “coprocesado”).

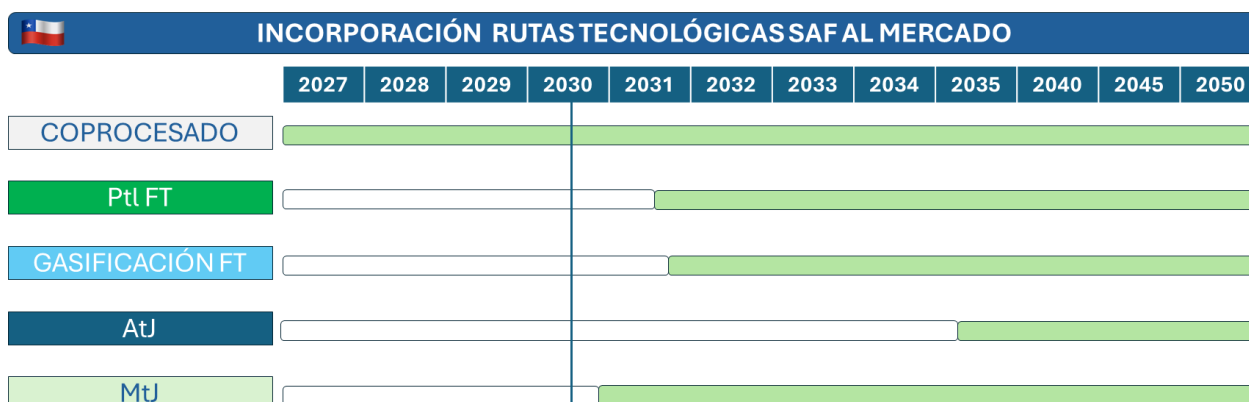


Figura 7. Incorporación de rutas Tecnológicas SAF al Mercado de Chile.

La Tabla 1 resume los desafíos, oportunidades y potenciales plazos de implementación identificados para las principales rutas tecnológicas de producción de SAF.

Tabla 1. Desafíos, oportunidades y plazos de implementación de las principales rutas tecnológicas de producción de SAF.

RUTA	IMPLEMENTACIÓN	OPORTUNIDADES	DESAFÍOS
Coprocesado	Corto Plazo	Bajas inversiones Tecnología disponible (ENAP)	Baja disponibilidad de materias primas Ajuste corto plazo regulación técnica uso SAF
HEFA	No prevista	Alta Madurez tecnológica	Baja disponibilidad de materias primas
PtL FT	Medio Plazo	Energía Renovable competitiva Potencia el desarrollo del H ₂ verde Autonomía disponibilidad insumos	Alto nivel de inversión y coste energético Restricciones del sistema eléctrico Conexión con fuentes de CO ₂
Gasificación FT	Medio Plazo	Disponibilidad de residuos: <ul style="list-style-type: none"> ➤ RSM ➤ Residuos forestales ➤ Residuos agrícolas (cereales) Eliminación daños ambientales Bajo coste de las materias primas	Madurez tecnológica gasificación Requiere ajustes regulatorios para uso de SAF Alto nivel de inversión de capital
Alcohol to Jet	Medio/ Largo Plazo	Futuro complemento con otras rutas	Explorar materias primas con azúcares Baja producción de alcoholes / etanol
PtL Metanol to Jet	Medio Plazo	Desarrollo proyecto HIF Magallanes Energía renovable competitiva	Alto nivel de inversión y coste energético Conexión con fuentes de CO ₂ Tecnología no certificada

OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS

La producción de los SAF se presenta como la alternativa más viable para la descarbonización del sector aeronáutico. Su impulso no solo fomentará el desarrollo industrial y acelerará la transición energética, sino que también generará un impacto multisectorial, actuando como motor para diversas industrias auxiliares, con un alto potencial de creación de valor económico, social y ambiental.

Sin embargo, al tratarse la producción y uso del SAF una industria innovadora, su desarrollo enfrenta importantes desafíos tecnológicos, además de la necesidad de establecer un entorno regulatorio, logístico y comercial que facilite su producción y distribución a escala.

En este contexto, Chile ofrece condiciones particularmente favorables para el desarrollo local de SAF. No obstante, también debe abordar una serie de retos clave que permitan consolidar y expandir esta industria emergente (ver Tabla 2).

Tabla 2. Resumen de las oportunidades y desafíos que enfrenta la producción de SAF en Chile

Oportunidades	<ul style="list-style-type: none"> Chile es uno de los países con mayor potencial en el mundo para generar energías renovables, permitiendo conectar con la producción de SAF a través principalmente de la ruta “Power to Liquid”. El desarrollo de una estrategia nacional que posiciona al hidrógeno verde como un pilar clave en la transición energética de Chile, impulsa la instalación de plantas de producción de hidrógeno, creando una oportunidad para la elaboración de SAF. Esto no solo favorece la viabilidad comercial del hidrógeno, sino que también permite el desarrollo de proyectos de SAF a gran escala y a costos muy competitivos en relación con los referentes internacionales. ENAP puede desempeñar un papel clave en el desarrollo potencial del SAF por aspectos tales como su capacidad del refinado de aceites vegetales o el aceite de cocina usado, su participación en proyectos de hidrógeno y
----------------------	---

	<p>derivados, las infraestructuras logísticas que dispone, su capacitación en la operación y mantenimiento en la producción de combustibles, así como en el conocimiento de los aspectos regulatorios relativos a la distribución, calidad o certificación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La integración del SAF en la matriz de producción energética refuerza la menor dependencia de combustibles fósiles y la autonomía energética del país. • Reconversión de las plantas termoeléctricas de carbón en plantas para la producción de SAF aprovechando las infraestructuras existentes. • Convertirse, por su entorno favorable, en la opción más viable para la implementación de nuevas tecnologías y ser un potencial país pionero para su desarrollo. • Incorporar en la economía el desarrollo de un nuevo y potente sector industrial, trayendo un crecimiento social, económico y técnico. • Atracción de tecnología del exterior y crecimiento interno en la Investigación y Desarrollo.
Desafíos	<ul style="list-style-type: none"> • La diversificación geográfica, industrial y de los recursos disponibles en Chile requerirá desarrollar políticas y estrategias nacionales que tengan en consideración las particularidades regionales. • Desarrollar un marco regulatorio que contemple todo el desarrollo normativo para la certificación, producción, distribución y comercialización del SAF. • Aunque existen esfuerzos para simplificar estos procesos, la complejidad regulatoria es un desafío identificado por las empresas e inversores que buscan desarrollar proyectos en el país. • Eliminar barreras para la obtención de permisos, licencias o concesiones que puedan dificultar el emprendimiento, el desarrollo tecnológico y la ralentización de los proyectos. • Desarrollar instrumentos para promocionar la investigación y desarrollo de tecnologías para la utilización de materias primas disponibles y la producción de SAF. • Impulsar la promoción para la participación de las entidades procedentes de diversos sectores involucrados en la gestión o generación de materias primas, insumos, energía, distribución y otros recursos o servicios relacionados con la producción y suministro del SAF. • Desarrollar y aprovechar recursos hídricos para la producción de SAF, especialmente aquellos derivados del hidrógeno. La producción de SAF puede actuar como un catalizador para optimizar las plantas desalinizadoras existentes y promover la creación de otras nuevas. • Asegurar la accesibilidad a materias primas ya disponibles tales como los aceites de cocina usados, que permitan la producción de SAF en el corto plazo. • Construir un esquema de incentivos capaz de mitigar la diferencia de precio del SAF respecto al combustible convencional y estimular la producción y la demanda.

	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer mandatos u objetivos progresivos para el uso del SAF de una forma eficiente, alineado con la capacidad futura de producción y sin impactar en el crecimiento y en la conectividad de la aviación. • Desarrollar un plan de acción nacional que defina las medidas necesarias, estableciendo su cronograma de implementación y las entidades responsables, con el objetivo de impulsar el desarrollo, la producción y la comercialización de combustibles sostenibles para la aviación. • Disponer de un sistema eléctrico robusto, conectado y optimizado para un mayor despliegue y desarrollo de aquellas plantas de producción de un SAF que, por su tipología, requiere estar conectadas al mismo.
--	---

CONTENIDOS

PRÓLOGO	4
AGRADECIMIENTOS	5
ALCANCE Y METODOLOGÍA	6
ALCANCE	6
METODOLOGÍA	7
RESUMEN EJECUTIVO	9
AVIACIÓN INTERNACIONAL	9
CONTEXTO CHILE	10
PRINCIPALES HALLAZGOS	11
IMPLICACIONES POLÍTICAS	15
RUTAS TECNOLÓGICAS Y PLAZO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SAF	16
ABREVIACIONES Y ACRÓNIMOS	25
LISTA DE FIGURAS.....	29
LISTA DE TABLAS.....	31
SECCIÓN 1. INFORMACIÓN ESPECÍFICA DEL PAÍS.....	32
1.1 GEOGRAFÍA, CLIMA Y SOCIEDAD.....	32
1.1.1 Vulnerabilidad con el Cambio Climático	33
1.1.2 Disposición territorial.....	33
1.2 CONTEXTO ECONÓMICO	33
1.2.1 Perspectiva – OCDE	34
1.2.2 Producto Interno Bruto (PIB)	34
1.2.3 Producto Interno Bruto (PIB) Regional.....	34
1.3 CHILE Y SU COMPROMISO INTERNACIONAL CON EL CAMBIO CLIMÁTICO.....	35
1.4 ENERGÍA.....	37
1.4.1 Energía Renovable.....	37
1.4.2 Generación Termoeléctrica.....	39
1.4.3 Sistema de Transporte Eléctrico	41
1.4.4 Empresa Nacional del Petróleo (ENAP).....	43
1.4.5 El Potencial del Hidrógeno	46
1.5 COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN Y RUTA HACIA EL SAF EN CHILE	49
1.5.1 Chile – Introducción al SAF.....	51
1.5.2 Distribución y Comercialización de los Combustibles de Aviación	53

1.5.3	Proyección de Demanda por Combustibles de Aviación y SAF	54
1.5.4	La Certificación del SAF Como Combustible de Aviación	56
1.5.5	Aproximación Regional	59
SECCIÓN 2. EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE CONVERSIÓN Y ANÁLISIS DE LAS MATERIAS PRIMAS		68
2.1	PROCESOS DE CONVERSIÓN – CERTIFICADOS Y EN EVALUACIÓN	68
2.1.1	La Diversificación Tecnológica.....	71
2.1.2	Criterios de Sostenibilidad	72
2.1.3	Evaluación de Procesos y Materias Primas Asociadas	74
2.2	COPROCESADO	74
2.3	HEFA-SPK	77
2.4	PtL FISCHER-TROPSCH (FT)	80
2.4.1	La Ruta Power to Liquid	80
2.4.2	Oportunidades y Desafíos de la Ruta PtL Para Chile	82
2.4.3	Localización de Plantas para la Producción de SAF PtL en Chile.....	84
2.4.4	Análisis de Fuentes Puntuales de CO ₂ en Chile	85
2.4.5	Otras Oportunidades Futuras para Captura de CO ₂ en Chile.....	90
2.4.6	Disponibilidad Agua en Chile.....	91
2.4.7	Principales Desafíos para la Implementación de SAF PtL En Chile.....	93
2.4.8	Aproximación Indicadores Económicos	95
2.5	GASIFICACIÓN FT	96
2.5.1	Proceso Gasificación + FT (Gft) Para La Producción De SAF.....	96
2.5.2	Residuos Sólidos Municipales e Industriales con Destino Vertedero	97
2.5.3	Conclusiones	106
2.5.4	Residuos Forestales.....	106
2.5.5	Residuos de la Paja / Trigo	108
2.6	ALCOHOL TO JET (ATJ)	111
2.6.1	Tecnología AtJ	111
2.6.2	Disponibilidad de Materias Primas Susceptibles del Proceso AtJ	113
2.6.3	Oportunidades y Desafíos – Conclusión.....	114
2.7	METANOL TO JET (MtJ).....	114
2.7.1	Tecnología MtJ	114
2.7.2	Oportunidades y Desafíos – Conclusiones	115
2.8	OTROS APROVECHAMIENTOS	116
2.8.1	Algas	116

2.9	RESUMEN DE LAS MATERIAS PRIMAS EVALUADAS.....	116
2.10	MODELO DE SIMULACIÓN DE FUTURA DEMANDA DE SAF EN CHILE	117
SECCIÓN 3. APOYO A LA EJECUCIÓN E IMPLEMENTACIÓN		122
3.1	APOYO A LA IMPLEMENTACIÓN	122
3.1.1	Apoyo a la Implementación del SAF Vinculado al Impulso del del Hidrógeno	123
3.1.2	Desarrollo de una Estrategia y Política Nacional de SAF.....	123
3.1.3	Identificación de Instrumentos para la Promoción del SAF	125
3.1.4	Participación de Gobiernos Regionales.....	128
3.1.5	Apoyo Internacional.....	129
3.2	FINANCIACIÓN	130
3.2.1	Incentivos Económicos Regulatorios o Políticos	130
3.2.2	Financiación Pública	132
SECCIÓN 4. HOJA DE RUTA Y PLAN DE ACCIÓN.....		135
4.1	POLÍTICA Y MARCO REGULATORIO	135
4.1.1	CONTEXTO MARCO REGULATORIO.....	135
4.1.2	Desarrollo Normativo Ágil.....	135
4.1.3	Metas Actuales Para la Descarbonización del Sector Aéreo.....	136
4.1.4	Fundamentos Futuro Esquema Regulatorio y Objetivos del SAF.....	138
4.1.5	Principios Para un Marco Regulatorio Sobre SAF	139
4.1.6	Potenciales Mecanismos / Mandatos en el Uso Progresivo del SAF	140
4.1.7	Otros Mandatos Internacionales	141
4.2	FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO.....	141
4.3	PLAN DE ACCIÓN	142
4.3.1	ACCIONES RECOMENDADAS Y PLAZO DE IMPLEMENTACIÓN	143
REFERENCIAS Y FUENTES CONSULTADAS		152
ANEXO 1 – PARTICIPANTES Y COLABORADORES		155
ANEXO 2 – TALLER DE TRABAJO		158
ANEXO 3 - MAPA REGIONAL DE CHILE		160
ANEXO 4 – CHILE PERSPECTIVA OCDE		161
ANEXO 5 – PRODUCTO INTERNO BRUTO REGIONAL Y SECTORIAL.....		164
ANEXO 6 – POTENCIA INSTALADA DE ENERGÍA EN CHILE		166
ANEXO 7 – LA ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN CHILE		167
ANEXO 8 – ÓRGANOS DE GOBIERNO DEL SISTEMA ELÉCTRICO		169
ANEXO 9 – PROYECTOS E INICIATIVAS HIDRÓGENO VERDE		170

ANEXO 10 – PRINCIPALES ÓRGANOS DE GOBIERNO DE LA AVIACIÓN EN CHILE.....172

ANEXO 11 - CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD CORSIA.....173

ANEXO 12 – OTRAS OPORTUNIDADES INNOVADORAS PARA LA CAPTURA DE CO2 EN CHILE177

ANEXO 13 – PLANTAS DESALINIZADORAS EN OPERACIÓN.....179

ANEXO 14 – PROJECT LIGHTHOUSE – LOCALIZACIONES.....180

ANEXO 15 – INCENTIVOS INTERNACIONALES181

ANEXO 16 - BASES REGULATORIAS EN CHILE CON IMPACTO EN EL DESARROLLO DEL SAF182

ABREVIACIONES Y ACRÓNIMOS

ACADES	Asociación Chilena de Desalación y Reúso
ACERA	Asociación Chilena de Energías Renovables y Almacenamiento
ACT-SAF	Assistance, Capacity-building and Training for Sustainable Aviation Fuels (Asistencia, Creación de Capacidad y Formación para Combustibles de Aviación Sostenibles)
AgenciaSE	Agencia de Sostenibilidad Energética
AIE	Agencia Internacional de Energía
AMB	Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez
ANID	Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo
APL	Acuerdos de Producción Limpia
ASCC	Agencia de Sostenibilidad y Cambio Climático
ASTM	American Society for Testing and Materials
ATB	Air Transport Bureau – ICAO
ATF	Aviation Turbine Fuels (Combustibles de Turbina de Aviación)
AtJ	Alcohol-to-Jet (Alcohol a Jet)
BCN	Biblioteca del Congreso Nacional de Chile
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BNE	Balance Nacional de Energía
BtL	Biomass to Liquid (Biomasa a Líquido)
CAAF/3	Third ICAO Conference on Aviation and Alternative Fuels (Tercera Conferencia de la OACI sobre Aviación y Combustibles Alternativos)
CAEP	Committee on Aviation Environmental Protection – ICAO (Comité sobre la Protección de medio Ambiente en la Aviación – OACI)
CCS	Carbon Capture Storage (Captura y Almacenamiento de Carbono)
CCU	Carbon Capture Utilization (Captura y Utilización de Carbono)
CDI	Capacity Development and Implementation Bureau – ICAO (Oficina de Desarrollo de Capacidades e Implementación – OACI)
CDR	Carbon Dioxide Removal (Eliminación de Dióxido de Carbono)
CEN	Coordinador Eléctrico Nacional
CHJ	Catalytic Hydrothermolysis Jet
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático
CNE	Comisión Nacional de Energía
COP26	Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2021
CORFO	Corporación de Fomento de la Producción
CORSIA	Compensación y reducción de Carbono para la Aviación Internacional
CSR	Combustible Sólido Recuperado
DAC	Direct Air Capture (Captura Directa de Aire)
Def Stan	UK Defence Standard (Norma de Defensa del Reino Unido)
DGAC	Dirección General de Aeronáutica Civil
dLUC	Cambio directo del uso de la tierra
DME	Dimetil éter
DAP	Dirección de Aeropuertos
DOC	Direct Ocean Capture (Captura Directa en Océanos)
E&P	Exploration and Production (Exploración y Producción)
EASA	European Union Aviation Safety Agency (Agencia de la Unión Europea para la Seguridad Aérea)
ECLP	Estrategia Climática a Largo Plazo
EDELMAG	Empresa Eléctrica de Magallanes
EE. UU.	Estados Unidos
EFCC	Estrategia financiera frente al cambio climático
E-Gasolina	Electro-gasolina o gasolina sintética
E-GL	Electro gas licuado o gas licuado sintético

EI	Energy Institute
EIA	U.S. Energy Information Administration
E-Metanol	Electro-metanol o metanol sintético
ENAP	Empresa Nacional del Petróleo
ENH2V	Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde
ERNC	Energías Renovables No Convencionales
FCh	Fundación Chile
FEDEFruta	Federación de Frutas de Chile
FEED	Front-End Engineering Design
FMI	Fondo Monetario Internacional
FT	Fischer-Tropsch
FT-SPK	Fischer-Tropsch hydroprocessed synthesized paraffinic kerosene
GdO	Garantías de Origen
GEI	Gases Efecto Invernadero
GFT	Gasification Fischer-Tropsch
GHG	Greenhouse Gas Emissions (Gases de Efecto Invernadero)
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
GRANSIC	Gran Sistema Colectivo de Gestión
H₂Chile	Asociación Chilena de Hidrógeno
H₂V	Hidrógeno Verde
HEFA	Hidrotratamiento de ésteres y ácidos grasos
IATA	Asociación Internacional de Transporte Aéreo
ICAO	International Civil Aviation Organization
IDB	Interamerican Development Bank
IEA	International Energy Agency
ILUC	Induced land-use change (Cambio de Uso de Suelo Inducido)
INGEI	Inventario Nacional Gases Efecto Invernadero
IMD	Institute for Management Development
IMF	International Monetary Fund
INDC	Contribución Determinada a Nivel Nacional Tentativa (Acuerdo de París)
INE	Instituto Nacional de Estadística de Chile
INFOR	Instituto Forestal de Chile
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático)
IRA	Inflation Reduction Act (Ley de Reducción de la Inflación)
IRENA	International Renewable Energy Agency
ISP	Implementation Support Policy
JAC	Junta de Aeronáutica Civil
JIG	Joint Inspection Group (Grupo Conjunto de Inspección)
kt	Miles de toneladas
LCA	Life Cycle Impact Assessment (Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida)
LCAF	Low Carbon Aviation Fuel (Combustible de Aviación Bajo en Carbono)
LCOH	Costo Nivelado del Hidrógeno
LEC	Landfill Emissions Credits (Créditos por Emisiones de Vertederos)
LTAG	Long term global aspirational goal (Objetivo Aspiracional Global a Largo Plazo)
LMCC	Ley Marco de Cambio Climático
LUC	Land-use change (Cambio de Uso de Suelo)
MAS	Medio Ambiente Sostenible
MEN	Ministerio de Energía
MinCiencia	Ministerio de Ciencia Tecnología Conocimiento e Innovación
MINSAL	Ministerio de Salud
MMA	Ministerio de Medio Ambiente
MOP	Ministerio de Obras Públicas
MSW	Municipal Solid Waste (Residuos Sólidos Municipales)

Mt	Millones de toneladas
MtJ	Methanol to Jet (Metanol a Jet)
MTT	Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones
NDC	Nationally Determined Contribution
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
ODEPA	Oficina de Estudios y Políticas Agrarias
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PANCC	Plan de Acción Nacional del Cambio Climático
PELP	Planificación Energética a Largo Plazo
PEN	Política Energética Nacional
PIB	Producto Interno Bruto
PSMyA Energía	El Plan Sectorial de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático del Sector Energía -
PtL	Power to Liquid (Energía a Líquido)
R&C	Refining and Commercialization (Refinación y Comercialización)
REC	Recycling Emission Credits (Créditos por Emisiones de Reciclaje)
RED	Renewable Energy Directive (Directiva de Energías Renovables)
REMA	Reporte del Estado del Medio Ambiente
REP	Responsabilidad Extendida del Productor
RETC	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
RI	Residuos Industriales
RM	Región Metropolitana
RSB	Roundtable on Sustainable Biomaterials
RSD	Residuos Sólidos Domiciliarios
RSDyA	Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables
RSM	Residuos Sólidos Municipales
RWGS	Reverse Water Gas Shift (Reacción de Desplazamiento Inverso de Agua-Gas)
SAE	Sistemas de Almacenamiento de Energía
SAF	Sustainable Aviation Fuels (Combustibles de Aviación Sostenibles)
SAN	Sistema Aeronáutico Nacional
SATF	Synthetic Aviation Turbine Fuel (Combustible Sintético de Turbina de Aviación)
SBC	Synthetic Blend Component (Componente Sintético de Mezcla)
SCS	Sistemas de Certificación de Calidad RSB
SEA	Sistema Eléctrico de Aysén
SEC	Superintendencia de Electricidad y Combustibles
SEIA	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
SEM	Sistema Eléctrico de Magallanes
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SIAB	Sociedad de Inversiones de Aviación
SIN	Sistema Nacional de Inventarios de Chile
SINADER	Sistema Nacional de Declaración de Residuos
SINIA	Sistema Nacional de Información Ambiental
SIP	Synthesized Iso-Paraffins (Synthesized Iso-Paraffins)
SKA	Synthesized Kerosene with Aromatics (Queroseno Sintetizado con Aromáticos)
SKY	Sky Airline
SONACOL	Sociedad Nacional de Oleoductos
SPK	Synthesized paraffinic kerosene (Queroseno Parafínico Sintetizado)
SUBREI	Subsecretaría de Relaciones Económicas e Internacionales
SUBDERE	Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo
TPO	Tire Pyrolysis Oil
TRL	Technology Readiness Level (Nivel de Madurez Tecnológica)
UCO	Used Cooking Oil (Aceite de Cocina Usado)

UE	Unión Europea
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático)
USD	Dólares americanos
WGS	Water Gas Shift (Reacción de Desplazamiento de Gas de Agua)
WRI	World Resources Institute (Instituto de Recursos Mundiales)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aspectos principales del análisis de SAF en Chile.	6
Figura 2. Workshop ACT-SAF 26-27 de noviembre 2024 – Santiago de Chile.	8
Figura 3. Iniciativa de la OACI “Ningún país se queda atrás”	9
Figura 4. Proyección de demanda de SAF según el escenario más ambicioso del LTAG (2044).	10
Figura 5. Compromiso de Chile para la descarbonización de la aviación.	11
Figura 6. Hoja de Ruta SAF 2050.	15
Figura 7. Incorporación de rutas Tecnológicas SAF al Mercado de Chile.	17
Figura 8. Vulnerabilidad al Cambio Climático en Chile, según la Agencia de Sostenibilidad y Cambio Climático (ASCC).	33
Figura 9. Localización Aeropuerto de Santiago.	35
Figura 10. NDC: Escenario de referencia y de carbono neutralidad y presupuesto de emisiones.	36
Figura 11. Generación de Electricidad 2023 – Chile.	38
Figura 12. Matriz Energética Primaria 2021 – Chile.	38
Figura 13. Sistemas Eléctricos de Chile.	42
Figura 14. Ramal eléctrico Kimal-Lo Aguirre.	43
Figura 15. Propiedades de ENAP.	44
Figura 16. Empresa Nacional del Petróleo - Producción de SAF.	46
Figura 17. Impacto del costo del hidrógeno en el costo del SAF.	46
Figura 18. Proyectos en Desarrollo H ₂ Chile.	49
Figura 19. Emisiones GEI Transporte Chile – 2019.	51
Figura 20. Entorno Favorable de Chile para la Producción de SAF.	51
Figura 21. SAF estimado para alcanzar cero emisiones en el 2050.	54
Figura 22. Porcentaje Tráfico Aéreo Chile según recorrido (datos 2019).	55
Figura 23. Proyección de demanda de combustibles de aviación 2050.	56
Figura 24. Cadena de Certificación del SAF.	57
Figura 25. Certificación de Calidad.	57
Figura 26. CORSIA - Principios de sostenibilidad.	58
Figura 27. Region Centro-Sur.	60
Figura 28. Region de Magallanes y Antartica.	62
Figura 29. ENAP - Región de Magallanes.	63
Figura 30. Proyecto Haru Oni – HIF.	64
Figura 31. Region de Antofagasta.	66
Figura 32. Proyecto Volta - Zona portuaria Mejillones – Antofagasta.	66
Figura 33. Complejo Solar Cerro Dominador – Antofagasta.	67
Figura 34. Método coprocesado.	75
Figura 35. Refinería Aconcagua.	76
Figura 36. Proceso Producción Tecnología HEFA.	78
Figura 37. Proceso de producción PtL.	81
Figura 38. Factores Influyentes en la Localización de una Planta SAF-PtL.	85
Figura 39. Criterios- Selección Fuentes de CO ₂	86
Figura 40. Fábrica papelera de FPC en Biobío.	87

Figura 41. Planta de fabricación de pulpa de papel CMPC.	90
Figura 42. WRI - ranking global de indicadores de riesgo relacionado con el agua.....	92
Figura 43. Desafíos para la implementación SAF PtL en Chile.....	95
Figura 44. Proceso de Gasificación Fischer Tropsch.....	96
Figura 45. OCDE - residuos municipales por tipo operación de tratamiento.	98
Figura 46. Residuos Municipales e industriales no peligrosos por Región – 2021.	99
Figura 47. Producción SAF a través de Gasificación de Biomasa.....	108
Figura 48. Planta de Generación eléctrica con Biomasa de Trigo – COMASA.	110
Figura 49. Planta de Bioetanol de 2ª Generación de Raizen en Brasil a través de caña de azúcar.	112
Figura 50. Proceso de producción de Etanol a través de biomasa lignocelulósica.	112
Figura 51. Fases Proceso AtJ.	113
Figura 52. Proceso Producción Metanol y MtJ.	115
Figura 53. % Producción de SAF sobre la Demanda de Combustibles de Aviación en Chile.	120
Figura 54. N.º Plantas de SAF en Chile por Tecnología.....	121
Figura 55. Producción de SAF en Chile por Tecnología.	121
Figura 56. Marco de apoyo para el desarrollo de SAF en Chile.	123
Figura 57. Lo que el SAF requerirá.	124
Figura 58. Papel Transformador del SAF.	125
Figura 59. Apoyo regional al desarrollo de SAF.	128
Figura 60. Políticas internacionales para los combustibles de aviación.	130
Figura 61. Ejes de Acción - Hoja de Ruta de SAF - Vuelo Limpio.	138
Figura 62. Impacto del "tankering" en las emisiones CO ₂	139
Figura 63. Mandatos para la utilización de SAF.	141
Figura 64. Plan de Acción.	143
Figura 65. Mapa regional de Chile.....	160
Figura 66. Simulaciones utilizando el modelo de crecimiento a largo plazo de la OCDE.	161
Figura 67. OCDE: Barreras licencias y permisos.....	162
Figura 68. OCDE - Gasto bruto en I+D, 2019 o último disponible.	162
Figura 69. Sistemas Eléctricos de Chile.	168
Figura 70. Características del Sistema Eléctrico Nacional.	168
Figura 71. Plantas desalinizadoras en operación.	179
Figura 72. Proyecto Lighthouse - localizaciones.....	180
Figura 73. Políticas combustibles sintéticos.	185

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Desafíos, oportunidades y plazos de implementación de las principales rutas tecnológicas de producción de SAF.	18
Tabla 2. Resumen de las oportunidades y desafíos que enfrenta la producción de SAF en Chile	18
Tabla 3. Consumo de Energía en el Sector de la Aviación en Chile.	39
Tabla 4. Hidrógeno oportunidad estratégica para el SAF.	47
Tabla 5. Metas Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde.	48
Tabla 6. Porcentaje misiones GEI Aviación Chile.	50
Tabla 7. Metas de uso futuro del SAF.	52
Tabla 8. Escenarios de proyecciones de consumo de SAF en el 2030 – LTAG.	55
Tabla 9. Procesos de Conversión de SAF aprobados.	69
Tabla 10. CORSIA - Esquemas de Certificación de Sostenibilidad.	73
Tabla 11. Alcance de Instalaciones y Procesos SAF PtL.	81
Tabla 12. Fuentes puntuales de CO ₂ mayores de 100 kt (materia prima / sector).	88
Tabla 13. Fuentes puntuales de CO ₂ mayores de 100 kt por sector.	88
Tabla 14. Peso de los principales parámetros económicos en una planta PtL FT.	95
Tabla 15. Instalaciones operativas de disposición final 2022 en Chile.	102
Tabla 16. Instalaciones de disposición final de mayor tamaño (Fuente: SUBDERE).	102
Tabla 17. Peso de los principales parámetros económicos en una planta GFT.	104
Tabla 18. Chile - Consumo trozos y producción industrial.	107
Tabla 19. Destino energético de la biomasa forestal.	107
Tabla 20. Superficie Ha Cereales Chile 2023/2024.	109
Tabla 21. Superficie Ha cereales región de Araucanía.	109
Tabla 22. Principales materias primas o insumos disponibles para la producción de SAF.	116
Tabla 23. Estimación Demanda Combustible de Aviación.	118
Tabla 24. Volumen Estimado Medio de Producción SAF por Tipo de Tecnología y Planta.	118
Tabla 25. Estimación Despliegue de Plantas de SAF hasta el año 2050.	119
Tabla 26. Estimación Futura de Producción de SAF en Chile.	119
Tabla 27. OACI - Plataforma Finvest Hub.	132
Tabla 28. Proceso y acciones para la implementación de SAF.	143
Tabla 29. Plan de Acción para la producción y el uso del SAF.	144
Tabla 30. Participantes y Colaboradores	155
Tabla 31. PIB Chile Regional.	164
Tabla 32. Porcentaje participación PIB por actividad económico 2023.	165
Tabla 33. Criterios de sostenibilidad CORSIA - Capítulo 1.	173
Tabla 34. Criterios de sostenibilidad CORSIA - Capítulo 2.	174
Tabla 35. Políticas medioambientales de la OACI sobre combustibles de aviación.	181

SECCIÓN 1. INFORMACIÓN ESPECÍFICA DEL PAÍS

1.1 GEOGRAFÍA, CLIMA Y SOCIEDAD

Chile está ubicado a lo largo de la costa occidental del Cono Sur de Sudamérica, entre el sector más alto de la Cordillera de los Andes y el Océano Pacífico. Su morfología geográfica es única: es uno de los países más largos del mundo, con 4.300 km de extensión, pero también uno de los más angostos, con una anchura promedio de sólo 180 km¹⁷.

El país dispone de diversos recursos naturales, especialmente para la producción de energía renovable y disponibilidad de biomasa sostenible que le otorga ventajas significativas para convertirse en un gran productor de SAF, tanto para satisfacer su demanda interna como para la exportación. Este potencial se ve aún más fortalecido por:

- La existencia de una regulación comprometida con la lucha contra el cambio climático.
- Infraestructuras logísticas tanto disponibles como potenciales desarrollos planificados.
- Una industria significativa en proceso de transformación.
- Una creciente concientización social medioambiental entre la ciudadanía.

Adicionalmente, Chile presenta un alto consumo interno de combustible de aviación y, en el futuro, potencialmente de SAF, debido a su ubicación en el extremo sur del continente y a las particularidades de su geografía y relieve. Estas características generan que la mayoría de los vuelos que operan en el país sean de medio y largo alcance.

Chile se define como un país tricontinental, compuesto por tres zonas geográficas claramente diferenciadas: Chile continental, Chile insular y Territorio Chileno Antártico. Esta diversidad geográfica influye en la distribución de los polos de población, industriales, recursos naturales, etc. que incorpora una visión regional en la localización y viabilidad en el desarrollo futuro de plantas industriales para la producción de SAF.

En relación con su población, Chile experimenta un continuo crecimiento poblacional. Según el Censo de 2024, la población del país era de 18.480.432 personas. El envejecimiento de la población mantiene su tendencia al alza, aumentando el porcentaje de personas de 65 años o más de 6,6% en 1992 a 14% en 2024 y disminuyendo el porcentaje de personas de 14 años o menos de 29,4% a 17,7% en el mismo período¹⁸. Aproximadamente el 50% de la población se concentra en las regiones Metropolitana y Valparaíso.

La extensión norte-sur de Chile, da origen a una gran variedad de climas, donde solo están ausentes los tropicales húmedos. Esta diversidad climática permite el aprovechamiento de recursos naturales con variados orígenes. En el norte del país, destaca la abundancia de energía solar, mientras que el sur cuenta con un considerable potencial para la generación de energía eólica. Por su parte, en el centro-sur, los bosques y la

¹⁷ Gobierno de Chile, Nuestro País (2025)

¹⁸ INE, 'Primeros resultados del Censo 2024: 18.480.432 personas fueron censadas en Chile, manteniéndose la tendencia de envejecimiento de la población (2025)

actividad agrícola proporcionan una significativa fuente de biomasa. Esta combinación de energías renovables altamente eficientes y la disponibilidad de biomasa a gran escala son factores fundamentales que influyen directamente en la viabilidad y las oportunidades para la instalación de plantas destinadas a la producción de combustibles sostenibles de aviación.

1.1.1 Vulnerabilidad con el Cambio Climático

Chile es considerado un país altamente vulnerable al cambio climático (ver Figura 8) de acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC, 1992), pues presenta siete de las nueve características definidas por este organismo¹⁹. Esto posiciona a Chile como un país particularmente sensible y receptivo a iniciativas enfocadas en la lucha contra el cambio climático. En este contexto, la producción y el uso de SAF no solo contribuyen a la reducción de emisiones de carbono, sino que también representan una oportunidad para dinamizar la economía y fortalecer el desarrollo industrial del país.



Figura 8. Vulnerabilidad al Cambio Climático en Chile, según la Agencia de Sostenibilidad y Cambio Climático (ASCC).

1.1.2 Disposición territorial

Chile está dividido en 16 regiones administrativas y territoriales²⁰ (ver Anexo 3). Cada una de estas regiones posee características específicas en términos de tipología industrial, economía, geografía, medio ambiente, infraestructura, aspectos sociales y recursos naturales. Estos factores pueden influir significativamente en una estrategia a nivel regional para la promoción, viabilidad y ubicación para el desarrollo potencial de la producción de SAF.

1.2 CONTEXTO ECONÓMICO

La economía de Chile es la quinta mayor de América Latina en términos de producto interno bruto (PIB)²¹ y se encuentra en la categoría de países de ingresos altos de acuerdo con los criterios del Banco Mundial²².

¹⁹ MMA – Estrategia Climática a Largo Plazo - Chile, país vulnerable frente al cambio climático (2021)

²⁰ Biblioteca del Congreso Nacional de Chile Mapa de Chile (2025)

²¹ Statista Research Department (2024)

²² Banco Mundial – países de ingresos altos (2025)

1.2.1 Perspectiva – OCDE

El último informe económico de la OCDE sobre Chile (OECD - Economic Surveys CHILE)²³, incluido en el Panorama Económico de Chile de septiembre de 2022²⁴, señala que, tras la pandemia de COVID-19, la economía chilena experimentó una rápida recuperación, impulsada por las medidas de apoyo implementadas. No obstante, estas medidas también provocaron un notable recalentamiento de la economía (su capacidad productiva no pudo crecer al ritmo de la creciente demanda). La inflación se incrementó debido al contexto internacional y al crecimiento del consumo privado; sin embargo, la autoridad monetaria adoptó diversas acciones para contenerla.

El informe destaca los principales retos estructurales que Chile deberá enfrentar en los próximos años, entre los que se incluyen:

- El estancamiento de la productividad.
- Desigualdades sociales y económicas.
- Reforzar la competencia en diversos sectores.
- Reducción de barreras reglamentarias que limitan el desarrollo.
- Asignación de mayores recursos a la investigación e innovación.

Por último, el informe subraya la relevancia de los retos y riesgos medioambientales que enfrenta el país, pero destaca también una gran oportunidad de futuro para que Chile transforme su matriz energética, reduciendo su dependencia de los combustibles fósiles, gracias a la enorme capacidad del país para generar energías renovables (ver detalle Anexo 4).

1.2.2 Producto Interno Bruto (PIB)

De acuerdo con las simulaciones de crecimiento de la OCDE²⁵, la implementación de reformas adecuadas en áreas clave como el fortalecimiento de la estructura institucional, la mejora en la regulación, el fomento de la competencia para impulsar la productividad, y el avance en los resultados educativos, podría resultar en la duplicación del PIB per cápita para el año 2060.

1.2.3 Producto Interno Bruto (PIB) Regional

La distribución del Producto Interno Bruto (PIB) revela que la Región Metropolitana y la Región de Valparaíso concentran más del 50% del PIB nacional, coincidiendo con la concentración del mayor foco poblacional, actividad comercial, manufacturera, servicios y turismo. A modo de referencia, el Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez de Santiago en términos de tráfico de pasajeros representa más del 90% del total de pasajeros²⁶, así como el 85% de la demanda de combustibles de aviación del país (Figura 9).

²³ OECD Economic Surveys: Chile (2022)

²⁴ Panorama económico de Chile (2025)

²⁵ OECD calculations based on OECD Long-term growth model - Guillemette and Turner (2018)

²⁶ Estadísticas Históricas | JAC Chile (2025)



FUENTE: OACI

Figura 9. Localización Aeropuerto de Santiago.

La región de Antofagasta, con una participación del 8,7% en el PIB, se ve claramente influenciada por la preponderancia de la industria minera. En tanto, la Región de Biobío, que contribuye con un 7% al PIB nacional, destaca por su robusta industria, destacando la industria de la celulosa y forestal, además de otras actividades agrícolas y de generación eléctrica. Las regiones de la zona central cuentan con una fuerte actividad agraria, especialmente en el sector frutícola, siendo uno de los mayores exportadores a nivel global y en la zona central sur destaca por las plantaciones de cereales especialmente la producción de trigo en la región de la Araucanía. Esta diversidad regional cuenta con recursos naturales, insumos, materias primas o biomasa que podrían desempeñar un papel clave en la transición energética, particularmente en la producción de combustibles de aviación sostenibles, como derivado del hidrógeno o a partir de la biomasa disponible.

A nivel sectorial, las principales actividades industriales son la minería y la explotación forestal. Con diversificación en el resto de los sectores (agrícola, manufactura y servicios). Se prevé un futuro crecimiento del sector energético, impulsado por la expansión de las energías renovables y el desarrollo potencial de energías limpias, clave para apoyar la transición energética.

En relación con la ganadería y la agricultura, estas son las principales actividades de las regiones del centro y del sur del país. Los principales productos agrícolas chilenos son los cereales, las frutas y las verduras.

En resumen, la economía chilena se destaca por su diversificación sectorial y regional, lo cual podrá ser un elemento clave en la formulación de una estrategia para el desarrollo y la localización de futuras plantas de producción de SAF. Este estudio permitirá identificar las materias primas e insumos disponibles, como energía renovable, biomasa, agua, residuos y CO₂, entre otros, y determinará la ruta tecnológica más adecuada para cada región. El anexo 5 muestra el desglose del PIB de Chile a nivel regional y sectorial.

En este sentido la diversificación sectorial y regional en Chile será un elemento clave en la formulación de una estrategia para el desarrollo y la localización de futuras plantas de producción de SAF.

1.3 CHILE Y SU COMPROMISO INTERNACIONAL CON EL CAMBIO CLIMÁTICO

Tras la ratificación del Acuerdo de París sobre el cambio climático en septiembre de 2015, el Gobierno de Chile presentó su primera Contribución Determinada a Nivel Nacional Tentativa (NDC) ante la Convención Marco de las Naciones Unidas (en junio de 2025 el Gobierno aprobó el proyecto definitivo NDC 2025).

Posteriormente, en febrero de 2017, el Congreso de Chile ratificó formalmente dicho acuerdo. En 2020, Chile se convirtió en el primer país de América Latina en cumplir con el primer ciclo de renovación de los compromisos climáticos nacionales en el marco del Acuerdo de París, al actualizar su Contribución

Determinada Nacional (NDC) ²⁷, reafirmando su compromiso con la lucha contra el cambio climático y el cumplimiento de los objetivos globales establecidos.

Objetivos de la NDC de Chile para la reducción de la intensidad de carbono

La meta principal de Chile es alcanzar la neutralidad en carbono a más tardar en 2050, con un ambicioso plan que contempla una significativa reducción de las emisiones de carbono. Se proyecta que las emisiones disminuyan de 130 MtCO₂eq anuales en el escenario de referencia a 65 MtCO₂eq anuales en el escenario de neutralidad de carbono para 2050. En este contexto, la Estrategia Climática a Largo Plazo (ECLP) establece las emisiones máximas permitidas para cada sector económico, a fin de cumplir con el presupuesto nacional de emisiones de 1.100 MtCO₂eq anuales para el período 2020-2030 (ver Figura 10).

Una estrategia clave para alcanzar esta meta es la captura de CO₂ a través de la biomasa forestal, con un potencial estimado de captura de 65 MtCO₂eq anuales²⁸. Este enfoque resalta la importancia de los recursos naturales de Chile, particularmente su superficie forestal, en el cumplimiento de los objetivos climáticos del país.

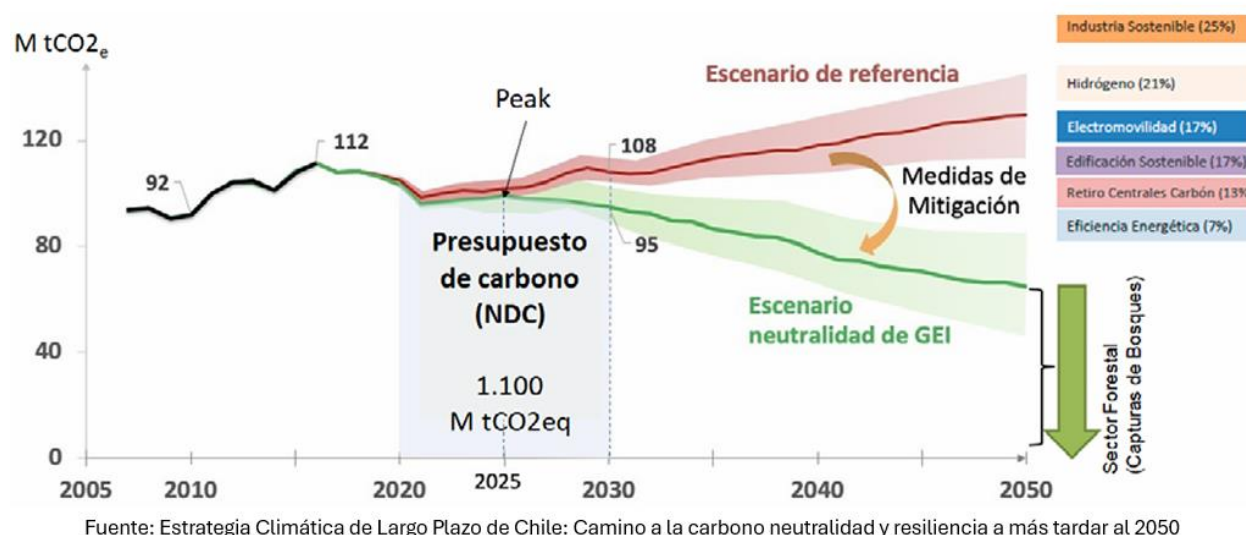


Figura 10. NDC: Escenario de referencia y de carbono neutralidad y presupuesto de emisiones.

La contribución del sector aeronáutico a la meta de descarbonización nacional estará centrada principalmente en el consumo de SAF. El uso creciente de SAF deberá alinearse con los objetivos de emisiones máximas establecidos para el sector de transporte y energía en los períodos determinados por la Estrategia de Carbono de Largo Plazo (ECLP). Esto garantizará que el sector aeronáutico cumpla con la reducción de emisiones asignadas (Plan Sectorial de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático del Sector Energía), contribuyendo de manera efectiva a la meta de neutralidad en carbono de Chile para 2050, al mismo tiempo que apoya la transición hacia un sistema de transporte más sostenible y menos dependiente de los combustibles fósiles.

En relación con la descarbonización del sector aeronáutico, Chile mostró su compromiso con el “Plan de Acción para Reducir las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Provenientes de la Aviación Civil

²⁷ Contribución determinada a nivel nacional (NDC) – Actualización 2020, Gobierno de Chile (2020)

²⁸ MMA – Estrategia Climática a Largo Plazo - Mitigación: Camino a la Carbono Neutralidad a más tardar al 2050 (2021)

Internacional” (marzo 2022), con el objetivo de alinear las metas para la reducción de emisiones de GEI de la aviación internacional con las establecidas nacionalmente, siendo presentado oficialmente a OACI en abril de 2022.

Posteriormente, en agosto de 2024, MEN y MIT promovieron la Hoja de Ruta SAF 2050 con el objetivo de involucrar a los principales actores públicos y privados para desarrollar un plan de trabajo con la meta de alcanzar el 50% de consumo de SAF en el año 2050.

1.4 ENERGÍA

El entorno energético es clave para el futuro de la producción y comercialización del SAF. En este sentido, factores como la evolución de la matriz energética, el diseño de un marco político que impulse la transición energética y el aprovechamiento de los recursos naturales para generar energías limpias determinarán en Chile tanto la capacidad como los tiempos necesarios para desarrollar de manera competitiva los combustibles de aviación sostenibles.

1.4.1 Energía Renovable

Chile se ha consolidado como un país líder en el desarrollo de energías renovables, principalmente debido a sus ventajas medioambientales para la implementación de energías limpias y por la promoción de políticas públicas que impulsan su expansión. El potencial estimado del país en recursos energéticos renovables está por encima de 1.800 GW, lo que equivale a 70 veces la demanda energética actual de Chile²⁹.

En el norte de Chile, específicamente en el Desierto de Atacama, los factores de planta (o de capacidad, es un indicador que refleja la eficiencia en la generación de energía) solar superan el 30%, lo que representa una de las mayores capacidades de generación solar en el mundo. Igualmente, en el extremo sur, en la Región de Magallanes, gracias a sus vientos constantes, que soplan con la misma intensidad tanto en tierra como en el mar, los factores de planta eólica superan el 60%, posicionando a esta región como uno de los mejores lugares del mundo para la generación de energía eólica³⁰.

Adicionalmente, aunque en menor escala que las regiones norte y sur del país, la zona centro-sur cuenta con una capacidad competitiva para la generación de energía renovable. En particular, la región del Biobío se destaca por presentar factores de planta de hasta un 37% de eficiencia en energía eólica³¹.

El consumo final de energía en Chile depende en gran medida de los combustibles fósiles, que representan aproximadamente dos terceras partes del total. Según la Comisión Nacional de Energía (Anuario Estadístico de Energía 2023), en 2021 (ver Figura 11), los recursos fósiles constituían el 61% de la matriz energética primaria del país. En contraste, las fuentes renovables representan un 13,1% aunque con un crecimiento continuo de participación. Señalar la importante participación de la biomasa, que contribuye con un 26% de la matriz energética³².

²⁹ Ministerio de Energía de Chile, Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (2020)

³⁰ Invest Chile, Información Clave hidrógeno verde en Chile - Potencial de producción de energías renovables en Chile (2024)

³¹ Global Wind Atlas, Lanzamiento hoja de ruta – H2V Biobío (2024)

³² Comisión Nacional de Energía (CNE), Anuario Estadístico de Energía 2023 (2025)

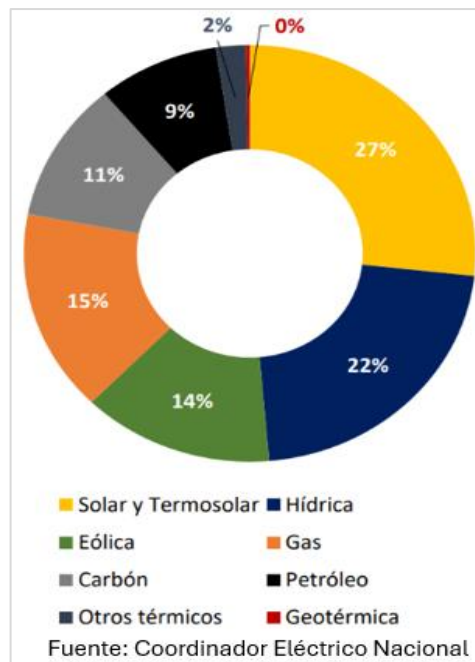


Figura 11. Generación de Electricidad 2023 – Chile.

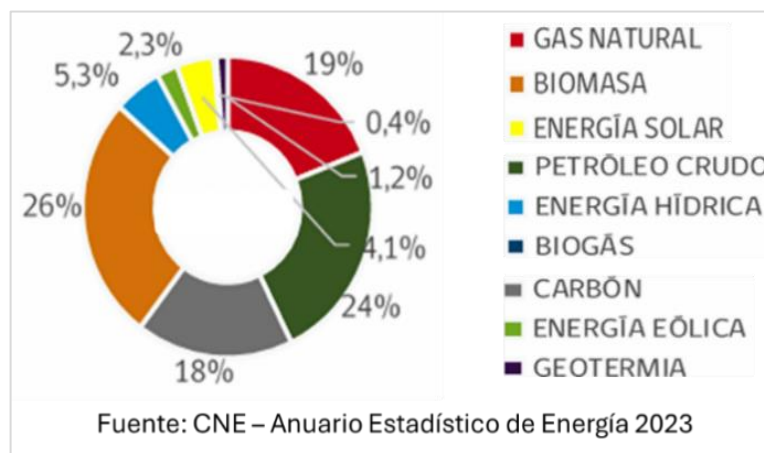


Figura 12. Matriz Energética Primaria 2021 – Chile.

La participación de las energías renovables continúa experimentando un crecimiento sostenido. En 2023, un 63% de la electricidad generada provino de fuentes renovables³³ (ver Figura 12). Por otro lado, la generación termoeléctrica representó el 37% restante, con una disminución en la generación a partir de carbón de un 27% respecto al año anterior. Este cambio permitió una reducción del 21% en las emisiones del sistema eléctrico durante 2023³⁴.

El peso cada vez mayor de las energías renovables está en línea con las expectativas generadas y la estrategia global del país para convertirse en un factor esencial para la potencial producción futura de hidrógeno, siendo uno de los vectores claves para el futuro desarrollo de SAF.

³³ ACERA A.G., Balance ACERA 2023: Energías renovables no convencionales se posicionan en el sistema eléctrico nacional (2025)

³⁴ Coordinador Eléctrico Nacional (CEN), Sistema eléctrico redujo 21% sus emisiones en 2023 y se espera que siga creciendo participación de energía renovable variable (2024)

En relación con el consumo total de energía en Chile para el periodo 2023, aproximadamente un 33% corresponde al sector transporte, de los cuales un 12,9% se destina al sector aéreo, representando el 4,43% del consumo energético nacional³⁵. Dicha contribución del 2,6% del sector aéreo en el consumo energético nacional debe considerarse como una referencia clave para evaluar el peso de la aviación en el cumplimiento de las metas de reducción de emisiones establecidas por la Estrategia de Carbono de Largo Plazo (ECLP). Además, esta participación permite determinar el potencial consumo del SAF necesario para alcanzar dichas metas, garantizando que el sector aéreo contribuya de manera efectiva a los esfuerzos nacionales de transición energética y reducción de emisiones (ver Tabla 3).

Tabla 3. Consumo de Energía en el Sector de la Aviación en Chile.

CONSUMO ENERGÍA DEL SECTOR DE AVIACIÓN EN CHILE		
Consumo de energía del total sector transporte en el país	33%	
Consumo de energía de aviación del total consume transporte	12,9%	
Consumo de energía de aviación en el total país	4,36%	

En efecto, Chile podría jugar un rol importante en la transición energética global fundamentado en sus excepcionales recursos renovables naturales y su fuerte producción de minerales críticos como el cobre y el litio.

1.4.2 Generación Termoeléctrica

La generación de energía termoeléctrica desempeña un papel fundamental en la matriz energética de Chile, representando en el año 2023 un 37% de la electricidad total producida (ver Figura 12). En el contexto del proceso de retiro y reconversión de las unidades termoeléctricas de carbón, la generación de electricidad a través del gas natural desempeña un papel vital en el apoyo a la fiabilidad de la red y actúa como una tecnológica de soporte al proceso de descarbonización (“Plan de Descarbonización 2º tiempo de la transición energética - noviembre 2024”)³⁶.

Esta modalidad de generación tiene una influencia significativa en el potencial desarrollo del SAF en el país, sustentada en los siguientes aspectos:

- **Tamaño e importancia en la generación de electricidad:** La generación termoeléctrica sigue siendo una fuente clave para satisfacer la demanda de electricidad en el país y jugará un papel clave para la seguridad y flexibilidad del sistema eléctrico en el medio y largo plazo.
- **Proceso de descarbonización:** Reconversión hacia el uso de combustibles bajos en emisiones, incluyendo el rol del gas natural en el corto plazo y el uso de amoniaco verde en el mediano-largo plazo.
- **Uso de biomasa:** Aproximadamente un 6% de la generación termoeléctrica se realiza mediante biomasa, lo que ha dado lugar a un proceso de recolección, distribución, pretratamiento y almacenamiento de este

³⁵ Balance Nacional de Energía - informe 2020 (2022)
³⁶ Ministerio de Energía de Chile, Plan de Descarbonización: 2º tiempo de la transición energética – importancia del gas natural (2024)

recurso. Estos procesos, pueden aprovecharse para la producción de SAF mediante tecnologías de gasificación u otra alternativa.

- Emisiones de CO₂ biogénico: El CO₂ emitido en el proceso para la generación de electricidad puede ser considerado un insumo valioso, debido a su carácter biogénico, para la producción de SAF a través de la tecnología Power to Liquid.
- Reconversión de plantas termoeléctricas de carbón: El plan de reconversión de las plantas termoeléctricas de carbón permite potencialmente el desarrollo de plantas de SAF, aprovechando las infraestructuras existentes.

Termoeléctricas de carbón

Aproximadamente un 31% de la generación termoeléctrica en Chile proviene del carbón³⁷ (Anexo 6 – CNE potencia instalada – noviembre 2024). Los datos actualizados indican que su importancia se va reduciendo progresivamente, así en el 2023 la generación térmica por carbón retrocedió en un 27%³⁸. La Estrategia Climática a Largo Plazo (ECLP) establece dos metas relacionadas con la descarbonización de las termoeléctricas de carbón:

1. “En el 2025, se habrá retirado y/o reconvertido el 65% de las unidades generadoras termoeléctricas a carbón del sistema eléctrico nacional”.
2. “Generar los espacios que permitan retirar y/o reconvertir totalmente las centrales a carbón al año 2030”.

Estas metas están alineadas con el objetivo nacional para el 2030 donde un 80% de la generación eléctrica proceda de energías con cero emisiones. En este contexto, existe una ruta clara, dentro del cumplimiento de los objetivos de descarbonización del país, para la eliminación o reconversión de las plantas termoeléctricas de carbón. Según anuncios de los propietarios de centrales a carbón, al menos 9 centrales podrán estar disponibles para ser retiradas o reconvertidas antes de culminar el 2026³⁹.

Este proceso de reconversión puede abrir un espacio de oportunidad para el desarrollo de plantas de SAF, apoyado por las siguientes ventajas:

- Uso de suelos industriales: Las plantas termoeléctricas están ubicadas en suelos de uso industrial, lo que facilitaría la obtención de permisos o licencias para la reconversión a plantas de producción de SAF.
- Reemplazo de carbón por biomasa: Existe el potencial para sustituir el carbón por biomasa, lo que contribuiría a la obtención de CO₂ biogénico, un insumo que será esencial para la producción de SAF, así como la oportunidad de la eliminación y aprovechamiento de residuos forales o agrícolas.
- Proximidad a fuentes de agua: Estas plantas están cercanas a fuentes de agua, lo que resulta ventajoso para la producción de hidrógeno, también un insumo clave en la futura producción de SAF.
- Conexión al sistema eléctrico nacional: La infraestructura existente tiene acceso a la conexión al sistema eléctrico nacional que facilita la integración de la electricidad verde, bien para ser incorporada al proceso de producción, proporcionar mayor flexibilidad energética o la posibilidad de evacuar excedentes.
- Apoyo social y político: La reconversión de estas plantas podría contar con el respaldo social y político, dado su potencial para mantener la actividad industrial y económica en las zonas donde están ubicadas
- Asimismo, la reconversión de las plantas termoeléctricas de carbón no solo contribuye a los objetivos de descarbonización del país, sino que también abre un camino alternativo hacia el desarrollo de plantas para la producción de SAF.

³⁷ Comisión Nacional de Energía potencia instalada (2024)

³⁸ Coordinador Energía Nacional CEN, El carbón retrocedió un 27% (2024)

³⁹ Ministerio de Energía, Plan de Descarbonización 2º tiempo de la transición energética – retirada/reconversión 9 u. carbón (2024)

1.4.3 Sistema de Transporte Eléctrico

El incremento de la demanda de electricidad necesita un sistema de transporte que permita distribuir la energía eléctrica desde los puntos de generación hasta los usuarios finales y tendrá un impacto esencial en la producción de Hidrógeno y sus derivados, como son los combustibles sintéticos de aviación (Power to Liquid).

En este sentido, el Coordinador Eléctrico Nacional publicó en diciembre de 2024 la llamada “*Hoja de Ruta para una Transición Energética Acelerada*” con el objetivo de “preparar el Sistema eléctrico y posibilitar un escenario de generación 100% renovable, a cualquier hora del día, a contar del año 2030”⁴⁰. Cabe resaltar que, el sistema eléctrico constituye una infraestructura crítica para el desarrollo y la implementación de plantas destinadas a la producción de un SAF competitivo en Chile.

El impacto de un sistema eléctrico integrado y con capacidad suficiente viene determinado por:

- Facilitar el traslado de la generación de energía renovable a las ubicaciones con disposición de materias primas o insumos, como hidrógeno, CO₂ o biomasa, entre otros, que puedan ser puntos designados para la instalación de plantas de producción de SAF.
- Contar con una conexión directa al sistema eléctrico y acceso a la generación de energía renovable, permite complementar aquellas plantas de SAF que operan con otras fuentes de energía in situ (renovables, biomasa, biogás, etc.), garantizando un suministro más continuo y sostenible de energía a la planta de producción evitando o mitigando el uso de sistemas de almacenamiento de energía.
- Contar con una red de transmisión adecuadamente dimensionada, de amplio alcance y eficiencia, optimiza la capacidad de generación de energía renovable, lo que contribuye a la reducción de los costos de energía y transporte.

El sistema eléctrico es el conjunto de infraestructuras que interconectan físicamente la generación, transmisión y distribución de energía a lo largo del país. En Chile estas actividades son gestionadas en su totalidad por empresas privadas, las cuales llevan a cabo las inversiones necesarias, siempre dentro del marco normativo específico que regula cada uno de estos sectores⁴¹.

El mercado eléctrico chileno está conformado por tres sistemas independientes:

1. Sistema Eléctrico Nacional (SEN): Zona Norte y Centro del país.
2. Sistema Eléctrico de Aysén (SEA): sistema que produce electricidad para abastecer la Región de Aysén.
3. Sistema Eléctrico de Magallanes (SEM): Produce electricidad para abastecer la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena.

⁴⁰ Coordinador Eléctrico Nacional, Hoja de Ruta para una Transición Energética Acelerada (2024)

⁴¹ Generadoras de Chile, Generación eléctrica en Chile (2025)

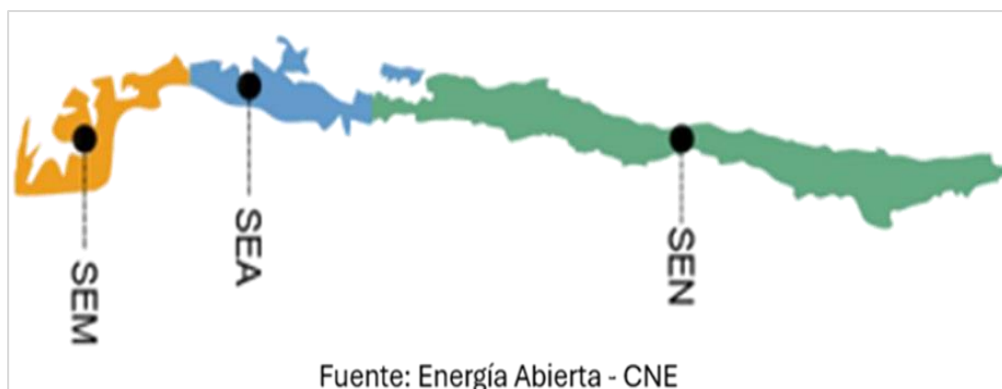


Figura 13. Sistemas Eléctricos de Chile.

De los tres sistemas, el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) posee el 99% de la capacidad instalada y abastece al 97% de la población. Este sistema concentra la mayor parte de los focos de generación, así como la actividad industrial y económica.

El gobierno, control y regulación del sistema eléctrico, tendrá una participación relevante en el uso y transporte de la energía renovable para la producción de SAF. El Anexo 8 desglosa las principales entidades de gobierno en el sistema eléctrico chileno. En el anexo 7, se desglosa la organización del sistema eléctrico.

Esta estructura de gobierno y marco regulatorio será fundamental para el adecuado funcionamiento del sistema eléctrico, ya que jugará un papel clave en el apoyo a la transición energética y, en particular, en la expansión eficiente de la producción de SAF en el país. En este contexto, la “Hoja de Ruta para una Transición Energética Acelerada” establece un plan para adaptar el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) a las nuevas demandas derivadas de la transición energética, con un horizonte fijado en 2030. Sin embargo, considerando los plazos de desarrollo de proyectos clave como los de hidrógeno y combustibles de aviación sostenibles (SAF), así como su extensa vida útil, sería recomendable ampliar la planificación hacia un horizonte de más largo plazo.

La importancia de un marco regulatorio adecuado radica en:

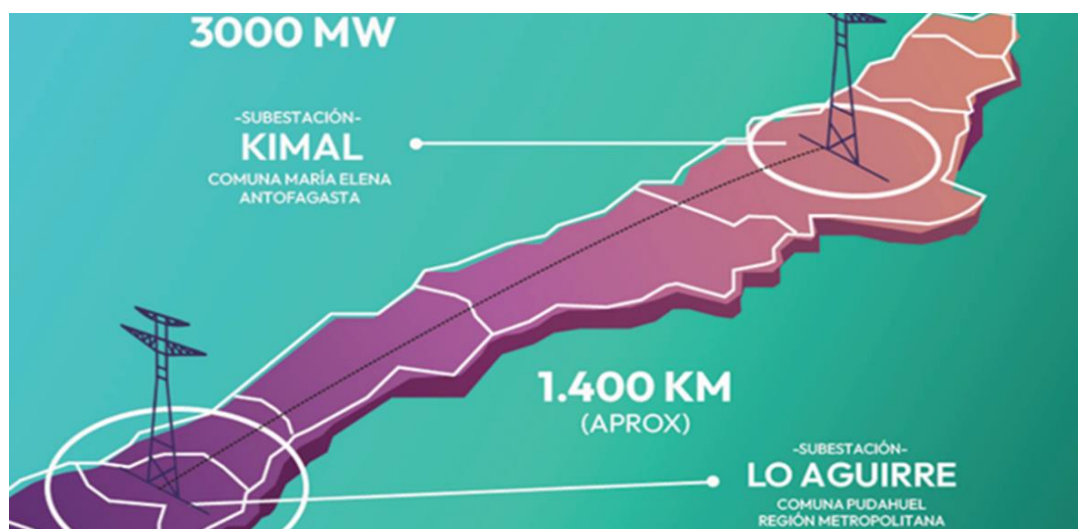
- Agilidad en la gestión de permisos para el acceso al sistema eléctrico.
- Expansión de las infraestructuras de transporte del sistema, con el fin de maximizar la capacidad de generación de energía renovable.
- Expansión de la red que proporcione múltiples puntos de conexión.
- Establecimiento de un mercado alineado con la política nacional vigente que facilite su funcionamiento y eficiencia.
- Facilitar la integración de energía verde en la producción de hidrógeno verde, que es uno de los vectores principales en la transición energética de Chile, así como fuentes de CO₂ que posibiliten la fabricación de combustibles sintéticos derivados del hidrógeno, como el SAF.

El mayor o menor despliegue de plantas de SAF y su viabilidad estarán sujetos a un plan de mejora y ampliación del sistema eléctrico nacional. Por lo tanto, un sistema eléctrico nacional conectado y robusto será un factor estratégico clave para el futuro desarrollo del SAF en Chile.

Chile está realizando importantes esfuerzos para reforzar y unificar su sistema eléctrico, como lo demuestra la integración de los sistemas eléctricos del norte y del centro en un único sistema, el actual Sistema Eléctrico

Nacional (SEN). Este proceso permitió conectar la generación de energía renovable del norte con los principales focos de consumo del país en las regiones centrales y metropolitana. No obstante, aún se requiere mayor capacidad de transporte que permita trasladar todo el excedente de generación de energía renovable, optimizando así los beneficios de la energía limpia abundante y a bajo costo disponible en el norte.

En este contexto, cobra especial relevancia el proyecto HVDC Kimal-Lo Aguirre, que consiste en el desarrollo, construcción y operación de la primera línea de transmisión de corriente continua entre el norte y el centro del país. Esta línea tendrá una capacidad de hasta 3.000 MW provenientes de energías limpias y se extenderá a lo largo de aproximadamente 1.342 km. Será la primera línea de transmisión de corriente continua en Chile, ofreciendo una alternativa de transmisión más económica y eficiente⁴². Se tiene previsto que este proyecto entre en operación en 2029, e involucrará la colaboración de actores públicos y privados desde su diseño hasta alcanzar la puesta en servicio. Se espera que este nuevo desarrollo facilite un mayor acceso a las energías renovables y amplíe el portafolio de proyectos potenciales para la producción de SAF (ver Figura 14).



Fuente: Conéctate a Antofagasta – boletín 8 – octubre 2023

Figura 14. Ramal eléctrico Kimal-Lo Aguirre.

Por otro lado, las regiones de Aysén y Magallanes, en el sur del país, cuentan con sistemas eléctricos independientes (SEA y SEM), debido a su lejanía, la complejidad de su orografía y acceso terrestre. Esto dificulta la creación de un sistema de conexión centralizado o único para todo el país, limitando la posibilidad de aprovechar de manera eficiente los extraordinarios recursos de generación de energía renovable eólica de la región de Magallanes. En este sentido, es necesario realizar un análisis específico para evaluar las oportunidades de aprovechamiento de la generación eólica en Magallanes, así como su potencial en la producción de hidrógeno y derivados como el SAF.

1.4.4 Empresa Nacional del Petróleo (ENAP)

ENAP es una empresa 100% estatal. Su actividad principal es la exploración de productos petrolíferos y su refinado, así como, la distribución y comercialización de sus productos derivados. Es la responsable de todo el proceso de refino de materias primas fósiles del país. Provee más del 50% de la demanda de productos refinados de hidrocarburos del territorio⁴³, abasteciéndose el resto de la demanda a través de la importación.

⁴² Conexión Energía: Kimal-Lo Aguirre (2025)

⁴³ Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) – Reporte integrado, (2024)

Su línea de negocio de Exploración y Producción (E&P) participa en el mercado del gas natural licuado (en particular en la región de Magallanes), además de manejar una extensa infraestructura logística para el transporte, almacenamiento y distribución de hidrocarburos y sus derivados (ver Figura 15).

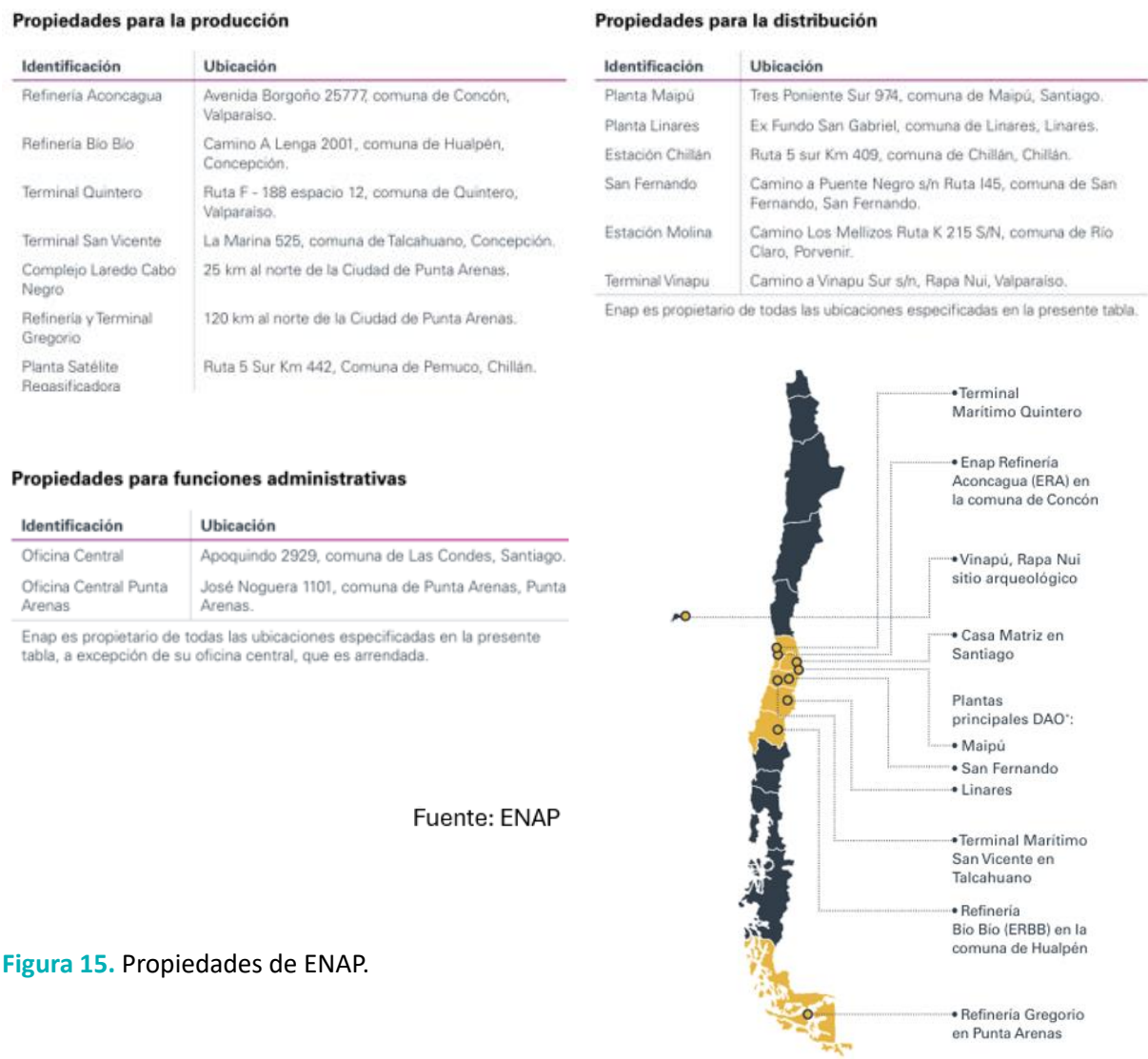


Figura 15. Propiedades de ENAP.

ENAP - Capacitación para el desarrollo del SAF

ENAP, gracias a su experiencia en refinación, producción, operación y distribución de productos petrolíferos, posee un extenso conocimiento para la transferencia de experiencia y el apoyo en la futura implementación del SAF en Chile. Esta experiencia se materializa en los siguientes aspectos:

- Conocimiento en la operación, seguridad y mantenimiento en el sector petrolífero es aplicable a muchos de los procesos que se desarrollarán en las futuras plantas de SAF.
- Participación integral en la distribución de combustibles líquidos que servirá como base para la futura logística de distribución del SAF.
- Conocimiento en normativas y certificaciones que será clave para el desarrollo y cumplimiento de los nuevos estándares de calidad para el SAF.
- Amplia experiencia en la gestión y cumplimiento de la legislación aplicable a los hidrocarburos a lo largo de toda la cadena de valor. Esto le posiciona como un actor clave en la integración del SAF dentro del futuro marco regulatorio del país.

- La propiedad y gestión de instalaciones críticas que potencialmente podrán facilitar el almacenamiento y distribución del SAF y asegurar su viabilidad operativa.

ENAP: SAF tecnología coprocesado - HEFA

En relación con la tecnología de hidrotratamiento de ésteres y ácidos grasos (HEFA), ENAP no contempla en un corto plazo en su futura estrategia de desarrollo de biocombustibles la construcción de una planta de HEFA.

Sin embargo, en lo relativo al coprocesado de materias primas con el crudo de origen fósil, el aceite de cocina usado (UCO, por sus siglas en inglés) representa la alternativa más inmediata para su transformación mediante coprocesado en combustibles renovables, incluidos los SAF.

En este contexto, ENAP ha iniciado el procesamiento de 350 mil litros de aceite usado proveniente de restaurantes y locales de comida rápida en el país, convirtiéndolo en un diésel bajo en carbono denominado “Diésel Renovable ENAP”⁴⁴.

Esta experiencia inicial podría sentar las bases para que ENAP amplíe sus esfuerzos hacia la producción de SAF a mayor escala utilizando UCO como materia prima. De esta forma, la empresa estaría en condiciones de contribuir más tempranamente a los objetivos de producción y suministro de SAF en Chile.

ENAP- Hidrógeno verde y el SAF

ENAP, debido a su fortaleza industrial, su posición como principal suministrador de productos refinados y la disponibilidad y operación de infraestructuras para combustibles sólidos y gaseosos, desempeñará un rol fundamental en el futuro desarrollo del hidrógeno y sus derivados, como los combustibles sintéticos para aviación (tecnología Power-to-Liquid). Esto es especialmente relevante en el contexto de la transición y transformación energética natural que enfrenta la compañía, posicionándola como un actor clave en la evolución del sector energético e industrial y en particular en el sector aeronáutico.

La estrategia de ENAP establece un horizonte para la generación de nuevos negocios orientados a la innovación, con especial énfasis en el desarrollo de combustibles bajos en CO₂, tales como hidrógeno verde (H₂V), combustibles sintéticos, SAF, combustibles renovables y amoníaco verde y azul. Además, la compañía destaca su impulso al desarrollo de la infraestructura de hidrógeno verde en Chile a través de acuerdos con seis empresas del sector energético. En este sentido, ENAP ha avanzado en la producción de combustibles sintéticos en colaboración con HIF Global, una empresa especializada en combustibles sostenibles, lo que marca un paso importante hacia la diversificación de su portafolio y el fortalecimiento de su papel en la transición energética del país⁴⁵ (ver Figura 16).

⁴⁴ Empresa Nacional del Petróleo produce diésel a partir de aceite de cocina usado (2025)

⁴⁵ Empresa Nacional del Petróleo, Reporte Integrado 2023



Figura 16. Empresa Nacional del Petróleo - Producción de SAF.

1.4.5 El Potencial del Hidrógeno

El desarrollo del hidrógeno está conectado a la potencial producción de SAF. En este contexto, Chile, gracias a su acceso a fuentes de energías renovables con precios competitivos a nivel global, tiene la oportunidad de convertirse en un líder en la producción de hidrógeno verde, alcanzando un costo nivelado de los más bajos del mundo para 2030⁴⁶. Se estima que el costo de la energía representa aproximadamente el 65% del costo total en la producción de hidrógeno, lo que posiciona al país de manera estratégica para aprovechar sus recursos naturales y avanzar hacia una producción más económica y sostenible de hidrógeno verde.

El costo del hidrógeno tiene un impacto directo en el costo del SAF (especialmente en la ruta Power-to-Liquid), representando aproximadamente entre el 60% y el 70% del costo total del SAF, por ello, la competitividad del SAF está estrechamente vinculada a la eficiencia y reducción de costos en la producción de hidrógeno verde (ver Figura 17).

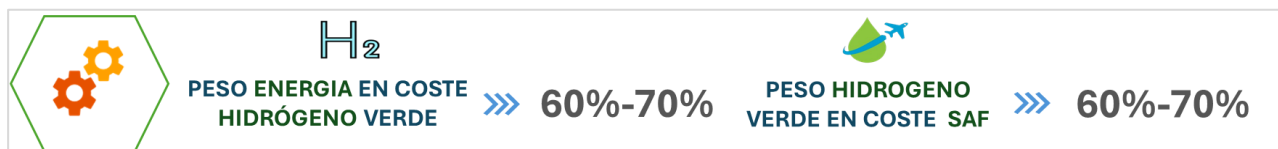


Figura 17. Impacto del costo del hidrógeno en el costo del SAF.

Chile ofrece una serie de condiciones estructurales que potencian la producción y desarrollo del hidrógeno verde, tales como:

- Infraestructuras portuarias: que facilitan el transporte y distribución eficiente del hidrógeno y sus derivados.
- Acceso a grandes extensiones de territorio: lo que permite la instalación de proyectos a gran escala para la generación de energía renovable, especialmente solar y eólica.
- Acceso al agua: gracias a una extensa red de plantas desalinizadoras y el uso de las aguas no aprovechables, permite un suministro estable para la producción de hidrógeno verde (ver anexo 13).
- Capacidades generadas por proyectos existentes: Chile cuenta con un amplio portafolio de proyectos de energías renovables ya en marcha, lo que refuerza la capacidad de producción y sostenibilidad del hidrógeno verde.
- Mercado nacional comprometido con las metas climáticas: el país tiene un mercado interno alineado con las metas nacionales y empresariales de alcanzar cero emisiones netas para 2050, lo que impulsa la demanda de hidrógeno verde como un vector clave en la transición energética.

No obstante, existen algunas brechas y áreas de acción que deben abordarse para permitir un despliegue más amplio y eficiente de los puntos de producción de hidrógeno en Chile, tales como:

⁴⁶ MEN - Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (2020)

- Fortalecimiento del sistema eléctrico nacional: Es necesario contar con un sistema eléctrico con suficiente capacidad y capilaridad para transportar la energía renovable desde los puntos de generación hacia los lugares óptimos para la producción de hidrógeno, garantizando una distribución eficiente y sin pérdidas significativas.

En este sentido, de acuerdo con la “Hoja de Ruta para una Transición Energética Acelerada” publicada por la CEN (diciembre 2024) las plantas productoras de hidrógeno renovable podrían demandar hasta un 40% de la demanda total del sistema eléctrico.

- Agilidad en la tramitación administrativa: La agilización de los procesos administrativos y la concesión de licencias y permisos son fundamentales para acelerar el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde, evitando demoras que puedan obstaculizar su implementación a gran escala.
- Desarrollo de un marco normativo que contemple la producción, certificación y comercialización del hidrógeno.
- La escasez hídrica del país, que conlleva al aprovechamiento de la red de desalinización existente y futura y un marco normativo que asegure su uso y producción.
- Potencial falta de capacitación técnica por encontrarse en fases de implementación poco avanzadas tanto en Chile como en el resto del mundo.
- Sinergias con fuentes de biomasa y gas de síntesis: Se debe explorar la posibilidad de generar sinergias del hidrógeno con otras fuentes de biomasa u otras tecnologías que permitan la producción de gas de síntesis, lo que abriría nuevas oportunidades para optimizar el uso del hidrógeno y optimizar el proceso.
- El acceso a fuentes de CO₂ próximas que permita el desarrollo de derivados del hidrógeno.

Asimismo, el éxito en la optimización de la producción de hidrógeno y el despliegue de plantas en el país abre una oportunidad estratégica para la producción de SAF a gran escala y a costos competitivos.

Tabla 4. Hidrógeno oportunidad estratégica para el SAF.

HIDROGENO UN ANTICIPO PARA EL SAF EN CHILE			
H ₂	OPORTUNIDADES		RETOS
	Energías Renovables		Sistema Eléctrico Nacional
	Territorio		Agilidad Administrativa
	Proyectos Existentes		Marco Normativo
	Infraestructuras Portuarias		Conexión con Insumos (Agua, CO ₂ , etc.)

La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (ENHV)

La ENHV establece ambiciosas metas para el desarrollo del hidrógeno, reflejando el firme compromiso del país con este sector energético. Estas metas deben servir como referencia para la futura definición de objetivos en la producción de SAF en Chile.

Tabla 5. Metas Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde.

METAS ESTRATEGIA NACIONAL DE HIDRÓGENO VERDE	
AÑO 2025	Top 1 en inversiones en hidrógeno verde en Latinoamérica
	5 GW: Capacidad de electrólisis construida y en desarrollo
	200 kt/año : Producción en al menos 2 polos de hidrógeno verde
AÑO 2030	Líder exportador global de hidrógeno verde y sus derivados
	< 1,5 USD / Kg : El hidrógeno verde más barato del planeta
	Líder productor global de hidrógeno verde por electrólisis

Proyectos, trabajos e iniciativas para la promoción y producción de hidrógeno verde y derivados

Chile ha emprendido una colaboración público-privada para impulsar el desarrollo de proyectos de hidrógeno y sus derivados, respaldada por un despliegue de iniciativas que se alinean con la estrategia política y emprendedora del país. Gracias a sus condiciones naturales, Chile se posiciona como un lugar privilegiado para producir hidrógeno a costos altamente competitivos. El portafolio de proyectos refleja el camino para consolidar a Chile como líder en la producción de hidrógeno. Sin embargo, gran parte de estas iniciativas aún se encuentran en etapas de desarrollo conceptual, y el destino final o uso específico del hidrógeno y sus derivados está pendiente de definición. En el anexo 9 extrae algunos de estos proyectos e iniciativas.

El “Explorador de Hidrógeno Verde”⁴⁷

Esta herramienta liderada por el Ministerio de Energía (MEN) permite el acceso a la información territorial y de costos para la producción de hidrógeno verde o renovable. El “explorador de hidrógeno verde” está incluido en el Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023-2030, siendo su objetivo específico el desarrollo de una plataforma de análisis que facilite la evaluación de proyectos de producción de hidrógeno verde y facilite el desarrollo de la industria del hidrógeno en Chile. La herramienta, entre otra información relevante, muestra los proyectos de H₂V existentes y el Costo Nivelado del Hidrógeno (LCOH), de acuerdo con el periodo de tiempo seleccionado.

Según la información extraída del explorador a fecha de junio de 2024, se identifican 21 proyectos en Chile que suman una producción de 158.721 H₂ t/año. La Tabla 5 adjunta presenta el desglose de estos proyectos según su localización, los combustibles derivados que producirán y su estado actual. Es relevante señalar que casi el 50% de estos proyectos están concentrados en la región de Antofagasta, lo que refleja la alta disponibilidad de recursos renovables en esta zona. Además, hay que destacar que solamente dos de los proyectos se enfocan en la producción de combustibles por la ruta Power-to-Liquid.

Por último, teniendo en cuenta la información publicada por la Asociación Chilena de Hidrógeno a septiembre de 2024 (H₂Chile), se registran 73 proyectos relacionados con el hidrógeno en Chile, los cuales se encuentran en diferentes fases de desarrollo⁴⁸. Este número de proyectos refleja la fuerte actividad en la promoción de

⁴⁷ Ministerio de Energía de Chile - Explorador de Hidrógeno Verde, (2025)

⁴⁸ H₂Chile - Mapa de proyectos – septiembre 2024

proyectos de hidrógeno en Chile y las altas expectativas generadas por la posibilidad de acceder a energía renovable a bajo costo (ver Figura 18).

Tabla 5. Explorador Proyectos de Hidrógeno MEN.

PROYECTOS HIDRÓGENO CHILE					
Región	N.º	Derivados	N.º	Estado	N.º
Antofagasta	10	Amoniaco	2	Aprobado SEIA	3
Coquimbo	1	Blending	1	En construcción	2
Magallanes	2	Hidrogenera	4	En estudios	4
Metropolitano	7	E-Metanol / E-Gasolina / E-GL	1	En SEIA	4
Valparaíso	1	E-Metanol / E-Gasolina	1	Fuera de servicio	3
		Sin derivados	8	Operación	5
		Sin información	4		
Total	21	Total	21	Total	21
Fuente: Explorador de hidrógeno verde MEN					



Figura 18. Proyectos en Desarrollo H₂Chile.

1.5 COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN Y RUTA HACIA EL SAF EN CHILE

Dada su ubicación geográfica, la extensión del territorio continental e insular, así como las particulares características geomorfológicas, la aviación se posiciona como un sector estratégico para impulsar la conectividad interna de Chile y su vinculación con el resto del mundo. Además, el transporte aéreo se constituye como un motor clave para el crecimiento económico, la integración de zonas despobladas, el desarrollo del turismo y la promoción del comercio.

Chile es principalmente un importador de crudo del petróleo y de combustibles de aviación. Un 51% del queroseno de aviación procede del exterior. La distribución de los combustibles líquidos en el interior se realiza a través de cabotaje marítimo, oleoductos y camiones. El país cuenta con 26 terminales marítimas, de los cuales 20 son privados y 6 pertenecen a ENAP⁴⁹.

En lo relativo a sus emisiones, la contribución de la aviación de Chile representa aproximadamente un 0,3% de las emisiones mundiales totales de GEI provenientes del transporte aéreo global⁵⁰ (ICAO, State Action Plans and Assistance).

En términos del sector transporte, tomando como referencia el año 2019 (año pre pandemia), de acuerdo con el Sistema Nacional de Inventarios de Chile (SNI Chile) las emisiones de GEI totales de la aviación (en territorio nacional) en Chile fueron 2060 ktCO₂e que equivalen a un 7,3% del total de emisiones del sector transporte y un 1,9% sobre el total de emisiones a nivel nacional⁵¹ (ver Tabla 6 y Figura 19).

Tabla 6. Porcentaje misiones GEI Aviación Chile.

% EMISIONES GEI AVIACIÓN EN CHILE	
MUNDIAL	0,3%
TRANSPORTE CHILE	7.3%
ENERGÍA CHILE	2,4%
TOTAL CHILE	1,9%

De acuerdo con las emisiones GEI de la aviación en Chile, éstas representan un 0,3% de las emisiones globales del sector aeronáutico. En términos nacionales, en el año 2019 representan aproximadamente el 7,3% del total de emisiones del sector transporte, el 2,5% del sector de energía y el 1,9% de emisiones del total del país⁵².

Cabe señalar que la aviación se posiciona como un sector estratégico para impulsar la conectividad interna de Chile y su vinculación con el resto del mundo además se erige como un motor clave para el crecimiento económico.

⁴⁹ MEN – Plan de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático de Energía (2024)

⁵⁰ ICAO State Action Plans and Assistance (2025)

⁵¹ MMA Sector Energía – SNI Chile (2025)

⁵² Ministerio del Medio Ambiente, Sector INGEI (2025)

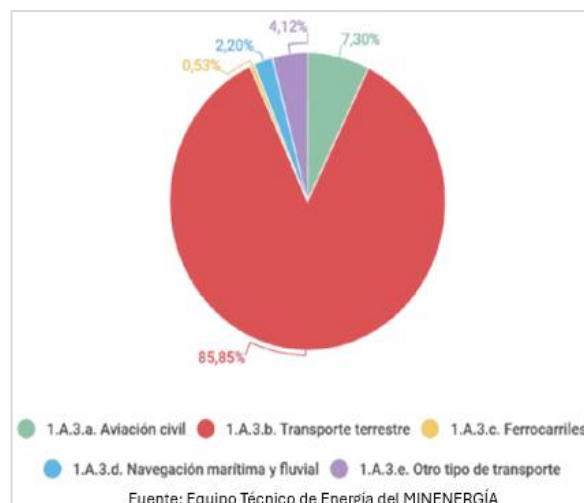


Figura 19. Emisiones GEI Transporte Chile – 2019.

1.5.1 Chile – Introducción al SAF

Chile presenta un entorno altamente favorable para convertirse en un destacado productor de SAF a través de la combinación de rutas tecnológicas, insumos y materias primas que cumplen con los criterios de sostenibilidad establecidos por CORSIA (ver Figura 20). Este entorno favorable se puede resumir en los siguientes aspectos:

- Compromiso específico con la descarbonización del sector de aviación: Chile ha mostrado un fuerte compromiso con la descarbonización del sector de la aviación, alineándose con las iniciativas globales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuir al cumplimiento de los objetivos climáticos internacionales. En este contexto, el “Plan de Acción de Chile para Reducir las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Provenientes de la Aviación Civil”⁵³, presentado ante la OACI, marca un paso crucial en la transición hacia un sector de aviación más sostenible.
- La potencial proyección del hidrógeno verde como uno de los principales pilares para cumplir los objetivos de descarbonización de Chile se presenta como un vector esencial en el desarrollo de combustibles sostenibles para la aviación a través de la ruta PtL, aprovechando los grandes recursos para la generación de energías renovables que el país posee.
- Las amplias fuentes para la producción de biomasa en Chile, principalmente derivadas de los subproductos y residuos de su robusta industria forestal y otros residuos agrícolas, así como aquellos residuos con destino vertedero, se presentan como una materia prima fundamental para la producción de SAF.

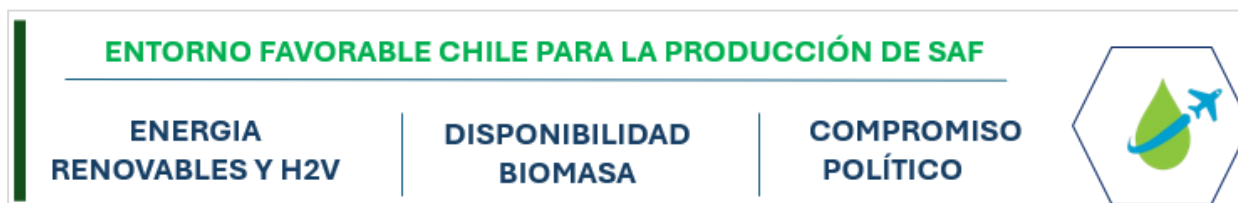


Figura 20. Entorno Favorable de Chile para la Producción de SAF.

⁵³ DGAC - Plan de Acción de Chile (2022)

Metas del uso del SAF

Para el establecimiento de los objetivos potenciales de la demanda y producción de SAF en Chile, se valora su alineación con los compromisos locales e internacionales para la descarbonización de la aviación. Asimismo, también se valorarían los objetivos generales de descarbonización de los sectores transporte y energía, así como las metas globales de Chile en la lucha contra el cambio climático (ver Tabla 7).

Tabla 7. Metas de uso futuro del SAF.

METAS LIGADAS AL USO FUTURO DEL SAF EN CHILE
Organización de Aviación Civil Internacional – OACI El objetivo global a largo plazo de referencia para la aviación internacional de cero emisiones netas de carbono para 2050. Reducir las emisiones de CO ₂ en la aviación internacional en un 5% para 2030 mediante el uso de energías más limpias. Equivalente al uso de 23 millones de toneladas del uso de energías sostenibles en la aviación internacional en el 2030.
Contribución Determinada Nacional – NDC Meta absoluta ser carbono-neutral al 2050 Meta intermedia: Presupuesto máximo de 1.100 MtCO ₂ eq para el período 2020-2030 y de 95 MtCO ₂ eq en 2030.
Estrategia Climática a Largo Plazo 20% en el 2040 y 40% en el 2050 de reducción de las emisiones GEI vs 2018 en el sector transporte. 2050, al menos un 70% de combustibles cero emisiones en los usos energéticos finales no eléctricos.
Política Energética Nacional 70% combustibles cero emisiones en usos finales energéticos no eléctricos 2050, con un 15% en el 2035.
Plan Sectorial de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático del Sector Energía El sector de energía tiene a su cargo el 85,5% del esfuerzo de mitigación de emisiones del país para el periodo 2020-2030. Los combustibles de aviación establecen una mitigación esperada da 40-50 ktCO ₂ eq en el periodo 2020-2030).
Plan Sectorial de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático del sector transporte (en curso) Reducción de 0,04 MtkCO ₂ eq en el periodo 2020-2030 mediante el impulso de combustibles con menor intensidad en el transporte aéreo.
Hoja de Ruta de SAF Propone una meta para el 2050 en la que los SAF representen el 50% del uso de combustible utilizado en la aviación nacional e internacional de Chile.

El Gobierno de la Aviación Civil en Chile

El gobierno de la aviación civil se sustenta en un sistema de gestión conformado por diversas entidades de carácter transversal. Estas entidades, con distintos niveles de implicación, desempeñarán un papel fundamental abordando aspectos esenciales como su certificación y regulación, relación internacional, promoción, comercialización, innovación y otros que faciliten la promoción e implementación efectiva de los combustibles de aviación sostenibles en Chile. En este contexto, el Anexo 10 presenta un listado de las entidades más relevantes involucradas en este proceso.

1.5.2 Distribución y Comercialización de los Combustibles de Aviación

El suministro de combustible de aviación al mercado chileno tiene dos fuentes bien diferenciadas. Por un lado, está ENAP que importa petróleo crudo, y que posteriormente refina en sus dos plantas situadas en Concón y Concepción. Una vez producido el combustible de aviación a los estándares de calidad requeridos, ENAP lo distribuye a través de su red logística de terminales y lo entrega a los comercializadores con los que tiene establecidos acuerdos comerciales. Como mencionado anteriormente, ENAP es responsable de la introducción al mercado de alrededor del 50% de la demanda total de combustible de aviación en Chile.

Por otro lado, actúan 4 compañías comercializadoras activas en el mercado chileno: COPEC, ENEX, YPF y ESMAX. Estas, además de comprar Queroseno a ENAP, también importan combustible de aviación terminado (alrededor del 50% de la demanda restante) desde el mercado internacional, mediante buques petroleros que descargan directamente en las terminales de recepción que estas compañías operan en puertos del litoral chileno (p ej. en Quintero - región de Valparaíso).

La distribución de los combustibles de aviación se apoya principalmente en las siguientes infraestructuras e identidades para uso abierto a todas las compañías comercializadoras.

Sonacol, Sociedad Nacional de Oleoductos⁵⁴, (Copropiedad de ENAP y las distribuidoras de combustibles y gas), es una red logística realizada a través de un sistema conectado de oleoductos que en la actualidad tiene una extensión de 465 km conectando las terminales de Quintero con la terminal de Concón (Refinería de ENAP). La infraestructura de Sonacol está constituida por cuatro poliductos que transportan gasolinas, diésel y querosenos y dos oleoductos que llevan gas licuado de petróleo (GLP), siete estaciones de bombeo, cuatro terminales de entrega de productos y un Centro de Mantenimiento en Maipú. Los combustibles de aviación se transportan por el oleoducto a la Terminal de Maipú, en el extrarradio de Santiago, la capital.

Desde la terminal de Maipú un oleoducto dedicado a queroseno, con una longitud de 17,5 km o alternativamente una flota de camiones cisterna, permite el transporte del combustible de aviación a la planta de almacenamiento de SIAV (operada por COPEC) situado en el aeropuerto de Santiago. Este aeropuerto representa alrededor de 85% del volumen de combustible de aviación consumido anualmente, y será un activo relevante en la introducción de SAF en Chile.

La distribución al resto de aeropuertos del país se realiza en buques de cabotaje, en conjunto con el resto de los combustibles. El queroseno se almacena en las terminales portuarias situadas en los distintos puertos del litoral chileno, y desde estas terminales se distribuye por camión cisterna a los distintos aeropuertos, aeródromos o bases militares.

Es importante destacar que toda la infraestructura actual de recepción, de almacenamiento y de transporte, de combustible de aviación que hoy opera con combustible 100% fósil, es perfectamente compatible para su utilización con SAF, sin que esto requiera modificaciones sustanciales en los equipos.

Se estima que será necesaria la construcción de cierta infraestructura de almacenamiento, principalmente en la terminal de Maipú, para la mezcla del componente sintético de SAF puro (SBC) con queroseno de origen fósil, para la introducción de mezclas de SAF en el aeropuerto de Santiago, especialmente si el SAF puro proviene de plantas de productores independientes.

⁵⁴ Sonapol (2025)

La comercialización del combustible de aviación en Chile la realizan actualmente las cuatro distribuidoras mencionadas anteriormente (COPEC, ENEX, YPF y ESMAX). Para ello, estas compañías disponen de instalaciones de almacenamiento y de camiones de suministro especializados en los distintos aeropuertos con los que abastecen a las aerolíneas que operan en dichos aeropuertos. Es de destacar que la comercialización y suministro de combustible de aviación sigue un proceso estandarizado, en el que se aplican los mismos procedimientos o estándares operacionales internacionalmente reconocidos.

1.5.3 Proyección de Demanda por Combustibles de Aviación y SAF

A nivel global, la OACI acordó reducir las emisiones de CO₂ en la aviación internacional en un 5% para 2030 a través del uso de SAF, LCAF y otras energías más limpias. En la 41ª Asamblea de la OACI se adoptó un objetivo global a largo plazo (LTAG) para la aviación internacional de cero emisiones netas de carbono para 2050. El informe LTAG muestra que el SAF tiene el mayor potencial para reducir las emisiones de CO₂ de la aviación internacional.

La IATA, para alcanzar cero emisiones netas en el 2050, estimó la necesidad de alcanzar 449 mil millones de litros de consumo de SAF en ese año, equivalentes al 65% del consumo global de combustible⁵⁵ (ver Figura 21).

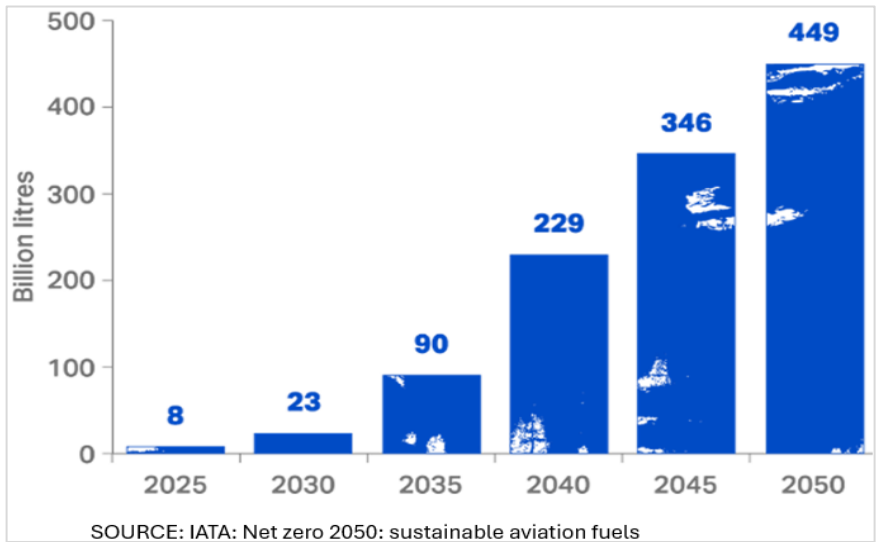


Figura 21. SAF estimado para alcanzar cero emisiones en el 2050.

En el corto plazo, la OACI estableció varios escenarios de porcentaje del uso de SAF (ratio de reemplazo) en el 2030, basado en anuncios publicados por las empresas que planean producir SAF⁵⁶. La tabla 8 nos muestra que un estimado escenario moderado el porcentaje de SAF en el 2030 sería de un 2,19%.

⁵⁵ IATA: Factsheet Net zero 2050: sustainable aviation fuels (2024)

⁵⁶ ICAO – LTAG - SAF Projections (2025)

Tabla 8. Escenarios de proyecciones de consumo de SAF en el 2030 – LTAG.

Scenario	Implicit SAF Policy landscape	2030 SAF production projection (kt/year)	SAF replacement ratio*
Low	No policy support for SAF	3,059	N.A. (not associated with an LTAG scenario)
Moderate	Some level of policy support for SAF, but lower than for road transportation biofuels	7,608	2.19% (LTAG Scenario IS1)
High	Level-playing field between SAF and road transportation biofuels	13,713	3.98% (LTAG Scenario IS2)
High+	SAF-emphasis in policies	16,973	5.01% (LTAG Scenario IS3)

Fuente: OACI

Los valores de reemplazo del combustible de aviación convencional por el SAF adquirirán una importancia creciente, especialmente ante el significativo aumento proyectado en la demanda de combustibles para el sector aéreo. Según la U.S. Energy Information Administration (EIA), se espera que el consumo mundial de combustible para el transporte aéreo se duplique para el año 2050⁵⁷.

Demanda de combustible de aviación Chile

La configuración geográfica única de Chile, situada en el extremo sur del continente, da lugar a una alta concentración de operaciones aéreas de mediana y larga distancia, que representan el 52% y 45% del total, respectivamente⁵⁸. En este contexto, los combustibles sostenibles adquieren una relevancia creciente, ya que juegan un papel fundamental en la transición hacia la descarbonización del sector aéreo (ver Figura 22).

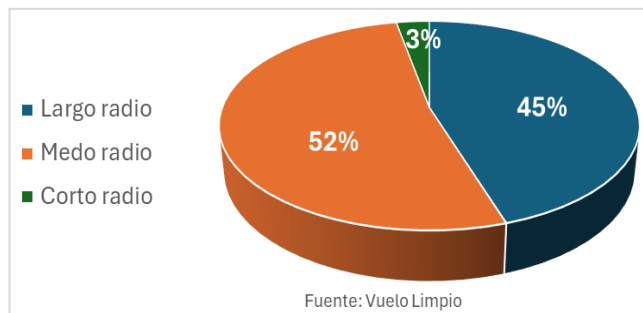


Figura 22. Porcentaje Tráfico Aéreo Chile según recorrido (datos 2019).

Aproximadamente el 85% de la demanda de combustibles de aviación se concentra en el Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez de Santiago (SCEL), mientras que el 90% del tráfico de pasajeros corresponden a los tres principales grupos de operadores aéreos: LATAM, Sky Airline y Jetsmart. Según datos de Energía Abierta de la CNE, la demanda total de combustibles de aviación en Chile fue de 1.583 millones de m³ en 2019, y de 1.630 miles de m³ en 2018 (antes de la pandemia de COVID-19).

En paralelo, el equipo asesor de la Mesa SAF, conformado por representantes del MTT, MEN, la AgenciaSE, ENAP y el BID, configurada dentro del proceso de la Hoja de Ruta de SAF, proyecta que el consumo de

⁵⁷ EIA - projects energy consumption in air transportation to increase through 2050 (2019)

⁵⁸ Vuelo Limpio – Hoja de Ruta SAF 2050 (2024)

combustibles de aviación en Chile podría aumentar en un 129% entre 2019 y 2050 con un incremento promedio de la demanda anual de un 3,2% entre 2025 y 2050 (ver Figura 23). Esto se traduce en una demanda de combustibles de aviación en 2050 de aproximadamente 3.674 millones de m³ y un volumen de pasajeros estimado en 92,5 millones. Se considera que la demanda de combustible recuperará los niveles previos a la pandemia en el periodo 2024-2025.

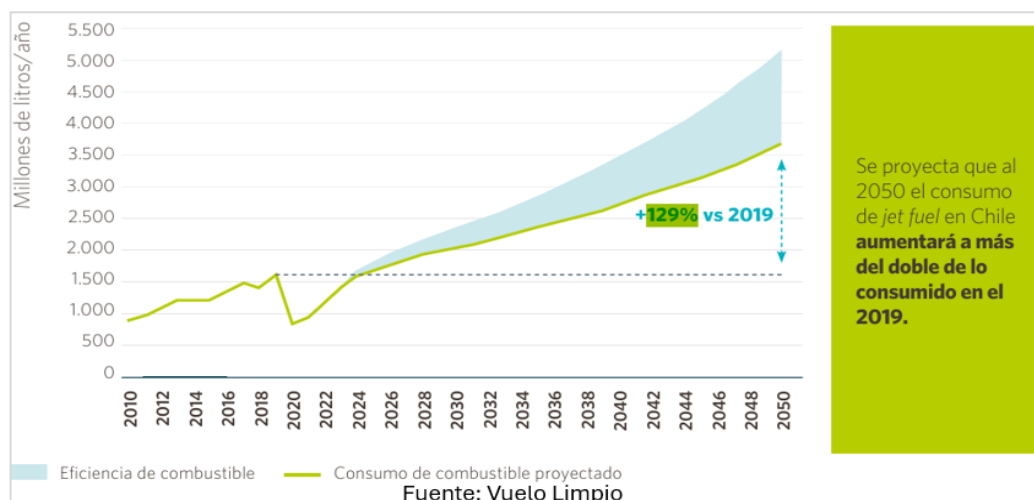


Figura 23. Proyección de demanda de combustibles de aviación 2050.

Tráfico aéreo de pasajeros Chile 2023

En lo relativo a los datos de tráfico aéreo de Chile en el año 2023, obtenidos de las Estadísticas de la JAC, los más relevantes son⁵⁹:

- Volumen total de pasajeros 28,2 millones (nacional 16,4 millones / internacional 11,8 millones). El aeropuerto de Santiago-Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez (SCEL) representa el 99% Internacional y el 86% nacional.
- En términos de operadores aéreos, el Grupo LATAM domina el mercado con un 57% del total de tráfico aéreo de pasajeros, seguido por SKY Airline y JetSMART, con el 20% y 13% respectivamente. Las tres compañías aéreas representan el 90% del tráfico de pasajeros total, el 99% del nacional y el 76% del internacional.
- Por otro lado, de acuerdo con el Plan estratégico del transporte aéreo 2020 (JAC), los pasajeros totales pasarían de los 26 millones de 2019 a 43 millones en 2030, 66 millones en 2040 y 97 millones en 2050. Eso implica un crecimiento promedio anual de 5,2%. En lo relativo a la Carga, el comportamiento de crecimiento es similar⁶⁰.

En cuanto a la conexión internacional de Chile, más de dos tercios del tráfico se concentran en cuatro países: Brasil, Argentina, Perú y Estados Unidos. Entre ellos, Brasil ocupa el primer lugar, al representar el 26% del total⁶¹.

1.5.4 La Certificación del SAF Como Combustible de Aviación

Al igual que ocurre con todos los combustibles de aviación, el SAF está sometido a un proceso de certificación en toda la trazabilidad de su cadena de distribución y producción, desde su origen en la recolección de las

⁵⁹ JAC: Estadísticas INFORME- diciembre (2023)

⁶⁰ Plan Estratégico del Transporte Aéreo (2020)

⁶¹ JAC - Estadísticas Históricas serie 2014-2024 (2025)

materias primas hasta su entrega en el ala del avión. Esta certificación debe cumplir criterios estrictos de calidad y de sostenibilidad (ver Figura 24).

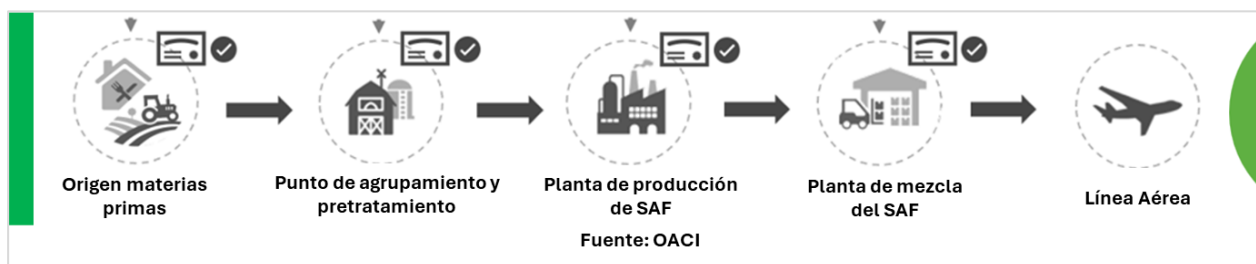


Figura 24. Cadena de Certificación del SAF.

Los criterios de calidad del SAF están establecidos a través de los estándares técnicos de certificación ASTM (en Europa se utiliza también el esquema Def Stan). Los criterios de sostenibilidad vienen marcados a través del estándar CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) desarrollado por la OACI y aceptado como referencia global por sus Estados Miembros.

Certificación de calidad de combustibles de aviación (ATF y SAF) (ver Figura 25)

- Los combustibles convencionales ATF (Aviation Turbine Fuels) también conocidos como Jet o Queroseno están certificados bajo la norma ASTM D1655.
- Los combustibles sostenibles fabricados a través de las rutas certificadas con destino a ser mezclado con los combustibles ATF, son conocidos como SBC (Synthetic Blend Component) o como SPK (Synthetic Paraffinic Kerosine) y serán certificados bajo la norma ASTM D7566.
- El combustible mezclado conocido como SATF (Synthetic Aviation Turbine Fuel), actualmente con un máximo del 50%, son certificados bajo la norma D1655 y por tanto es un combustible compatible para su uso en las turbinas de aviación.

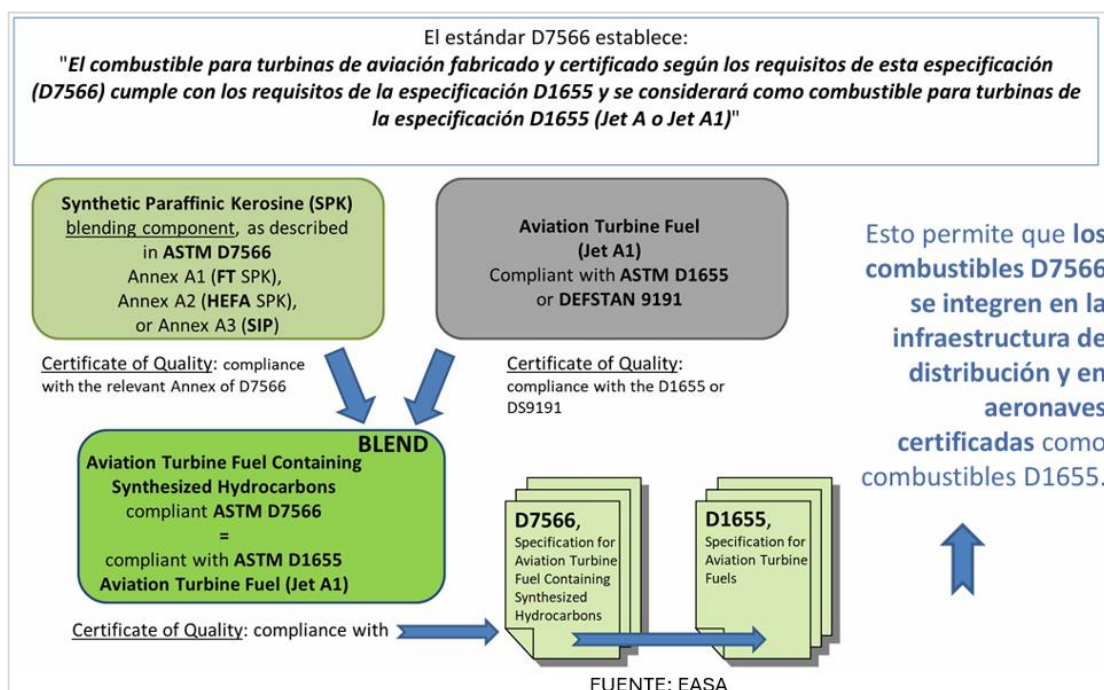


Figura 25. Certificación de Calidad.

En relación con los criterios de sostenibilidad

CORSIA establece el marco de elegibilidad y requerimientos para los esquemas de certificación de sostenibilidad de SAF. Este marco está construido sobre la base de unos principios que garantizan la sostenibilidad ambiental, social y económica (ver Figura 26).



Figura 26. CORSIA - Principios de sostenibilidad.

El SAF, combustible sostenible de aviación, es definido como “combustible renovable o derivado de residuos que cumple con los criterios de sostenibilidad de CORSIA”.

En el contexto de Chile, la certificación de las materias primas desde su origen hasta la entrega del combustible de aviación sostenible (SAF) en el ala del avión, requerirá la participación tanto de actores actuales en la cadena de fabricación y comercial de los combustibles de aviación, como otros nuevos, asegurando que las empresas involucradas en la producción y logística cumplan con los estándares de calidad establecidos para el SAF.

El proceso de calificación técnica del SAF podrá beneficiarse de los recursos materiales y humanos ya existentes para la certificación de combustibles convencionales (involucra a los productores como ENAP, comercializadoras, distribuidores logísticos y los operadores de puesta a bordo o de almacenamiento de combustibles de aviación).

La certificación de sostenibilidad de los SAF tendrá un enfoque especial en la procedencia de las materias primas, los residuos o insumos utilizados, los procesos tecnológicos utilizados y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) logradas. La certificación del SAF conllevará nuevos procesos adicionales a aquellos a realizar con los combustibles convencionales de aviación, estos nuevos procesos se focalizarán en:

- Nuevos centros de producción y distribución.
- Desarrollo de almacenamiento especializados: Se requerirán instalaciones para el almacenamiento de combustible sostenible antes de ser mezclado (SBC).
- Certificación de los nuevos procesos o rutas, materias primas de acuerdo que aseguren los criterios de sostenibilidad de CORSIA.

- Trazabilidad y certificación: Deberá asegurarse un registro y contabilidad de los volúmenes de SAF, las certificaciones de sostenibilidad y las reducciones de emisiones de GEI obtenidos a lo largo de toda la cadena de distribución.

En lo relativo a los criterios de sostenibilidad para la certificación de los SAF sintéticos o eSAF, han sido aprobados por el Consejo de OACI, aunque a la fecha de este estudio no se encuentran publicados.

1.5.5 Aproximación Regional

Debe ser considerado en Chile el enfoque regional para el desarrollo de proyectos de SAF, por ello, se debe de valorar las particularidades geográficas, industriales y los recursos naturales disponibles en las distintas regiones del país. Este enfoque permite aprovechar las ventajas locales de cada zona, alineando los proyectos de SAF con las características específicas de las regiones, como el acceso a materias primas, fuentes de energía renovable, y condiciones socioeconómicas.

Región Centro-Sur

La Región Centro-Sur de Chile (ver Figura 27) es rica en recursos forestales y agrícolas, lo que la convierte en una región con alto potencial para proyectos de SAF basados en biomasa, como residuos forestales y agrícolas. Además, la presencia de fuentes puntuales de CO₂ en la región puede ser clave para potenciar la producción de SAF de carácter sintético.

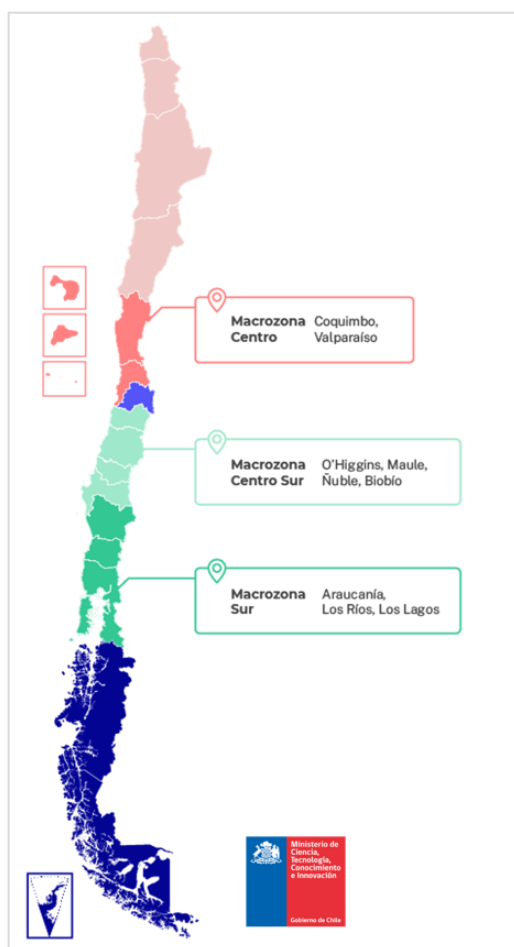


Figura 27. Region Centro-Sur.

En lo relativo a su demanda energética, las regiones de Valparaíso, RM y Biobío son muy relevantes en la presencia de focos industriales que les convierte en áreas de potenciales consumidores de nuevas energías para afrontar su transición energética.

En este contexto, la Región Metropolitana (RM) destaca con una mayor participación en la distribución regional de la demanda final de hidrógeno, representando entre un 15 y 22% de la demanda nacional proyectada al 2050 (PELP 2023-2027). Junto a esto, la RM y la Región de Valparaíso concentran más de un 30% de las emisiones de GEI a nivel país, por lo que fomentar el uso de nuevas energías permitiría la reducción de éstas, contribuyendo al cumplimiento de metas de carbono neutralidad establecidas en la Ley de Cambio Climático⁶².

Cabe destacar la disponibilidad de residuos sólidos municipales (RSM) depositados en vertederos en la región Metropolitana que daría acceso a una biomasa susceptible para la producción de SAF a través de la gasificación y Fischer-Tropsch. En este contexto, algo más de la mitad de los RSM se concentran en las regiones Metropolitana y Valparaíso (40,2% y 10% respectivamente).

La significativa concentración de población e industria en la Región Metropolitana genera actuales y potenciales fuentes de CO₂ de origen industrial, incluyendo biogás producido en vertederos y emisiones derivadas de la generación de energía mediante procesos térmicos de biomasa o el precedente de las plantas de la producción de biogás y su metanización a partir del tratamiento de las aguas servidas. El análisis detallado de estas fuentes puntuales, sumado al hecho de que la Región Metropolitana cuenta con condiciones favorables para la producción eficiente de energía renovable fotovoltaica, representa una oportunidad estratégica para la ubicación de plantas destinadas a la producción de SAF mediante la ruta Power-to-Liquid (PtL).

La región de Biobío cuenta con un fuerte desarrollo de su industria, concentrando polos donde coexisten la refinería de petróleo, industria petroquímica, producción de acero, fundición de vidrio y metales, metalmecánica, producción de cemento, producción forestal y celulosa, industria portuaria, distribución de gas natural, entre otras, una extensa red de conexión logística terrestre, marítima y aérea, una potente oferta de profesionales calificados y una prolífica actividad de investigación y desarrollo. Además, cuenta con interesantes recursos de energías renovables para proyectar una producción de hidrógeno verde a precios competitivos.

En concreto La Región de Biobío, se identificó como un potencial valle de hidrógeno. En este contexto en mayo del 2024 se publicó la Hoja de Ruta 2024 - 2050 de hidrógeno verde de Biobío, desarrollado por el Programa Estratégico Regional “Hidrógeno Verde para la descarbonización de los sectores productivos de la Región del Biobío”, perteneciente al programa Transforma de CORFO⁶³.

⁶² MEN – informe final (2024)

⁶³ Comité de desarrollo productivo regional de Biobío: lanzamiento hoja de ruta – H2V Biobío (2024)

En cuanto al CO₂, datos obtenidos del RTEC indican que existen 23 fuentes puntuales de emisiones de CO₂ en la región Biobío, lo que representa el 26% del total en Chile, de estas fuentes puntuales 15 son de carácter biogénico, la mayoría procedentes de la industria del papel y la celulosa.

En términos de energía renovable, aunque los factores de planta en la región del Biobío son más reducidos que en las regiones del norte y sur de Chile, pueden alcanzar un 37% de eficiencia en energía eólica y hasta un 22% en energía solar (Hoja de Ruta 2024 - 2050 de hidrógeno verde de Biobío).

La combinación de fuentes de CO₂, disponibilidad de biomasa, y la capacidad de generación de energía renovable en la región del Biobío otorgan a esta zona un gran potencial para la producción de SAF.

Por otro lado, la densidad de población y los focos de turismo, hoteleros, restauración, alimentación y otros servicios en la RM y Valparaíso le convierte en potenciales generadores de aceite de cocina usado, con un gran potencial para su conversión en SAF en un corto plazo.

Respecto a la disponibilidad de biomasa forestal, la macro región centro-sur es la que mayor masa de plantaciones forestales concentra, destacando las regiones de Biobío, La Araucanía, Maule y Los Ríos.

En lo relativo a la actividad agrícola, la región Centro-Sur sobresale por su destacada producción frutícola, que posiciona a Chile como uno de los principales exportadores a nivel mundial. El núcleo de esta actividad se encuentra en las regiones Metropolitana, Valparaíso, O'Higgins y Maule. Además, el país cuenta con una importante producción de cereales, especialmente trigo, que se concentra en las regiones de La Araucanía, Maule, Ñuble y Biobío.

Los residuos derivados de los cereales, especialmente del trigo, ofrecen una cantidad significativa de biomasa en forma de paja lo que los convierte en una fuente viable para la producción de SAF. Actualmente, una parte significativa de estos residuos del trigo y los cereales son recolectados y acondicionados para su uso en plantas termoeléctricas en la región de La Araucanía.

En contraste, los residuos provenientes de la fruta o agroindustria, debido a su dispersión y volumen limitado, parece que no presentan una cantidad suficiente para sustentar por sí solos la producción de SAF, sería necesario y un estudio más detallado y valorar una potencial agrupación de diversas fuentes de residuos de este origen. No obstante, podrían aprovecharse potencialmente al combinarse con otros residuos de diferente origen mediante rutas como la de gasificación.

Región de Magallanes y Antártica

La región de Magallanes (ver Figura 28) se destaca por sus abundantes recursos de energía eólica, lo que la convierte en un lugar ideal para la producción de hidrógeno verde. Existe una apuesta regional para el desarrollo de hidrógeno verde como pilar fundamental para el desarrollo económico de la región.

En este contexto, destaca el desarrollo del Programa Transforma H2V Magallanes, promovido por CORFO, adicional a la creación de un Centro Tecnológico de Hidrógeno Verde en Magallanes, también financiado por CORFO⁶⁴. La adjudicación de esta iniciativa fue recientemente otorgada a la Fundación Chile, como parte de una alianza público-privada. Esta alianza cuenta con destacados co-ejecutores, entre los que se encuentran el Technical Research Centre of Finland LTD (VTT), HUB FPYME Magallanes, la Universidad de Chile, la

⁶⁴ Centro Tecnológico Hidrógeno Verde Magallanes (2024)

Universidad Adolfo Ibáñez y la Agencia de Sostenibilidad Energética. Además, participan como asociados ENAP, HNH ENERGY, HIF, EDELMAG, Consorcio Austral, EDF y TEG CHILE, lo que refuerza el potencial de esta colaboración para el desarrollo de tecnologías de hidrógeno verde en la región⁶⁵.

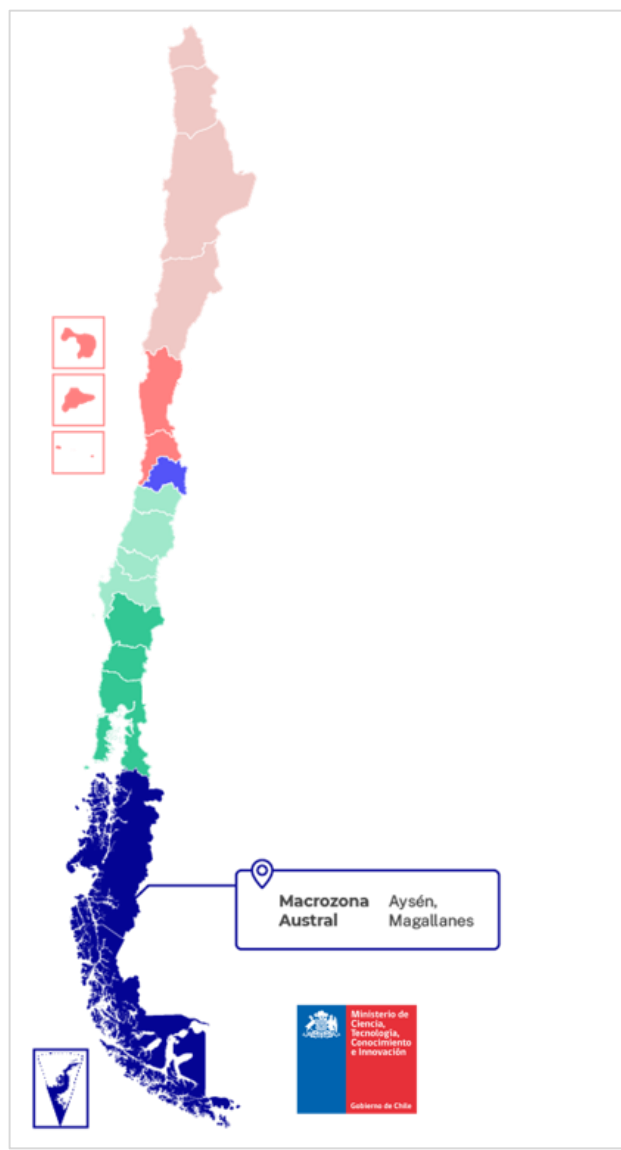


Figura 28. Region de Magallanes y Antartica.

Dentro de la región, ENAP desempeña un papel clave en la economía regional, destacándose por su amplia presencia en el sector de exploración y producción de hidrocarburos, así como, por su robusta infraestructura logística y de refinación, haciendo de esta industria la principal actividad económica (ver Figura 29).

Destaca la importancia de la Refinería de Gregorio en Punta Arenas, una de las principales instalaciones de la compañía en el sur del país, que asegura el procesamiento de combustibles y productos derivados del petróleo. Además, ENAP cuenta con una red de oleoductos, gasoductos y sistemas de almacenamiento. Las

⁶⁵ Fundación Chile se adjudica nuevo Centro Tecnológico de Hidrógeno Verde en Magallanes (2024)

instalaciones de almacenamiento y logística en Cabo Negro refuerzan aún más su capacidad operativa para la distribución de combustibles líquidos.

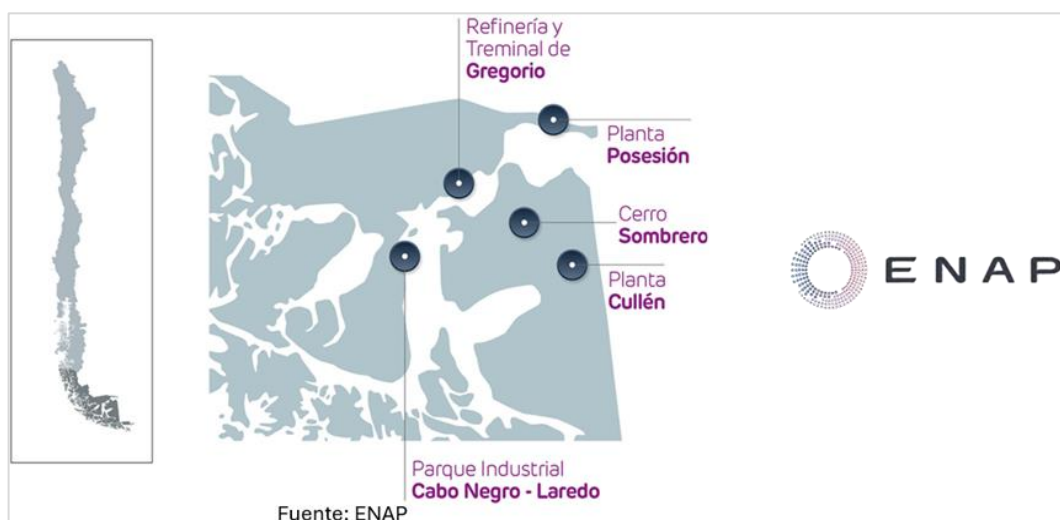


Figura 29. ENAP - Región de Magallanes.

Adicionalmente, aprovechando su presencia y experiencia en exploración, producción y distribución de energía, ENAP puede jugar un papel fundamental en el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde en la región de Magallanes. La compañía ha impulsado iniciativas clave que potencian la infraestructura logística y de distribución, permitiendo sinergias que facilitarán la manipulación y futura exportación de hidrógeno verde. Entre los proyectos destacados se incluyen:

- Planta de hidrógeno verde con una capacidad de 1 MW, destinada a abastecer estaciones de carga de vehículos y a alimentar el horno de la planta de fraccionamiento de ENAP en Cabo Negro.
- Iniciativas en Laredo, Gregorio y Cabo Negro. Un grupo de proyectos enfocados en generar infraestructura habilitante para el desarrollo de hidrógeno verde en la región de Magallanes, fortaleciendo la base logística y tecnológica necesaria para este tipo de producción.
- Acuerdo con Total EnergiesChile, HIF Chile, FreePower Group, Grupo EDF, RWE y HNH Energy para desarrollar la infraestructura de hidrógeno verde y sus derivados en el país.
- Coparticipación en el proyecto de Haru Oni coordinado por HIF.

Las infraestructuras de ENAP serán cruciales para facilitar la exportación de hidrógeno verde desde la región de Magallanes, dada su infraestructura logística y de distribución de energía. En este contexto, la presencia de Methanex en Punta Arenas, con su planta de producción de metanol⁶⁶ de gran importancia industrial y aportando experiencia en la distribución y exportación, representa una oportunidad estratégica para combinar las infraestructuras logísticas de ambas compañías. Esta colaboración fortalecería la cadena de suministro y facilitaría el transporte y la exportación del hidrógeno y sus derivados en la Región.

Además de las iniciativas lideradas por ENAP, la actividad relacionada con proyectos de hidrógeno en la Región de Magallanes es notablemente activa. Según el mapa de proyectos de H₂Chile, se registran 17 proyectos de hidrógeno, lo que representa aproximadamente un 23% del total de proyectos a nivel nacional. Donde destaca el proyecto Haru Oni, liderado por HIF, con una gran significancia innovadora por ser la primera planta a escala piloto a nivel mundial para el desarrollo de hidrógeno verde y combustibles sintéticos (ver Figura 30).

⁶⁶ Methanex (2025)



Figura 30. Proyecto Haru Oni – HIF.

En líneas generales, la región de Magallanes, junto con la región sur de Chile en general, se perfila como una potencial futura base de producción y exportación de hidrógeno. Su ubicación estratégica, combinada con la abundancia de recursos renovables, posiciona a la zona como un centro clave en la producción de hidrógeno. Además, el desarrollo del futuro Centro Tecnológico de Hidrógeno Verde de Magallanes (con el apoyo de CORFO), los acuerdos empresariales impulsados en la región y el proyecto Haru Oni, desarrollado por HIF refuerzan aún más esta proyección. Este conjunto de iniciativas tiene el potencial de convertir a la región de Magallanes en uno de los centros de investigación y desarrollo más relevantes para la producción de hidrógeno verde y sus derivados.

El potencial para la producción de SAF en la región de Magallanes parte inicialmente del aprovechamiento del potencial del hidrógeno, particularmente para la producción de SAF PtL por la ruta Metanol to Jet o Fischer Tropsch. Sin embargo, uno de los desafíos principales es la escasez de fuentes de CO₂, debido a que todas las actualmente disponibles son de origen fósil o intensivas en CO₂ (cementeras) provenientes principalmente del gas natural. Según RTEC, casi el 100% de estas emisiones de CO₂ provienen de ENAP, Methanex y la Empresa de Electricidad de Magallanes (EDELMA). No se prevé la conversión de estas fuentes de CO₂ fósiles a biogénicas debido a la escasez de biomasa en la región.

La oportunidad para la producción de SAF en Magallanes podría estar conectada en el futuro con el desarrollo de tecnologías de captura de CO₂, como el DAC (Direct Air Capture) y la captura de CO₂ del mar, que permiten obtener CO₂ directamente de la atmósfera o del mar, en este sentido el proyecto de HIF Haru Oni ha iniciado la instalación de una unidad de DAC. Aunque estas tecnologías no están presentes aún en escalas comerciales y sus costos son elevados, Magallanes ofrece varios factores favorables que podrían convertir a la región en un referente para el desarrollo de estas tecnologías a gran escala y la producción de SAF. Entre los factores clave se encuentran:

- **Energía eólica altamente eficiente:** La región de Magallanes cuenta con una generación de energía eólica excepcionalmente eficiente, con un factor de planta (nivel de eficiencia) que puede alcanzar el 60%. Esto permite producir hidrógeno a un LCOH extremadamente bajo en comparación con otros mercados, esta eficiencia energética podría ayudar a mitigar los altos costos asociados con la captura de CO₂, permitiendo que el costo del SAF PtL esté alineado con las referencias internacionales.
- **Ser un HUB tecnológico de hidrógeno y derivados:** El HUB tecnológico desarrollado en Magallanes, asociado con el hidrógeno y los proyectos piloto para la producción de combustibles sintéticos, actúa

como un incentivo tractor para el desarrollo de investigación y desarrollo (I+D). Este ecosistema también podría atraer fondos para el despliegue tecnologías emergentes de captura de CO₂ de la atmósfera o del mar.

- Urgencia climática y objetivos de descarbonización: La creciente urgencia climática y los compromisos internacionales para alcanzar la descarbonización posicionan tecnologías como el DAC como esenciales para la lucha contra el cambio climático. Esto puede traducirse en grandes inversiones por parte de gobiernos y empresas comprometidas con sus objetivos de descarbonización. La región de Magallanes, con su infraestructura y recursos renovables, podría ser un lugar ideal para albergar estos proyectos, convirtiéndose en un nodo clave para la captura de CO₂.

Región de Antofagasta

La principal actividad económica de la región de Antofagasta (ver Figura 31) es la minería. Lidera la producción mundial de cloruro de litio, molibdeno y cobre, con un peso aproximado del 12% en el Producto Interno Bruto (PIB) de Chile.

La región de Antofagasta se destaca como una de las zonas con mayor radiación solar en el mundo. Esta característica convierte a la región dentro de Chile en un lugar clave para la generación de energía renovable, así como para la producción de hidrógeno y amoníaco verde. Gracias a su alto factor de carga y la vasta disponibilidad de suelo, Antofagasta se ha convertido en el epicentro de los proyectos de hidrógeno en Chile, al registrar actualmente 28 proyectos según el mapa de proyectos de hidrógeno de H2Chile, lo que representa un 38% del total de proyectos en el país.

La región tiene la oportunidad de aprovechar infraestructuras existentes, como puertos (cuenta con puertos como Antofagasta y Mejillones con gran capacidad de recepción y expedición de mercancías), carreteras y su red vial, para el desarrollo del hidrógeno. Además, podrá reutilizar las instalaciones que quedarán disponibles tras el futuro cierre de las minas de carbón.

Entre los proyectos más destacados, se encuentran iniciativas de gran escala donde una gran parte de la producción sería con destino a la exportación, como el Proyecto Volta (zona portuaria de Mejillones), que planea producir 600.000 t/a de amoníaco verde, y el Proyecto INNA, que proyecta una producción de 116.000 t/a de amoníaco verde y 101.000 t/a de hidrógeno. Estos proyectos, de gran envergadura, subrayan el potencial de Antofagasta para convertirse en un potencial líder global en la producción de hidrógeno y amoníaco verde (ver Figura 32).

Antofagasta está posicionándose como un importante HUB para la producción de H₂V. En este contexto, la Asociación de Hidrógeno Verde de Antofagasta “H2 Antofagasta” juega un papel relevante, promoviendo la colaboración entre los principales actores de la región para la producción de H₂V. La asociación busca generar sinergias en áreas clave como infraestructuras logísticas, almacenamiento y obtención de agua, aspectos fundamentales para asegurar una producción eficiente y sostenible de hidrógeno verde.

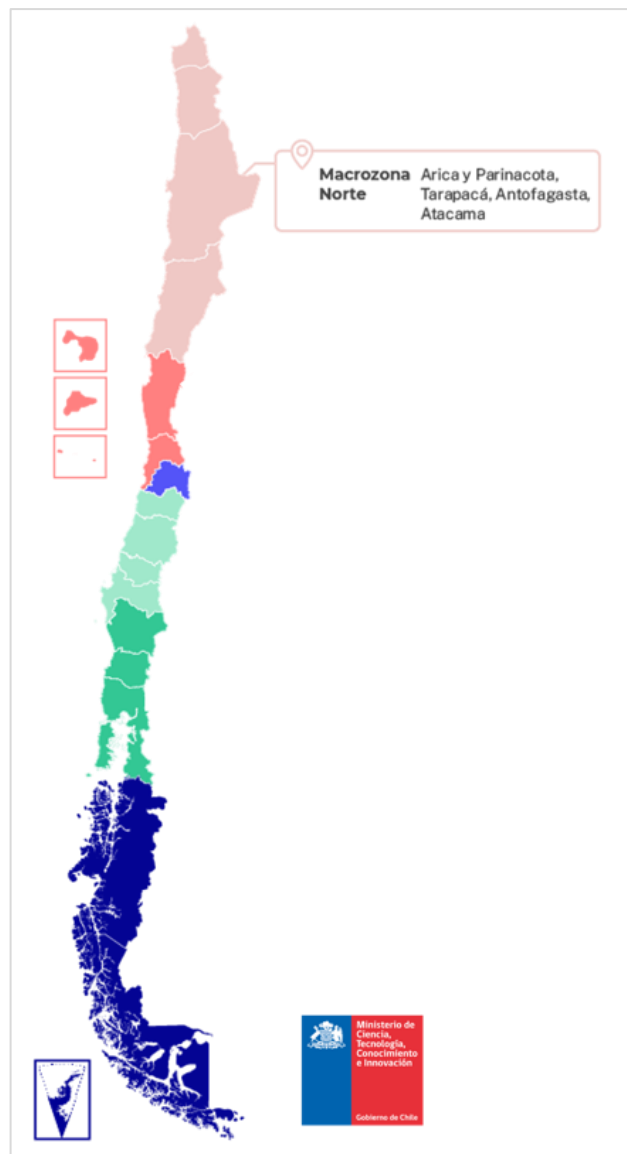


Figura 31. Region de Antofagasta.



Figura 32. Proyecto Volta - Zona portuaria Mejillones – Antofagasta.

El proyecto Conecta H₂V, financiado por CORFO y liderado por la Universidad Católica del Norte bajo la ejecución de H2 Antofagasta, tiene como objetivo principal evaluar las sinergias e infraestructuras compartidas en proyectos de H₂V en la región de Antofagasta. Este proyecto es clave para reforzar el HUB de hidrógeno verde en la región, promoviendo la colaboración entre actores públicos y privados en el desarrollo de una infraestructura conjunta que facilite la optimización de costos en la producción, almacenamiento, y transporte de hidrógeno verde.

La Minería, representa la mayoría de la demanda energética de la región y conecta potencialmente con el uso de energía renovable y el hidrógeno y sus derivados como fuentes de energía limpia para diversas operaciones, como la movilidad de maquinaria, sus procesos industriales o las plantas de desalinización para cubrir sus necesidades de agua.

En relación con proyectos para la producción de combustibles derivados del hidrógeno, el proyecto Power-to-MeDME⁶⁷ para la producción de metanol y DME renovable en la región de Antofagasta, coordinado por el Instituto Fraunhofer Chile, ha anunciado el lanzamiento de una planta piloto, esta planta estará ubicada en el Complejo Solar Cerro Dominador, esta iniciativa empleará energía solar concentrada (CSP) y fotovoltaica (PV)⁶⁸ (ver Figura 33).



Figura 33. Complejo Solar Cerro Dominador – Antofagasta.

La producción de SAF PtL a partir de hidrógeno no parece viable en el corto plazo en la región de Antofagasta debido a la falta de fuentes de CO₂ identificadas. Un desafío para la región y el país es la planificación de una infraestructura eléctrica para afrontar la nueva capacidad de generación de energía renovable y poder transportarla a aquellos puntos de consumo y de potencial producción de hidrógeno y SAF.

Por último, señalar la estrecha conexión de Antofagasta con las plantas de desalinización, especialmente aquellas vinculadas al sector minero, donde puede ser importante valorar la investigación sobre captura de CO₂ del mar y la valorización energética de la salmuera generada en estos procesos. Aprovechar las infraestructuras de las plantas desaladoras para desarrollar tecnologías de captura de CO₂ directamente del mar podría ofrecer una fuente sostenible de CO₂ para el potencial desarrollo de proyectos de SAF sintético.

⁶⁷ Fraunhofer Chile, Proyecto Power to MeDME (2025)

⁶⁸ H2news, Fraunhofer impulsa producción de DME en Antofagasta (2025)

SECCIÓN 2. EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE CONVERSIÓN Y ANÁLISIS DE LAS MATERIAS PRIMAS

2.1 PROCESOS DE CONVERSIÓN – CERTIFICADOS Y EN EVALUACIÓN

El SAF se define en el estándar CORSIA de la OACI como un *combustible de aviación renovable o derivado de residuos que cumple con los criterios de sostenibilidad*. Las rutas de producción certificadas o “SAF pathways” son una combinación específica de materia prima y proceso de conversión.

Los procesos de conversión del SAF son evaluados y aprobados por estándares globales como ASTM international⁶⁹. Actualmente existen 11 procesos de conversión que han sido aprobados y otros 11 que actualmente están bajo evaluación.

Los procesos de conversión aprobados para producir SAF se establecen actualmente bajo dos normas internacionales ASTM:

1. ASTM D7566, sobre combustibles de aviación que contienen combustibles sintéticos (es decir, aquellos fabricados a partir de materias primas alternativas, distintas del crudo fósil).
2. ASTM D1655, para combustibles de aviación, bajo las opciones de coprocesado (empleo conjunto de materias primas convencionales de carácter fósil, como el crudo, junto con materias primas consideradas renovables).

Varios procesos están actualmente bajo evaluación por ASTM. Más información está disponible en el artículo “New Sustainable Aviation Fuels (SAF) technology pathways under development”⁷⁰.

Adicionalmente, existe un continuo trabajo para permitir el uso del 100% de SAF en las aeronaves (actualmente no puede superar un 50%), así como incrementar el actual 5% de mezcla máxima de materia prima sostenible para la producción de SAF por coprocesado (evaluándose desde el punto de vista analítico la posibilidad de alcanzar hasta al 30%). El proceso de aprobación de estos procesos en evaluación se rige por la norma internacional ASTM D4054.

En lo relativo al coprocesado de materias primas biogénicas con crudo fósil en las refinerías, se está desarrollando un protocolo de evaluación general para facilitar la aprobación de nuevas materias primas para el co-procesamiento, que se evalúan por separado del proceso ASTM D4054.

⁶⁹ ASTM International - Standards Worldwide (2025)

⁷⁰ ICAO environmental report: article - New Sustainable Aviation Fuels (SAF) technology pathways under development (2022)

Tabla 9. Procesos de Conversión de SAF aprobados.

ASTM – PROCESOS DE CONVERSIÓN				
ASTM reference	Conversion process	Abbreviation	Possible Feedstocks	Maximum Blend Ratio
ASTM D7566 Annex A1	Fischer-Tropsch hydroprocessed synthesized paraffinic kerosene	FT	Coal, natural gas, biomass	50%
ASTM D7566 Annex A2	Synthesized paraffinic kerosene from hydroprocessed esters and fatty acids	HEFA	Vegetable oils, animal fats, used cooking oils	50%
ASTM D7566 Annex A3	Synthesized iso-paraffins from hydroprocessed fermented sugars	SIP	Biomass used for sugar production	10%
ASTM D7566 Annex A4	Synthesized kerosene with aromatics derived by alkylation of light aromatics from non-petroleum sources	FT-SKA	Coal, natural gas, biomass	50%
ASTM D7566 Annex A5	Alcohol to jet synthetic paraffinic kerosene	ATJ-SPK	Ethanol, isobutanol and isobutene from biomass	50%
ASTM D7566 Annex A6	Catalytic hydrothermolysis jet fuel	CHJ	Vegetable oils, animal fats, used cooking oils	50%
ASTM D7566 Annex A7	Synthesized paraffinic kerosene from hydrocarbon - hydroprocessed esters and fatty acids	HC-HEFA-SPK	Algae	10%
ASTM D7566 Annex A8	Synthetic Paraffinic Kerosene with Aromatics	ATJ-SKA	C2-C5 alcohols from biomass'	
ASTM D1655 Annex A1	co-hydroprocessing of esters and fatty acids in a conventional petroleum refinery		Vegetable oils, animal fats, used cooking oils from biomass processed with petroleum'	5%
ASTM D1655 Annex A1	co-hydroprocessing of Fischer-Tropsch hydrocarbons in a conventional petroleum refinery		Fischer-Tropsch hydrocarbons co-processed with petroleum	5%
ASTM D1655 Annex A1	Co-Processing of HEFA	Hydroprocessed esters/fatty acids from biomass'		10%

Fuente: OACI

Tabla 10. Procesos de conversión en evaluación (OACI).

Proceso de conversión en evaluación	Abreviación	Desarrollador principal
Synthesized aromatic kerosene	SAK	Virent
Integrated hydro pyrolysis and hydro conversion	IH2	Shell
Single Reactor HEFA (Drop-in Liquid Sustainable Aviation and Automotive Fuel)	DILSAAF	Indian CSIR-IIP
Pyrolysis of non-recyclable plastics	ReOIL	OMV
Co-processing of pyrolysis oil from used tires	TPO	Philips 66
Methanol to jet	MTJ	ExxonMobil
Increase in fatty acid/ester co-processing from 5% to 30%		
HEFA with higher cycloparaffins'		Revo
Biomass pyrolysis		Alder
Biomass/Waste pyrolysis		Green Lizard
Cycloalkanes from Ethanol		Vertimass

En relación con los procesos de conversión existentes o en proceso de desarrollo para la producción de SAF se pueden agrupar en dos tipos principales de variantes tecnológicas: Los procesos termoquímicos que utilizan calor y reacciones químicas, y los procesos bioquímicos que utilizan microorganismos y enzimas para convertir las materias primas en SAF. Los procesos bioquímicos son en general más eficientes y con mejores rendimientos que los procesos termoquímicos, pero en general están basados en materias primas más escasas o con costos más elevados debido a su potencial competencia con otros usos o aplicaciones.

Entre los procesos termoquímicos se encuentra la ruta de la gasificación y, entre los bioquímicos, el Alcohol to Jet (AtJ) y el HEFA. En el caso específico de Chile, los análisis muestran una serie de materias primas o insumos como los residuos y las biomásas de diferentes orígenes que pueden ser tratados con procesos termoquímicos. También se detectan, en cantidades discretas, grasas de origen animal y vegetal que permitirían actividades de coprocesado limitadas a refinerías. Sin embargo, no se detectan materias grasas que permitiera establecer procesos como la HEFA a gran escala.

Es importante destacar que, aunque la investigación sobre rutas tecnológicas para la producción de SAF comenzó hace muchos años, su comercialización solo se ha expandido significativamente en la última década. El crecimiento del mercado, impulsado en parte por los mandatos de uso establecidos en diversos países, ha sido un factor clave para acelerar la investigación y la industrialización de los procesos de conversión de SAF.

En este sentido, las expectativas en el alto crecimiento de la demanda de SAF están llevando a un impulso acelerado de la investigación de nuevas rutas tecnológicas, la optimización de los procesos industriales existentes y la reducción de los costos de producción.

Por ello, aunque el escenario futuro pueda cambiar, un factor inalterable será la disponibilidad de condiciones naturales y materias primas para la producción de SAF.

En el caso de Chile, la abundancia de biomasa, residuos y su capacidad para generar energías renovables e hidrógeno son aspectos clave, por esta razón, se estima que todas las rutas tecnológicas actuales o futuras considerarán estas materias primas como una opción viable para la producción de SAF. En contraste, la escasez de materias primas ricas en azúcares o aceites limitará el desarrollo de rutas tecnológicas como Alcohol-to-Jet a partir de etanol o HEFA.

2.1.1 La Diversificación Tecnológica

El SAF experimentará un crecimiento significativo y sostenido en el tiempo, impulsado por la implementación progresiva de mandatos y requisitos en distintos países, hasta alcanzar su máximo potencial. En Latinoamérica, varios países, comenzando por Brasil, ya tienen el compromiso o están evaluando el establecimiento de mandatos para la reducción de emisiones mediante SAF o para su uso directo. Chile en su proceso de fomento de los SAF tendrá también que definir políticas que los impulsen a través del uso de mandatos u otros esquemas que potencien el consumo para garantizar la seguridad de las inversiones en producción.

En el fomento de los SAF en Chile sería deseable la consideración de todas las rutas tecnológicas disponibles, tanto las actuales como aquellas futuras a medida que vayan alcanzando cierto nivel de madurez, siempre que cumplan con los criterios de sostenibilidad, certificación y rentabilidad. Este enfoque integral garantizará tener una mayor autonomía energética y garantizar una transición exitosa hacia combustibles más sostenibles en la aviación.

Un elemento de buena gobernanza sería que los gobiernos y las instituciones con responsabilidad en el desarrollo del SAF se guíaran por el principio de “neutralidad tecnológica” donde se incentiven por igual todas las rutas tecnológicas, su investigación y desarrollo favoreciendo la libre competencia.

En el caso de Chile, si bien existen materias primas en abundancia que podrían orientar la tendencia hacia ciertas rutas tecnológicas, como se analizará en este estudio, se recomienda no descartar otras opciones menos atractivas en apariencia, pero con tiempos de implementación más cortos y costos más reducidos, como el coprocesado, que será abordado más adelante.

La implementación de las rutas tecnológicas está influenciada por factores exógenos que son clave para el éxito de su desarrollo comercial y la viabilidad de su implementación en diferentes entornos o áreas geográficas. Los factores principales son:

- Acceso a recursos naturales. La disponibilidad de materias primas para ser procesadas, como biomasa, residuos, agua etc.
- Infraestructura disponible. La existencia de infraestructuras adecuadas, como conexión a sistemas de electricidad, red de transportes, infraestructuras logísticas de combustibles.
- Regulaciones y políticas gubernamentales. Las normativas nacionales e internacionales, incluyendo incentivos y subsidios, pueden acelerar o frenar el desarrollo de tecnologías sostenibles.
- Acceso a costos de energía renovable o limpias (especialmente para aquellas tecnologías que usen el hidrógeno como materia prima).

Estos factores combinados determinan el ritmo de desarrollo y la escalabilidad de las tecnologías para la producción y uso de SAF, ya que influyen directamente en la viabilidad económica, técnica y ambiental de cada ruta tecnológica. La interacción entre las regulaciones, la infraestructura, los recursos naturales, los avances científicos y las condiciones del mercado establece los límites y oportunidades para expandir y adaptar las soluciones de SAF en Chile, asegurando su implementación eficiente y sostenible en el tiempo.

La diversidad tecnológica permite garantizar una producción suficiente al evitar la dependencia de una única ruta de desarrollo, lo que resulta especialmente relevante frente a posibles cambios o dinámicas en el mercado y el suministro a mediano o largo plazo. Además, esta diversidad facilita el desarrollo de proyectos híbridos, los cuales pueden ofrecer mayores niveles de eficiencia y generar nuevas oportunidades.

Lo anterior refuerza que una diversidad tecnológica es esencial para adaptarse de manera efectiva al entorno geográfico, la disponibilidad de materias primas y a la evolución científica.

En Chile, por sus condiciones naturales, localización, perfil industrial y biomasa agrícola y forestal, ofrece oportunidades para la producción de SAF a través de diversas variantes tecnológicas, certificadas o en proceso de certificación, empleadas de forma aislada o híbridas.

La selección o combinación de estas rutas y las materias primas o insumos empleados serán clave para un desarrollo competitivo para la producción de SAF en Chile.

En este contexto, el potencial de Chile para la implementación de proyectos de SAF en sus diversas opciones tecnológicas debe ir acompañado de un esfuerzo en investigación, desarrollo e innovación, adaptando las tecnologías disponibles a su entorno. Este proceso debe sustentarse en los siguientes pilares:

- Avance tecnológico para explorar nuevas materias primas y optimizar los procesos de transformación de las existentes.
- Estrategias público-privadas que fomenten el desarrollo de tecnologías actuales y promuevan innovaciones futuras.

2.1.2 Criterios de Sostenibilidad

Para ser elegibles para su uso bajo el esquema de compensación de carbono de la OACI aplicable globalmente, el SAF debe también cumplir un conjunto de criterios de sostenibilidad recogidos en el estándar CORSIA Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation⁷¹ (ver Anexo 11), reconocidos en 2023 por los Estados Miembros de OACI (durante la conferencia CAAF/3) como requisitos de sostenibilidad aplicables globalmente a los SAF.

CORSIA establece el marco de elegibilidad y requerimientos para los esquemas de certificación de sostenibilidad de SAF. Este marco está construido sobre la base de unos principios que garantizan la sostenibilidad ambiental, social y económica. El cumplimiento de los criterios de sostenibilidad de CORSIA debe ser certificado y aprobado por un Sistema de Certificación de Sostenibilidad (SCS). ISCC, ClassNK y RSB, son actualmente los únicos SCS aprobados (ver Tabla 10).

⁷¹ ICAO environmental – Sustainability Criteria for CORSIA eligible fuels (2022)

Tabla 10. CORSIA - Esquemas de Certificación de Sostenibilidad.

Name of the Sustainability Certification Scheme	Date of approval	Website	Scope of approval
International Sustainability and Carbon Certification (ISCC)	16 Jun. 2023	https://www.iscc-system.org/about/sustainable-aviation-fuels/corsia/	Certification of CORSIA Sustainable Aviation Fuels economic operators covered by Chapters 1 and 2 of the ICAO document “CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA eligible fuels”
Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB)	16 Jun. 2023	https://rsb.org/rsb-corsia-certification/	Certification of CORSIA Sustainable Aviation Fuels economic operators covered by Chapters 1 and 2 of the ICAO document “CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA eligible fuels”
ClassNK SCS	28 Oct. 2024	https://www.classnk.or.jp/hp/en/authentication/scs/index.html	Certification of CORSIA Sustainable Aviation Fuels economic operators covered by Chapter 2 of the ICAO document “CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA eligible fuels”

Para evaluar los ahorros de emisiones derivados del uso de SAF, se debe realizar una contabilidad integral de todas las emisiones en todos los pasos del ciclo de vida del combustible, conforme a la metodología de análisis del ciclo de vida (LCA) definida por el estándar CORSIA. Si las emisiones totales de un combustible alternativo son menores que las emisiones totales de los combustibles fósiles, existe un beneficio ambiental atribuible a ese combustible.

En este contexto, en un esfuerzo por mantener la armonización en el cálculo de las emisiones de GEI del ciclo de vida del combustible, el Comité Medioambiental de la OACI (CAEP) desarrolló dos documentos relevantes: “Valores predeterminados de emisiones del ciclo de vida de CORSIA para combustibles elegibles de CORSIA” y “Metodología de CORSIA para calcular los valores reales de emisiones del ciclo de vida”.

Un elemento clave adicional que debe considerarse al evaluar los ahorros potenciales de GEI en la producción de SAF es el cambio en el uso de la tierra (LUC). Los cambios en el uso de la tierra pueden generar emisiones o secuestro de CO₂ como resultado de alteraciones en las reservas de carbono de la biomasa, la materia orgánica en descomposición y el carbono del suelo, lo que puede tener un impacto significativo en el perfil ambiental de la bioenergía. Al abordar los impactos del LUC, se suele hacer una distinción entre el cambio de uso de la tierra directo (dLUC) e indirecto (iLUC), especialmente en el contexto de la certificación.

La norma ISO/TS 14067:2013 define el cambio directo de uso de la tierra (dLUC) como un “cambio en el uso o la gestión de la tierra dentro del sistema de producto que se está evaluando”, mientras que el cambio inducido de uso de la tierra (iLUC) se refiere a un “cambio en el uso o la gestión de la tierra que es consecuencia de un cambio directo de su uso, pero que ocurre fuera del sistema de productos que se está evaluando”. A diferencia del dLUC, el iLUC no se puede medir ni observar directamente; en su lugar, se proyecta mediante modelos económicos que capturan ambos efectos de forma conjunta.

Se estima que las materias primas que no requieren tierra para su producción (como los desechos municipales, agrícolas o industriales), y aquellas que no requieren la sustitución de cultivos o LUC, tiene un riesgo bajo de inducir iLUC.

En el caso de Chile, los análisis realizados de las materias primas disponibles muestran en su mayoría que no son basadas en cultivos, por lo que, en principio, los aspectos relacionados con LUC no se han detectado críticos, aunque deberían ser considerados en el caso, por ejemplo, de cultivos oleaginosos para producir aceites como la Camelina.

2.1.3 Evaluación de Procesos y Materias Primas Asociadas

En el presente estudio se evaluarán las distintas tecnologías en relación con las materias primas potenciales que podrían utilizarse en cada caso, analizando tanto su disponibilidad como la factibilidad de aplicar dichas tecnologías en Chile.

Las tecnologías cuya madurez industrial se encuentra alcanzada y cuentan con la existencia de fabricantes que ofertan dicha tecnología para el desarrollo de plantas a nivel comercial, serían las siguientes:

- Coprocesado
- HEFA
- Fischer Tropsch - PtL
- Fischer Tropsch - gasificación
- Alcohol to Jet
- Metanol to Jet (sujeta a ser certificado)

Es importante reiterar lo señalado anteriormente: “la producción de SAF a gran escala y la aceleración de su industrialización han comenzado en los últimos 5 años, coincidiendo con la entrada en vigor de mandatos en diversos países que aseguran la seguridad jurídica de las inversiones en este sector. Por ello, es de esperar que en los próximos años se contemplen procesos de certificación de nuevas tecnologías”.

Lo anterior es esperado que provoque una rápida aceleración en la industrialización de todos los procesos, así como una mejora en los rendimientos y una reducción en los costos de producción de SAF. Por lo tanto, las tecnologías que se analizan a continuación para su posible implementación en Chile ya han alcanzado un desarrollo industrial, y se prevé que los rendimientos de las plantas mejoren de manera significativa en el corto plazo.

2.2 COPROCESADO

El coprocesado, es el proceso donde se mezclan materias primas que pueden ser certificadas como sostenibles, tales como aceites vegetales, grasas animales o aceites de cocina usados (conocidos como UCO, por sus siglas en inglés) con el crudo fósil en el proceso de refinamiento.

El coprocesado implica el uso de materias primas renovables en unidades de combustibles fósiles convencionales. Este método permite a las refinerías existentes integrar fácilmente las materias primas renovables en sus procesos de producción sin necesidad de realizar modificaciones significativas en sus infraestructuras.

El coprocesado es la opción más sencilla y económica para la producción de SAF en Chile sin necesidad de requerir infraestructuras adicionales, ya que puede aprovechar los mismos equipos y unidades de destilación de las refinerías como las de ENAP, implicando inversiones mínimas.

Este proceso de conversión está certificado, aunque con la limitación actual de una mezcla máxima del 5% de materia prima renovable con el crudo fósil procesado de acuerdo al marco ASTM (ver Figura 34). (Cabe señalar que, de acuerdo a la normativa Def Stan, esta mezcla máxima ha sido incrementada al 30%, aunque su aplicación está limitada al Reino Unido).

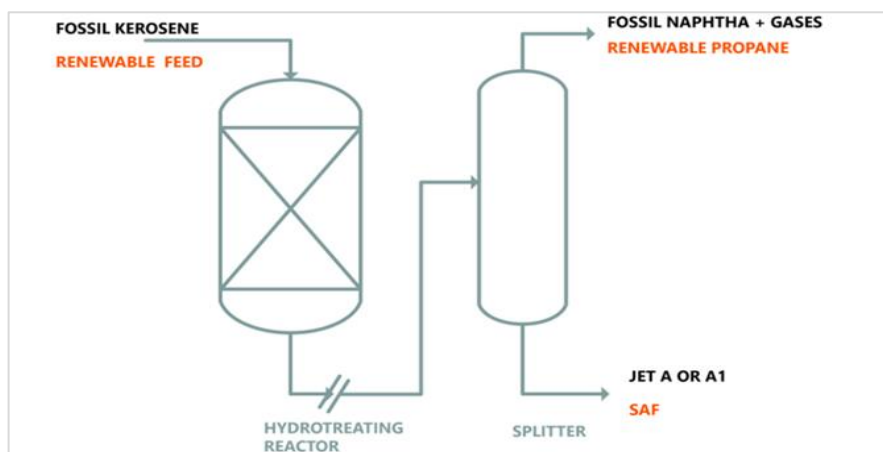


Figura 34. Método coprocesado.

El coprocesado presenta varias ventajas que lo convierten en una opción atractiva para Chile en el corto plazo:

- No requiere inversiones financieras sustanciales por no necesitar planificar, construir y operar una instalación independiente. Una refinería solo necesita modificaciones menores para poder co-procesar materias primas renovables, lo que convierte esta adaptación en el paso más rápido para producir SAF, especialmente si se busca una implementación ágil de políticas de uso de SAF en Chile.
- Las modificaciones en las refinерías para procesar permiten una gran flexibilidad, ya que pueden alternar entre el coprocesado y el refinado convencional, adaptándose a las condiciones cambiantes de la demanda.
- Las tecnologías que poseen las actuales plantas de refinado en Chile, en principio por similitud con otras plantas de la misma tecnología ubicadas en otras partes del mundo, son totalmente viables para introducir las modificaciones necesarias para co-procesar materias primas sostenibles y producir SAF.
- La logística de recepción de materias primas de las refinерías está adaptada para recibir envíos a granel por camión, tren o barco.
- Las infraestructuras logísticas de las refinерías están bien equipadas para distribuir combustibles de aviación a los aeropuertos por tuberías, ferrocarril o camión. En particular, la conexión de la Refinería de ENAP con el aeropuerto de Santiago (AMB) que transporta una gran parte del combustible consumido en el país.
- El coprocesado simplifica el proceso de certificación al eliminar la necesidad de mezclar y recertificar el combustible, ya que todo se produce dentro del mismo lote de refinado y solo debe cumplir con la norma ASTM D1655. En contraste, el SAF producido en instalaciones exclusivas a través de las demás rutas tecnológicas aprobadas hasta ahora, debe cumplir primero con la norma ASTM D7566, que regula los combustibles de aviación con hidrocarburos sintetizados. Posteriormente, este SAF, en estado puro, debe mezclarse hasta un máximo del 10% o del 50 % (según la ruta específica) con combustible fósil y la mezcla resultante debe certificarse nuevamente bajo la norma ASTM D1655, lo que implica un proceso de certificación en dos etapas:
 - Potencial incremento (si se aprueba ese cambio actualmente en evaluación en ASTM) del máximo contenido de mezcla permitido en el coprocesado del 5% hasta el 30%, lo que

incrementaría drásticamente la capacidad técnica de producir SAF con esta tecnología (de acuerdo Def Stan el 30% ya ha sido aprobado)

- Existe actualmente proveedores o distribuidores identificados en Chile de aceite de cocina usado con actual destino exportación que sería susceptible para su uso para ser coprocesado para la producción de SAF en el corto plazo.

Por otro lado, el coprocesado presenta los siguientes desafíos o brechas:

- La incorporación de materias primas renovables en una unidad de hidropocesamiento, incluso en pequeñas cantidades, libera parafinas lineales a partir de los ácidos grasos. Esto puede afectar negativamente las propiedades de flujo en frío y aumentar el punto de congelación del combustible. La norma ASTM D1655 exige un punto de congelación mínimo de -40°C para combustibles de aviación, por lo que es necesario un proceso de desparafinado, el cual puede resultar complejo y costoso.
- Las materias primas utilizadas, principalmente aceites y grasas, compiten con otros mercados, como el de bioenergía para el transporte terrestre, la industria cosmética y la alimentación animal, lo que puede generar limitaciones en su disponibilidad y afectar su costo.
- Los rendimientos de las refinerías pueden variar debido a la falta de una materia prima homogénea y constante a lo largo del tiempo, lo que puede afectar la eficiencia y estabilidad del proceso de coprocesado.

En el caso de Chile, la potencial disponibilidad de aceites y grasas animales es suficiente para permitir la adaptación de las refinerías existentes y procesar hasta un 5% de SAF con una inversión relativamente baja, en particular la disponibilidad de UCO a nivel nacional proviene tanto de su recolección en hogares como de establecimientos de mayor, como restaurantes y hoteles. El posible aumento por encima del 5% representa un incentivo adicional para el coprocesado, ya que permitiría cubrir una parte significativa de la demanda de SAF en Chile.

En el país, la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) es la principal entidad encargada de la refinación de petróleo. Actualmente, opera tres refinerías clave:

1. Aconcagua en Concón (ver Figura 35)
2. Bío en Talcahuano
3. Gregorio en Magallanes



Figura 35. Refinería Aconcagua.

Considerando que el consumo de combustible en Chile para 2030 se estima en 1.635.000 toneladas anuales, la cantidad de aceite necesaria para cubrir un 5% de coprocesado sería aproximadamente 75.000 toneladas de aceite usado o su equivalente en grasas animales.

Esto convierte al coprocesado en una alternativa viable para Chile, permitiendo atender la demanda inicial en el marco de una política de introducción de SAF de manera rápida y con una inversión moderada.

Recientemente, ENAP, como fue mencionado anteriormente, ha iniciado el procesamiento de 350 mil litros de aceite usado proveniente de restaurantes y locales de comida rápida en el país, convirtiéndolo en un diésel bajo en carbono denominado “Diésel Renovable ENAP”.

En relación con el aceite de cocina usado (UCO), debido a sus características, puede generar un gran impacto ambiental si no se recoge y gestiona adecuadamente. Por ello, es fundamental establecer un sistema de recogida separada que permita darle un uso sostenible, como su transformación en biocombustibles.

En el presente estudio se han identificado en Chile dos empresas especializadas que llevan a cabo la recolección de UCO a gran escala y cuentan con recursos logísticos y de almacenamiento: ARSA Group y Rendering⁷².

Según la empresa ARSA Group⁷³, especializada en la recolección y comercialización de UCO, una parte importante de este aceite recolectado actualmente se destina a la exportación por no existir alternativa interna viable actual como su transformación en SAF. Sin embargo, la gestión del UCO enfrenta desafíos debido a la dispersión de sus puntos de generación, ya que se produce en cantidades reducidas en múltiples ubicaciones. Esto requiere un sistema de recolección, distribución y almacenamiento altamente eficiente y descentralizado, lo que hace imprescindible la colaboración de los municipios y el establecimiento de puntos limpios. Asimismo, es necesaria una regulación clara y campañas de concientización para fomentar la separación y el depósito adecuado del residuo. Adicionalmente, debe asegurarse que todo el sistema de la gestión de los aceites de cocina usados está operado bajo el marco normativo del país (La Ley REP).

2.3 HEFA-SPK

La tecnología HEFA consiste en la producción de queroseno parafínico sintetizado (SPK- Synthesized paraffinic kerosene) producido a partir de ésteres y ácidos grasos hidroprocesados (HEFA: Hydroprocessed Esters and Fatty Acids).

El HEFA-SPK se produce haciendo reaccionar una materia prima a base de aceite o grasa con hidrógeno. La materia prima principal son los triglicéridos, que son los componentes básicos de las grasas y los aceites. Se obtienen a partir de vegetales, animales u otros aceites residuales que se encuentran en la naturaleza. El proceso químico de conversión de los aceites se lleva a cabo a través de dos fases principales, desoxigenación e hidrogenación, para producir un combustible de hidrocarburos saturados. Con este proceso de conversión, se puede mezclar hasta un 50% en volumen del componente HEFA-SPK con el combustible Jet A o Jet A-1 convencional (ver Figura 36).

⁷² Rendering (2025)

⁷³ ARSA Group (2025)

los mismos recursos, como el biogás o el HVO (Hydrotreated Vegetable Oil), utilizado para el tráfico rodado.

- En el caso de Chile, en el presente estudio no se han identificado abundancias de cultivos ni grandes cantidades de aceites o productos susceptibles de ser utilizados para abastecer las grandes cantidades de materias primas requeridas por las plantas de HEFA. Sin embargo, es importante señalar que, al sumar toda la producción de aceites residuales y otras materias primas disponibles, existirían posibilidades de que alguna refinería pudiera establecer una planta de HEFA.
- Los cultivos oleaginosos utilizados, podrían entrar en competencia con la producción de alimentos para humanos y animales, lo que generaría un impacto en la seguridad alimentaria. Además, la expansión de estos cultivos podría afectar los ecosistemas naturales, modificando paisajes y biodiversidad. Esta situación ha generado una presión social y política en varios países, lo que ha llevado a implementar limitaciones en el uso de estos cultivos.
- La tecnología HEFA podría competir con las materias primas utilizadas en el coprocesado para la producción de SAF u otros combustibles.

La ruta HEFA se implementa principalmente en los emplazamientos de las refinerías convencionales debido a las sinergias logísticas, operativas y a la infraestructura ya existente en estas instalaciones.

En Chile, esta alternativa tecnológica podría ser viable únicamente viable en las actuales refinerías de ENAP, dado que cuentan con la infraestructura adecuada para su implementación. Sin embargo, la tecnología HEFA competiría con la alternativa del coprocesado, que podría ser una opción más atractiva debido a su menor complejidad tecnológica y menores requisitos de inversión.

Es importante señalar que, durante el análisis realizado, no se han detectado cantidades significativas de cultivos oleaginosos en Chile que pudieran desarrollar una industria con un alto potencial alrededor de la tecnología HEFA. Las cantidades de aceites residuales, grasas animales y otras sustancias grasas con potencial para esta tecnología se producen de forma discreta en el país, siendo gran parte de estos recursos exportados, lo que limita la disponibilidad local para el desarrollo de una industria HEFA a gran escala. A modo de referencia, una planta que utiliza tecnología HEFA requiere una escala mínima de producción de SAF de 200.000 toneladas anuales. Para alcanzar este nivel, se necesitan aproximadamente 285.000 toneladas de aceites u otras materias primas equivalentes.

Adicionalmente, durante el estudio se ha analizado el potencial de cultivos futuros que podrían ser susceptibles de ser utilizados en el proceso HEFA. En cualquier caso, sería esencial realizar un análisis más profundo para identificar los cultivos más adecuados, asegurando la protección del medio ambiente y la agricultura alimentaria.

Entre las plantas oleaginosas de cultivo potencialmente asociadas a la producción de HEFA, hoy se encuentran, entre otras, la camelina, la jatropha y la mostaza. Estas plantas tienen características que las hacen aptas debido a su contenido de aceites vegetales que pueden ser procesados mediante la tecnología HEFA.

El uso de estos cultivos oleaginosos para producir aceites destinados a biocombustibles está sujeto a que el rendimiento de los mismos sea económicamente competitivo frente a otros cultivos más establecidos. Es fundamental que el rendimiento en términos de producción de aceite por hectárea sea suficiente para

justificar los costos asociados a su cultivo, cosecha y procesamiento en comparación con otras alternativas agrícolas, especialmente aquellas que se destinan a la producción de alimentos.

Además, factores como la rentabilidad del mercado de biocombustibles, los costos de inversión en infraestructura, la disponibilidad de recursos hídricos y la viabilidad logística jugarán un papel clave en la decisión de cultivar estas especies a gran escala.

En el análisis económico de viabilidad de estos cultivos, es crucial considerar tanto los ingresos generados por el aceite que se puede utilizar en los procesos HEFA, como los subproductos derivados de la misma materia prima, que pueden mejorar la viabilidad económica de algunos de estos cultivos. Por ejemplo, en el caso de la camelina, el uso de la torta (subproducto del proceso de extracción de aceite de la semilla) restante después de la extrusión del aceite ofrece un buen rendimiento para la alimentación animal. Este subproducto puede generar ingresos adicionales, lo que contribuye a hacer más rentable el cultivo y a equilibrar la viabilidad económica en comparación con otras alternativas agrícolas.

2.4 PTL FISCHER-TROPSCH (FT)

2.4.1 La Ruta Power to Liquid

Chile dispone de extraordinarios recursos naturales para la generación de energías renovables y un gran potencial para el desarrollo de la industria de hidrógeno verde. Por ello, la ruta Power to Liquid se presenta como una de las opciones principales para ser analizadas de forma detallada para la producción de SAF en el país.

PtL, "Power-to-Liquids", (también comúnmente denominados e-fuels o combustibles sintéticos) se refiere a la producción sintética de combustibles líquidos a base de hidrocarburos para motores de reacción en la aviación. Las principales fuentes de energía y materias primas para la producción de PtL son hidrógeno, electricidad renovable, agua y dióxido de carbono (CO_2).

La ruta PtL consta en términos generales de cuatro pasos principales:

1. Producción de hidrógeno: Se produce hidrógeno utilizando electricidad renovable, principalmente mediante la electrólisis del agua.
2. Obtención de CO_2 : El CO_2 , que posteriormente es sometido a un proceso de conversión a monóxido de carbono.
3. Síntesis en hidrocarburos líquidos: El hidrógeno y el CO se sintetizan en hidrocarburos líquidos (en una relación óptima $\text{H}_2:\text{CO} = 2:1$).
4. Conversión en combustibles finales refinados.

Existen diversos métodos de síntesis para producir combustible de aviación renovable PtL o SAF, como la síntesis de Fischer-Tropsch (FT) o la de metanol (MeOH) mediante el proceso "Metanol-to-Jet".

El proceso Fischer-Tropsch produce una mezcla de varios hidrocarburos de cadena larga, que deben someterse a un procesamiento adicional de hidrocrackeo o fraccionamiento para obtener combustible de aviación y otros productos. En la configuración del proceso de hidrocrackeo o fraccionamiento para la obtención de SAF como producto final, se suelen obtener diésel y nafta en unos valores aproximados del 25% y 5% respectivamente, que pueden variar según la configuración o tecnología del proceso. En cualquier caso,

existe la posibilidad que estos productos se puedan recircular para maximizar la producción de SAF (ver Figura 37).

El SAF obtenido a través de la ruta PtL, debe cumplir los estándares actuales de combustible de aviación ASTM, donde es posible una mezcla máxima hasta un 50 % con queroseno convencional.

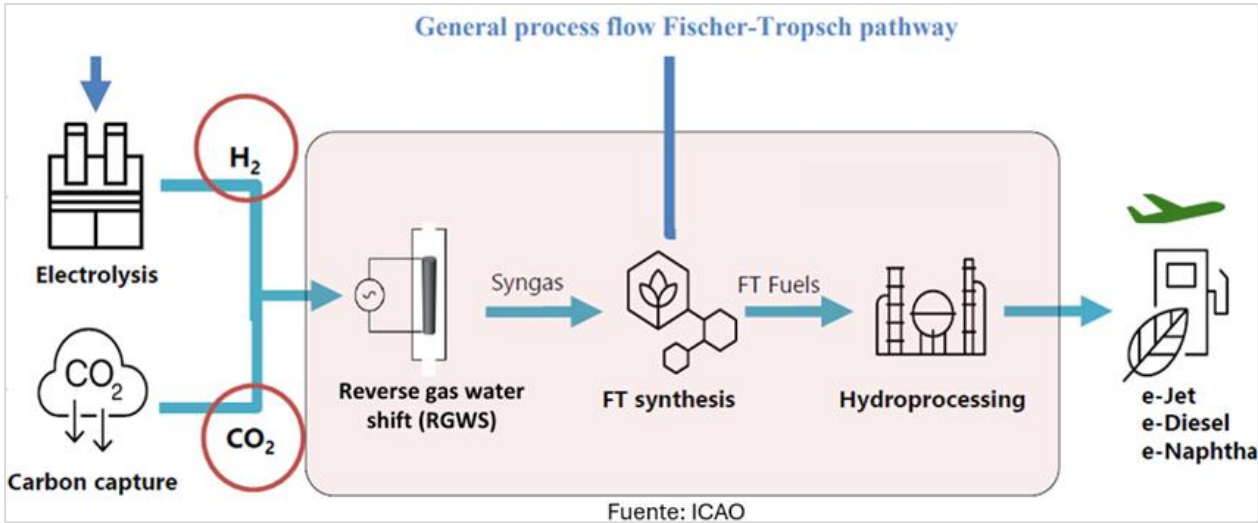


Figura 37. Proceso de producción PtL.

Tabla 11. Alcance de Instalaciones y Procesos SAF PtL.

Instalaciones y Equipos de Plantas de SAF - Tecnología PtL	
Planta de producción de energía renovable	Energía renovable
Planta de electrólisis (opcional)	H2V
Reverse Water Gas Shift	Gas de Síntesis
Acondicionamiento de Gas de Síntesis	Gas de Síntesis
Fischer Tropsch (F-T)	Crudo FT
Planta de hidrocrackeo	SAF
Instalaciones de almacenamiento de SAF y bahía de carga	

El análisis realizado en este apartado se centra en la ruta PtL FT, “Fischer-Tropsch hydroprocessed synthesized paraffinic kerosene (FT-SPK)”, producida a través del uso directo de hidrógeno y CO₂. La ruta PtL FT mediante la obtención de gas de síntesis procedente de la gasificación de biomasa se tratará en otros apartados del presente estudio de acuerdo con la materia prima considerada (ver Tabla 11).

Por otro lado, la ruta de metanol conocida como Metanol to Jet (MtJ) podría considerarse en el futuro cercano como una alternativa viable a la ruta PtL, dependiendo de los avances tecnológicos y de la evolución de las normativas y estándares para la producción de SAF, aunque en el momento actual no está certificada bajo el marco de ASTM. La proyección de hidrógeno verde en Chile genera el interés por la nueva oportunidad para la producción de metanol verde o e-methanol, mediante la síntesis del hidrógeno y el CO₂ y ser una opción comercial para su desarrollo. El potencial desarrollo del metanol abre la oportunidad a una futura producción de SAF a través de la ruta MtJ en el caso de que esta termine por ser certificada.

En la actualidad aún existen dudas técnicas que dificultan tener una visión clara sobre sus costos y la viabilidad de los proyectos basados en esta tecnología. Sin embargo, sigue siendo una opción interesante para el futuro. Dado que en Chile existe potencial de desarrollo de proyectos a través de la ruta MtJ, ésta será tratada más adelante en el presente estudio.

2.4.2 Oportunidades y Desafíos de la Ruta PtL Para Chile

Oportunidades

La ruta PtL es altamente intensiva en electricidad, por lo que, para ser viable es necesario contar con fuentes de energía de electricidad renovable con continuidad en el tiempo y a precios competitivos. Adicionalmente, es necesario contar con fuentes de CO₂ cercanas a las plantas de producción.

En relación con la energía, se comprueba que la futura producción de electricidad renovable en Chile se estima que cumpliría con los requisitos de intensidad y precios competitivos, así como su permanencia. Todo ello supeditado a ciertas regiones del país.

En este contexto, la ruta PtL se integra de manera altamente favorable en el entorno industrial, energético y económico de Chile, ofreciendo una serie de beneficios y oportunidades, entre las que destacan:

- El SAF producido a través de la ruta PtL puede ser una de las formas más eficientes de distribuir y exportar el gran potencial de hidrógeno y energía renovable que Chile posee. El país está alineado con una estrategia nacional que posiciona al hidrógeno y sus derivados como un vector clave para la transición energética, donde el SAF PtL genera oportunidades comerciales significativas para su expansión.
- Proporciona autonomía energética: El SAF producido mediante la ruta PtL ofrece una solución clave para la descarbonización del sector aéreo sin necesidad de importar SAF o materias primas para su producción. Toda la generación energética, los insumos y las materias primas provienen 100 % de recursos propios del país. Así, el SAF PtL se presenta como una solución efectiva para alcanzar la autonomía energética, aprovechando los abundantes recursos renovables de Chile y reduciendo la dependencia de fuentes externas de energía y combustibles.
- La ruta PtL no está sujeta a la volatilidad de los costos de las materias primas biogénicas. Esto permitiría que los proyectos a desarrollarse en el país cuenten con una mayor certidumbre económica y viabilidad, ya que los costos de producción estarían menos expuestos a fluctuaciones impredecibles como la producción de la electricidad de energía renovable y la generación y procesamiento del CO₂. Además, los mecanismos de incentivos para apoyar la producción de SAF o cubrir las brechas con los costos del combustible convencional serían más efectivos, facilitando un entorno más estable y predecible para la inversión y el desarrollo de la industria en Chile.
- Desde el punto de vista medioambiental, el SAF PtL es la opción más sostenible, ya que es una de las tecnologías que genera mayores ahorros netos de emisiones de CO₂. Además, esta ruta evita los riesgos

asociados con el uso del suelo para cultivos y la posible alteración de los ecosistemas naturales y sociales protegidos existentes en Chile.

- Conecta con otras industrias del país y promueve su descarbonización, facilitando la transición hacia fuentes más sostenibles. En este contexto, es relevante destacar lo siguiente:
 - El SAF PtL potencia el desarrollo de la futura industria del hidrógeno en Chile, posicionándolo como un actor clave en la descarbonización del país. Como combustible líquido, el SAF facilita el transporte y la manipulación del hidrógeno permitiendo aprovechar las infraestructuras existentes de almacenamiento y distribución de combustibles convencionales. Además, dada la previsión de un crecimiento exponencial en la demanda de SAF, esta tecnología ofrecerá al hidrógeno una oportunidad comercial significativa, impulsando su desarrollo a gran escala y consolidando su rol estratégico en la transición energética en Chile.
 - La necesidad de CO₂ para la generación de SAF impulsará, en muchos casos, la instalación de plantas de producción próximas a industrias emisoras de CO₂, como aquellas vinculadas al sector de la madera. En este contexto, la ruta PtL no solo se conecta en la industria por la captura del CO₂, sino que también ofrece la posibilidad de integrar productos e insumos clave para la fabricación del SAF, como el hidrógeno, la energía renovable y los excedentes de calor.
 - La ruta PtL puede integrarse con la industria termoeléctrica chilena, a través de su conexión con la biomasa forestal, la cual representa aproximadamente el 10% de la generación eléctrica del país. Este proceso permitiría capturar el CO₂ biogénico emitido durante la combustión de la biomasa para la producción directa de SAF.
- La cadena de producción asociada a esta tecnología tiene un efecto tractor, promoviendo el desarrollo de una industria auxiliar que refuerza la actividad industrial y económica en las regiones donde se implementen las plantas de producción de SAF.
- Su desarrollo actúa como un motor impulsor para el desarrollo de tecnología y centros de investigación.

Desafíos

La producción de SAF a través de la ruta PTL está altamente condicionada por encontrar localizaciones en las cuales esté disponible energía sostenible en forma continuada y a un precio competitivo, agua para la producción de hidrógeno verde y CO₂ que cumpla los requisitos recientemente establecidos por OACI bajo CORSIA, e incluidos en la Sexta edición (junio de 2025) del documento de OACI: *Metodología CORSIA para el cálculo de los valores reales de emisiones del ciclo de vida*⁷⁵.

Encontrar estas localizaciones constituye la principal dificultad para el desarrollo de una planta de PTL. En el caso de Chile se identifica que las zonas de alta producción de electricidad renovable no siempre se encuentran disponibles próximas a fuentes de CO₂ que puedan ser utilizables. Algunas de estas zonas de generación de energía renovable son remotas, por lo que el transporte de la electricidad es complicado.

Otros riesgos y dificultades detectados para la producción de SAF vía PtL son los siguientes:

- Los costos de infraestructura y operacionales para una planta de PtL son considerablemente más altos en comparación con otras tecnologías analizadas, como el coprocesado, HEFA o Alcohol to Jet. Los costos asociados con la tecnología de gasificación más Fischer-Tropsch, que se analizarán más adelante, son similares a los de la ruta PtL.

⁷⁵ ICAO, CORSIA Eligible Fuels (2025)

- La infraestructura actual del sistema eléctrico en Chile presenta restricciones en el acceso a puntos de conexión, así como al transporte de energía renovable, lo que potencialmente podría limitar en Chile el despliegue de proyectos a gran escala en los emplazamientos que reúnan los requerimientos adecuados para esta tecnología.
- Chile es un país de gran extensión, lo que complica la logística de una planta PtL, tanto en términos de suministro de insumos como en el transporte final del producto hacia los almacenes de mezcla y su posterior entrega a las aerolíneas.
- La ruta PTL se considera una tecnología madura en conocimiento, pero su desarrollo comercial aún tiene un costo elevado y está en pleno proceso de industrialización.
- En general, y dependiendo mucho de los análisis realizados, el precio del producto obtenido por la tecnología PTL es hoy por hoy considerablemente superior al mismo producto obtenido por otras tecnologías.
- En algunos países, la diferencia de precios entre los combustibles sostenibles y los fósiles se está incentivando mediante políticas y subsidios por parte de las autoridades. Sin embargo, en el caso de Chile, según la información proporcionada por las autoridades locales, esta incentivación podría ser difícil de implementar.
- Reducir barreras burocráticas en los procesos relativos a la obtención de permisos o concesiones sin perjuicio en el cumplimiento de criterios de sostenibilidad y seguridad.

2.4.3 Localización de Plantas para la Producción de SAF PtL en Chile

Para la localización y viabilidad de plantas de SAF PtL en Chile, es necesario realizar un análisis detallado a lo largo de su geografía, identificando las áreas que cumplan parcial o totalmente con una serie de requisitos. Estos requisitos podrán tener perspectiva variable en el tiempo, dependiendo de factores como el desarrollo de políticas nacionales, la evolución de las infraestructuras, los cambios industriales y los esquemas de incentivos que se implementen en el país. Este enfoque permitirá optimizar la ubicación de las plantas, considerando tanto las condiciones actuales como las proyecciones a largo plazo.

Los principales requisitos que condicionan la localización de las plantas de SAF PtL y que apoyan su viabilidad son los siguientes (ver Figura 38):

- Acceso a fuentes competitivas de energía verde para principalmente producir hidrógeno, garantizando una producción sostenible y eficiente. Aprovechamiento de las fuentes renovables, fotovoltaica en el Norte-Centro del país y Eólica en el Sur, sin descartar otras regiones con otros niveles suficientes de generación de energía renovable. En este sentido, es relevante la identificación de proyectos de H2V actuales y futuros.
- Disponibilidad de fuentes de agua cercanas, necesarias tanto para el proceso de producción de hidrógeno como en el de SAF. En Chile, tiene especial interés estratégico el despliegue de las plantas desalinizadoras existentes y la experiencia adquirida para su desarrollo. Este despliegue procede por la carencia en muchas partes del país de fuentes abundantes de agua dulce dependiendo principalmente del agua de mar para suplir las necesidades humanas, agrícolas e industriales.
- Acceso efectivo a fuentes de CO₂, que cumplan los requisitos de CORSIA, que pueden ser de origen antropogénico, como las generadas por la industria, o de fuentes naturales, como el CO₂ capturado directamente de la atmósfera (DAC).
- Disponibilidad de suelo compatible con los requisitos industriales y medioambientales para asegurar una instalación que cumpla con normativas y no cause impactos negativos en el entorno.

- Conexión al Sistema Eléctrico que facilita garantizar un suministro energético estable y fiable para principalmente la producción de hidrógeno verde mediante electrólisis. A su vez, permite evacuar a la red de electricidad potenciales excedentes.
- Acceso a infraestructuras de transporte, como tráfico rodado, ferroviario o marítimo, que faciliten el traslado de materias primas, insumos y productos finales.
- Infraestructuras energéticas adecuadas para la distribución de insumos o productos, como oleoductos, gasoductos o hidroductos, entre otros.

FACTORES INFLUYENTES EN LA LOCALIZACIÓN DE UNA PLANTA SAF - PTL		
ENERGÍA VERDE	FUENTES DE AGUA	FUENTES CO ₂
FUENTES DE HIDRÓGENO	SUELO INDUSTRIAL	CONEXIÓN RED
CONEXIÓN TRANSPORTE	LOGÍSTICA ENERGÉTICA	GAS DE SÍNTESIS

Figura 38. Factores Influyentes en la Localización de una Planta SAF-PtL.

Un mayor fortalecimiento del conjunto de factores que influyen en la localización de las plantas de SAF PtL será determinante para asegurar la viabilidad y su éxito a medio y largo plazo en Chile.

2.4.4 Análisis de Fuentes Puntuales de CO₂ en Chile

El CO₂ es un insumo fundamental para la producción de combustibles sintéticos o PtL. Es necesario realizar un análisis exhaustivo en Chile de las fuentes de CO₂ con localización específica que permitan su captura y utilización. Este análisis debe ser considerado con una perspectiva en el medio y largo plazo, considerando la evolución de las fuentes puntuales de CO₂ actuales como la futura generación de fuentes alternativas. Todas las fuentes de CO₂ deben permitir cumplir con los criterios de sostenibilidad establecidos por CORSIA para los SAF. La Sexta edición (junio de 2025) del documento de OACI: *Metodología CORSIA para el cálculo de los valores reales de emisiones del ciclo de vida*, los ha actualizado.

En relación con las diferentes fuentes de CO₂, podemos distinguir entre el CO₂ procedente de materias biogénicas, que tendrá un mayor valor para su elegibilidad como neutral en carbono en la producción de SAF, y las fuentes de CO₂ industriales de origen fósil, siempre que sean consideradas "inevitables" o estén conectadas a procesos de producción o transformación.

La estrategia para la producción de SAF a través de la ruta PtL está estrechamente vinculada al acceso efectivo a fuentes de CO₂. A nivel nacional, se deben considerar y valorar los siguientes factores:

- Existencia de puntos de emisión concentrados de CO₂, que faciliten la captura del gas de manera eficiente y económica.
- Clasificación de las fuentes de CO₂ en función de su elegibilidad para la producción de SAF, priorizando aquellas fuentes que puedan cumplir con los requisitos técnicos y ambientales para el proceso.
- Análisis cuantitativo de cada foco de emisión y su disponibilidad a medio y largo plazo. Consideramos que alrededor de 100 kt/año de CO₂ procedente de una fuente puntual o combinación de varias es el mínimo necesario para desarrollar una planta de SAF PtL. Con 100 kt/año de CO₂ se pueden producir aproximadamente 35 kt de SAF. Este análisis ayudará a estimar la capacidad de producción y su viabilidad.

- Consideración de que las fuentes de CO₂ sean constantes a medio y largo plazo y no estén sujetas a interrupciones, lo que garantizaría un suministro estable y continuo para la producción de SAF.
- Nivel de concentración de CO₂ en la mezcla de gases del punto de emisión, ya que influye directamente en los procesos de captura y en los costos asociados a esta tecnología.
- Posibilidad de acceso para la instalación de equipos de captura de CO₂, lo que incluye la evaluación de la infraestructura necesaria y la viabilidad de integrarla en los puntos de emisión existentes.
- Proximidad de las fuentes puntuales de CO₂ a las plantas de producción de hidrógeno, ya que la cercanía entre ambas instalaciones optimiza los costos y la eficiencia del proceso de captura y transporte del CO₂.
- Posibilidad de desarrollo de infraestructuras que permitan la carga y transporte de CO₂, lo que garantizaría que el CO₂ capturado pueda ser eficientemente transportado hacia las plantas de producción de SAF en caso de no estar adyacente a la planta.

Estos factores deben ser cuidadosamente analizados para asegurar la viabilidad de la producción de SAF a través de la ruta PtL y maximizar su eficiencia económica y ambiental en el contexto chileno.

Por otro lado, en particular en el caso de Chile, los aspectos logísticos relacionados con la proximidad entre las instalaciones de producción de hidrógeno y CO₂, así como las necesidades de transporte de energía eléctrica renovable hacia estas plantas, son factores críticos para evaluar la viabilidad de los proyectos de SAF mediante la ruta PtL.

CORSIA admite diferentes fuentes de CO₂ para la fabricación de SAF tanto de origen industrial como biogénico con algunas limitaciones relativas con los criterios de sostenibilidad.

El uso de emisiones biogénicas se puede considerar que tiene un valor superior en cuanto el reconocimiento por algunos esquemas mandatorios de requisitos de SAF, como es el sistema de la Unión Europea. No obstante, una parte significativa de las fuentes de CO₂ identificadas en Chile cumplen los requisitos de CORSIA y son elegibles para la producción de SAF (ver Figura 39).



Figura 39. Criterios- Selección Fuentes de CO₂.

A partir de este análisis, es posible identificar diversas fuentes potenciales de emisiones de CO₂ en Chile, provenientes de actividades humanas con distintas características y niveles de concentración. Algunas de estas fuentes, que podrían ser consideradas para captura y valorización en la producción de e-SAF, incluyen:

- Generación de energía eléctrica a través de biomasa, como la biomasa forestal o agrícola utilizada en plantas termoeléctricas.
- Plantas industriales de cemento, papeleras y acereras.
- Emisiones de la descomposición de materia orgánica en vertederos, donde los residuos orgánicos generan metano y CO₂ durante su descomposición.

- Actividades industriales con procesos de combustión para la generación de energía o calor.
- Combustión de residuos o subproductos de procesos de fabricación de carácter biológico, como el licor negro, serrín, biomasa, entre otros.
- Fermentación en cerveceras, un proceso industrial que genera CO₂ como subproducto.

En ese sentido, se presentan a continuación algunos ejemplos de empresas que operan en Chile y que podrían constituir fuentes relevantes de CO₂ (ver Figura 40). Esta nómina tiene carácter referencial y no exhaustivo, ya que existen otras entidades potencialmente elegibles cuya inclusión dependerá de estudios técnicos específicos que evalúen factores como la localización, volumen de emisión, concentración del CO₂, continuidad operativa y trazabilidad de su origen:

- Industrias papeleras: Celulosa Arauco y CMPC Pulp.
- Acerías: Siderúrgica Huachipato y aceros AZA
- Cementeras: Cementos Biobío y cementos Polpaico
- Centrales termoeléctricas de biomasa: Comasa y Energía Pacífico
- Industria química: Methanex
- Alimentación: Industria Nacional de Secado y lácteos Río Cato



Figura 40. Fábrica papeleras de FPC en Biobío.

Para avanzar en la identificación y priorización de estas fuentes, es fundamental contar con herramientas de información pública y sistemática. En este contexto, el RETC (Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes), dependiente del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) de Chile, proporciona un catálogo a nivel nacional de todas las fuentes de emisiones, incluyendo el CO₂. Este registro permite construir un mapa detallado de los puntos de emisión de CO₂, su localización geográfica y las empresas generadoras de estas emisiones. El RETC es una herramienta clave para monitorear y gestionar las emisiones de contaminantes en el país, facilitando el acceso a información precisa y actualizada sobre las fuentes de CO₂, lo cual es esencial para la planificación y ejecución de estrategias de captura y reducción de emisiones, como las necesarias para la producción de SAF a través de la ruta PtL.

De acuerdo con los datos extraídos del RETC⁷⁶, tomando como referencia aquellas plantas emisoras de CO₂ mayores de 100kt, por considerar el tamaño mínimo necesario para el desarrollo de una planta de SAF PtL y considerado el año 2019 como un periodo pre-COVID más representativo de la actividad real, se muestra que las regiones de Antofagasta, Biobío y Metropolitana disponen del 58% de las fuentes puntuales del país. Estas regiones concentran importantes actividades industriales, como la generación de energía y la industria forestal, que son las principales fuentes de emisiones en Chile (ver Tabla 12 y Tabla 13).

Tabla 12. Fuentes puntuales de CO₂ mayores de 100 kt (materia prima / sector).

CHILE - INSTALACIONES INDUSTRIALES CON EMISIONES DE CO ₂ SUPERIORES A 100 MIL TONELADAS													CO ₂
MATERIA PRIMA / SECTOR	Antofagasta	Araucanía	Atacama	Biobío	O'Higgins	Los Lagos	Magallanes	Maule	Metropolitana	Ñuble	Tarapacá	Valparaíso	TOTAL
BIOGÉNICO		4		15	1			5	1	4			30
Alimentación										1			1
Maderero		2		13				5		3			23
Otras industrias									1				1
Termoeléctrica		2		2	1								5
CARBÓN	11		4	3					1		1	4	24
Cemento	2								1				3
Termoeléctrica	9		4	3							1	4	21
FOSIL	6	1	3	5		2	1	1	9	2		4	34
Alimentación						2			3	1			6
Cemento			1	1				1	1				4
Hierro y Acero				2					1				3
Industria Química		1					1		1				3
Maderero				1						1			2
Minería	1		2										3
Otras industrias				1					1				2
Termoeléctrica	5								2			4	11
TOTAL	17	5	7	23	1	2	1	6	11	6	1	8	88

Fuente: RTEC

Tabla 13. Fuentes puntuales de CO₂ mayores de 100 kt por sector.

CHILE - INSTALACIONES INDUSTRIALES CON EMISIONES DE CO ₂ SUPERIORES A 100 MIL TONELADAS													CO ₂
SECTOR	Antofagasta	Araucanía	Atacama	Biobío	O'Higgins	Los Lagos	Magallanes	Maule	Metropolitana	Ñuble	Tarapacá	Valparaíso	TOTAL
Alimentación						2			3	2			7
Cemento	2		1	1				1	2				7
Hierro y Acero				2					1				3
Industria Química		1					1		1				3
Maderero		2		14				5		4			25
Minería	1		2										3
Otras industrias				1					2				3
Termoeléctrica	14	2	4	5	1				2		1	8	37
TOTAL	17	5	7	23	1	2	1	6	11	6	1	8	88

Fuente: RTEC

⁷⁶ RETC – Datos Emisiones al aire de fuentes puntuales 2023

En relación con los indicadores obtenidos de las fuentes puntuales de emisiones de CO₂ mayores de 100 kt en Chile ofrecen mensajes clave esenciales, que pueden orientar en la localización estratégica y el desarrollo de plantas de producción de SAF Ptl:

- En las 88 fuentes puntuales emisoras de CO₂ que superan las 100 kt es requerido un análisis detallado en relación con su tipología industrial, los procesos de transformación y su evolución a medio y largo plazo:
 - Análisis del carácter de las fuentes emisoras: Es relevante determinar qué emisiones cumplirían los requisitos de sostenibilidad de CORSIA.
 - Permanencia de las fuentes en el medio y largo plazo: Es esencial evaluar la viabilidad a largo plazo de aquellas fuentes de CO₂ mayores a 100 kt que puedan ser elegibles para la producción de SAF.
- La mayor concentración de las fuentes de emisiones de CO₂ superiores a 100 kt está en la región del Biobío por la industria de Celulosa y Papel, la región de Antofagasta por la industria termoeléctrica y la región Metropolitana por su diversidad industrial implantada en la región.
- De las 88 plantas, en 24 sus emisiones son generadas por carbón (se descarta el uso de sus emisiones de CO₂), en 34 de otros combustibles fósiles y en 30 sus emisiones son de carácter biogénico.
- En la región de Magallanes, solo la planta petroquímica de Methanex supera las 100 kt de CO₂, las otras dos empresas claves en la región, ENAP y EDELMAG no superan dicha cantidad.

Magallanes presenta un gran potencial para la generación de energía renovable eólica a costos excepcionalmente bajos, sumado a su aislamiento de fuentes cercanas de CO₂, lleva a plantear la necesidad de un análisis detallado sobre la posible implementación de tecnologías de Captura Directa de Aire (DAC) en el futuro y otras alternativas, así como la viabilidad del transporte de CO₂ y el desarrollo de infraestructuras logísticas asociadas.

La industria del papel y la celulosa y madera, es un sector clave en términos de emisiones en el país, con 25 plantas, representa un 28,4% del total. De estas, 14 plantas se concentran en la región del Biobío. A nivel nacional, este sector está dominado por dos empresas principales, Arauco y CMPC (ver Figura 41), que juntas concentran 23 de las 25 plantas mayores de 100 kt.

Adicionalmente, el papel y la celulosa adquieren una relevancia adicional debido a las emisiones biogénicas que generan, especialmente por la quema de residuos de sus procesos industriales, como la biomasa o el licor negro, utilizados para la producción de energía.



Figura 41. Planta de fabricación de pulpa de papel CMPC.

Existen cinco centrales termoeléctricas emisoras de CO₂ por valor superior a 100kt que utilizan residuos forestales y agrícolas como fuente de energía. La relevancia de estas instalaciones radica en su capacidad para gestionar eficientemente el aprovisionamiento y la logística de dichos residuos, lo que las convierte en una opción clara para el desarrollo de plantas de producción de SAF.

En lo relativo a las fuentes puntuales procedentes de centrales generadoras termoeléctricas de carbón, cuentan con 21 de las 88 fuentes puntuales mayores de 100 kt, de las cuales 11 se encuentran en la región de Antofagasta (los datos actualizados indican que su importancia se va reduciendo progresivamente).

Estas emisiones no son elegibles para CORSIA pues no cumplen los requerimientos de sostenibilidad aplicables y, además, la Estrategia Climática a Largo Plazo y la Política Energética Nacional marcan un horizonte para la retirada o reconversión del 100% de todas las unidades de producción termoeléctrica de carbón. En este sentido se establecen metas en la ECLP, tales como, la retirada o reconversión del 65% de sus unidades en el 2025 y una promoción activa para su eliminación 100% durante la presente década⁷⁷. Esta reconversión está alineada con el objetivo nacional para el 2030, para que un 80% de la generación eléctrica proceda de energías con cero emisiones.

Las reconversiones de las centrales termoeléctricas de carbón y las oportunidades que conllevan pueden tener un impacto transversal en el desarrollo de nuevas fuentes de energía, además de abrir oportunidades para el uso de biomasa y la creación de plantas de SAF PtL o de BtL (Biomass to liquid).

Otras consideraciones

En Chile, no está implementada la captura o secuestro de CO₂ en la industria. Existen algunas excepciones como ENAP en sus refinerías o empresas cerveceras que capturan el CO₂ procedente del proceso de fermentación para ser reutilizado posteriormente.

2.4.5 Otras Oportunidades Futuras para Captura de CO₂ en Chile

La captura directa de CO₂ de la atmósfera a través de la tecnología conocida como DAC (por sus siglas en inglés, "Direct Air Capture"). Actualmente, el DAC tiene un nivel de madurez tecnológica (TRL) más bajo que la captura de CO₂ desde fuentes puntuales, además de presentar un costo elevado. Sin embargo, se estima que existe un amplio margen de mejora debido al desarrollo continuo de la tecnología, especialmente en términos de escalabilidad, lo que permitiría reducir considerablemente sus costos en el futuro.

En Chile, la consideración del DAC podría anticiparse a otros lugares debido, principalmente, a la producción de hidrógeno en algunas de sus regiones a precios potenciales entre los más bajos del mundo. Esto permitiría que el uso del DAC, a pesar de ser más costoso que otras opciones de captura, no impida mantener el precio del SAF a niveles competitivos. Un ejemplo de esto podría ser la Región de Magallanes, donde el acceso a fuentes de CO₂ puntuales es muy bajo, pero el potencial para implementar tecnologías como el DAC se ve favorecido por las condiciones locales y la disponibilidad de hidrógeno a bajo costo. En este contexto, el proyecto Haru Oni (HIF), en su futura expansión comercial, considera el DAC como la tecnología a ser adoptada.

⁷⁷ CEN - Sistema eléctrico redujo 21% sus emisiones en 2023 (2024)

En Chile existe gran desconexión entre la generación de energías renovables con mayor eficiencia y fuentes puntuales de CO₂. Es por ello, que otras opciones como el DAC o la captura del CO₂ del mar (DOC - Direct Ocean Capture) podrían ser consideradas.

A efectos de ahorros de emisiones de GEI, la captura de CO₂ de fuentes naturales como la atmósfera o el mar para ser utilizado para la producción de combustibles es la opción que mayores ahorros de emisiones genera, incluso pudiendo ser negativas.

Por último, la urgencia climática actual y el objetivo de alcanzar emisiones netas cero para 2050 exigen una implementación masiva de tecnologías de captura, almacenamiento y uso de CO₂. En este contexto, las opciones de captura directa de CO₂ desde la atmósfera o el agua pueden ser opciones para cumplir con estas metas.

Chile, gracias a su ecosistema y su potencial para liderar la producción de hidrógeno verde y sus derivados, tiene la oportunidad de posicionarse como un centro estratégico para el desarrollo futuro de tecnologías avanzadas como el DAC. Esto incluye la instalación de centros de investigación y el despliegue de plantas piloto y comerciales, lo que no solo impulsaría el crecimiento industrial, económico y tecnológico del país, sino que también reforzaría su papel para tener un liderazgo global en la transición hacia energías limpias.

El Anexo 12 ofrece un análisis más detallado sobre estas oportunidades de captura de CO₂ y su posible implementación en Chile. Cabe resaltar que los proyectos de Chile para la producción de SAF PtL deben prestar especial atención a la evolución de las nuevas tecnologías para la captura de CO₂.

2.4.6 Disponibilidad Agua en Chile

Para la producción de SAF por la vía PTL se requieren importantes cantidades de agua con destino principal para la producción de hidrógeno. Esta disponibilidad es crítica y uno de los factores necesarios a tener en cuenta para la producción de combustibles PtL.

Los recursos hídricos en gran parte del país son extremadamente limitados, con una demanda que supera considerablemente la disponibilidad de agua para diversos usos, como el doméstico, agrícola e industrial. Según el World Resources Institute (WRI), el país enfrenta un “alto estrés hídrico” y ocupa la posición 16 en el ranking global de indicadores de riesgo relacionado con el agua⁷⁸ (ver Figura 42). Este alto nivel de estrés se debe principalmente a la distribución desigual de las precipitaciones a lo largo del país y a las crecientes demandas de agua para diversos sectores. En este sentido, solo las regiones del sur y austral de Chile se encuentran fuera de este riesgo hídrico elevado.

Este contexto de escasez hídrica y distribución desigual plantea importantes desafíos para la gestión sostenible de los recursos hídricos en Chile, donde la producción de SAF competiría con otros usos del agua. Esta situación se agravaría en un escenario de cambio climático que podría empeorar más la disponibilidad de agua en las regiones más afectadas.

⁷⁸ WRI, Aqueduct Country Ranking (2025)

En este contexto, la escasez de recursos hídricos en Chile constituye uno de los principales desafíos para la transición energética. Para el año 2030, se estima que la industria del hidrógeno verde en Chile demandará aproximadamente 107 millones m³ de agua destilada o desalinizada⁷⁹.

Gracias a su extensa costa y a la proximidad a ella de sus principales focos poblacionales, Chile posee un gran potencial para la desalinización del agua de mar, lo que la posiciona como una de las alternativas para garantizar la disponibilidad hídrica.

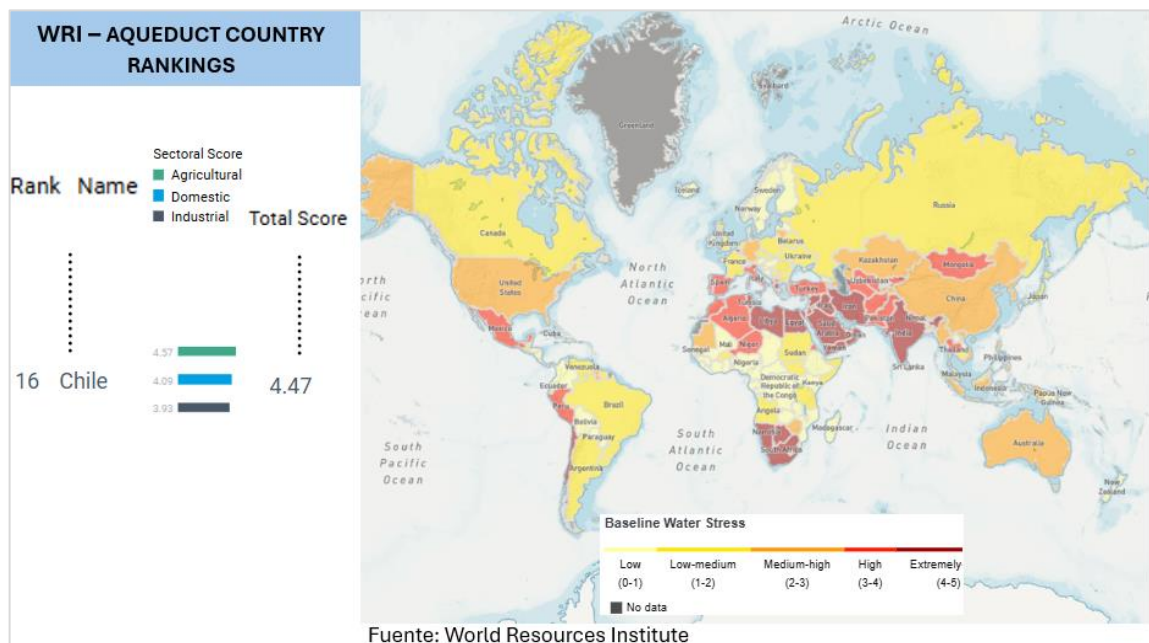


Figura 42. WRI - ranking global de indicadores de riesgo relacionado con el agua.

En este contexto, Chile con una amplia infraestructura de desalinizadoras, que incluye 22 plantas en operación (donde 18 se encuentran en la región norte de las cuales 9 pertenecen al sector minero) y 6 en construcción, además de otras 15 en fase de proyecto⁸⁰. Esta red en expansión ha permitido al país acumular una valiosa experiencia tanto en su desarrollo como en su operación. La mayor parte de esta red de plantas se encuentra ubicada en el norte del país, y está estrechamente vinculada a la industria minera, la cual consume el 85% de la capacidad total de desalación instalada⁸¹ (ver Anexo 13 Desalinizadoras en operación).

En relación con el hidrógeno, el Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023-2030 promueve el uso de agua desalada o reutilizada en aplicaciones industriales, reservando las fuentes naturales de agua dulce exclusivamente para el consumo humano. En este contexto, el Plan de Acción de Hidrógeno, en su “acción 29”, establece la necesidad de “impulsar una regulación específica y habilitante para la desalinización de agua de mar”. Este marco normativo tiene como objetivo coordinar el desarrollo de infraestructuras flexibles que faciliten el uso compartido de recursos, permitiendo tanto la reutilización como la desalinización de agua, con aplicaciones industriales, como es el caso de la producción de hidrógeno verde y sus derivados, incluidos los combustibles sostenibles para la aviación.

⁷⁹ PtX hub, Disponibilidad del recurso hídrico en el desarrollo del H2V y sus-Derivados en Chile (2023)

⁸⁰ Consejo Minero, ACADES y C4: Presentan el primer catastro nacional de plantas y proyectos de desalinización en Chile (2025)

⁸¹ ACADES: 85% de la capacidad instalada de desalación de agua de mar abastece a la gran minería del cobre (2024)

En la actualidad, se encuentra en tramitación en Chile un nuevo marco jurídico orientado a promover y planificar soluciones alternativas para la obtención de nuevas fuentes de agua, con el fin de hacer frente a la crisis hídrica. Este marco confiere mayores competencias al Ministerio de Obras Públicas (MOP) para agilizar su implementación. Por otro lado, se establece que la obtención de nuevos recursos hídricos tendrá como objetivo prioritario su destino para el consumo humano, saneamiento y manutención de caudales ecológicos, y de manera secundaria, a otros fines, tales como el uso industrial, incluyendo la minería y la producción de hidrógeno y sus derivados⁸².

Con el objetivo de optimizar los recursos hídricos para el desarrollo de proyectos de hidrógeno y sus derivados, es crucial promover el uso compartido de infraestructuras de agua, como las plantas desalinizadoras. Esto no solo reduciría el impacto ambiental, sino que también permitiría optimizar los costos en la producción de hidrógeno. En este contexto, el proyecto “Conecta H2V”, coordinado por H2 Antofagasta, fomenta entre sus socios el uso de infraestructuras comunes, tales como sistemas de almacenamiento, hidroductos y, de manera especial, la compartición de nuevas plantas desalinizadoras⁸³.

2.4.7 Principales Desafíos para la Implementación de SAF PtL En Chile

El precio del hidrógeno verde

Chile tiene una oportunidad única para desarrollar el hidrógeno verde a precios muy competitivos, aprovechando su eficiencia en la generación de recursos renovables. El costo de la energía renovable y del hidrógeno verde es un factor clave para la viabilidad de la producción de SAF PtL. Aproximadamente, la energía renovable representa el 65% del costo de producción del hidrógeno, y este, a su vez, constituye entre el 60% y el 70% del costo total del SAF.

Es importante señalar que, según los proyectos de hidrógeno verde registrados en el “Explorador de Hidrógeno Verde” del Ministerio de Energía (MEN) y en “H2Chile”, casi la mitad de ellos están ubicados en la región de Antofagasta. Esto se debe a la mayor eficiencia de la zona para la generación de energía renovable, así como a las infraestructuras logísticas que facilitan la exportación de hidrógeno o amoníaco.

La capacidad del sistema eléctrico

El sistema eléctrico, en cuanto a su alcance y capacidad, es esencial para conectar las áreas de generación de energía renovable más eficientes con otros insumos clave, como el CO₂ o la producción de hidrógeno, necesarios para la fabricación de SAF PtL.

Tendría gran relevancia la realización de una evaluación y planificación nacional del sistema eléctrico, con un enfoque en el corto, medio y largo plazo, para incrementar su alcance geográfico y capacidad. Esto permitirá ampliar las opciones de conexión con la producción de hidrógeno y fuentes puntuales de CO₂, lo que a su vez facilitará el desarrollo de proyectos relacionados con la producción de hidrógeno y SAF PtL. En este contexto la “Hoja de Ruta para una Transición Energética Acelerada Visión del Coordinador Eléctrico Nacional Actualización, diciembre 2024” abre un horizonte a tener un sistema eléctrico con mayor capacidad y eficiencia, así como, preparar el sistema eléctrico para posibilitar un escenario de generación 100% renovable, a contar del año 2030.

⁸² Pais Circular, MOP -Despachan proyecto que permite al MOP construir infraestructura de desalación (2025)

⁸³ H2 Antofagasta, proyecto Conecta (2025)

Muchos de los proyectos de hidrógeno en desarrollo en Chile están ubicados cerca de fuentes de generación de energía renovable, como es el caso de la región de Antofagasta. Estas fuentes de energía verde forman parte integral de los proyectos, proporcionando la energía necesaria para la producción de hidrógeno a través de autoconsumo. Las plantas de producción se prevé que operen de manera continua (con una media estimada de 8.000 horas al año), y durante los periodos sin generación de energía, se asegura la cobertura energética mediante Sistemas de Almacenamiento de Energía (SAE), especialmente con baterías de litio, en línea con la “Estrategia Nacional del Litio”⁸⁴, mineral del cual Chile dispone de reservas significativas.

El proyecto Kimal-Lo Aguirre, cuya entrada en operación está prevista para 2029, será la primera línea de transmisión de corriente continua en Chile, lo que permitirá conectar la Región de Antofagasta con la Región Metropolitana. Esta infraestructura podría representar una oportunidad clave para evaluar la conexión de la energía renovable eficiente generada en el norte con la producción de hidrógeno, así como para establecer enlaces con fuentes puntuales de CO₂ y producción de SAF PtL en la Región Metropolitana.

La conexión al sistema eléctrico de los proyectos no se limita únicamente al suministro potencial de energía verde para su desarrollo, sino que también puede actuar como una fuente complementaria o híbrida junto a otras energías renovables para el autoconsumo del proyecto generadas en la propia ubicación del proyecto. Esta conexión al sistema eléctrico garantiza un suministro más continuo, respaldado por certificaciones de origen de energía renovable (certificados que acreditan que una cantidad determinada de energía eléctrica inyectada en el sistema ha sido producida a partir de fuentes renovables). Además, permite inyectar al sistema eléctrico los potenciales excedentes de energía del proyecto, contribuyendo a una optimización de la matriz energética nacional.

Disponibilidad de fuentes puntuales de CO₂ accesibles

Otro punto clave para la implementación de plantas de SAF PtL es la disponibilidad de fuentes puntuales de CO₂, que son esenciales como insumo para su producción. Estas fuentes deben contar con un tamaño mínimo que garantice una escala suficiente para el desarrollo de una planta de SAF PtL (100 kt de CO₂).

En este contexto, es necesario mencionar el proyecto Project Lighthouse e-Fuel in Chile Front-End Engineering Design (FEED), para la realización de una planta de SAF PtL.

El proyecto Lighthouse e-Fuel en Chile (julio 2024)⁸⁵, liderado por GIZ e Ineratec⁸⁶, está desarrollando un FEED para la implementación de una planta de SAF PtL o e-fuels en general con una capacidad de producción de 50.000 t/año. En este marco, se realiza una valoración de los principales factores que influyen en la determinación de su localización, como terrenos industriales, fuentes de CO₂ (criterio > 170.000 kt), conexión al sistema eléctrico, disponibilidad de agua, proyectos de hidrógeno y conexiones de transporte.

El resultado del proyecto identifica 10 localizaciones con potencial actual para el desarrollo de plantas de SAF PtL que cumplen con los requisitos necesarios para su implementación. De estos proyectos, 6 cuentan con CO₂ de origen biogénico, de los cuales 5 están ubicados en la región Centro-Sur (Ver Anexo 14).

⁸⁴ Gobierno de Chile, Estrategia Nacional del litio (2023)

⁸⁵ Ineratec / GIZ: Project Lighthouse e-Fuel in Chile FEED (2024)

⁸⁶ Ineratec (2025)

Es importante señalar que este estudio, de alto valor de mercado, se basa en los recursos disponibles y en el marco regulatorio vigente al momento de su elaboración. No se contempla la posible evolución o el desarrollo de futuras fuentes de generación de CO₂.



Figura 43. Desafíos para la implementación SAF PtL en Chile.

2.4.8 Aproximación Indicadores Económicos

Para un proyecto “tipo” desarrollado a través de una ruta PtL FT las premisas e insumos principales estimadas son:

- Producción 59.000 t/año
- Hora de producción 8.000 horas/año
- Productos: 46.200 t/año de SAF PtL / 12.800 t/año de naftas
- Hidrógeno 33.600 t/año
- Energía renovable 240 MW de potencia instalada
- Agua 350 millones L/año
- CO₂ capturado: 195.0000 t/año

Estos valores pueden variar de acuerdo a la tecnología. Adicionalmente existe la posibilidad que las naftas producidas puedan ser recirculadas en el proceso para incrementar la cantidad de SAF obtenida.

El principal factor de costo es la generación de energía renovable y su impacto en el costo de la producción de H₂V. En Chile, para este informe no disponemos de referencias concretas de costos de H₂V. La Tabla 14 muestra el peso de los principales indicadores en la rentabilidad de una planta con tecnología PtL FT.

Tabla 14. Peso de los principales parámetros económicos en una planta PtL FT.

Parámetros Económicos Planta PtL FT		
Ingresos	Venta SAF	75%
	Venta Nafta (en caso de no ser procesada para hacer SAF)	25%
Costos de Capital	Planta de Hidrógeno y equipos auxiliares	10%
	Captura CO ₂	15%
	RWGS + acondicionamiento gas de síntesis	25%
	WGS + Equipamiento limpieza de gases	30%
	Hidrocracker	10%
	Edificios + Equipos auxiliares + Almacenamiento	10%
Costos de Explotación	Laboral	5%
	Mantenimiento	10%
	Energía	65%
	Otros	20%

2.5 GASIFICACIÓN FT

2.5.1 Proceso Gasificación + FT (Gft) Para La Producción De SAF

El proceso de gasificación y tratamiento mediante FT-SPK (Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene) comienza con la gasificación de materiales con alto poder calorífico y ricos en carbono, principalmente de origen biogénico. Este proceso permite la obtención de un gas de síntesis rico en CO e hidrógeno.,

El proceso de síntesis del hidrógeno y el CO₂, es producido en una primera fase a través de un acondicionamiento de los gases en un “Water Gas Shift” (WGS) obteniendo un gas sintético que, en una segunda fase es transformado mediante el proceso Fischer Tropsch obteniendo un crudo o ceras sintéticas. Finalmente, la tercera fase del proceso es el llamado hidrocrackeo o fraccionamiento del cual se obtiene el SAF puro o SPK.

En el fraccionamiento y destilación, por lo general, además de obtener SAF (SPK), se obtienen naftas o gasolinas en un porcentaje aproximado del 25%. La Figura 44 ilustra cada etapa del proceso de GFT, desde la preparación de los residuos hasta la producción final del SAF.

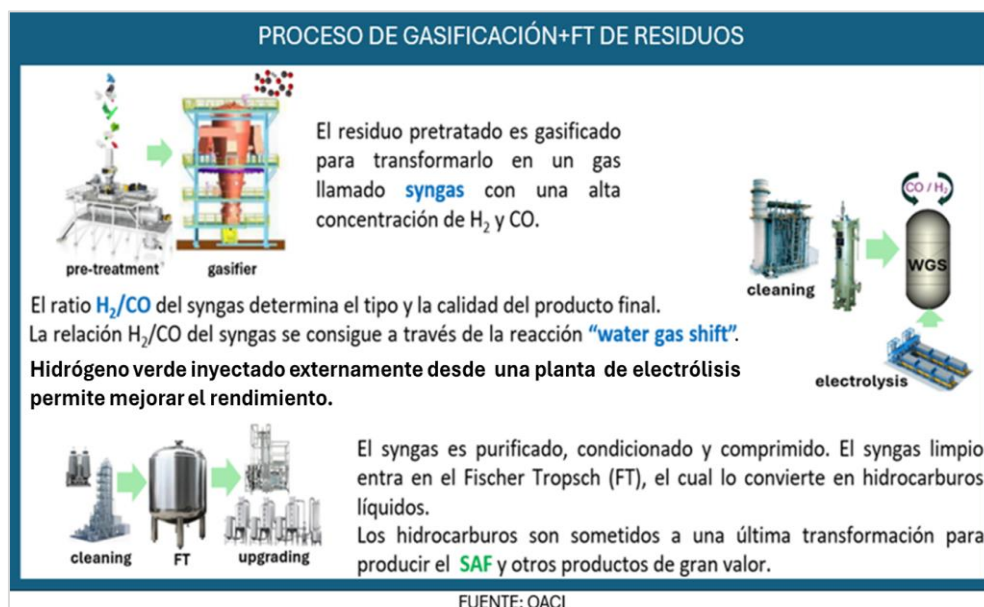


Figura 44. Proceso de Gasificación Fischer Tropsch.

Las materias primas para gasificar pueden tener diversos orígenes. En el presente estudio se evaluarán las siguientes:

- Los residuos sólidos municipales (RSM) y residuos industriales (RI).
- Restos vegetales procedentes de bosques o poda.
- Productos, residuos o subproductos vegetales procedentes de la agricultura.

Tabla 16. Instalaciones y equipos planta de GFT.

Instalaciones y Equipos Planta de Gasificación + FT	
Residuos	Planta de pretratamiento de residuos y acondicionamientos para gasificación
Residuos	Instalación y equipos de gasificación
CO₂	Limpieza de gases y separación de CO ₂
Gas de Síntesis	WGS – Water Gas Shift

Hidrógeno	Planta de electrólisis y equipos auxiliares para la producción de H ₂ V
Gas de Síntesis	Acondicionamiento de Gas de Síntesis
FT crudo	FT – Fischer Tropsch
FT crudo	Instalaciones de almacenamiento y carga y descarga del FT crudo
FT crudo	Planta de hidrocrackeo
SAF	Instalaciones de almacenamiento de SAF y bahía de carga

La inclusión de la producción o importación de otra fuente de hidrógeno verde dentro del proceso es opcional, aunque su integración incrementa el rendimiento general de la planta. En el contexto de Chile, dada su capacidad de desarrollo en la producción de H₂V y sus costos competitivos, se considera que incorporar este proceso mejorará la rentabilidad del proyecto.

En los siguientes apartados vamos a revisar las diferentes materias primas identificadas en Chile, que pueden ser susceptibles de uso para procesos de gasificación y producción de SAF.

2.5.2 Residuos Sólidos Municipales e Industriales con Destino Vertedero

Una de las oportunidades para la producción de SAF en Chile radica en la ruta Gasification Fischer-Tropsch (GFT), aprovechando residuos sólidos municipales (RSM o MSW por sus siglas en inglés) y otros residuos industriales (RI) cuyo destino final sería vertederos o rellenos sanitarios. Este enfoque no solo permitiría la generación de combustibles sostenibles, sino que también abordaría los desafíos ambientales asociados con la gestión de residuos.

Los vertederos o rellenos sanitarios continúan siendo una fuente significativa de impacto ambiental, tanto en Chile como en otros lugares del mundo por, entre otras, las siguientes razones:

- Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI): Los vertederos contribuyen hasta un 5% de las emisiones globales de GEI⁸⁷, principalmente por el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂) generados por la descomposición de materia orgánica. El metano es un gas con un potencial de calentamiento global 28 veces mayor que el del CO₂ a lo largo de 100 años.
- Otros Impactos Ambientales, están relacionados con la contaminación de suelos y aguas subterráneas, emisión de partículas nocivas y malos olores, efectos en el paisaje y la biodiversidad, etc.

Dado el desafío que representa la gestión sostenible de residuos en Chile es esencial avanzar hacia modelos que prioricen la economía circular y la valorización de estos materiales. La implementación de tecnologías como GFT no solo reduciría la dependencia de vertederos, sino que también transformaría residuos en recursos valorizados para la producción de SAF.

Respecto al cálculo de emisiones del ciclo de vida en la producción de SAF de residuos en vertederos la metodología de la OACI⁸⁸ resulta especialmente relevante. En particular, la asignación de créditos de emisiones tiene un impacto altamente beneficioso en el proceso, contribuyendo a una reducción significativa en el balance total de emisiones:

- Créditos por Emisiones Evitadas en Vertederos (denominados LEC en la metodología CORSIA, Landfill Emissions Credits): Se asignan créditos por las emisiones de GEI que son evitadas al desviar residuos no

⁸⁷ IEA Bioenergy, Upgrading landfill gas (2018)

⁸⁸ ICAO, CORSIA: Methodology for calculating actual life cycle emission value (2024)

reciclables de los vertederos para la producción de SAF. Es imprescindible garantizar que los residuos gestionados no cuenten con opciones viables de reciclaje dentro del área de interés.

- Créditos por Recuperación y Clasificación de Residuos Reciclables (denominados REC en la metodología CORSIA, Recycling Emissions Credits): Adicionalmente, se otorgan créditos por la recuperación y clasificación de residuos reciclables durante la preparación de la materia prima. Se debe demostrar que esta actividad económica no afecta negativamente el reciclaje existente, es decir, que no reduce la cantidad de residuos que normalmente serían reciclados.

Estatus de los Residuos Sólidos Municipales e Industriales con Destino a Vertedero en Chile

En Chile se generan aproximadamente 436 kg/persona al año⁸⁹ donde en la actualidad, en Chile la mayoría de estos residuos de origen municipal tienen como destino final el vertedero, sin someterse a procesos previos de tratamiento, como reciclaje, incineración o recuperación de materiales. Este enfoque limita significativamente el aprovechamiento de los residuos y refuerza la necesidad de implementar estrategias sostenibles para su gestión, alineadas con principios de economía circular y valorización de recursos (ver Figura 45).

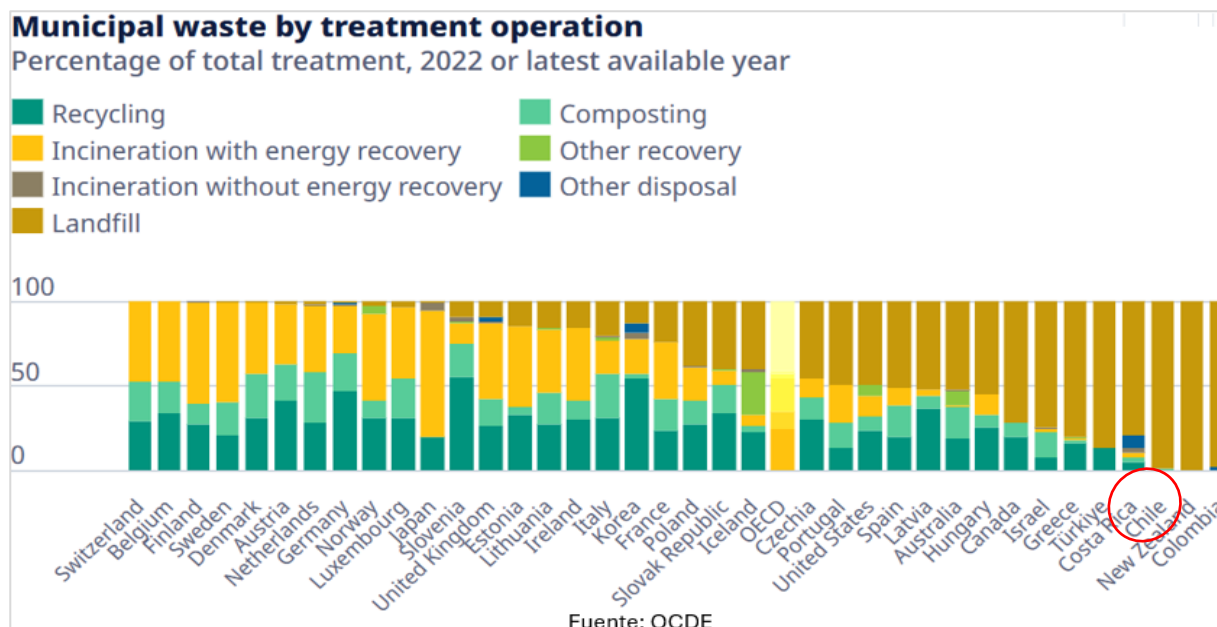


Figura 45. OCDE - residuos municipales por tipo operación de tratamiento.

Según el Reporte del Estado del Medio Ambiente 2023, en Chile se generaron un total de 19,6 millones de toneladas de residuos durante el año 2021. De esta cifra, el 96,7% corresponde a residuos no peligrosos, mientras que el 3,3% corresponde a residuos peligrosos⁹⁰.

Del total de residuos generados el 49% corresponde a residuos de origen industrial, el 46,1% a RSM y el 1,6% a lodos provenientes de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas. Todos estos pertenecen a la categoría de residuos no peligrosos.

⁸⁹ OECD, Environment at a glance indicators (2025)

⁹⁰ SINIA, Reporte del Estado del Medio Ambiente (2023)

De la fracción de residuos no peligrosos generados en Chile aproximadamente el 80% fue dispuesto en rellenos sanitarios o vertederos, mientras que solo el 20% fue valorizado. La mayor parte de los residuos valorizados provienen de residuos industriales. Según el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), en el año 2019, la tasa de valorización de los residuos industriales alcanzó un 40%, en contraste con una tasa significativamente baja del 0,9% para los RSM⁹¹.

Entre los años 2015 y 2021, la generación de residuos a nivel nacional ha permanecido en niveles relativamente estables, con una tasa de crecimiento interanual promedio cercana a cero, lo que evidencia una falta de avances significativos en la reducción o gestión más sostenible de los residuos.

En el año 2021, se generaron aproximadamente 9,0 millones de toneladas de RSM en Chile. Con una población proyectada de cerca de 20 millones de habitantes, esto equivale a un promedio de 0,99 kilogramos diarios por habitante. De este total, la Región Metropolitana concentró el 47,4% de los residuos municipales generados a nivel nacional.

En lo relativo a los residuos industriales no peligrosos la cantidad ascendió a 9,6 millones de toneladas, que representan alrededor del 50% de los residuos generados en el país. Sobre la base de la información declarada para 2021 en el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (SINIA)⁹². Un 33,2% de los residuos industriales no peligrosos del país se genera en la región Metropolitana (ver Figura 46).

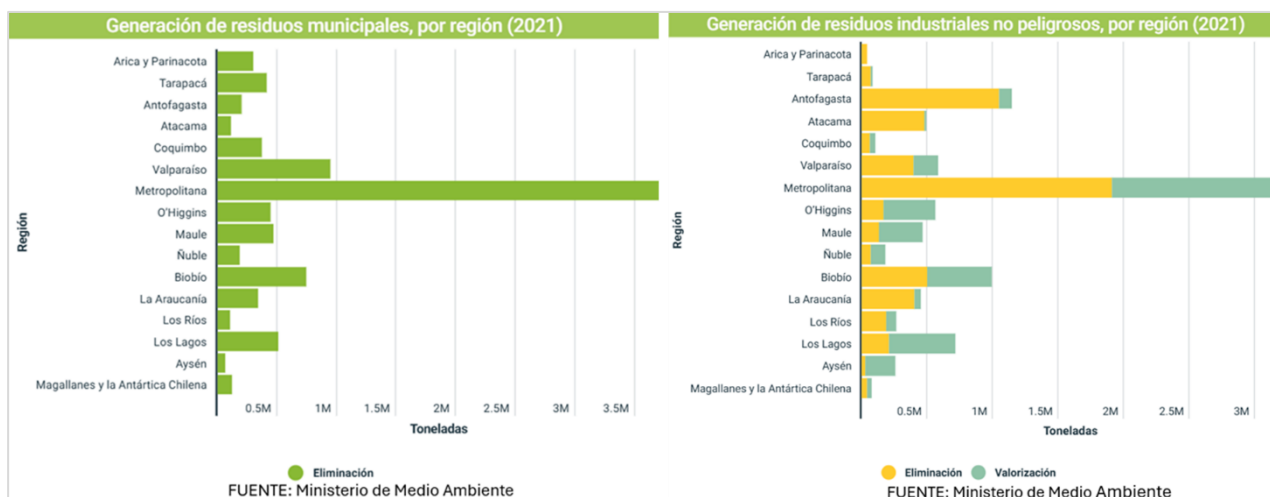


Figura 46. Residuos Municipales e industriales no peligrosos por Región – 2021.

En Chile, la “Ley de Responsabilidad Extendida del Productor” que comenzó en el año 2016 (Ley REP)⁹³ establece principios generales que transformarán significativamente la gestión de residuos en el país. Entre estos principios destacan:

- Jerarquía en el Manejo de Residuos: La ley prioriza las siguientes etapas en la gestión de residuos, en orden de importancia: 1. Prevención, 2. Reutilización, 3. Reciclaje, 4. Valorización energética, 5. Eliminación.

⁹¹ RETC, Residuos (Disposición al suelo) (2025)

⁹² SINIA, Reporte del Estado del Medio Ambiente (2023)

⁹³ Ministerio de Medio Ambiente, Ley responsabilidad extendida al productor y fomento al reciclaje (2016)

- **Responsabilidad del Generador de Residuos:** El generador de un residuo es responsable de este desde su generación hasta su valorización o eliminación. Esto implica la transferencia de responsabilidades a los generadores, incluyendo la asunción de costos asociados a la gestión, como tasas de eliminación o disposición final en vertederos.

La ECLP establece un conjunto de metas orientadas a la reducción de Residuos y Economía Circular, dirigidas a la reducción progresiva de los RSM, incremento de las tasas de reciclaje y la transición hacia una economía circular. Entre las principales metas destacan:

- 2030, reducción de la generación de residuos sólidos municipales per cápita en un 10% con respecto al 2020 y un 25% en el 2040.
- 2030, alcanzar una tasa de reciclaje de residuos sólidos municipales en un 30% y un 65% en el 2040.
- 2030, alcanzar una tasa general de reciclaje del 40% y el 75% en el 2040.

Además, la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos 2040 (enero de 2020) establece como meta aumentar la valorización de residuos orgánicos municipales desde el 1% actual al 66% en 2040. Finalmente, hay que señalar que actualmente se encuentra en trámite en el Congreso del país con el objetivo de promover la valorización de los residuos orgánicos y fortalecer la gestión de los residuos.

Estas metas subrayan el compromiso de Chile con la sostenibilidad ambiental y la adopción de un modelo de gestión de residuos que priorice la valorización, el reciclaje y la reducción progresiva de la disposición en vertederos, donde la producción de SAF a través de los RSM y RI puede jugar un papel crucial para el cumplimiento de estos objetivos.

En lo relativo a la producción de SAF se está impulsando el desarrollo de procesos de valorización de residuos mediante gasificación, donde se posiciona como la solución con mayores expectativas, favoreciendo la viabilidad económica de estas iniciativas. En este contexto, se anticipa una aceleración en el avance de la tecnología de gasificación, un aspecto clave que Chile debe seguir de cerca debido a su potencial para un aprovechamiento estratégico y competitivo en el país.

Beneficios de la Gasificación de Residuos de Vertedero

La complejidad del proceso de gasificación aumenta considerablemente cuando se procesa una mezcla heterogénea como ocurre con la gasificación de los RSM o similares. Esta heterogeneidad ha planteado desafíos significativos, y muchas plantas diseñadas hasta ahora han enfrentado dificultades operativas.

Mientras la gasificación de otras materias como el carbono u otros residuos homogéneos tiene un largo historial, actualmente, las plantas que utilicen la gasificación de RSM combinada con el proceso Fischer-Tropsch para producir SAF están en un proceso avanzado de desarrollo de una segunda generación de tecnologías de gasificación, que previsiblemente permitirá, en el corto plazo, contar con procesos confiables para la producción de SAF a partir de RSM y otros residuos acumulados en vertederos. En este contexto, diversas empresas en la industria ofrecen tecnologías avanzadas y garantías que respaldan el desarrollo futuro de estos proyectos.

La gasificación se presenta como la mejor alternativa para la gestión y eliminación de aquellos residuos que no pueden ser reciclados ni reutilizados, proporcionando una solución sostenible que contribuye a la economía circular y la reducción de los depósitos en vertederos y los impactos ambientales asociados.

En comparación con la incineración, la gasificación presenta ventajas significativas. Además de generar “syngas” como producto aprovechable, las emisiones que produce son exclusivamente de CO₂, el cual puede ser capturado y reutilizado para incrementar la eficiencia del proceso. Por el contrario, la incineración de RSM no solo emite CO₂, sino también otros gases y partículas que suponen mayores retos para ser completamente depurados.

Por estas razones, la gasificación se destaca como una alternativa más sostenible y eficiente para la valorización de residuos y la producción de combustibles sintéticos, ofreciendo beneficios tanto ambientales como tecnológicos frente a métodos tradicionales como la incineración. Debe evitarse asociar la gasificación con la incineración mediante una adecuada comunicación.

La gasificación de residuos no reciclables con destino a vertedero presenta otra ventaja clave, como es que estos residuos son una materia prima abundante, no sujeta a riesgos asociados a la disponibilidad, factores geopolíticos, competencia con la alimentación, fluctuaciones de precios o desastres naturales. Esto implica que los residuos constituyen una materia prima estable, cuyo costo no está expuesto a la volatilidad del mercado, lo que facilita el desarrollo de acuerdos de venta de SAF más seguros y sostenibles a medio y largo plazo.

Además, los proyectos de gasificación se integran dentro de la gestión y valorización de residuos, eliminando costos alternativos asociados al vertedero u otros métodos de disposición final. Como resultado, los residuos que llegan a la planta de gasificación de residuos pueden ser recibidos a cambio de una tarifa equivalente a las de vertedero o de gestión de residuos, lo cual contribuye a incrementar los ingresos de la planta de gasificación y mejorar la viabilidad económica de esta ruta.

En el caso de Chile, las áreas de los vertederos analizados y sus zonas adyacentes suelen disponer de espacio suficiente y condiciones propicias para la instalación de plantas de gasificación con tecnología Fischer-Tropsch (GFT), así como de otras infraestructuras, como plantas de electrólisis o instalaciones auxiliares. Además, estas zonas presentan una oportunidad interesante para la implementación de plantas de energía fotovoltaica destinadas al autoconsumo, especialmente en las plantas de electrólisis para la producción de hidrógeno.

La aportación de hidrógeno al proceso no es estrictamente requerida para la gasificación, pero contribuye a mejorar significativamente el rendimiento. En cualquier caso, su uso es muy reducido en comparación con el hidrógeno requerido para un proceso PTL.

Todos los procesos de gasificación, como se ha mencionado, requieren un pretratamiento previo de la materia prima, donde después de separar los materiales reciclables, su acondicionamiento permite mejorar la eficiencia en el proceso de gasificación.

En este sentido, en Chile se encuentra en funcionamiento el programa ReSimple⁹⁴ que es el primer Gran Sistema Colectivo de Gestión (GRANSIC) que nace para dar cumplimiento a la Ley REP. Es una entidad que se encarga de organizar y financiar la gestión de envases y embalajes, tanto domiciliarios como no domiciliarios, para luego potenciar la recolección, pre-tratamiento y valorización de estos.

⁹⁴ ReSimple (2025)

Este programa no es el único sistema de gestión en Chile, pero sí es el que reúne la mayor cantidad de empresas, actualmente 1.100. Estas iniciativas dirigidas al reciclaje no son solo compatibles con la posible gasificación de residuos, sino que los favorecen al realizar pretratamientos previos de separación que acondiciona el residuo para su procesamiento en la gasificación.

Potencial Localización de Plantas De SAF G-Ft De Residuos a Vertedero

La información relativa exclusivamente de RSDyA obtenida mediante la actualización del catastro de Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables -RSDyA- (enero 2024)⁹⁵ elaborado en el marco del Programa Nacional de Residuos Sólidos de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE) en Chile, nos permite hacer una potencial aproximación de localización de una planta de GFT para la producción de SAF.

A nivel nacional el volumen total anual de RSDyA alcanzado durante el año 2022 fue de 8.381.822 t para una población atendida de 23 millones. Algo más de la mitad de los RSDyA se concentran en las regiones Metropolitana y Valparaíso (40,2% y 10% respectivamente). En Chile, mayoritariamente los RSDyA son depositados en sitios de disposición final. En el 2022 existen 103 instalaciones operativas para la disposición final de RSDyA.

Tabla 15. Instalaciones operativas de disposición final 2022 en Chile.

RELLENO SANITARIO	RELLENO MANUAL	VERTEDERO	BASURAL	N° TOTAL SITIOS
34	8	36	25	103
Fuente: SUBDERE				

En términos de población, los 34 rellenos sanitarios representan el 85,4% de la población atendida y los 36 vertederos representan el 11% de la población atendida. Cabe destacar que el Relleno Sanitario Loma Los Colorados, con una extensión de 2,5 km², recibe el mayor porcentaje de RSDyA con un 23,5% del total del país, lo que corresponde a 1.965.916 toneladas. Le siguen en orden decreciente el Relleno Sanitario Santa Marta, que recibe un 9,6%, y el Relleno Sanitario Santiago Poniente, con un 7,3% de los RSDyA nacionales, Los tres localizados en la región Metropolitana. La Tabla 16 señala las instalaciones de disposición final (extraídas de los Informes de diagnóstico y catastro regionales de residuos sólidos domiciliarios del 2024) con mayor dimensión.

Tabla 16. Instalaciones de disposición final de mayor tamaño (Fuente: SUBDERE).

Instalación Disposición Final	Región	Volumen t/año
Relleno Sanitario Loma Los Colorados	Metropolitana	1.965.916
Relleno Sanitario Santa Marta	Metropolitana	808.096
Relleno Sanitario Santiago Poniente	Metropolitana	614.639
Relleno Sanitario El Molle	Valparaíso	421.798
Relleno Sanitario Los Ángeles	Biobío	349.981
Relleno Sanitario Chaqueta Blanca	Antofagasta	334.142

⁹⁵ SUBDERE - Informe. Diagnóstico y catastro nacional de residuos sólidos domiciliarios (2024)

Relleno Sanitario Cemarac	Biobío	329.765
Relleno Sanitario Fundo Las Cruces	Ñuble	312.120
Relleno Sanitario Colihues La Yesca	O'Higgins	285.607
Relleno Sanitario El Retamo	Maule	278.579

Las plantas de GFT son muy intensivas en términos inversión, es por ello que se debe analizar qué depósitos finales disponen de una dimensión mínima para tener una escala comercial suficiente. Por ello consideramos como referencia aquellas instalaciones con un volumen superior a 270.000 t/año brutas de residuos, donde se toma como premisa que un 50% son residuos susceptibles para ser sometidos al proceso de gasificación, aproximadamente 385 t/día de residuos.

Según se detalla en la Tabla 16, todas estas instalaciones corresponden a rellenos sanitarios. Las de mayor tamaño se concentran en la región Metropolitana, seguida por la región de Valparaíso, coincidiendo con las áreas de mayor densidad poblacional.

Estas instalaciones deberán ser objeto de un análisis más detallado para evaluar la viabilidad de la planta, teniendo en cuenta otros factores clave como:

- Dependiendo de la tecnología de gasificación, obligan siempre a un determinado pretratamiento que facilite cumplir con los requerimientos marcados por cada licencia tecnológica y que aseguren unos mínimos rendimientos. Es necesario evaluar los procesos de separación de residuos, triturados, secado, etc.
- Composición de los residuos: porcentaje de materiales inertes, orgánicos, plásticos, textiles, entre otros.
- Ubicación temporal: Vigencia y proyecciones en el medio y largo plazo de su localización.
- Tipología del gestor: características de la propiedad y operación, por ejemplo, si es pública o privada.
- Proximidad a polos industriales: posibilidad de recibir otros residuos industriales que generen residuos, por ejemplo, de la industria papelera, construcción, madera etc., dentro del área de localización del vertedero.
- Optimización de escalas: posibilidad de centralizar los residuos de dos o más instalaciones para procesarlos en una única planta de GFT, lo que permitiría incluir instalaciones con menores volúmenes que los umbrales mínimos establecidos en este análisis.
- Condiciones para la instalación de una planta anexa de electrólisis para la producción de hidrógeno verde (disponibilidad de agua, conexión al sistema de electricidad, acceso a energía renovable competitiva) que pueden potencialmente mejorar la eficiencia para la producción de SAF.

Dimensión de los proyectos

La dimensión del proyecto depende directamente de la disponibilidad de residuos en vertederos o depósitos finales u otras fuentes de residuos de origen industrial sin alternativa de reciclaje. A partir de una “disponibilidad bruta” inicial de residuos, se aplican procesos de separación para recuperar productos reciclables. El alcance de esta separación varía según las capacidades y tecnologías de las instalaciones del gestor de residuos, lo que permite determinar la “disponibilidad neta” de material apto para ser procesado en el gasificador.

En numerosos países, los residuos de vertederos han sido transformados durante años en combustible tras la extracción de los componentes biológicos y la realización de procesos adicionales de tratamiento. El resultado es un material granulado, con un poder calorífico medio, conocido como Combustible Sólido Recuperado (CSR). Este material, compuesto por elementos como films de plástico, papeles y cartones sucios, plásticos no reciclables, textiles, entre otros, se ha empleado tradicionalmente en industrias como la cementera.

A modo de referencia, una planta de gasificación que procesa 500 t/día de residuos produce aproximadamente 40.000 t/año de SAF y 11.000 t/año de Naftas. Las Naftas pueden ser recuperadas para ser reprocesadas para obtener más SAF, en este caso la cantidad de SAF obtenida alcanzaría 50.000 t/año.

Como contempla la tabla 17, al menos 10 instalaciones de depósitos finales en Chile tienen potencial cantidad de residuo para el desarrollo de plantas de GFT para la producción de SAF. Es importante considerar que una planta de GFT puede integrarse en localizaciones donde existan más de una instalación de vertedero o depósito sanitario y alternativamente polos industriales que generan residuos destinados a vertederos, esto permitiría reunir una masa crítica suficiente de residuo, lo que facilita el desarrollo y la viabilidad de una planta de GFT.

Parámetros Económicos

En la Tabla 17 presentan los principales parámetros de ingresos y costos que afectan la rentabilidad y viabilidad del proyecto. Además, se incluye una estimación de su impacto económico relativo.

Tabla 17. Peso de los principales parámetros económicos en una planta GFT.

PARÁMETROS ECONÓMICOS PLANTA DE GASIFICACIÓN + FT		
Ingresos	Venta SAF	70%
	Venta Nafta (en caso de no ser procesada para hacer SAF)	22%
	Tarifas por gestión de residuos (aplica con residuos vertederos)	8%
Costos de Capital	Planta de pretratamiento de residuos	6%
	Gasificador	35%
	CO ₂ capture	7%
	WGS + Equipamiento limpieza de gases	37%
	Hidrocraquer	7%
	Edificios + Equipos auxiliares + Almacenamiento	8%
Costos de Explotación	Laboral	5%
	Mantenimiento	15%
	Energía	60%
	Otros	20%

Las plantas de gasificación combinadas con el proceso Fischer-Tropsch (FT) se distinguen de otras tecnologías por su elevada inversión inicial y sus costos operativos más bajos. Esto se debe, en gran medida, al reducido costo de las materias primas utilizadas, e incluso a la posibilidad de generar ingresos al desempeñar el papel de gestores en la eliminación de residuos destinados a vertederos.

Residuos de Vertedero: Oportunidad para Chile

De acuerdo con las cantidades de residuos disponibles en Chile y su reutilización actual, se puede afirmar que existe una oportunidad clara de establecer plantas de gasificación basadas en el uso de materias primas procedentes de residuos sólidos municipales, subproductos y residuos industriales con destino final en un vertedero para la producción de SAF.

Esta oportunidad se fundamenta en los siguientes factores

- Reducción de vertederos y de sus riesgos ambientales: Ofrece una solución eficiente para disminuir los depósitos en vertederos, mitigando su potencial colmatación (alcanzar su máxima capacidad) y reduciendo riesgos medioambientales de manera ágil y eficaz.
- Gestión de residuos industriales: Proporciona una alternativa rentable para la eliminación de residuos industriales que carecen de opciones viables de reciclaje o reutilización y cuya gestión actual implica elevados costos para las industrias.
- Impulso al hidrógeno verde: Al integrar potencialmente el uso de hidrógeno verde, el proyecto mejora su rendimiento y su rentabilidad.
- Impacto regional: Estimula el desarrollo económico, social y científico en la región donde se implemente, convirtiendo al complejo industrial en un eje de progreso económico.
- Mejora de gestión de residuos: Optimiza las cadenas de recolección, separación y pretratamiento, incrementando las tasas de reciclaje y valorización de residuos que actualmente terminan en vertederos, cuya tasa en Chile es muy baja.

Oportunidades y Beneficios de la Ruta SAF GFT De Residuos a Vertederos

Las oportunidades o ventajas de uso de procesos de gasificación de residuos en el caso de Chile son las siguientes:

- Acceso continuo a residuos: Los residuos con destino vertedero garantiza un suministro sostenido de materia prima en el mediano y largo plazo. Chile cuenta con vertederos o depósitos sanitarios centralizados y cuentan con suficiente masa potencial para ir asociados a una planta de producción de SAF.
- Bajo o nulo costo de materia prima: Los residuos gestionados no solo carecen de costo, sino que incluso podrían generar ingresos por su tratamiento y eliminación y los gastos de gestión de vertedero evitados.
- Por su compatibilidad con plantas anexas de producción de hidrógeno verde, se permitiría un aprovechamiento de energías renovables: Integra los avances en energías renovables e hidrógeno verde.
- Reducción de vertederos: Ofrece una alternativa efectiva para la eliminación de residuos destinados a vertederos, mitigando los daños medioambientales asociados.
- Incremento en reciclaje: Fomenta procesos de separación y pretratamiento que mejoran las tasas de reciclaje y valorización de residuos.
- Impulso industrial: Genera una industria innovadora que contribuye al desarrollo económico y tecnológico del país.

Desafíos

- Desafíos tecnológicos: Requiere garantizar la funcionalidad tecnológica del proceso de gasificación, especialmente para manejar residuos heterogéneos como RSM y RI, y a gran escala.
- Costos de capital: Las inversiones iniciales necesarias son elevadas, lo que puede ser un obstáculo para su implementación.

- Dependencia de procesos previos: Requiere la implementación de sistemas de acondicionamiento previo de residuos, lo cual implica coordinación con los gestores de residuos existentes.
- Necesidad de armonizar requisitos regulatorios y procesos administrativos que podrían ralentizar el avance de las iniciativas para su implementación.

2.5.3 Conclusiones

Las plantas de gasificación con tecnología Fischer-Tropsch representan para Chile una opción altamente eficiente para la gestión de residuos en vertederos o depósitos finales. Estas plantas no solo contribuirían a reducir significativamente el impacto ambiental y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a la acumulación de residuos, sino que también apoyarían el cumplimiento de las metas climáticas del país al reducir las emisiones de gas metano.

Chile cuenta con un volumen suficiente de residuos sólidos municipales e industriales para garantizar la sostenibilidad de este modelo a mediano y largo plazo, incluso en el marco de políticas de reciclaje y recuperación. Además, la tecnología de gasificación tiene el potencial de captar otros tipos de residuos generados en las áreas de influencia de estas plantas, ampliando su alcance y utilidad.

La implementación de plantas de GFT fomentará el desarrollo industrial, tecnológico y económico en las regiones donde se instalen, actuando como catalizadores para el progreso local. Asimismo, el uso de hidrógeno verde en sus procesos conecta estratégicamente con el despliegue de plantas de hidrógeno y la capacidad de generación de energías renovables de Chile, reforzando su competitividad y sostenibilidad de los proyectos.

La producción de combustibles de aviación sostenibles en estas plantas se posiciona como una alternativa complementaria a otras rutas tecnológicas, materias primas e insumos, fortaleciendo un potencial liderazgo de Chile en la producción de SAF.

2.5.4 Residuos Forestales

Contexto Biomasa / Residuos Forestales

Chile destaca por su extensa superficie forestal y una industria asociada que genera una gran cantidad de residuos de biomasa, tanto en su ecosistema natural como en toda la cadena de valor industrial y energética, con alto potencial para la producción de SAF.

Según la información de CONAF (actualización enero 2022), la superficie forestal en Chile es de 18.030.735 hectáreas (23,8 % del territorio nacional), desglosadas en 14.737.485 hectáreas de bosque nativo, 179.125 hectáreas de bosque mixto y 3.114.125 hectáreas de plantaciones forestales.⁹⁶

En lo relativo a la explotación industrial, Chile destaca por una poderosa industria forestal, sobresaliendo especialmente en la producción de papel y la celulosa⁹⁷ (ver Tabla 18). Desde el punto de vista energético, la biomasa forestal representa un aporte significativo a la matriz primaria de energía en Chile. Cerca de un 40% de los hogares en el país utiliza la leña como principal fuente de calefacción, sin embargo, de acuerdo con la

⁹⁶ CONAF actualiza información de superficie forestal de Chile (2022)

⁹⁷ INFOR: Anuario forestal 2024 (2025)

información ofrecida por ODEPA la mayor parte de la contribución energética de la biomasa forestal tiene como destino el uso industrial⁹⁸ (ver Tabla 19).

Tabla 18. Chile - Consumo trozos⁹⁹ y producción industrial.

Consumo de trozos por industria (miles m ³ Sólido Sin Corteza)			Producción industrial (miles)		
Pulpa	17.731	44%	Pulpa (t)	5.330	22%
Aserrío	13.491	34%	Papeles y Cartones (t)	1.291	5%
Astillas	4.270	11%	Astillas (m ³ ssc)	8.155	33%
Tableros y Chapas	4.145	10%	Madera Aserrada (m ³)	6.887	28%
Otros productos	311	1%	Tableros y Chapas (m ³)	2.901	12%
Total	39.948		Total	24.564	

Fuente: INFOR – Anuario Forestal - 2024

Tabla 19. Destino energético de la biomasa forestal.

DESTINO ENERGÉTICO DE LA BIOMASA FORESTAL			
ELECTRICIDAD	53,8%	INDUSTRIA / COMERCIO / PRIVADO	46,2%
Autoconsumo gran industria	46,8%	Sector industrial no electrico	23,3%
Inyección sistema eléctrico	7,0%	Sector comercial y residencial	22,9%

Fuente: ODEPA

Capacidad de Producción de SAF Mediante Residuos Forestales

Según las estadísticas de INFOR, la industria forestal en Chile está dominada por dos principales empresas, Arauco y CMPC, que controlan gran parte de la cadena de producción. Estas compañías representan más del 50% de la producción forestal y casi el 100% de la industria de celulosa y papel.

Ambas empresas tienen la oportunidad de promover proyectos para la producción de SAF mediante la ruta de gasificación, debido a su acceso y gestión de biomasa forestal y residuos del sector. En particular, según información de Arauco, que administra 1,2 millones de hectáreas de bosques productivos y plantaciones forestales, se estima que existen entre 1,5 y 2,0 millones de toneladas de residuos forestales depositados en el bosque, lo que representa una importante cantidad de biomasa potencial para la producción de SAF, aplicando prácticas de aprovechamiento forestal sostenible para garantizar la fertilidad del suelo y la vida silvestre (ver Figura 47).

Para la producción de SAF a partir de residuos forestales se pueden considerar dos vías tecnológicas: la gasificación+FT y el proceso ATJ. En el presente apartado analizaremos el proceso de gasificación. El proceso tecnológico de gasificación de residuos forestales es el mismo que el descrito previamente para el tratamiento de residuos municipales. La principal diferencia y ventaja de los residuos forestales respecto a residuos

⁹⁸ ODEPA - Bioenergía: Oportunidades y desafíos de la biomasa forestal como biocombustible regulado (2022)

⁹⁹ Trozos: Uso o aprovechamiento de trozos de madera, normalmente restos de la producción de madera maciza

municipales o industriales es su composición homogénea, lo que facilita el proceso de gasificación y minimiza los riesgos asociados a mezclas heterogéneas.

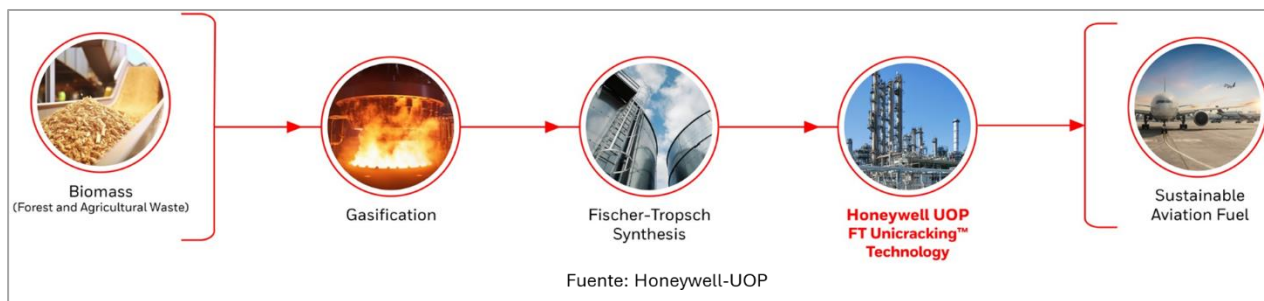


Figura 47. Producción SAF a través de Gasificación de Biomasa.

La gasificación de madera cuenta con una amplia experiencia y ha alcanzado un mayor grado de madurez tecnológica en comparación con la gasificación de residuos heterogéneos, donde su variabilidad sigue siendo un desafío para el funcionamiento eficiente de las plantas.

En el contexto chileno, los procesos de gasificación de residuos forestales pueden ir asociados con la gasificación de otros tipos de residuos (municipales, agrícolas, industriales, etc.) siempre que se realicen los controles adecuados de las mezclas buscando una composición alineada con los requerimientos y características de los gasificadores. La incorporación de residuos de otras procedencias amplía la disponibilidad de materias primas y una oportunidad para un mayor despliegue de plantas, así como, potencialmente mejorar sus economías de escala.

Oportunidades y Desafíos de los Residuos Forestales

Las oportunidades y el uso de procesos de gasificación de residuos forestales en Chile son los siguientes:

- Disponibilidad continua de estos residuos que garantizan un suministro sostenido de materia prima en el mediano y largo plazo.
- Costo razonable o bajo de la materia prima.
- Puede favorecer la reducción de incendios forestales al reducir la cantidad de restos en los bosques y favorecer el saneamiento de estos.

Desafíos

- Costos de capital: Las inversiones iniciales necesarias son elevadas, lo que puede ser un obstáculo para su implementación.
- Necesita un sistema logístico que optimice los transportes de materia prima.
- Si la planta de SAF se aleja de las zonas boscosas, la logística del producto final se complica.

2.5.5 Residuos de la Paja / Trigo

Contexto Producción de Trigo y Paja de Trigo a Nivel Nacional

Chile cuenta con una amplia superficie dedicada a la producción de cereales, siendo el trigo el cultivo más representativo, con un 51% del total, según la ODEPA (Ficha Nacional - 2025)¹⁰⁰.

¹⁰⁰ ODEPA - Ficha nacional, actualización (2025)

Tabla 20. Superficie Ha Cereales Chile 2023/2024.

SUPERFICIE Ha CULTIVO CEREALES EN CHILE PERIODO 2023/2024	
TOTAL CEREALES	389.066
TRIGO	198.079
% Superficie Ha trigo sobre total cereales	51%
Fuente: ODEPA – Ficha 2025	

De acuerdo con la ficha nacional de ODEPA, a nivel regional, La Araucanía abarca el 41,7% de la superficie cultivada de trigo, seguido por las regiones de Ñuble (15,3%), Biobío (15,1%) y Maule (5,6%). En términos de producción, el total de trigo alcanzó 1.189.000 toneladas en el año agrícola 2023/2024 (ODEPA – Ficha Nacional – 2025) (ver Tabla 20).

En relación con la paja de trigo se considera un residuo con potencial de valorización para la producción de SAF. En la Unión Europea, está clasificada como una materia prima avanzada, debido principalmente a su incompatibilidad con el uso alimentario, tanto humano como animal.

Para evaluar la disponibilidad de paja de trigo en Chile, se considera el estudio del INIA sobre “Rastrojos de cultivos anuales y residuos forestales” ¹⁰¹. Según la fórmula y variables establecidas en dicho estudio, la producción estimada de paja en Chile para el período 2023/2024 asciende a 1.453.222 t.

Capacidad de Producción de SAF Mediante Paja de Trigo

La producción de paja de trigo representa un potencial significativo para el desarrollo de una planta de SAF mediante tecnología de gasificación. Además, estas plantas podrían integrar otras pajas de cereales u otros residuos que cumplan con los criterios de sostenibilidad dentro de su área de influencia, optimizando así el aprovechamiento de biomasa disponible.

A nivel regional, la mayor concentración de paja de trigo se encuentra en la región de La Araucanía, que abarca el 41% de la superficie cultivada de trigo y el 38% de la producción total de cereales en el país. Extrapolando los datos de producción de paja de trigo estimados para el período 2023/2024, la región de La Araucanía concentraría aproximadamente 606 kt anuales, a la cual se podría sumar la paja de otros cereales (ver Tabla 21).

Tabla 21. Superficie Ha cereales región de Araucanía.

SUPERFICIE Ha CULTIVO CEREALES EN ARAUCANÍA PERIODO 2023/2024	
TOTAL CEREALES	148.226
TRIGO	82.627
RESTO CEREALES	65.599
% Trigo sobre total cereales en la región	56%
Fuente: ODEPA – ficha 2025	

¹⁰¹ INIA, Rastrojos de Cultivos Anuales y Residuos Forestales (2014)

En la región de La Araucanía, la mayor parte de la paja de trigo se reincorpora al suelo, mientras que el resto se destina a la generación de energía eléctrica renovable. Actualmente, existen dos plantas en la región que utilizan este residuo, una de ellas focalizada en paja de trigo y otra donde la combina con biomasa forestal, ambas instalaciones son gestionadas por COMASA¹⁰² (ver Figura 48).



Figura 48. Planta de Generación eléctrica con Biomasa de Trigo – COMASA.

En este contexto, la disponibilidad, dimensión y concentración de paja de trigo en la región representan una oportunidad para el desarrollo de plantas de SAF mediante tecnología de Gasificación + FT, con la posibilidad de incorporar otros residuos de cereales o agrícolas en general.

Alternativamente, el uso de la paja para la generación de electricidad permite el acceso a CO₂, un insumo clave para la producción de SAF a través de la tecnología PtL, ampliando así las opciones de valorización de este residuo. Además, estas plantas podrían contemplar proyectos híbridos que combinen PtL y Gasificación, optimizando el aprovechamiento de los recursos disponibles.

Dada la disponibilidad de residuos agrícolas en la región, sería recomendable realizar un estudio más detallado para evaluar su potencial y viabilidad para el desarrollo de plantas de SAF.

Oportunidades y Desafíos de los Residuos de Cereales en Chile

La amplia superficie agrícola dedicada al cultivo de cereales, especialmente trigo, representa una oportunidad estratégica para valorizar residuos como la paja en el desarrollo de plantas destinadas a la producción de los SAF. El éxito de este aprovechamiento dependerá en gran medida de la capacidad para mitigar las barreras y desafíos que dificultan la promoción e implementación de dichas plantas.

Oportunidades

- Aprovechar los residuos generados por la extensa superficie dedicada a los cereales
- Proporcionar beneficios y alternativas empresariales a la industria agrícola
- Contribuir a la eliminación de los residuos de la industria agrícola y obtener los beneficios ambientales y económicos asociados.

¹⁰² COMASA, plantas (2025)

Desafíos

- Impulsar y fortalecer el emprendimiento empresarial en el sector agrícola para aprovechar esta nueva oportunidad industrial e innovadora.
- Apoyo político y regulatorio que facilite la promoción de proyectos de SAF y garantice su coordinación y compatibilidad con la actividad agrícola.
- Asegurar los criterios de sostenibilidad y su posterior certificación.

2.6 ALCOHOL TO JET (ATJ)

2.6.1 Tecnología AtJ

La aplicación de la tecnología AtJ en Chile puede considerar el uso de materias primas potencialmente aptas para su conversión en alcoholes y la transformación de estos en combustibles de aviación sostenibles.

Aplica a aquella biomasa generada por organismos fotosintéticos, que almacenan la energía en forma de azúcares que se pueden transformar en alcoholes o etanol por medio del proceso de fermentación. A escala comercial países como Brasil y EE.UU., han implementado de manera masiva y exitosa el etanol como combustible alternativo en la automoción. En Brasil, la principal fuente de etanol es la caña de azúcar, mientras que en EE.UU. proviene del almidón de maíz. Esta tecnología es muy expandida, no obstante, estas materias primas compiten con la producción agrícola destinada a la alimentación, lo que caracteriza al etanol como biocombustible de primera generación.

El etanol de segunda generación procede de aquellos residuos de cultivos tales como los rastrojos de los cereales u hojas, ramas secas u otros residuos forestales que almacenan la energía en forma de carbohidratos complejos como la celulosa y hemicelulosa. Estas materias primas son sometidas a pretratamientos y tratamientos necesarios para la obtención de los azúcares fermentables y su conversión a etanol por microorganismos. En todo caso, los alcoholes obtenidos para ser elegibles para la producción de SAF tienen que cumplir los factores de sostenibilidad establecidos por OACI.

La tecnología para la obtención de alcoholes a partir de residuos con contenido lignocelulósico no se encuentra aún madura especialmente para los residuos del trigo o forestales, debido principalmente a la complejidad técnica por la naturaleza química y la heterogeneidad de los residuos lignocelulósicos. En la actualidad algunos países, especialmente los escandinavos europeos, están invirtiendo recursos significativos en tratar de desarrollar comercialmente esta tecnología y proceder a su certificación por la enorme superficie forestal que disponen. Por ello se entiende que, aun no siendo una tecnología madura, dado el potencial en residuos forestales o paja de trigo en Chile, se identifica como ruta tecnológica con potencial y se recomienda dar seguimiento al progreso de esta tecnología que pudiera a medio plazo convertirse en una alternativa para la producción de combustibles de aviación sostenibles.

La producción de etanol a partir de la paja de trigo o residuos generalmente incluye tres etapas principales:

1. Pretratamiento: Se realiza para alterar la lignina y hacer accesibles los polisacáridos de la pared celular vegetal. Un método común es el uso de hongos para degradar la lignocelulosa.
2. Hidrólisis enzimática: Los polisacáridos (celulosa y hemicelulosa) se descomponen en azúcares fermentables utilizando enzimas.
3. Fermentación: Los azúcares liberados se fermentan utilizando microorganismos para producir etanol.

La obtención de alcoholes sobre residuos lignocelulósicos se realiza a través de procesos bioquímicos o de bio-fermentación, con buenos resultados sobre aquellos residuos con altos componentes de azúcar, como puede ser el bagazo procedente de la caña de azúcar (ver Figura 49).



Figura 49. Planta de Bioetanol de 2ª Generación de Raízen en Brasil a través de caña de azúcar.

Alternativamente, la obtención de alcoholes se podría conseguir a través de otros procesos combinados con la bio-fermentación, como la pirólisis (proceso termoquímico), donde los residuos se transforman en azúcares y biochar (carbón), o la fermentación del gas de corrientes de residuos de carbono como aquellos procedentes de los residuos sólidos municipales, residuos agrícolas, forestales o incluso gases residuales de la industria que son convertidos en syngas para su transformación mediante fermentación en alcohol (ver Figura 50).

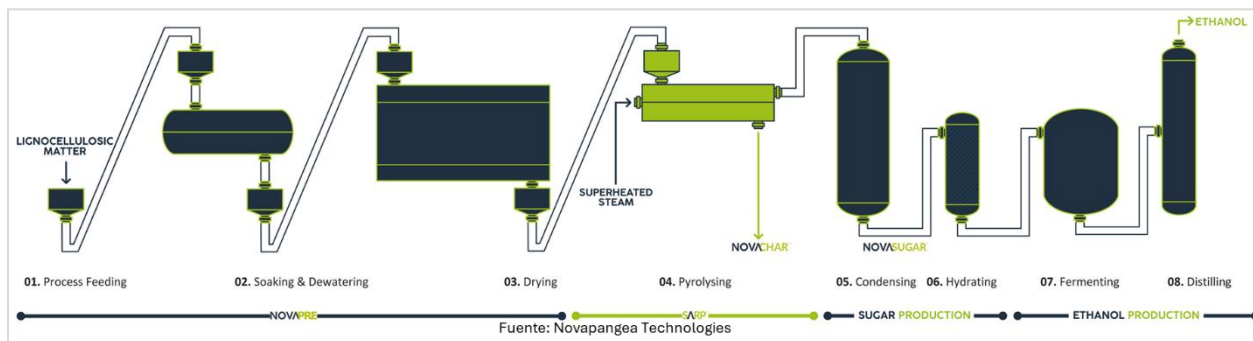


Figura 50. Proceso de producción de Etanol a través de biomasa lignocelulósica.

La transformación del AtJ, consiste en unos procesos bioquímicos sucesivos de deshidratación, oligomerización e hidrogenación donde se obtienen cadenas largas de hidrocarburos que producen el SAF. Esta tecnología está certificada y se considera madura. El proceso AtJ, tienes tres fases principales (ver Figura 51):

1. Deshidratación del alcohol
2. Oligomerización de olefinas
3. Hidrogenación

En este sentido, se destaca que la tecnología AtJ requiere una inversión significativamente menor en comparación con la gasificación+FT y, al ser un proceso biológico, ofrece rendimientos más elevados.

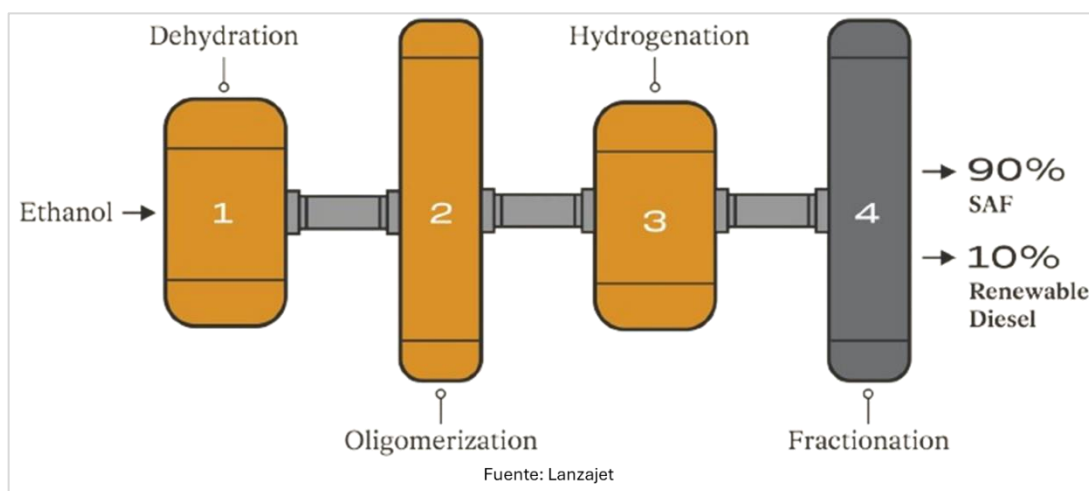


Figura 51. Fases Proceso AtJ.

Los costos de capital asociados al desarrollo de una Planta de AtJ son menores que los de una planta de gasificación. Sin embargo, los alcoholes utilizados como materia prima en la ruta AtJ, debido a su proceso de obtención, tienen un costo más elevado que las materias primas empleadas en la gasificación.

2.6.2 Disponibilidad de Materias Primas Susceptibles del Proceso AtJ

De acuerdo con la disponibilidad mencionada en el presente estudio de paja de trigo y residuo forestal en Chile, existe adicionalmente la opción futura de poder producir SAF vía etanol (alcohol-to-jet) a través de estos residuos.

La disponibilidad de estas materias primas y su transformación a SAF mediante la ruta AtJ, puede ser considerada, por tanto, bien como alternativa o como opción complementaria a la tecnología de gasificación. La selección de la tecnología más apropiada estará sujeta a la madurez tecnológica, rendimiento y otros aspectos ligados directamente a las especificaciones particulares de cada proyecto.

El rendimiento de etanol a partir de la paja de trigo y residuo forestal puede variar según el método de producción y las condiciones específicas de su entorno, sin embargo, en los estados actuales de la tecnología, ninguna de estas opciones presenta una opción rentable, aunque es esperado en un futuro próximo su viabilidad y despliegue.

Con excepción de aquellos residuos con contenido lignocelulósico como la paja del trigo y biomasa forestal, en Chile no se identifican otros cultivos con contenido de azúcares, como la caña de azúcar, debido a las condiciones climáticas y la limitada disponibilidad de recursos hídricos, que dificultan su producción. Asimismo, no se observa un interés significativo en el desarrollo de otros cultivos destinados a la generación de etanol.

Tras las consultas realizadas para la elaboración de este estudio, se han identificado los siguientes cultivos potencialmente aprovechables para producir SAF vía el proceso AtJ y de los mismos se ha obtenido el siguiente análisis:

- Residuos de viñedo: Las cantidades producidas no parecen ser suficientes para poder justificar la viabilidad de una planta de SAF basada en la tecnología AtJ
- Restos de la industria hortofrutícola en especial el aguacate: al igual que en los residuos de viñedos las cantidades observadas no tienen una suficiente escala, por lo tanto, no justifican la viabilidad de una planta de SAF vía AtJ

2.6.3 Oportunidades y Desafíos – Conclusión

Aunque esta tecnología aún no ha alcanzado plena madurez, especialmente en la conversión de residuos lignocelulósicos en alcoholes, existe un gran interés y esfuerzo en su desarrollo. Su implementación permitiría aprovechar enormes cantidades de residuos disponibles para ser procesadas mediante un proceso químico altamente eficiente, aportando valor en términos de sostenibilidad y de las materias primas utilizadas.

La abundante disponibilidad de residuos, especialmente de paja de trigo y biomasa forestal en Chile, hace que el uso potencial de la tecnología Alcohol-to-Jet pueda ser de interés. Chile enfrenta el desafío de seguir de cerca el avance de la tecnología AtJ, tanto en la producción de alcoholes como en su transformación en SAF. Asimismo, es fundamental dar a conocer a los actores clave las ventajas que el país ofrece para la implementación de esta tecnología.

2.7 METANOL TO JET (MTJ)

2.7.1 Tecnología MtJ

La tecnología MtJ se encuentra actualmente bajo evaluación por ASTM, aunque se espera que obtenga la certificación definitiva en un futuro cercano. Esta ruta es considerada de gran interés debido al potencial desarrollo del metanol renovable en Chile, donde uno de sus principales usos sería la producción de SAF sintético o SAF PtL.

La ruta MtJ usa como materia prima un metanol de origen sintético o renovable. El proceso de producción se divide en cuatro fases principales:

1. Producción y acondicionamiento del metanol.
2. Transformación del metanol a olefinas.
3. Oligomerización.
4. Fraccionamiento y producción final de SAF.

La producción de metanol se lleva a cabo mediante la síntesis de hidrógeno y dióxido de carbono. Posteriormente, el metanol se convierte en olefinas ligeras, las cuales, mediante un proceso combinado de oligomerización e hidrogenación, permiten la obtención de hidrocarburos. Finalmente, al igual que en la ruta PtL a través del proceso Fischer-Tropsch, se realiza una etapa de fraccionamiento para obtener SAF como producto final (ver Figura 52).

El desarrollo del hidrógeno verde en Chile ofrece una oportunidad estratégica para la producción de derivados, como el metanol. Uno de los principales enfoques identificados en el país es su uso en el transporte marítimo o como portador de hidrógeno.

En este contexto, el proyecto Haru Oni, ubicado en Magallanes y liderado por HIF Global, destaca como una de las iniciativas más avanzadas para la producción de combustibles sintéticos en el mundo. Desde 2022,

cuenta con una planta piloto en operación que produce metanol sintético. Este proyecto se desarrolla en colaboración con entidades tecnológicas pioneras en la ruta MtJ, así como con actores clave en la obtención de insumos esenciales y la producción de metanol, integrando toda la cadena de valor.

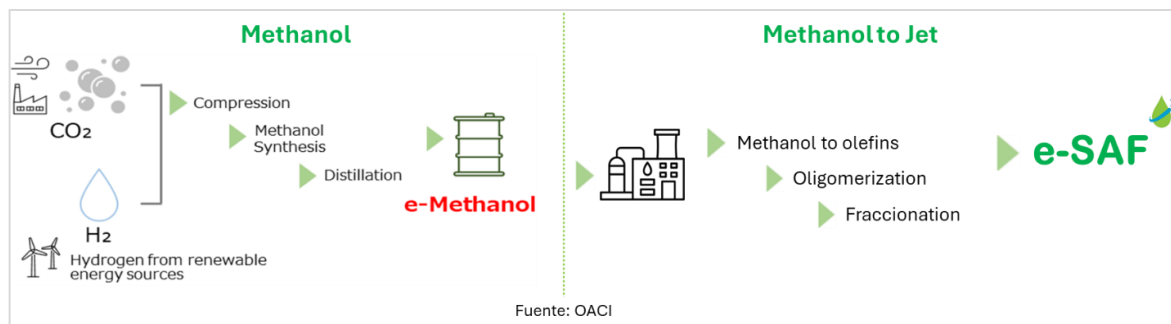


Figura 52. Proceso Producción Metanol y MtJ.

Este proyecto cuenta con los extraordinarios niveles de eficiencia para la obtención de energía renovable y las infraestructuras logísticas existentes en el complejo industrial y portuario de Cabo Negro. Su potencial desarrollo puede convertirse en una opción potencial para la producción de SAF en Chile asociado también por la mayor dimensión de los proyectos conectados con la producción MtJ.

2.7.2 Oportunidades y Desafíos – Conclusiones

La ruta MtJ presenta aquellas mismas oportunidades identificadas para la ruta PtL en Chile y su capacidad para la promoción de energías renovables y producción de hidrógeno, y adicionalmente, cuenta con otras oportunidades o ventajas tales como:

- El metanol como materia prima del MtJ puede tener usos alternativos, principalmente para la movilidad en el sector marítimo, permitiendo tener mayor flexibilidad comercial.
- La producción de metanol requiere cantidades de CO₂ significativamente menores que las requeridas para la producción de SAF a través de la tecnología PtL Fischer Tropsch.
- La actual producción de metanol sintético en pequeña escala en la región de Magallanes (proyecto Haru Oni) representa un avance para, en un futuro, alcanzar su desarrollo comercial y transformación para la producción de SAF. Adicionalmente, existen potenciales sinergias con infraestructuras existentes en Cabo Negro ligadas a las empresas Methanex y Enap.

En lo relativo a los principales desafíos de la tecnología MtJ serían:

- Es una tecnología en proceso de aprobación lo que implica incertidumbres o ralentiza el potencial desarrollo de los proyectos.
- La transformación de metanol-to-jet es un proceso complejo a nivel industrial que requiere el desarrollo de instalaciones y equipos de grandes dimensiones.
- Las plantas de Metanol to Jet en principio necesitarían situarse próximo a refinerías ya existentes por el aprovechamiento de sus infraestructuras de procesamiento, distribución y permisos.

En resumen, el MtJ es una ruta que se puede perfilar como una de las alternativas futuras viables para la producción de SAF en Chile:

- Será complementaria con las otras vías tecnológicas viables en Chile, permitiendo el potencial del país para la producción de SAF.

- Al igual que la ruta de FT cuenta con la fortaleza de Chile para la generación de energías renovables y producción de hidrógeno verde.
- Considerando las expectativas del proyecto Haru Oni, la ruta MtJ puede ser una de las alternativas más rápidas para la producción de SAF a nivel comercial en Chile (en el horizonte del año 2030).

2.8 OTROS APROVECHAMIENTOS

2.8.1 Algas

Chile tiene una gran tradición de acuicultura y de producción de algas marinas, motivo por el que la Universidad de los Lagos realizó entre 2014 y 2021 un proyecto de investigación para la producción de biocombustibles a partir de algas.

Durante 5 años cultivaron alga parda del pacífico en un campo de alrededor de 21 ha, donde alcanzaron unas producciones de aproximadas de 120 t/ha/año. En una segunda fase transformaron, mediante una fermentación bacteriana, las algas en bioetanol.

De acuerdo con los resultados obtenidos, estimaron una producción potencial de bioetanol mediante esta ruta de aproximadamente 40.000 m³/año emplazando unas 6.000 has de cultivo de algas en la zona de los Lagos. El proyecto terminó en 2021 por falta de viabilidad económica, sin embargo, la vía AtJ, podría ser una alternativa viable para su uso en un futuro. La reactivación de este proyecto, con los apoyos necesarios, podría valorarse como una nueva oportunidad comercial para la potencial producción de SAF a través de la vía AtJ.

2.9 RESUMEN DE LAS MATERIAS PRIMAS EVALUADAS

La Tabla 22 resume las principales materias primas e insumos identificados para la potencial producción de SAF en Chile.

Tabla 22. Principales materias primas o insumos disponibles para la producción de SAF.

Principales Materias Primas o Insumos Disponibles para la Producción de SAF en el País				
Tipología	Materias Primas / Insumos	Origen	Cantidad	Principal tecnología Asociada
SAF SINTÉTICO	H ₂ V	Desarrollo del H ₂ V del país / ERNC muy competitiva	1800 GW capacidad renovable	PtL FT / MtJ (largo plazo)
	CO ₂	Principalmente procedente del residuo forestal (industria celulosa-termoeléctricas)	30 fuentes puntuales de CO ₂ superiores a 100 kt	PtL FT / MtJ (largo plazo)
SAF BIOGÉNICO	Aceites de cocina usados (UCO) / grasas animales	Disponibilidad de UCO recogida doméstica y restauración. Para producción inicial SAF (ENAP)	Sujeta a valoración concreta	Coprocesado (Corto plazo)

	Residuo forestal	Fuerte industria forestal-celulosa	3 millones plantaciones forestales / 40 millones m ³ trozos uso industrial	Gasificación / AtJ (potencial largo plazo)
	Residuos sólidos urbanos	Gran disponibilidad en los grades focos urbanos / acompañar valorización y eliminación de estos residuos	Aproximadamente 9,0 Mt/año de RSM	Gasificación
	Residuo agrícola	Principalmente de la industria del cereal, especialmente paja de trigo	Aproximadamente 1,5 Mt de paja de trigo	Gasificación / AtJ (potencial largo plazo)

2.10 MODELO DE SIMULACIÓN DE FUTURA DEMANDA DE SAF EN CHILE

La demanda potencial de SAF en Chile podría estar condicionada por diversas variables que deben ser consideradas, las cuales, de alguna manera, influyen en las decisiones por parte de las autoridades en la cuantía y momento de establecimiento de los objetivos para su implementación y uso:

- La capacidad efectiva tanto tecnológica, económica y regulatoria para la producción de SAF en Chile.
- Estimación de la demanda futura de los combustibles de aviación.
- El alineamiento con los compromisos, objetivos y metas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).
- Los compromisos voluntarios de consumo de SAF establecidos nacional e internacionalmente por los operadores aéreos, incluyendo la aviación comercial, carga, ejecutiva, y servicios de emergencia.
- Los objetivos de SAF en el marco internacional, particularmente con los países de América Latina y los países fronterizos, así como con aquellos con mayores intercambios de operaciones de salidas y llegadas internacionales.
- Referencia de la visión internacional. Existen 46 políticas nacionales en el ámbito de los combustibles sostenibles para la aviación que están en desarrollo o ya adoptadas por diversos países. En 18 de estas políticas nacionales, ya han sido establecidas obligaciones o mandatos para el uso del SAF¹⁰³.
- Armonización de políticas y objetivos internacionales.
- El impacto social o económico que el SAF puede tener en áreas especialmente vulnerables o de difícil acceso, ya sea por su ubicación remota o por otras condiciones sociales o económicas.

En 2023, la aviación internacional, en el marco de la conferencia CAAF/3 de la OACI, estableció como objetivo reducir las emisiones globales de CO₂ en un 5% para 2030, mediante el uso de combustibles sostenibles de aviación (SAF), combustibles de carbono bajo (LCAF) y otras fuentes de energía más limpias.

En el caso de Chile, considerando una demanda estimada de queroseno de 2.044 millones de metros cúbicos para el año 2030, y asumiendo un ahorro medio de emisiones del 80% por uso de SAF, se requeriría que aproximadamente un 6,3% de esa demanda provenga de SAF para contribuir al objetivo global de reducción de emisiones del 5% fijado por la OACI.


¹⁰³ ICAO, Guidance on Policy Measures for SAF Development and Deployment (2024)

No obstante, dado que Chile dará inicio al uso del SAF en 2030, su contribución inicial será necesariamente menor. En este contexto, se proyecta, a partir de este año un aumento progresivo en la capacidad de producción nacional, con el objetivo de alcanzar un 50% de consumo de SAF en el largo plazo. Como meta realista, se establece un objetivo nacional de referencia del 4% de suministro de SAF para el año 2030, en línea con las capacidades estimadas. A continuación, se desarrolla un modelo de simulación del uso del SAF orientativos, con la finalidad de establecer unas referencias sujetas a un análisis más desarrollado.

Estimación de la futura demanda de combustibles de aviación de Chile

La demanda futura de combustibles de aviación sigue un crecimiento similar al promedio internacional, basado en información de Vuelo Limpio y el BID. Según esta proyección, el aeropuerto de Santiago concentra el 84% del consumo total de combustibles de aviación en Chile (ver Tabla 23).


Tabla 23. Estimación Demanda Combustible de Aviación.

 DEMANDA FUTURA COMBUSTIBLE AVIACIÓN CHILE										
Demanda combustible aviación km ³	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2035	2040	2045	2050
Doméstico	747	793	835	872	909	945	1.147	1.392	1.690	2.051
Internacional	955	995	1.028	1.054	1.078	1.099	1.211	1.335	1.472	1.623
Total	1.703	1.787	1.862	1.926	1.987	2.044	2.358	2.728	3.162	3.674
% crecimiento		5,0%	4,2%	3,4%	3,2%	2,9%	2,9%	3,0%	3,0%	3,1%
Aeropuerto de Santiago AMB	1.427	1.498	1.561	1.614	1.665	1.713	1.977	2.286	2.650	3.080
% S/ total demanda	84%	84%	84%	84%	84%	84%	84%	84%	84%	84%

Estimación de la producción de SAF en función de las materias primas y recursos disponibles en el país

El modelo determina un volumen promedio de producción para cada tecnología que podría ser viable en Chile, basándose en valores de referencia obtenidos de proyectos internacionales (ver Tabla 24). En el caso de la tecnología de coprocesado, el nivel de producción se estima en función de la capacidad potencial de la refinería de ENAP y la disponibilidad de aceite usado de cocina. Esta estimación depende principalmente de la estrategia que ENAP implemente para la producción de SAF mediante esta tecnología y de la actual limitación de mezcla del 5%. Su potencial revisión futura a porcentajes mayores, cambiaría significativamente su potencial.

Tabla 24. Volumen Estimado Medio de Producción SAF por Tipo de Tecnología y Planta.

Volumen medio m ³ SAF por Instalación y Tecnología 				
<i>Coprocesado</i>	<i>PtL FT</i>	<i>Gasificación</i>	<i>MtJ</i>	<i>AtJ</i>
75	50	75	100	75

El análisis preliminar establece una simulación del despliegue de plantas en Chile por tecnología (ver Tabla 25).

Tabla 25. Estimación Despliegue de Plantas de SAF hasta el año 2050.

Nº PLANTAS PARA LA PRODUCCIÓN DE SAF POR TECNOLOGÍA EN CHILE								
Nº Plantas SAF por tecnología	2027	2028	2029	2030	2035	2040	2045	2050
Coprocesado	1	1	1	1	1	1	1	1
PtL FT	-	-	-	-	4	7	10	15
Gasificación	-	-	-	-	3	5	7	9
MtJ	-	-	-	-	1	1	1	1
AtJ	-	-	-	-	1	2	3	3
Total Nº plantas SAF	1	1	1	1	10	16	22	29

Esta simulación se establece sobre las siguientes premisas:

- El coprocesado se desarrollaría en una de las refinerías existentes operadas por ENAP y sería la primera tecnología en entrar en funcionamiento. Estimación potencial año 2027.
- Las plantas de PtL FT experimentarían un crecimiento estimado progresivo impulsado por la maduración de la tecnología y la reducción continua de los costos de producción de energías renovables e hidrógeno.
- Las plantas de gasificación tienen un crecimiento estimado progresivo en función de las fuentes de disponibles de biomasa (residuos forestales, paja de trigo y RSM).
- Para la tecnología MtJ se considera únicamente el proyecto de Haru Oni, cuya entrada en funcionamiento se estima en el 2031.
- Para la tecnología AtJ, se estima un máximo de tres plantas, aunque con una elevada incertidumbre respecto a su viabilidad.
- La estimación media estimada por planta de acuerdo a su ruta tecnológica puede variar.

De acuerdo con estas premisas la producción potencial de SAF en Chile se estima en la Tabla 26. El volumen producido mediante el coprocesado permitiría alcanzar un objetivo teórico del 4% de suministro de SAF en Chile en el año 2030. A partir de 2030, la incorporación progresiva de nuevas tecnologías impulsará un crecimiento acelerado en la producción de SAF, el cual se estabilizará a partir de 2045 para alcanzar la meta de uso de SAF del 50% en 2050.

Según esta estimación, para el año 2050, la tecnología PtL FT y la gasificación, sumarían en conjunto un 78% de la producción de SAF. Desde la perspectiva del origen de las materias primas, las tecnologías PtL (PtL FT + MtJ) representarán un 46% de la producción, mientras que las tecnologías Biomass to Liquid (Coprocesado + Gasificación + AtJ) alcanzarán un 54%.

Tabla 26. Estimación Futura de Producción de SAF en Chile.

PRODUCCIÓN SAF POR TECNOLOGÍA km ³ EN CHILE									
Producción SAF por tecnología km ³	2027	2028	2029	2030	2035	2040	2045	2050	%
Coprocesado	25	40	50	75	75	75	75	75	4%
PtL FT	0	0	0	0	200	350	500	750	41%
Gasificación	0	0	0	0	225	375	525	675	37%
MtJ	0	0	0	0	100	100	100	100	5%
AtJ	0	0	0	0	75	150	225	225	12%
Total producción SAF km³	25	40	50	75	675	1.050	1.425	1.825	
% Producción SAF / Total demanda	1%	2%	3%	4%	29%	38%	45%	50%	

Alineación de los potenciales de producción con los objetivos globales de la OACI

Mediante el Marco Global de la OACI para SAF, LCAF y otras energías más limpias para la Aviación adoptado en 2023, sus Estados miembros acordaron esforzarse por reducir las emisiones de CO₂ en la aviación internacional en un 5 % para 2030. Las circunstancias y respectivas capacidades de cada Estado determinarían su capacidad para contribuir a este objetivo (ver Figura 53, Figura 54 y Figura 55).

Por lo tanto, un 4% de suministro de SAF en Chile en el año 2030, sería una significativa contribución al objetivo global establecido en el marco de la OACI y basada en las capacidades nacionales.

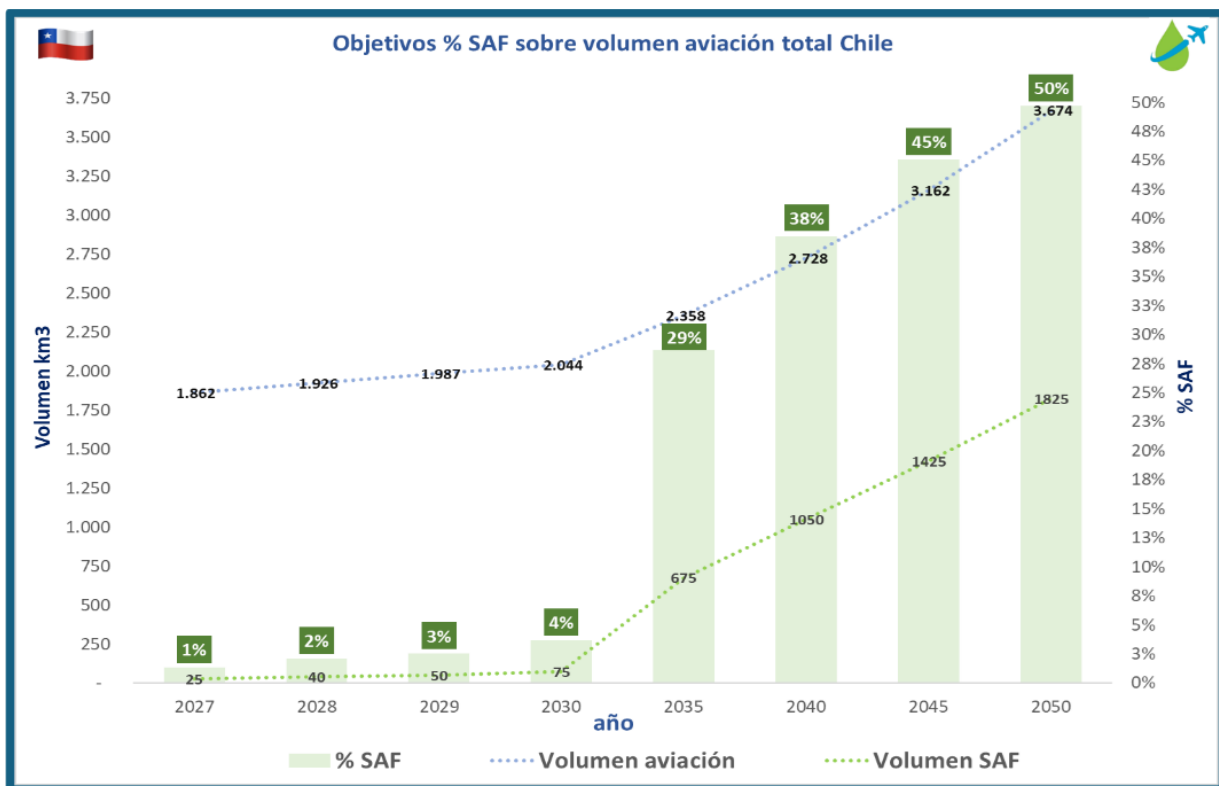


Figura 53. % Producción de SAF sobre la Demanda de Combustibles de Aviación en Chile.

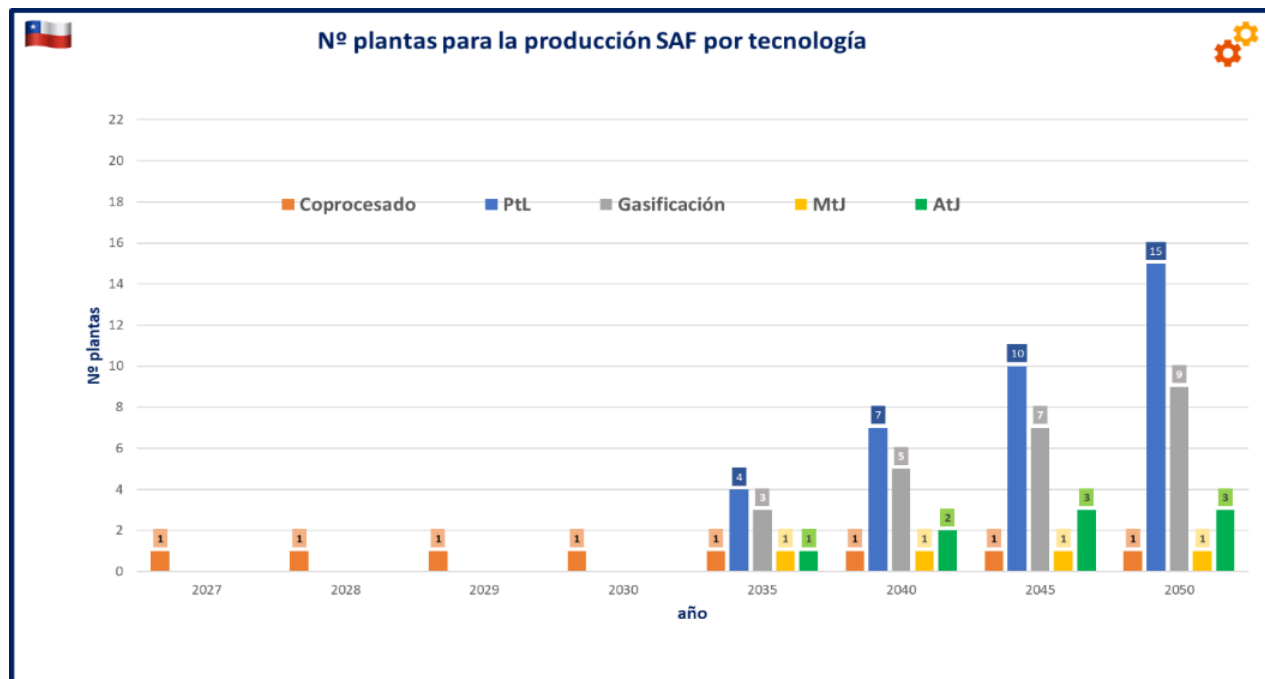


Figura 54. N.º Plantas de SAF en Chile por Tecnología.

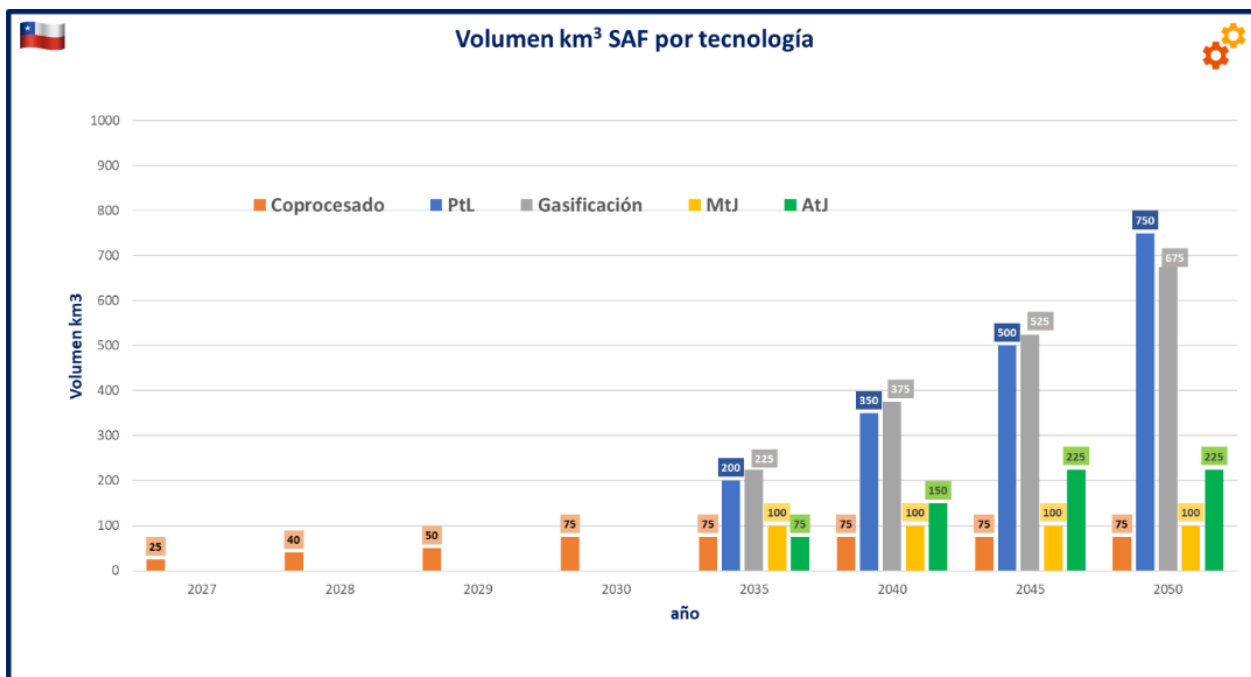


Figura 55. Producción de SAF en Chile por Tecnología.

SECCIÓN 3. APOYO A LA EJECUCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

3.1 APOYO A LA IMPLEMENTACIÓN

El desarrollo potencial de una cadena de producción, distribución y comercialización de SAF plantea una perspectiva sectorial, regulatoria, regional e institucional. Esto requiere una colaboración público-privada que incorpore una visión alineada con la evolución tecnológica y con el ritmo de desarrollo y ejecución de los proyectos.

Un elemento clave es el desarrollo de un entorno económico y regulatorio que garantice seguridad jurídica y facilite la realización de las importantes inversiones a realizar para la producción de SAF. El SAF es una nueva oportunidad, pero los costos de inversión son elevados. Sin un marco jurídico claro que garantice las inversiones, no se puede alcanzar una implementación eficaz de las políticas de SAF.

Un marco de apoyo y fomento del desarrollo de los combustibles de aviación sostenibles en Chile debería considerar los siguientes elementos (en línea con el documento de orientación de la OACI- *ICAO Guidance on Policy Measures for SAF Development and Deployment*¹⁰⁴) (ver Figura 56):

- Desarrollar un Marco Normativo y Políticas Públicas, y líneas estratégicas interministeriales para la producción de SAF.
- Establecer metas nacionales para la reducción de emisiones del sector aéreo.
- Crear incentivos fiscales y financieros para productores y operadores aéreos.
- Promover acuerdos internacionales que faciliten la exportación de SAF, integrando a Chile en la cadena internacional de suministro.
- Desarrollar Infraestructura y Logística, que facilite la distribución del SAF, así como de las materias primas, insumos o energía requeridos para la producción.
- Establecer medidas de Apoyo Financiero y Económico público-privado
- Impulsar la Investigación y el desarrollo (I+D) de tecnologías de producción de SAF. Promover el conocimiento, capacitación e innovación para el desarrollo del SAF. Colaborar con universidades y centros de investigación para el desarrollo de tecnologías avanzadas.
- Impulsar alianzas público-privadas que refuerce la promoción y viabilidad de los proyectos.
- Atraer inversión extranjera por la oportunidad que el país ofrece para la producción de un SAF a precio competitivo.
- Promover y analizar el uso de recursos disponibles. Involucrar a empresas y asociaciones que generan o disponen materias primas tales como biomasa o residuos agrícolas.
- Constituir HUBs de producción: Desarrollar estrategias focalizadas en áreas geográficas que permitan optimizar los recursos necesarios y desarrollo de infraestructuras comunes para la producción de SAF
- Promover la participación de sectores industriales, que pueden formar parte de la cadena de distribución y producción del SAF, tales como la recolección y logística de las materias primas, generación de energía renovable, producción de hidrógeno, sistema eléctrico, etc.

¹⁰⁴ ICAO, SAF Guidance Potential Policies (2025)



Figura 56. Marco de apoyo para el desarrollo de SAF en Chile.

3.1.1 Apoyo a la Implementación del SAF Vinculado al Impulso del del Hidrógeno

El SAF tiene la oportunidad de integrarse al marco de apoyo político e institucional establecido en Chile para el impulso del hidrógeno verde. Esta sinergia no solo permitiría respaldar proyectos relacionados con el SAF basado en procesos Power-to-Liquid, sino que también podría convertirse en una oportunidad comercial clave para impulsar el desarrollo y la viabilidad de proyectos de hidrógeno verde como un potencial derivado estratégico.

Los tres principales mecanismos identificados para el apoyo y desarrollo del H₂V en Chile son:

1. Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde y su Plan de Acción 2023-2030.
2. Comité Estratégico interministerial para el desarrollo del plan de acción del hidrógeno verde¹⁰⁵.
3. Comité CORFO para el Hidrógeno Verde y sus iniciativas¹⁰⁶.

El hidrógeno se consolida en Chile como un pilar clave para la transición energética, que conecta, al mismo tiempo, con el SAF como única alternativa viable a corto y mediano plazo para la descarbonización del sector aéreo. La producción de SAF a partir de hidrógeno se perfila como una de las rutas más prometedoras para impulsar la descarbonización del sector aéreo. En este contexto, la integración del SAF en la cadena de valor del hidrógeno no solo fortalece su producción, sino que también abre nuevas oportunidades para su expansión y viabilidad comercial.

El apoyo a la implementación del Hidrógeno en Chile facilitará el desarrollo de proyectos de SAF a través de la ruta “Power to Liquid”. Asimismo, se considera relevante jugar un rol más activo en la promoción e inclusión del SAF dentro de las estrategias, incentivos y apoyos vinculados al desarrollo del hidrógeno.

3.1.2 Desarrollo de una Estrategia y Política Nacional de SAF

El SAF está dirigido a ser la única alternativa viable a los combustibles fósiles para la descarbonización del sector en el corto y medio largo, sin necesidad de cambios en los motores de los aviones o las infraestructuras existentes, convirtiéndose, por tanto, en un componente esencial para alcanzar los objetivos de descarbonización del sector aeronáutico. Su desarrollo y adopción están marcados por un horizonte de crecimiento ineludible para garantizar el cumplimiento de estos objetivos.

Esta relevancia posiciona al SAF como un elemento prioritario en la futura matriz de combustibles líquidos, con una importancia destacada en la transición energética global. Además, su implementación movilizará inversiones masivas para el desarrollo industrial y tecnológico necesario para su producción. La Figura 57,

¹⁰⁵ Gobierno de Chile, Comité Estratégico | Plan de Acción de Hidrógeno Verde (2023)

¹⁰⁶ CORFO, Corporación de Fomento de la Producción (2025)

extraída del reporte “*Making Net-Zero Aviation Possible*” elaborado en 2022 por Mission Possible Partnership, ilustra el impacto del SAF a nivel global. Entre otros indicadores, proyecta que hasta 2050 se requerirá una inversión anual promedio de 175 mil millones de dólares, asimismo, la demanda global de SAF implicará entre el 5% y el 10% del suministro de energía renovable, entre el 10% y el 30% del hidrógeno verde producido y entre el 5% y el 20% de la biomasa renovable disponible¹⁰⁷.

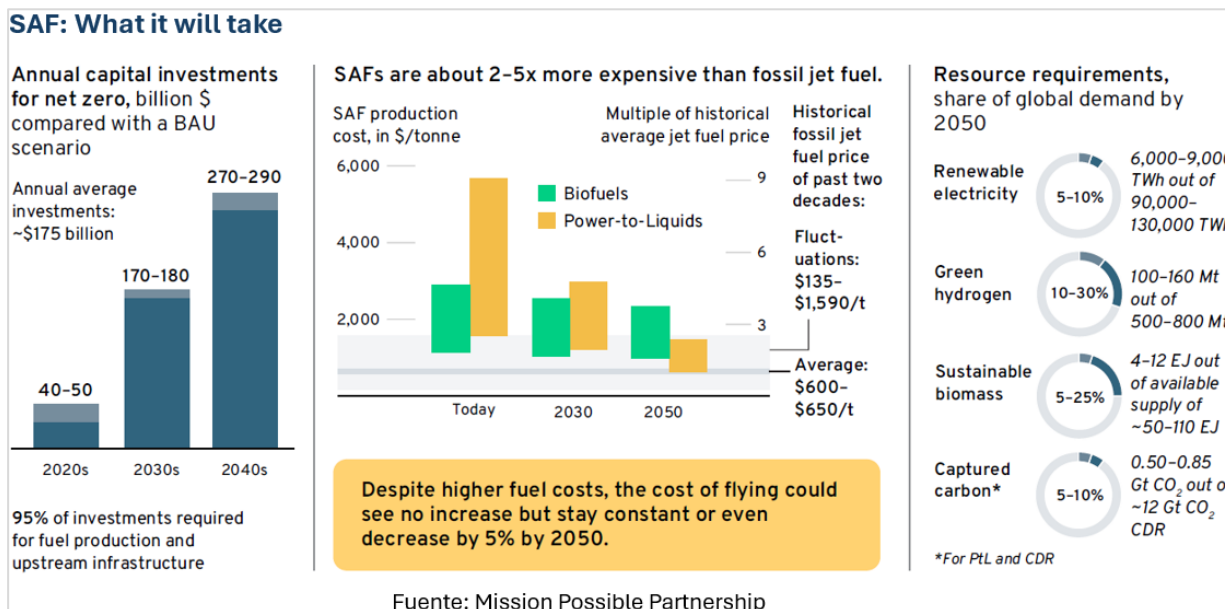


Figura 57. Lo que el SAF requerirá.

En el contexto de Chile, el desarrollo del SAF, debido a su alcance y a los actores involucrados en su cadena de valor, generará un impacto transversal significativo en múltiples áreas, destacándose su potencial transformador en diversos niveles:

- **Sectorial:** El despliegue de proyectos de SAF podría influir directamente en sectores clave tales como el forestal, la industria productiva, la gestión de residuos, el sector agrícola y la industria termoeléctrica.
- **Energía:** La producción de SAF está estrechamente vinculada con los principales vectores energéticos de Chile, las energías renovables (aprovechando la capacidad instalada de energías renovables y la promoción de capacidad adicional), hidrógeno verde (como materia prima fundamental en la ruta Power to Liquid), industria termoeléctrica (a través de la optimización de la biomasa utilizada, captura del CO₂ o reconversión de las unidades termoeléctricas de carbón).
- **Regional:** La capacidad de producción y el desarrollo de rutas tecnológicas alternativas tendrán una diversidad regional por la localización de insumos clave, como CO₂, hidrógeno, biomasa, agua y energía renovable. Esta diversificación permitirá adaptar las estrategias de producción según las fortalezas de cada región, fomentando un crecimiento equilibrado en todo el país.
- **Económico y social:** El SAF impulsará la creación de una nueva capa de producción industrial en Chile, generando:
 - Crecimiento económico con efectos multiplicadores por el desarrollo de otras empresas auxiliares.
 - Desarrollo tecnológico, trayendo conocimiento y capacitación y a su vez promoviendo la innovación y la I+D.

¹⁰⁷ Mission Possible Partnership: Making net zero aviation possible executive summary – julio 2022

- Crecimiento social generado por un nuevo desarrollo económico en zonas con menor implementación industrial, trayendo beneficios sociales y la creación de empleo por las industrias emergentes, nuevas o reconvertidas.
- Promoción de una descarbonización acelerada, contribuyendo no solo a la descarbonización de la aviación, sino que tendrá un efecto tractor para la descarbonización de otros sectores.

Estos factores subrayan el papel crucial que el SAF puede desempeñar en Chile como catalizador de la transición energética en el país (ver Figura 58).



Figura 58. Papel Transformador del SAF.

Para aprovechar este potencial, sería deseable desarrollar una política nacional de promoción y apoyo al SAF en Chile, con una política y estrategia especializada, con un enfoque interministerial capaz de movilizar a los principales actores públicos y privados para fomentar alianzas estratégicas, diseñar incentivos específicos y desarrollar la regulación, estándares y procesos de certificación que impulsen su desarrollo. En este sentido, la “Hoja de Ruta SAF 2050” es el inicio para la construcción de una política nacional, identificando los ejes estratégicos y acciones a desarrollar para la futura implementación del SAF.

Con un enfoque integral y colaborativo, Chile puede posicionarse como un referente en la producción y uso de SAF. La “Hoja de Ruta SAF 2050”, lanzada en agosto 2024, será la plataforma que promueva el lanzamiento de una política nacional e integradora para la implementación del SAF.

3.1.3 Identificación de Instrumentos para la Promoción del SAF

Chile dispone de diversos instrumentos e instituciones dentro de su sistema político y económico que pueden ser clave para impulsar la implementación de la producción y suministro de SAF. Estos incluyen mecanismos de promoción industrial, alianzas empresariales, asociaciones sectoriales y acuerdos público-privados, entre otros, que pueden ser aprovechados para promover el desarrollo del SAF.

Para maximizar su impacto, es esencial que las autoridades del sector de la aviación fomenten y movilicen activamente la participación de estos instrumentos o entidades. Esto implica sensibilizar a los actores clave sobre la importancia estratégica del SAF y difundir los beneficios y oportunidades que el SAF ofrece.

Los potenciales instrumentos, entidades o actores identificados en el presente estudio, sin ser una lista exhaustiva son:

- Acuerdos de Producción Limpia APL: Convenio voluntario de carácter público-privado entre un sector empresarial y los órganos de la administración del Estado bajo la coordinación de CORFO. La importancia de estos acuerdos se visualiza con la existencia de 9.553 empresas y 16.164 instalaciones adheridas¹⁰⁸.
- Entidades o agrupaciones públicas o privadas: Asociaciones sectoriales, agencias estatales, grandes empresas manufactureras o de carácter industrial, alianzas empresariales, distribuidores logísticos o gestores de infraestructuras energéticas y de transporte.

¹⁰⁸ Agencia de Sostenibilidad y Cambio y Climático CORFO, Acuerdos de Producción Limpia (2025)

- Corporaciones o entidades públicas para la financiación, coordinación o promoción de proyectos (por ejemplo, CORFO y ANID).
- Apoyo ministerial: Involucra a la mayoría de los ministerios.
- Centros Tecnológicos, de investigación y universidades.
- Gobiernos regionales.
- Empresas participantes en la cadena de valor de los combustibles de aviación: Operadores de aeronaves, suministradores de combustibles, proveedores, autoridades aeroportuarias, las autoridades de aviación civil etc.

A continuación, se señalan entidades identificadas en el presente estudio con potencial para la promoción y desarrollo de los instrumentos para el apoyo al SAF.

CORFO

La Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) es una entidad pública para el desarrollo económico e industrial de Chile, con patrimonio propio le permite desempeñar un papel fundamental en la promoción de proyectos e iniciativas estratégicas.

CORFO actúa como un coordinador sectorial, regional e institucional, proporcionando apoyo financiero mediante programas y convocatorias públicas. En el ámbito del hidrógeno verde, ha asumido un rol habilitador para la creación de nuevas industrias, alineándose con la meta nacional de neutralidad en carbono¹⁰⁹. Esto incluye la materialización de proyectos de hidrógeno verde mediante la promoción de iniciativas y programas específicos.

En el contexto del crecimiento proyectado del SAF, su papel como combustible sostenible clave para la descarbonización del sector aéreo, y su potencial impacto económico e industrial en Chile, hacen que el SAF sea susceptible de posicionarse como una de las líneas estratégicas dentro del marco de actuación de CORFO. Al igual que con el hidrógeno, CORFO, puede traer una perspectiva organizativa y estratégica que permitiría impulsar el potencial de Chile para la producción y comercialización del SAF.

En el ámbito del hidrógeno, CORFO ya está brindando apoyo y financiación a iniciativas regionales o sectoriales, como el nuevo Centro Tecnológico de Hidrógeno Verde de Magallanes¹¹⁰, el proyecto Conecta en Antofagasta¹¹¹ o apoyo a la utilización del hidrógeno en la minería.

A nivel de derivados del hidrógeno, CORFO adjudicó recientemente fondos para la evaluación de una planta piloto para la producción de e-fuels con la participación de Arauco, COPEC, ABASTIBLE e INERATEC.

Otra herramienta de CORFO son los llamados “Programas Transforma” con el objetivo de articular una colaboración público-privada para sofisticar y diversificar la matriz productiva y dar un salto cualitativo en términos de desarrollo y crecimiento productivo sostenible¹¹². Entre los “Programas Transforma” en activo se encuentran los proyectos H2V Biobío y H2V Magallanes.

¹⁰⁹ CORFO, Hidrógeno Verde (2025)

¹¹⁰ Centro Tecnológico Hidrógeno Verde Magallanes (2024)

¹¹¹ H2 Antofagasta – Conecta (2025)

¹¹² CORFO, programa transforma (2025)

En conclusión, CORFO está en una posición privilegiada para ser un motor clave en el impulso para el desarrollo del SAF en Chile. Su capacidad para coordinar actores, movilizar recursos y promover la innovación tecnológica puede acelerar la producción del SAF.

ANID

La Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) que administra y ejecuta becas de postgrado, programas y concursos, que tienen como propósito promover, fomentar y desarrollar la investigación en Chile, en todas las áreas del conocimiento, el desarrollo tecnológico y la innovación de base científico-tecnológica, de acuerdo con las políticas definidas por el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación¹¹³.

ANID ha colaborado en Iniciativas para el apoyo en la promoción y la investigación del hidrógeno verde:

- Proyecto Power-to-MEDME, para la producción de Metanol y DME.
- Proyecto H2in para la evaluación multidimensional e integral de la cadena de valor para el hidrógeno verde¹¹⁴.
- Investigación y desarrollo en el uso de Hidrógeno Verde desde la región de Antofagasta¹¹⁵.
- Acceso Abierto, para presentar las diversas plataformas administradas por la Agencia, para contribuir con evidencia científica a la comprensión del hidrógeno verde¹¹⁶.

INVESTCHILE

InvestChile es un organismo público encargado de promover y generar confianza en Chile como destino atractivo para la inversión extranjera. En el caso del sector de la aviación, una industria que se desarrolla en un entorno global, cuyos principales actores tienen un perfil internacional, el rol de InvestChile en la promoción del SAF podría tener un mayor impacto y ser más relevante su función.

El potencial impacto de InvestChile en la promoción del SAF trasciende la atracción de inversores internacionales. En este contexto, la entidad puede destacar las ventajas de Chile y su potencial para convertirse en un líder en la producción de SAF, dirigiendo sus esfuerzos hacia actores clave tales como:

- Líneas aéreas internacionales: Estas empresas, comprometidas con asegurar su demanda futura de SAF, participan activamente en la promoción y desarrollo de proyectos vinculados a su producción.
- Empresas tecnológicas y desarrolladores de innovación: Encontrar un entorno de confianza para que tecnólogos y empresas innovadoras internacionales elijan Chile para desarrollar y probar sus tecnologías para la producción de SAF. Esto incluye inversiones en bancos de pruebas y proyectos piloto para validar y promocionar nuevas tecnologías en un entorno real.
- Entidades políticas internacionales: Difundir el compromiso de Chile con la sostenibilidad y resaltar las condiciones privilegiadas del país para la producción de SAF permite captar el interés de organizaciones internacionales influyentes.

¹¹³ ANID (2025)

¹¹⁴ H2in (2025)

¹¹⁵ H2LAC - La investigación en el sector del hidrógeno verde avanza en la zona norte de Chile (2025)

¹¹⁶ Hidrógeno verde – Acceso Abierto ANID (2025)

Fundación Chile

La Fundación Chile es una organización público-privada que tiene como propósito principal impulsar la transformación del país hacia un modelo de desarrollo sostenible¹¹⁷. Comprometida con la promoción de una economía colaborativa y la generación de valor a través de la innovación y la creación de nuevos modelos de negocios, la Fundación Chile puede desempeñar un papel como catalizador en la implementación de proyectos de SAF.

Dentro de sus actividades, la Fundación incluye iniciativas relacionadas con la transformación energética, abarcando áreas como el hidrógeno verde, la eficiencia energética, la gestión de residuos y otras soluciones sostenibles. Su capacidad para articular la colaboración entre diversos actores y gestionar factores complejos la convierte en un potencial aliado estratégico para originar o promover proyectos SAF.

En este contexto, la Fundación Chile ha sido recientemente adjudicataria para la coordinación y desarrollo del futuro Centro Tecnológico para el Hidrógeno Verde en Magallanes.

3.1.4 Participación de Gobiernos Regionales

El desarrollo del SAF tiene un impacto significativo debido a su importancia económica, industrial y con un impacto intersectorial. Su estrecha vinculación con materias primas, empresas productivas, el sector energético y otras industrias clave le otorga un enorme potencial para transformar y dinamizar las economías regionales.

Adicionalmente el SAF servirá de apoyo a las regiones para el cumplimiento de metas propias relacionadas con la economía circular y una transición justa, entre otras. Para aprovechar estas oportunidades, los gobiernos regionales pueden desempeñar un rol fundamental como facilitadores en la promoción y materialización de proyectos de SAF (ver Figura 59):

- Coordinación de actores clave: Promover la colaboración entre empresas, instituciones, comunidades locales y otros actores relevantes.
- Identificación de emplazamientos estratégicos: Localizar y asignar suelo adecuado para la instalación de plantas de producción, considerando criterios de sostenibilidad y viabilidad económica.
- Agilización de permisos y licencias: Simplificar los procesos administrativos para facilitar la inversión y ejecución de los proyectos.
- La promoción y desarrollo de HUBs para la producción de SAF.



Figura 59. Apoyo regional al desarrollo de SAF.

Desarrollo de HUBs / Clústeres / Centros logísticos / Agrupaciones empresariales de SAF como Ecosistemas Industriales

El desarrollo de HUBs permite generar sinergias o eficiencias para la integración de infraestructura logística y productiva, facilitar un acceso más seguro y continuado a materias primas esenciales o disponer un suministro energético sostenible y competitivo.

¹¹⁷ FCh - Impulsando el desarrollo sostenible de Chile (2025)

Los desarrollos existentes o proyectados de HUBs de hidrógeno, como el planificado en Antofagasta, presentan una oportunidad para integrar la producción de SAF, particularmente a través de la ruta Power-to-Liquid.

El potencial desarrollo de HUBs focalizados en la producción de SAF requeriría un alto apoyo regional, llevando consigo un gran despliegue industrial, logístico, tecnológico y económico. Un HUB de SAF, llevaría consigo, no solo consolidar los recursos y capacidades necesarios para su producción, sino que también atrae inversiones y fomenta la diversificación económica regional. El desarrollo de proyectos de SAF y el desarrollo de HUBs regionales representa una oportunidad estratégica para el crecimiento y la transformación de las regiones.

3.1.5 Apoyo Internacional

OACI

El compromiso de Chile con la descarbonización del sector de la aviación se refleja en su Plan de Acción para Reducir las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Provenientes de la Aviación Civil Internacional (marzo de 2022), presentado oficialmente a la OACI, así como la puesta en marcha de la Hoja de Ruta SAF 2050 en Chile. Este compromiso se refuerza con su participación en el programa ACT-SAF (Asistencia, Creación de Capacidad y Formación para Combustibles de Aviación Sostenibles) de la misma organización.

El estudio de factibilidad objeto del presente documento se lleva a cabo en el marco del programa ACT-SAF, el cual podría ser continuado con estudios de implementación industrial más concretos asociados a casos de estudio y proyectos específicos, lo que garantiza un apoyo adicional para avanzar en la producción y despliegue de combustibles de aviación sostenibles.

El programa ACT-SAF fomenta asociaciones estratégicas y la cooperación internacional en torno a iniciativas relacionadas con los SAF, y actúa como una plataforma para el intercambio de conocimientos, la creación de capacidades y el reconocimiento de proyectos exitosos a nivel global. Además, el programa permitirá difundir el potencial de Chile como un país con una gran capacidad hipotética para el desarrollo de SAF, promoviendo la participación de los principales actores nacionales e internacionales en la implementación de proyectos en el país.

En efecto, el programa ACT-SAF es una plataforma que puede apoyar a Chile, mediante su participación en la misma, a convertirse en un futuro referente internacional en la producción y comercialización de combustibles de aviación sostenibles.

Políticas internacionales

Chile puede tomar como referencia las políticas implementadas internacionalmente como instrumento para apoyar el desarrollo de combustibles de aviación sostenibles. En este contexto, la OACI ha elaborado la guía "ICAO Guidance on Policy Measures for SAF Development and Deployment"¹¹⁸, que ofrece orientaciones sobre medidas políticas para fomentar el desarrollo y despliegue de SAF.

¹¹⁸ ICAO, Guidance on Policy Measures for SAF Development and Deployment (2025)

Esta guía fue desarrollada por el Comité sobre la Protección del Medio Ambiente y la Aviación (CAEP) de la OACI, basándose en estudios realizados desde 2016. Su objetivo es compartir información sobre buenas prácticas y lecciones aprendidas de políticas existentes y proponer enfoques coordinados para promover, implementar y expandir el uso de SAF. Esta guía aporta un grupo de herramientas, para ser utilizado por los Estados miembros de la OACI, en la formulación de políticas efectivas y criterios técnicos y económicos que permiten estimar costos, necesidades de inversión y potencial de producción de SAF, información que podría ser de gran valor para responsables políticos y promotores de proyectos.

La guía incluye un análisis de las políticas relacionadas con SAF implementadas a nivel global hasta enero de 2025 - Environmental Policies in Aviation Fuels¹¹⁹ (ver figura 21). Esta información permite identificar prácticas internacionales exitosas y adaptar aquellas que mejor se ajusten a su particularidad estratégica.

La guía de la OACI y las herramientas que ofrece sirve de apoyo para el desarrollo de un marco político robusto para el SAF en Chile, alineado con las mejores prácticas internacionales. Alternativamente, esta plataforma puede servir como un espacio para canalizar las inquietudes y propuestas de Chile, fortaleciendo su influencia internacional en el sector (ver Figura 60).

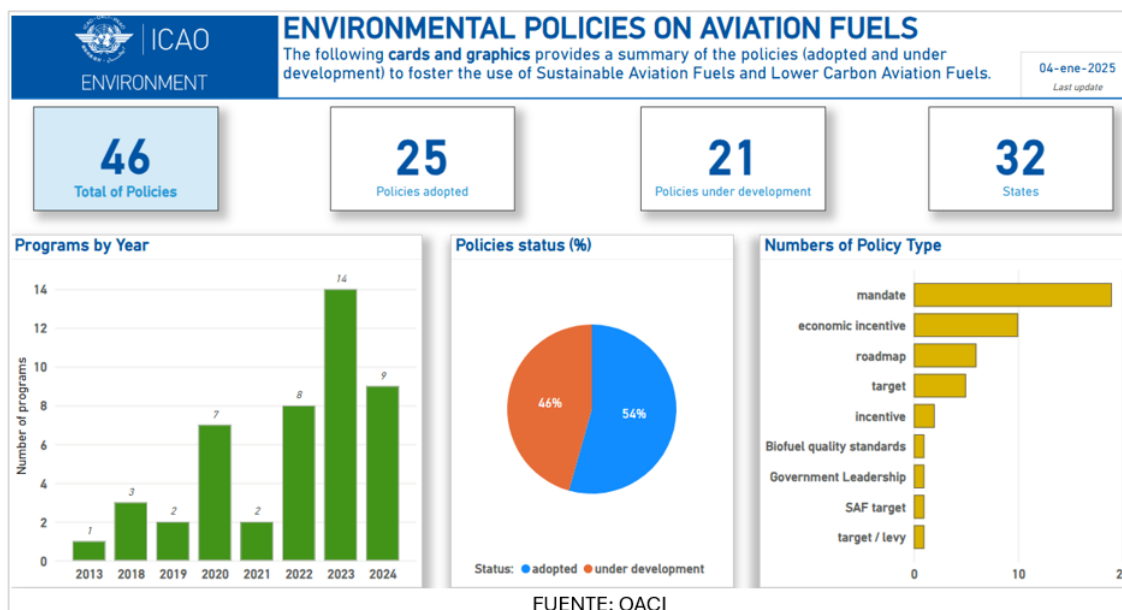


Figura 60. Políticas internacionales para los combustibles de aviación.

3.2 FINANCIACIÓN

3.2.1 Incentivos Económicos Regulatorios o Políticos

Los incentivos económicos para fomentar la producción y el consumo de SAF son esenciales para impulsar su desarrollo y expansión en un sector dominado por los combustibles fósiles. Estos incentivos deben formar parte de un marco de medidas fiscales y económicas eficientemente diseñadas, respaldadas por un programa temporal que facilite la eliminación de barreras financieras y garantice una implementación progresiva del SAF.

¹¹⁹ ICAO, Environmental Policies on Aviation Fuels (2025)

Como ya se ha señalado, un elemento fundamental, es la necesidad de crear el marco económico y regulatorio que garantice la seguridad jurídica de las potenciales fuertes inversiones a ser realizadas. El SAF es una gran oportunidad para la descarbonización, el desarrollo y la independencia energética del país, pero los costos de capital requeridos son muy elevados.

Tipos de incentivos

- Incentivos Económicos:
 - Subvenciones y financiamiento público: Apoyo financiero para la construcción de plantas de producción de SAF, I+D o proyectos piloto. Ejemplo: Estados Unidos, a través de su ley IRA (Inflation Reduction Act).
 - Beneficios fiscales: Reducciones de impuestos para productores de SAF y/o aerolíneas.
 - Primas de precios: Pagos directos a los productores o líneas aéreas por cada cantidad unitaria de SAF vendida o comprada, cubriendo la diferencia de costo respecto al combustible convencional.
- Incentivos Regulatorios: Simplificación de gestiones burocráticas para los proyectos de producción de SAF. Por ejemplo, plazos mínimos para la concesión de permisos medioambientales.
- Mercados de Carbono y Créditos de Emisiones:
 - Mercados de carbono obligatorios: Las aerolíneas pueden cumplir con obligaciones de reducción de emisiones utilizando SAF, que se contabiliza como un combustible de bajas emisiones de acuerdo con el esquema de emisiones de CORSIA.
 - Mercados de carbono voluntarios: SAF genera créditos de carbono que las empresas pueden comprar para compensar sus emisiones.
- Apoyo a las Infraestructuras logísticas y la producción: Identificación de regiones con incentivos específicos para instalar infraestructuras logísticas comunes que promuevan la producción de SAF. Estos apoyos pueden tener especial relevancia para el fomento de HUBs industriales con el propósito de desarrollar SAF como uno de sus fines. En este sentido los “Programas Transforma” pueden ser un ejemplo.
- Incentivos para la Demanda:
 - Compensaciones para aerolíneas: Programas que subsidian el costo incremental del SAF para aerolíneas.
 - Programas de “ahorro de emisiones”: Incentivar a consumidores finales, como pasajeros y empresas el uso de vuelos con SAF a través de programas de compensación.
- Financiación o apoyo a y tecnología. Se puede articular a través de procesos concursales. Un ejemplo son los llamados “Innovation Fund” promovido por la Unión Europea.

La OACI, en su guía "ICAO Guidance on Policy Measures for SAF Development and Deployment", registra los diversos incentivos implementados a nivel internacional para fomentar el desarrollo y uso de combustibles de aviación sostenibles (ver Anexo 15).

Adicionalmente la participación de Chile en el programa ACT-SAF permite una aproximación inicial a la plataforma Finvest Hub, que permite conectar los proyectos de descarbonización con los inversores públicos y privados, mejorando las oportunidades de financiación para las iniciativas de aviación sostenible, en particular para aquellas que se encuentran en desarrollo¹²⁰. Finvest Hub sería una oportunidad para Chile para:

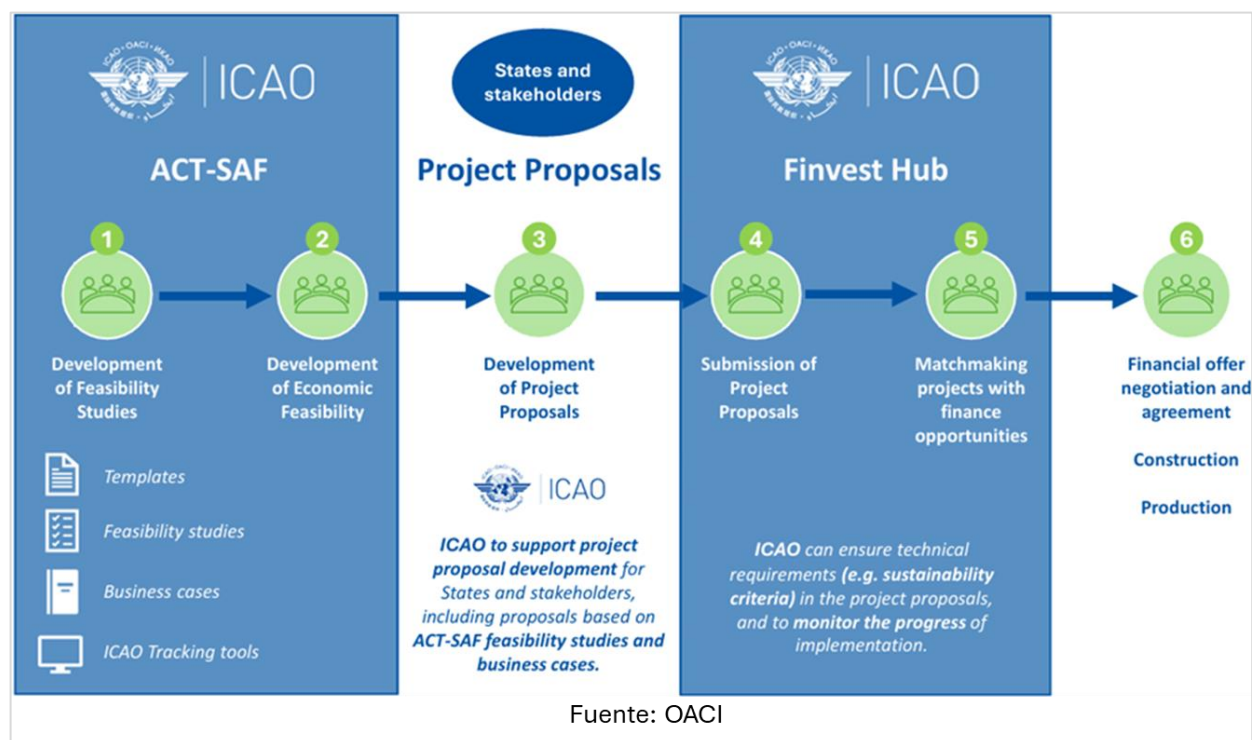
- Promoción y divulgación de los proyectos de SAF en Chile

¹²⁰ ICAO, CAAF.3 (2023)

- Facilitar mejor acceso a instituciones financieras

Como paso previo al desarrollo de proyectos financiables que pudieran ser presentados en Finvest Hub, el programa ACT-SAF de la OACI proporciona asistencia para el desarrollo de Estudios de Implementación Industrial de SAF, como paso siguiente a los Estudios de Factibilidad, si estos detectan potencial en el país (ver Tabla 27).

Tabla 27. OACI - Plataforma Finvest Hub.



3.2.2 Financiación Pública

El desarrollo estratégico y el impacto económico del SAF pueden incentivar una acción directa del gobierno para recolectar y asignar fondos destinados a su promoción. Este apoyo puede estructurarse mediante incentivos regulatorios o mediante la movilización de un fondo tractor para la inversión privada que mitigue los riesgos para la producción de SAF.

En este contexto, ha sido un hito relevante el fondo de 1.000 millones de dólares presentado en junio de 2023 para el desarrollo del hidrógeno verde en Chile¹²¹, con aportes del BID, el Banco Mundial, el Banco de Desarrollo de Alemania y la Unión Europea, coordinado por CORFO. Este modelo, que busca apalancar inversiones privadas nacionales e internacionales, podría replicarse para el SAF, maximizando sinergias con los recursos destinados al hidrógeno.

¹²¹ MEN, Gobierno presenta Fondo por US\$ 1.000 millones para el desarrollo del Hidrógeno Verde en Chile (2023)

Estrategia financiera frente a cambio climático (EFCC)

El compromiso de Chile para la lucha contra el cambio climático implica una movilización significativa de inversiones hacia una economía de cero emisiones y resiliente, en la cual el SAF, para la descarbonización de la aviación forma parte. El Ministerio de Hacienda de Chile publicó una primera versión de la Estrategia Financiera frente al Cambio Climático (EFCC) en 2019, actualizándola en 2022. El objetivo principal de esta Estrategia es alinear los flujos financieros con los compromisos climáticos del país.

Durante el 2024 se trabajó en la actualización y mejora de la Estrategia, enfocándose en una comprensión detallada de las brechas financieras existentes. Paralelamente, se está expandiendo su alcance, incluyendo desafíos interconectados más allá de los compromisos climáticos, relacionados con la biodiversidad, la economía circular, la transición justa, entre otros, hacia el desarrollo de una Estrategia Financiera para un Desarrollo Medioambientalmente Sostenible (MAS)¹²².

Por lo tanto, dado los desafíos financieros que enfrenta el SAF, así como su papel en el desarrollo de una economía circular, la gestión de residuos o la transformación de economías regionales, se recomienda que reciba una consideración especial en las futuras actualizaciones de la EFCC.

Financiación gobiernos regionales

Como se mencionó, el desarrollo del SAF posee un enorme potencial para transformar y dinamizar las economías regionales. En este sentido, un enfoque de apoyo financiero a nivel regional resultaría clave para incentivar y facilitar el despliegue de proyectos de SAF.

Esta financiación podría incorporar una dimensión estratégica que favorezca la creación de HUBs de SAF en áreas específicas, promoviendo así el desarrollo de un ecosistema industrial robusto acompañado del desarrollo o aprovechamiento de una infraestructura logística optimizada y competitiva.

Por otro lado, la diversidad climática y medioambiental concentra algunos sectores industriales relacionados con el SAF en regiones específicas. Esto otorga una mayor relevancia a la acción promotora y al desarrollo de incentivos por parte de los gobiernos regionales.

CORFO

La Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) está llamada a desempeñar un papel relevante en la promoción, inversión y financiación directa de proyectos relacionados con el SAF. Más allá de su trayectoria en iniciativas estratégicas, su experiencia en el desarrollo del hidrógeno verde le otorga una base sólida para extender su apoyo al SAF.

El apoyo financiero de CORFO se puede desplegar como:

- Extensión del soporte financiero vinculado al hidrógeno: Aprovechando su participación en el desarrollo del hidrógeno verde, CORFO puede incorporar el SAF como un derivado estratégico del hidrógeno. Esto incluye respaldar proyectos que utilicen rutas tecnológicas como Power-to-Liquid (PtL), donde el hidrógeno es un insumo esencial.

¹²² Ministerio de Hacienda, Estrategia Financiera para un desarrollo medioambientalmente sostenible (MAS) (2022)

- Creación de una plataforma específica para el SAF: Similar a su rol en la promoción de proyectos de hidrógeno. Esta plataforma sería instrumental para apoyar la investigación, el desarrollo y la implementación de proyectos de SAF en Chile, desde la producción hasta la comercialización.

Para maximizar su impacto, la participación de CORFO para la promoción y el desarrollo del SAF podría extenderse a:

- Incentivar la inversión privada mediante esquemas de cofinanciamiento.
- Promover consorcios público-privados para proyectos piloto y de gran escala.
- Impulsar el desarrollo de infraestructura y tecnologías específicas para la producción del SAF.

Por lo tanto, CORFO puede materializar su apoyo mediante la implementación de convocatorias y programas concursales específicamente diseñados para promover la innovación, el desarrollo de proyectos piloto y otras iniciativas que impulsen la inversión integral en proyectos de combustibles de aviación sostenibles.

INVESTCHILE

InvestChile tiene el potencial de convertirse en un motor clave para atraer inversión extranjera hacia proyectos de SAF en Chile, promoviendo al país como un referente en la producción de SAF.

Como instrumento para el fomento de la inversión, InvestChile puede desempeñar un papel fundamental en la proyección internacional de la estrategia chilena para el desarrollo del SAF. Su labor podría destacar las oportunidades y ventajas competitivas que Chile ofrece a los inversores, posicionándolo como un destino atractivo para proyectos innovadores y sostenibles en el sector de combustibles de aviación.

Estrategia y plan de acción nacional definido

El diseño de una estrategia y un plan de acción sólido para el desarrollo del SAF a nivel nacional facilitará atraer a entidades privadas, ya sea de forma individual o en consorcio, para participar activamente en la financiación de proyectos. Adicionalmente esta estrategia facilitará la promoción y difusión de las oportunidades que Chile ofrece como un entorno favorable para la producción de SAF.

La Hoja de Ruta de SAF puede ser el instrumento necesario para el diseño de una estrategia y plan de acción para el desarrollo del SAF.

SECCIÓN 4. HOJA DE RUTA Y PLAN DE ACCIÓN

4.1 POLÍTICA Y MARCO REGULATORIO

4.1.1 CONTEXTO MARCO REGULATORIO

Chile dispone de un sólido marco regulatorio y normativo que establece una hoja de ruta y un plan de acción definido para su transición energética. Este marco incluye leyes, compromisos y planes estratégicos en sectores clave como energía, transporte y gestión de residuos, además de normativas transversales orientadas a combatir el cambio climático. Estas iniciativas tienen un impacto significativo, directo o indirecto, en el desarrollo futuro del SAF.

Este marco regulatorio será un punto de referencia para definir las metas y objetivos relacionados con el uso del SAF, además de actuar como un instrumento facilitador y promotor para su desarrollo y adopción.

En el Anexo 16 se detalla el desglose de las principales normas, planes y compromisos que influyen directamente en el futuro desarrollo del SAF en Chile. Este análisis normativo se organiza en las siguientes categorías:

- Lucha contra el cambio climático y desarrollo de la transición energética.
- Descarbonización del sector aeronáutico.
- Producción de combustibles sintéticos.
- Normativa relacionada con la gestión de residuos y su valorización energética.

4.1.2 Desarrollo Normativo Ágil

Las empresas y los inversores en Chile pueden enfrentarse a barreras y desafíos relacionados con la complejidad regulatoria debida a la amplia y, en ocasiones, fragmentada normativa vigente en el país. Aunque Chile tiene un marco regulatorio robusto y estructurado, especialmente en sectores claves como la minería, la energía y el medio ambiente, la coexistencia de múltiples normativas, la necesidad de cumplir con requisitos a nivel local, regional y nacional, y la constante evolución de las leyes, pueden hacer que el entorno regulatorio suponga una barrera a la inversión en SAF.

El plan de acción para el desarrollo del SAF debe incluir un marco regulatorio integral que elimine en la medida de lo posible las barreras existentes y aborde de manera efectiva todos los aspectos normativos requeridos para su producción y comercialización.

En el contexto específico del desarrollo de SAF, esta complejidad regulatoria se manifiesta en los siguientes aspectos:

- La producción de SAF, tiene una relación transversal con diversos sectores tales como transporte (distribución intermodal), energía (desarrollo de energías renovables, termoeléctricas etc.), agricultura (materias primas para la producción de SAF, pretratamiento etc.), industria productiva (captura de CO₂,

uso de subproductos como el H2, Diesel, naftas, etc.) y otros., donde cada uno de estos sectores tiene su propio conjunto de normas y requisitos, lo que puede generar confusión y duplicación de esfuerzos.

- El Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) asegura el cumplimiento de los estándares ambientales. Sin embargo, este proceso puede ser largo con incertidumbres en los plazos de obtención, así como exigir consultas públicas y aprobación de múltiples organismos.
- Desafíos de la tramitación administrativa, sobre todo en proyectos de carácter novedoso e innovador con pocas experiencias previas y que implica la participación de diversas administraciones y nuevos requisitos de certificación de calidad y sostenibilidad, transporte, manipulación, etc. El nuevo desarrollo normativo debería adelantarse al desarrollo de los proyectos de SAF para impedir generar incertidumbres y no frenar su avance.
- Regulación compleja para procedimientos de licitación y obtención de permisos ambientales para el acceso al sistema eléctrico, lo que puede ser un proceso largo y complicado. En el caso de proyectos de hidrógeno verde o SAF, que requieren un uso intensivo de energía renovable, las regulaciones en términos de infraestructura y conexión al sistema eléctrico son cruciales.

Los efectos negativos relacionados con una regulación compleja pueden suponer

- Incertidumbre para los inversores
- Retrasos en los proyectos.
- Desigualdad en la aplicación de normas

En los últimos años, el gobierno de Chile ha intensificado sus esfuerzos para mitigar las barreras regulatorias, con el objetivo de fomentar el desarrollo sostenible y la innovación tecnológica. En este contexto, se han implementado diversas iniciativas orientadas a simplificar la regulación y mejorar la eficiencia del sistema.

Estas acciones incluyen:

- Reformas al SEIA¹²³ para hacer más eficiente la evaluación de los impactos ambientales.
- Facilitación de permisos para proyectos de energía renovable¹²⁴, como los proyectos solares y eólicos, con el objetivo de acelerar la transición hacia una matriz energética más limpia.
- Digitalización de trámites en varios sectores, con el objetivo de reducir la burocracia y mejorar la transparencia.
- Ventana al Futuro: Estrategia para producir Hidrógeno Verde en terrenos fiscales¹²⁵.

4.1.3 Metas Actuales Para la Descarbonización del Sector Aéreo

El marco regulatorio vigente en Chile establece objetivos generales orientados a la descarbonización del país, con metas específicas dirigidas a la reducción de emisiones en sectores clave como la energía y el transporte. En particular, para el sector de la aviación, este marco obliga a implementar medidas para reducir las emisiones, lo que incluye la elaboración de un plan de acción enfocado en la promoción y el desarrollo de SAF en Chile.

¹²³ SEIA, Sala del Senado aprueba en general proyecto de Evaluación Ambiental 2.0 – julio (2024)

¹²⁴ BNamericas, Oportunidades en transición energética fuerzan a Chile a acelerar reforma de permisos (2024)

¹²⁵ Ministerio de Bienes Nacionales: Hidrógeno Verde en Terrenos Fiscales (2021)

Las metas actuales con impacto en los futuros objetivos del uso del SAF en Chile

El marco regulatorio vigente en Chile, junto con sus compromisos y estrategias, establece una referencia clave para los principales objetivos de descarbonización del país, los cuales sirven de guía a la adopción de los futuros objetivos del uso del SAF y su alineación con estas metas.

Las principales metas resumidas son:

- Contribución Determinada Nacional - NDC: Meta absoluta ser neutral en carbono en 2050 con una meta intermedia de 1.100 MtCO₂eq para el período 2020-2030.
- Estrategia Climática a Largo Plazo: 20% y 40% de reducción de emisiones GEI en el 2040 y 2050 respectivamente vs 2018 en el sector transporte. En el 2050, al menos un 70% de combustibles cero emisiones en los usos energéticos finales no eléctricos.
- Política Energética Nacional: 70% de combustibles cero emisiones en usos finales energéticos no eléctricos 2050, con un 15% en el 2035.
- Plan Sectorial de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático del Sector Energía: El sector de energía tiene a su cargo el 85,5% del esfuerzo de mitigación de emisiones del país para el periodo 2020-2030, donde para los combustibles de aviación establece una mitigación esperada de 40-50 ktCO₂eq.
- Plan Sectorial de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático del sector transporte (en curso): Reducción de 0,04 MtkCO₂eq en el periodo 2020-2030 en el transporte aéreo.

Es fundamental avanzar hacia el desarrollo de objetivos concretos y específicos que estén alineados con los compromisos ya asumidos y la capacidad real del país para la producción y comercialización de combustibles de aviación sostenibles. Estos objetivos no sólo proporcionarán un horizonte claro de confianza local e internacional, sino que también impulsarán el desarrollo de proyectos del SAF en Chile.

La “Hoja de Ruta SAF 2050” en desarrollo, propone alcanzar una meta del 50% de SAF en el combustible utilizado en la aviación; esta meta necesitará la fijación de objetivos intermedios progresivos previos que deberán ser efectivos, realistas y, a su vez, estar alineados con la estrategia de la transición energética del país. Estos objetivos deberán permitir potenciar y acelerar el despliegue de proyectos de SAF, fomentar la producción local y la demanda, atraer inversión y tecnología y por último diseñar un esquema de incentivos para mitigar la diferencia de costos con los combustibles convencionales.

La Hoja de Ruta del SAF en Chile

El desarrollo de la Hoja de Ruta de SAF se perfila como un instrumento para estructurar o diseñar tanto el marco regulatorio como la estrategia necesaria para el despliegue efectivo del SAF en Chile (ver Figura 61). Su enfoque integral, articulado en cinco ejes de acción, permite abordar los desafíos clave del sector mientras se impulsa la colaboración y la innovación (formar capacidades, establecer un marco regulatorio, desarrollar un mercado de SAF, crear un ecosistema para el mercado de SAF, fortalecer la innovación y el desarrollo).



Figura 61. Ejes de Acción - Hoja de Ruta de SAF - Vuelo Limpio.

El desarrollo de la Hoja de Ruta conlleva la participación de los principales actores y entidades del sector, desde organismos gubernamentales y empresas privadas hasta instituciones académicas y organismos internacionales. Esta colaboración transversal la convierte en un catalizador para promover y acelerar la producción, distribución y adopción del SAF en Chile.

4.1.4 Fundamentos Futuro Esquema Regulatorio y Objetivos del SAF

El transporte aéreo es crucial para el crecimiento global y, especialmente, en Chile, por su morfología geográfica y configuración social y económica, fortalece la conectividad de ciudadanos y empresas. Su relevancia también radica en promover la cohesión territorial y reducir las desigualdades regionales, particularmente en zonas remotas, de baja densidad poblacional o insulares, al tiempo que facilita la integración con el resto del mundo.

Para alcanzar la neutralidad climática en el sector del transporte aéreo para 2050 a nivel nacional e internacional y lograr una reducción progresiva en el camino hacia ese objetivo es requerido un incremento paulatino en la producción y el uso de combustibles sostenibles para la aviación.

La política exterior de Chile, en el ámbito del transporte aéreo, se rige por normas internacionales establecidas por la OACI. Por ello, los esfuerzos dirigidos a promover el uso de combustibles sostenibles para la aviación buscan alinearse con una convergencia global. En este contexto, la OACI ha asumido un papel de liderazgo en la promoción del uso de SAF a nivel mundial, garantizando condiciones de competencia equitativa en el ámbito internacional.

El sector aéreo en Chile, debido a su naturaleza internacional y, en particular, a las rutas dentro del continente americano, opera en un mercado interconectado y competitivo.

En este contexto, la incorporación de SAF genera un sobrecosto en los precios del combustible, lo que podría impactar en la estructura de costos del transporte aéreo, repercutiendo en la conectividad y movilidad en Chile. En el caso de los vuelos internacionales, que representan aproximadamente el 60% de la demanda de combustibles de aviación del país, existe el riesgo de que las aerolíneas adopten estrategias de sobreabastecimiento, conocidas como “tankering”, en los aeropuertos de origen. Esta práctica, además de provocar un uso menos eficiente de combustibles y aumentar las emisiones de CO₂, podría impactar negativamente en la comercialización de los combustibles de aviación en Chile (ver Figura 62).

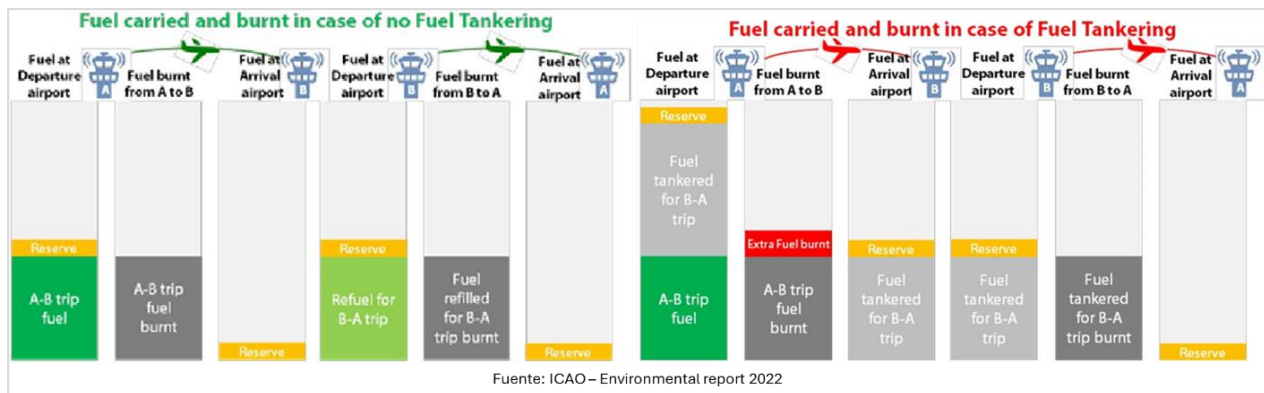


Figura 62. Impacto del "tankering" en las emisiones CO₂.

Estos factores demandan la creación de un marco político eficiente y, a su vez, armonizado internacionalmente, que permita a aeropuertos, aerolíneas y demás actores de la aviación operar en condiciones de competencia justa y equitativa, así como evitar daños medioambientales

4.1.5 Principios Para un Marco Regulatorio Sobre SAF

El futuro marco regulatorio se debería fundamentar en principios alineados con las metas nacionales e internacionales del sector aeronáutico. Su propósito sería promover la incorporación gradual de combustibles sostenibles para la aviación, contribuyendo de una manera eficiente al logro de los objetivos de descarbonización con un costo asumible por el sector que no ponga en riesgo su competitividad. Además, este marco respaldaría el impulso y el crecimiento sostenible de la industria aeronáutica. Los principales principios para contemplar en un futuro esquema regulatorio pueden ser:

- Fomentar una cadena local de comercialización y producción de combustibles de aviación sostenibles para cumplir con los objetivos progresivos para alcanzar cero emisiones netas en el sector en el 2050, como se ha acordado en el marco global a través de la OACI.
- Establecimiento de los criterios de calidad y requisitos de los SAF alineados con los criterios o estándares reconocidos internacionalmente, incluyendo los criterios de sostenibilidad definidos en CORSIA.
- Contemplar a nivel nacional el conjunto de materias primas admisibles, garantizando los criterios de sostenibilidad bajo CORSIA, para maximizar la producción de combustibles de aviación sostenibles.
- Establecer un marco de exenciones para las zonas con particularidades tales como áreas remotas o islas existentes en el país por su mayor dependencia con la conectividad aérea y por no disponer otras alternativas de conexión.
- No impactar negativamente en el desarrollo económico o social de áreas o regiones.
- Establecer mecanismos para limitar el sobreabastecimiento o tankering.
- Garantizar el cumplimiento de las características de calidad y certificación requeridas de los puntos principales de distribución tales como refinerías, oleoductos o terminales de almacenamiento para realizar la mezcla y almacenamiento y puesta a bordo en los recintos aeroportuarios.
- Facilitar y promover las infraestructuras logísticas requeridas para el transporte, mezcla y almacenamiento del combustible sostenible de aviación.
- Aplicar principios de transparencia y no discriminación de las redes de distribución.
- Establecer instrumentos para dar un apoyo financiero que facilite la producción y suministro de los combustibles de aviación sostenibles.
- Fomentar políticas de apoyo e iniciativas específicas destinadas a aumentar el nivel de producción y utilización de los combustibles de aviación sintéticos (PtL).

- Establecer un esquema de objetivos o mandatos progresivos en el porcentaje del uso de los SAF. Los mandatos pueden ser inicialmente establecidos con porcentajes discretos que no penalicen en exceso a las compañías aéreas recomendando que, en un inicio, no superen el 2-5% del total y que este nivel sea incrementado a medida que las mejoras tecnológicas reduzcan el diferencial de precios y el desarrollo de una oferta suficiente.
- Adaptar la política fiscal a la inclusión de un nuevo producto como el SAF en la cadena comercial.
- Adaptación de las normativas implicadas y el esquema de autorizaciones para la aprobación de las futuras plantas de producción de SAF.

4.1.6 Potenciales Mecanismos / Mandatos en el Uso Progresivo del SAF

Actualmente OACI no ha establecido ningún régimen obligatorio sobre el uso de los SAF, pero sus esfuerzos están encaminados al desarrollo de un marco global armonizado para el uso de combustibles de aviación sostenibles, aunque sus Estados Miembros sí han acordado un objetivo global conjunto de reducir las emisiones en un 5% en 2030 a través principalmente de su uso.

Los objetivos para el uso de combustibles de aviación sostenibles (SAF) se determinan normalmente a partir de porcentajes mínimos que aumentan de forma progresiva. La programación y cuantía de estos objetivos debe considerar cuidadosamente los objetivos nacionales e internacionales, la urgencia de descarbonizar el sector del transporte aéreo y la capacidad futura de producción de los SAF.

El establecimiento de los objetivos debe ser de carácter estricto, garantizando su cumplimiento mediante la adopción de un enfoque obligatorio que les otorgue la categoría de mandato. Esto permitiría la implementación efectiva de las metas y el compromiso con la descarbonización del sector.

Los mandatos son los instrumentos que mejor apalancan las garantías jurídicas para atraer las inversiones para la producción de SAF. Los promotores no fabricarán SAF si no encuentran una seguridad comercial en la demanda del mismo por parte de los operadores aéreos, aunque exista un sobre costo sobre los combustibles convencionales.

En este contexto, se recomienda que una futura fijación de objetivos o mandatos para el uso de los SAF observe los siguientes criterios:

- Los segmentos de aviación civil de aplicación. Principalmente para aquellos vuelos de carácter comercial o privados, donde podrían quedar exentos los vuelos relacionados con operaciones humanitarias, contra incendios, ambulancias, salvación y rescate etc.
- En el caso de establecimiento de mandatos a nivel de aeropuerto, por razones de viabilidad, se debería definir el umbral de tráfico aéreo de pasajeros y mercancías, por debajo del cual no existe una obligación de cumplimiento de objetivos para el uso del SAF. En este caso concreto, Chile, debería considerar, en función de la dimensión de sus aeropuertos y su dificultad para suministrar el SAF cuál es el umbral óptimo de ellos a partir del cual es obligatorio el uso del SAF. En este contexto señalar la particularidad que el aeropuerto de Santiago (SCEL) representa aproximadamente el 90% del tráfico aéreo total del país.
- Considerar las circunstancias especiales en aquellas regiones insulares, remotas u otros territorios que disponen de menos alternativas de conectividad.
- Valorar la inclusión de objetivos específicos para los combustibles de aviación sintéticos, particularmente aquellos producidos mediante la ruta Power to Liquid, considerando el potencial de esta tecnología en Chile y su estrecha conexión con el desarrollo del hidrógeno verde. Esto permitirá incentivar una

tecnología clave que podrá desempeñar un papel fundamental en el cumplimiento de los objetivos de descarbonización del sector aeronáutico en Chile.

- En los porcentajes de los combustibles de aviación sostenibles mínimos establecidos, puede arbitrarse un mecanismo de flexibilidad para alinearse con la capacidad de producción y suministro del país.

Los objetivos o mandatos para la utilización de combustibles de aviación sostenibles podrán estar acompañados de un esquema de incentivos para mitigar la diferencia de precios prevista con los combustibles convencionales. En este contexto, las líneas aéreas podrán declarar el uso de combustibles de aviación sostenibles en el marco de CORSIA, a su discreción, para la solicitud de reducción de sus obligaciones de compensación de emisiones (ver Figura 63).



Figura 63. Mandatos para la utilización de SAF.

4.1.7 Otros Mandatos Internacionales

La guía de la Organización de Aviación Civil Internacional, “ICAO Guidance on Policy Measures for SAF Development and Deployment”, proporciona ejemplos de objetivos y mandatos implementados en otros países. En este sentido, los mandatos nacionales o regionales (como el de la Unión Europea) suelen establecer porcentajes progresivos obligatorios para el uso del SAF, alineados con el desarrollo tecnológico y la disponibilidad del combustible.

El establecimiento de los mandatos no sólo busca establecer una demanda efectiva del SAF, sino que también actúa como un incentivo para fomentar su producción y mejorar su tecnología. Las autoridades aeronáuticas consideran generalmente que la imposición de mandatos para el uso del SAF resultan ser más efectivos en comparación con la alternativa de imposición del pago de tasas por el uso de combustibles fósiles, ya que se considera que aceleran el desarrollo y despliegue del SAF.

4.2 FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO

- Marco Regulatorio: Diseñar un marco normativo integral que establezca los estándares de calidad y sostenibilidad de los SAF, facilitando su producción, distribución y comercialización de manera eficiente.
- Esquema de Incentivos: Implementar incentivos efectivos para la producción y el consumo de SAF que reduzcan las brechas de costos frente a los combustibles fósiles tradicionales, promoviendo su competitividad en el mercado.
- Compromiso Nacional e Internacional: Reforzar la posición de Chile como un país comprometido con la descarbonización del sector aeronáutico, alineándose con acuerdos internacionales y estableciendo metas claras para reducir las emisiones.
- Desarrollo de políticas y estrategias nacionales para el SAF que tenga en consideración las particularidades regionales, la diversificación geográfica e industrial y los recursos disponibles en Chile.
- Eliminación de Barreras Regulatorias: Identificar y eliminar obstáculos normativos que dificulten la inversión y la producción de SAF, creando un entorno favorable para acelerar la industria emergente como el SAF.

- **Conexión con Políticas del Hidrógeno:** Integrar los SAF en los esquemas de incentivos y regulaciones relacionados con el hidrógeno verde, aprovechando su impulso y promoción en Chile.
- **Promoción del SAF como derivado del hidrógeno verde:** Potenciar el desarrollo del hidrógeno verde clave para la producción de SAF, capitalizando la posición de liderazgo de Chile en el desarrollo de hidrógeno verde.
- **El impulso que ENAP puede desempeñar para el desarrollo potencial del SAF en un corto plazo co-procesando aceites vegetales sostenibles o el aceite de cocina usado, y en el medio plazo en la producción de combustibles derivados del hidrógeno.** Adicionalmente el aprovechamiento de sus infraestructuras logísticas y su capacitación en la operación puede ayudar a facilitar y optimizar la distribución y desarrollo del SAF.
- **Robustecer el sistema eléctrico:** Desarrollar un sistema eléctrico eficiente y con mayor capacidad para transportar la energía renovable generada hacia los puntos de producción de SAF.
- **Aprovechamiento de Residuos Forestales y Agrícolas:** Utilización de la gran cantidad de residuos provenientes de los bosques e industria forestal y el sector agrícola. Están incluidos el potencial uso adicional o alternativo de aquellos residuos destinados actualmente a su valorización energética.
- **Aprovechamiento de Residuos Municipales e Industriales:** Incorporar la generación de residuos sólidos municipales e industriales destinados a vertederos como materia prima para la producción de SAF, contribuyendo a una gestión de residuos más eficiente, generación de economía circular y reducción de los daños medioambientales asociados a los vertederos.
- **Desarrollar instrumentos para promocionar la investigación y desarrollo de tecnologías para la producción de SAF.**
- **Colaboración Público-Privada:** Fomentar acuerdos entre el sector público, las empresas privadas, instituciones académicas y tecnológicas para movilizar recursos y conocimiento en el desarrollo de proyectos SAF.
- **Reemplazo de la Industria del Carbón:** Posicionar los proyectos de SAF como alternativa viable para reemplazar el cierre de la industria del carbón, apoyando la reconversión del sector y generando una transición energética justa, sostenible y viable.
- **Impulsar la participación de las entidades procedentes de diversos sectores involucrados en la gestión o generación de materias primas, insumos, energía, distribución y otros recursos o servicios relacionados con la producción y suministro del SAF.**

4.3 PLAN DE ACCIÓN

El desarrollo futuro del SAF en Chile requiere la implementación de un plan de acción específico que establezca con claridad los actores clave, las áreas involucradas, las medidas a implementar y los plazos correspondientes para su ejecución.

Se propone un plan de acción formulado a partir del análisis realizado en el presente estudio de factibilidad. Dicho plan se organiza en torno a los siguientes grupos o áreas de trabajo (ver Figura 64):

1. EVALUAR EL ENTORNO ACTUAL DE LOS COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN:

Regulación / Demanda / Producción / Distribución / Mercado

2. ANALIZAR LA VIABILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DEL SAF

Materias primas / Insumos / Capacidad / Tecnología / Mercado / Infraestructuras / Identificación proyectos:

- Hoja de Ruta de SAF
 - Estudio de Factibilidad OACI
3. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA COMERCIAL PARA EL USO DE SAF EN CHILE
Mandatos / Calidad / / Sistema de monitoreo, reporte y verificación / Suministro / Comercialización / Incentivos / Financiación / Estudios de proyectos empresariales / Planificación de infraestructuras
 4. DESARROLLO DE UN MARCO NORMATIVO QUE ASEGURE LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DEL SAF
Seguimiento de plan acción establecido en el actual marco regulatorio / Planificación ruta normativa necesaria
 5. PROMOCIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS
Producción / Certificación / Distribución / Comercialización



Figura 64. Plan de Acción.

4.3.1 ACCIONES RECOMENDADAS Y PLAZO DE IMPLEMENTACIÓN

Tabla 28. Proceso y acciones para la implementación de SAF.

Proceso para la Implementación
Evaluar Entorno Actual
Viabilidad la Producción y Comercialización del SAF
Definición del Esquema Comercial para el Uso de SAF
Marco Normativo para la Producción y Uso del Saf
Promoción y Ejecución de Proyectos
Fases
Evaluación
Definición
Ejecución
Areas De Trabajo
Comercial
Distribución
Energía

General
Incentivos
Materias Primas
Políticas
Producción
Regulación
Tecnología
Actores
Líneas Aéreas
Promotores
Comercializadores
Tecnólogos
Sectores
Distribuidores
Centros de Investigación
Gobierno Nacional
Gobiernos Regionales

Tabla 29. Plan de Acción para la producción y el uso del SAF.

Plan de Acción para la Producción y Uso del SAF en Chile			
Comercial			
Actores	Fase	Acción	Periodo
Gobierno / comercializadores / ENAP	1 evaluación	Análisis de la demanda actual del combustible de aviación y tráfico de pasajeros a nivel: aeropuerto, región, origen-destino, radio, líneas aéreas, segmento (comercial, ejecutivo, emergencias etc.)	2025-2026
Gobierno / comercializadores / ENAP	1 evaluación	Demanda futura de los combustibles de aviación y emisiones GEI en Chile. Comparativa con demanda global.	2025-2026
Gobierno / comercializadores / distribuidores / ENAP	1 evaluación	Análisis de toda la cadena de distribución, puesta a bordo y comercialización de los querosenos	2025-2026
Gobierno / comercializadores	1 evaluación	Análisis de los principales comercializadores e importadores de queroseno y su cuota de mercado	2026-2028
Gobierno / ENAP / comercializadores	1 evaluación	Dependencia internacional de la importación de crudo y queroseno / capacidad nacional de refino de queroseno	2025
Gobierno / Vuelo Limpio	1 evaluación	Desarrollo de un futuro modelo de simulación de demanda del SAF de referencia para esquemas de mandatos, alineamiento con compromisos nacionales e internacionales y medición del impacto económico y social	2025-2026
Gobierno / Líneas aéreas	1 evaluación	Evaluación de la programación de descarbonización y uso del SAF de las líneas aéreas que operan en Chile	2026-2027
Gobierno / comercializadores / ENAP / Líneas aéreas	2 definición	Análisis de toda la cadena futura de distribución (mezcla, puesta a bordo, y comercialización) de los SAF	2026-2028
Gobierno / comercializadores / ENAP / Líneas aéreas	3 ejecución	Programación de la demanda de queroseno y SAF 2030-2050. % del crecimiento anual.	2026-2027

Gobierno / comercializadoras / ENAP / promotores	3 ejecución	Cálculo de los costos estimados para la producción de SAF a partir del 2030, su diferencia con el queroseno e impacto económico en el sector.	2027-2030
Distribución			
Actores	Fase	Acción	Periodo
Gobierno / distribuidores /comercializadores / ENAP	1 evaluación	Análisis de todo el proceso de certificación del queroseno en toda la trazabilidad de su cadena de distribución y producción	2025-2026
Gobierno / distribuidores / comercializadores / ENAP	1 evaluación	Evaluar la red existente de laboratorios para los análisis de calidad y certificación del queroseno en toda su trazabilidad de distribución	2025-2026
Gobierno / ENAP- Sonacol-SIAV / Dirección aeropuertos	1 evaluación	Evaluación de las actuales infraestructuras logísticas para el transporte y almacenamiento de combustibles de aviación	2025-2026
Gobierno / distribuidores / promotores	2 definición	Análisis de las infraestructuras y procesos para el transporte de materias primas e insumos potenciales para la producción de SAF (residuos, CO ₂ , H ₂ etc)	2026-2028
Gobierno / distribuidores / promotores / ENAP	2 definición	Definición del proceso de certificación del SAF desde el origen en la recolección de las materias primas hasta el ala del avión de acuerdo con el criterio de sostenibilidad ASTM-CORSIA	2026-2028
Gobierno / distribuidores / comercializadores / ENAP	2 definición	Planificación de la potencial red de laboratorios y su proceso de homologación para los análisis de calidad y certificación de los SAF	2026-2028
Gobierno / ENAP- Sonacol-SIAV / Dirección Aeropuertos	2 definición	Planificación de infraestructuras logísticas necesarias para asegurar el transporte, mezcla y almacenamiento de SAF	2026-2028
Gobierno / distribuidores / promotores /	1 definición	Planificación de infraestructuras logísticas potenciales para el transporte de materias primas e insumos potenciales para la producción de SAF (residuos, CO ₂ , H ₂ etc)	2026-2028
Gobierno / distribuidores / promotores / ENAP	3 ejecución	Planificación / regulación del proceso de certificación del SAF y el sistema de monitoreo, reporte y verificación	2026-2029
Gobierno / distribuidores / promotores / ENAP	3 ejecución	Desarrollar y asegurar con los productores o promotores de las materias primas que su selección y transformación está de acuerdo los criterios de certificación definidos.	2026-2030
Gobierno / distribuidores / comercializadores / ENAP	3 ejecución	Aprobación de la red de laboratorios para los análisis de calidad y certificación de los SAF	2027-2030
Energía			
Actores	Fase	Acción	Periodo
Gobierno / CEN	1 evaluación	Evaluación de la actual y futura capacidad del sistema eléctrico y la transición hacia un sistema eléctrico 100% renovable en el 2030. Evaluación de barreras	2025-2026
Gobierno / Sector Renovables	1 evaluación	Análisis de las fuentes actuales y futuras de energías renovables y su costo	2025-2026

Gobierno / Sector Hidrógeno	1 evaluación	Valoración de los costos de producción del hidrógeno (LCOH) a nivel nacional y regional	2026-2027
Gobierno / Sector Hidrógeno	1 evaluación	Análisis de la estrategia nacional y plan de acción para el desarrollo del hidrógeno. Evaluación de la regulación y el esquema de incentivos.	2025-2026
Gobierno / Sector termoeléctrico	1 evaluación	Análisis producción de electricidad termoeléctrica mediante biomasa y potencial transformación o complementariedad para producir SAF	2025-2026
Gobierno / Sector Termoeléctrico	1 evaluación	Análisis potencial reconversión de las plantas termoeléctricas de carbón en plantas para producir SAF aprovechando las infraestructuras e insumos existentes.	2025-2026
Gobierno	1 evaluación	Análisis actual y su evolución del consumo de energía del sector de aviación y su peso en el sector transporte y nacional	2025-2026
Gobierno / ENAP	2 definición	Análisis de la actual producción de los combustibles sostenibles terrestres y las sinergias para la producción de SAF en Chile	2026-2027
Gobierno / CEN	2 definición	Planificación de potenciales infraestructuras o cambios necesarios para asegurar el suministro eléctrico para el despliegue de los proyectos de SAF	2026-2028
Gobierno / CEN	2 definición	Análisis de la capacidad del sistema eléctrico para suministrar energía al potencial portafolio de proyectos de SAF	2026-2029
General			
Actores	Fase	Acción	Periodo
Gobierno	1 evaluación	Estudio de los recursos y entorno específico de Chile para la producción de SAF en Chile a nivel regional.	2025
Gobierno / OACI	1 evaluación	Desarrollo de un análisis inicial del país para la evaluación de los recursos para la producción de SAF. Estudio de Factibilidad	2025
Gobierno / intersectorial	1 evaluación	Desarrollo de un plan de acción integral para impulsar la producción y uso del SAF	2025-2026
Gobierno / intersectorial	2 definición	Promover la participación de sectores industriales, que pueden formar parte de la cadena de distribución y producción del SAF	2025-2028
Gobierno	1 evaluación	Análisis económico inicial para la producción de SAF en Chile a través de las rutas tecnológicas y su diferencia de costo versus queroseno	2025-2027
Gobierno / intersectorial	1 evaluación	Evaluación del impacto transversal y transformador significativo a nivel sectorial, destacándose su potencial transformador en diversos niveles	2025-2026
Gobierno	1 evaluación	Evaluación inicial e la capacidad potencial nacional para la producción de SAF	2025-2026
Gobierno / OACI	2 definición	Selección de los potenciales informes de planes de implementación de negocio. Estudio de potenciales proyectos para la producción de SAF	2025-2026
Gobierno / Vuelo limpio	3 ejecución	Desarrollo de la Hoja de Ruta SAF 2050: Estrategia para la comercialización y producción del SAF	2025-2026
Gobierno	2 definición	Análisis del impacto social, industrial y económico del desarrollo del SAF a nivel nacional y regional	2025-2027
Gobierno / ENAP	1 evaluación	Análisis de la Estrategia de ENAP para la producción de SAF en el medio y largo plazo	2025-2026

Gobierno / distribuidores / comercializadores / ENAP	2 definición	Cálculos estimados de los valores de emisiones del ciclo de vida de acuerdo con la metodología de CORSIA para aquellos SAF elegibles a ser producidos a nivel nacional	2026-2027
Incentivos			
Actores	Fase	Acción	Periodo
Gobierno	1 evaluación	Análisis de los actuales instrumentos de financiación e incentivos utilizados para la producción de SAF o efuels	2025
Gobierno	1 evaluación	Análisis de los actuales instrumentos de financiación e incentivos utilizados para el hidrógeno verde	2025
Gobierno / gobiernos regionales / promotores /intersectorial	2 definición	Identificación de Acuerdos de Producción Limpia APL a nivel nacional y regional para la promoción del SAF	2026-2030
Gobierno / gobiernos regionales / promotores / intersectorial	2 definición	Promoción a través de Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) de proyectos para la producción de SAF	2025-2030
Gobierno / gobiernos regionales / promotores / intersectorial	2 definición	Promoción de “Programas Transforma” liderados por CORFO para articular colaboración público-privada para el desarrollo de proyectos de SAF en Chile	2025-2030
Gobierno	2 definición	La inclusión del SAF en las futuras actualizaciones de la EFCC (Estrategia Financiera para el Cambio Climático)	2026-2027
Gobierno / Gobiernos regionales	2 definición	Promoción de instrumentos financieros a nivel regional para facilitar el despliegue de proyectos de SAF.	2026-2030
Gobierno	3 ejecución	Adherirse a la plataforma Finvest Hub, para conectar los proyectos de descarbonización en Chile con los inversores públicos y privados	2025-2026
Gobierno / gobiernos regionales / C. de investigación	3 ejecución	Promover, fomentar y desarrollar la investigación para nuevas tecnologías para la producción de SAF en Chile a través La Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID)	2025-2030
Gobierno	3 ejecución	Promover y generar confianza en Chile a través de InvestChile como destino atractivo para la inversión extranjera y entrada de nuevas tecnologías para la producción de SAF en Chile.	2025-2030
Materias Primas			
Actores	Fase	Acción	Periodo
Gobierno	1 evaluación	Evaluación del impacto de los cambios potenciales del uso de la tierra (LUC) en Chile para la producción de SAF de acuerdo con los criterios de sostenibilidad CORSIA	2025-2026
Gobierno / Sector Hídrico	1 evaluación	Análisis de los recursos hídricos existentes a nivel nacional, plantas desalinizadoras y su potencial crecimiento y barreras existentes.	2025-2026
Gobierno	1 evaluación	Análisis de la disponibilidad nacional de biomasa procedente de residuos agrícolas, forestales, municipales etc para producir SAF	2025-2026

Gobierno / Gestores residuos UCO	1 evaluación	Análisis de la disponibilidad de UCO y sus gestores para producir SAF	2025-2026
Gobierno / Gestores RSM	2 definición	Análisis de la disponibilidad de residuos sólidos municipales y sus localizaciones para el desarrollo de informes de planes de implementación de negocio para producir SAF	2025-2026
Gobierno / Sector forestal	2 definición	Análisis de la disponibilidad de residuos forestales y desarrollo de informes de planes de implementación de negocio para producir SAF	2026-2027
Gobierno / sector agrario	2 definición	Análisis de la disponibilidad de residuos agrícolas y desarrollo de informes de planes de implementación de negocio para producir SAF	2026-2027
Gobierno / sector frutícola- vitivinícola	2 definición	Análisis de la disponibilidad de residuos frutícolas y vitivinícolas y desarrollo de informes de planes de implementación de negocio para producir SAF	2026-2027
Gobierno	2 definición	Analizar el potencial y capacidad futura de transformación a SAF para aquellos cultivos de carácter oleaginosos a nivel nacional	2026-2027
Gobierno / C. de Investigación	2 definición	Análisis de la disponibilidad e investigación de otros aprovechamientos de origen oceánico como las algas para la producción de SAF	2026-2028
Gobierno / Promotores / Gobiernos regionales	2 definición	Análisis de las localizaciones más apropiadas para implementación de proyectos de SAF de acuerdo con los recursos y materias primas disponibles	2026-2028
Gobierno / Gobiernos regionales	2 definición	Análisis y capacidad global de todas las fuentes de CO ₂ biogénicas disponibles y sus gestores a nivel nacional y regional para producir SAF	2026-2027
Gobierno / Sector Hídrico	3 ejecución	Desarrollo de un plan para la utilización de los recursos hídricos y su potencial expansión para abastecer el futuro despliegue de plantas de SAF.	2026-2028
Política			
Actores	Fase	Acción	Periodo
Gobierno / Gobiernos regionales	1 evaluación	Análisis de todas las políticas, regulaciones y metas actuales internacionales relacionadas con el uso y producción del SAF	2025-2026
Gobierno / Gobiernos regionales	1 evaluación	Análisis de las actuales estrategias y proyectos desarrolladas por las regiones para la promoción y comercialización del SAF	2025-2026
Gobierno / Gobiernos regionales	1 evaluación	Análisis de todas las políticas y regulaciones regionales con impacto en la producción de SAF	2025-2026
Gobierno / OACI	1 evaluación	Análisis de políticas internacionales registradas por OACI para la producción y comercialización del SAF	2025-2026
Gobierno	1 evaluación	Analizar el marco de apoyo y fomento internacional del desarrollo de los SAF (en línea con las guías de la ICAO Guidance on Policy Measures for SAF Development and Deployment)	2025-2026
Gobierno	1 evaluación	Identificación de los instrumentos dentro del sistema político y económico nacional para impulsar la implementación de la producción y suministro de SAF	2025-2026

Gobierno / Vuelo limpio	1 evaluación	Evaluación del Acuerdo Público-Privado SAF 2024, que promueve la colaboración público-privada, como parte de la implementación de la Hoja de Ruta SAF.	2025-2026
Gobierno	1 evaluación	Análisis de los objetivos y metas para la reducción de emisiones de aviación establecidos en el actual marco normativo nacional	2025-2026
Gobierno	2 definición	Promover la relevancia del SAF para la descarbonización del sector de aviación y el gran peso económico y social a nivel nacional de su desarrollo	2025-2027
Gobierno	2 definición	Plan de acción nacional que, defina las medidas necesarias y fechas de implementación y entidades, responsables para impulsar la producción y comercialización del SAF	2025-2026
Gobierno	2 definición	Asignación de las entidades responsables para el desarrollo de las políticas y acciones para la producción y comercialización de SAF	2025-2026
Gobierno / OACI	2 definición	Establecimiento de compromisos para el cumplimiento de metas para la reducción de emisiones con Aviación Internacional	2025-2026
Gobierno / Gobiernos regionales	2 definición	Planificación para la integración de todas las políticas y regulaciones regionales con impacto en la producción y comercialización de SAF	2025-2027
Gobierno	2 definición	Extender para el SAF el marco de apoyo político e institucional establecido en Chile para el impulso del hidrógeno verde	2026-2027
Gobierno / OACI	2 definición	Participación en el programa ACT-SAF de OACI (Asistencia, Creación de Capacidad y Formación para SAFs). Desarrollo de Estudio Factibilidad e Informes de Planes de Implementación de negocio.	2026-2027
Gobierno / Gobiernos regionales / Invest Chile	3 ejecución	Fomento y su comunicación para incentivar el emprendimiento empresarial a nivel nacional e internacional para la producción de SAF en Chile	2025-2028
Gobierno / Vuelo limpio	3 ejecución	Establecimiento de los acuerdos y conclusiones de la Hoja de Ruta SAF 2050	2025-2027
Producción			
Actores	Fase	Acción	Periodo
Gobierno / Sector Hidrógeno	1 evaluación	Análisis del actual y futuro de los proyectos para la producción de hidrógeno y derivados	2025-2026
Gobierno / Sector Minero	1 evaluación	Análisis del sector minero por sus potenciales sinergias para la producción de SAF	2025-2026
Gobierno / promotores	1 evaluación	Análisis de los actuales proyectos en desarrollo o iniciativas para la producción y comercialización de SAF	2025-2026
Gobierno / Gobiernos regionales / Sector Hidrógeno / Promotores	1 evaluación	Análisis de los actuales HUBs regionales conectados con el hidrógeno y su potencial expansión para la producción del SAF	2025-2026
Gobierno / ENAP	1 evaluación	Evaluar potencial desarrollo de ENAP para producir SAF mediante coprocesado del UCO en el corto plazo	2025
Gobierno / ENAP	1 evaluación	Evaluar potencial desarrollo de ENAP para la producción de SAF en el medio y largo plazo a través de tecnologías alternativas al coprocesado	2025-2027

Gobierno / Sector Termoeléctricas	2 definición	Desarrollo de informes de plan de implementación de negocio para el desarrollo de SAF en las actuales plantas termoeléctricas	2025-2027
Gobierno / Sector Termoeléctricas	2 definición	Desarrollo de informes de plan de implementación de negocio para la reconversión de las plantas termoeléctricas de carbón en plantas para la producción de SAF.	2025-2027
Gobierno / Sectores	2 definición	Identificación y selección de proyectos para el desarrollo de informes de planes de implementación de negocio específicos	2025
Gobierno / Promotores / C. de investigación	3 ejecución	Seguimiento, análisis y valoración de todos los proyectos piloto en desarrollo o finalizados para la producción de SAF en Chile	2026-2030
Gobierno / Gobiernos regionales / Promotores	3 ejecución	Promoción del desarrollo de HUBs regionales para la producción de SAF. Aprovechamiento de sinergias para el uso de infraestructuras e insumos	2026-2030
Gobierno / Gobiernos regionales	3 ejecución	Desarrollo de HUBs / Cluster / Centros logísticos / Agrupaciones empresariales de SAF como Ecosistemas Industriales	2026-2030
Regulación			
Actores	Fase	Acción	Periodo
Gobierno	1 evaluación	Análisis y seguimiento del actual marco regulatorio en Chile, con impacto en el SAF (leyes, compromisos, planes estratégicos u otras normativas para combatir el cambio climático)	2025-2026
Gobierno	1 evaluación	Evaluar los actuales esquemas de objetivos y mandatos a nivel internacional (ICAO Guidance on Policy Measures for SAF Development and Deployment)	2025-2026
Gobierno	2 definición	Identificar un marco regulatorio integral ágil que elimine barreras y aborde de manera efectiva los aspectos normativos requeridos para la producción y comercialización del SAF.	2025-2027
Gobierno	2 definición	Seguimiento de las actuales medidas o normas para mitigar las barreras regulatorias (Reformas al SEIA, facilitación de permisos, digitalización, “Ventana al Futuro”).	2026-2027
Gobierno	2 definición	Analizar todos objetivos o compromisos del marco regulatorio vigente en Chile (estrategias, planes sectoriales etc.) con impacto en la reducción de emisiones del sector aéreo	2025-2026
Gobierno / vuelo limpio	2 definición	Analizar las conclusiones de la Hoja de Ruta SAF 2050 (eje 2) para su consideración en el futuro marco regulatorio para la producción y uso del SAF	2026-2027
Gobierno	2 definición	Definición del programa de objetivos o mandatos progresivos para el uso del SAF para el 2050	2026-2027
Gobierno	2 definición	Definir un esquema de incentivos para el SAF para mitigar la diferencia de precios prevista con los combustibles convencionales.	2026-2027
Gobierno	2 definir	Definir los factores para el desarrollo de un marco regulatorio para el SAF, eficiente y armonizado internacionalmente para operar con una competencia justa y reduzca los daños medioambientales	2025-2026

Gobierno	2 definir	Definir los principios regulatorios del SAF para contribuir a los objetivos de descarbonización con un costo asumible e impulse un crecimiento sostenible (mandatos, distribución, incentivos etc.)	2026-2027
Gobierno	3 ejecución	Lanzamiento de una regulación específica para la producción, distribución y comercialización del SAF	2027
Tecnología			
Actores	Fase	Acción	Periodo
Gobierno / C. de Investigación	1 evaluación	Evaluación de las tecnologías existentes en la industria (madurez, desafíos, costos etc.) comparativa y viabilidad con los recursos nacionales disponibles	2025-2027
Gobierno / C. de Investigación	1 evaluación	Seguimiento con OACI / ASTM de futuras tecnologías sujetas a certificación internacional para la conversión de materias primas para producir SAF	2025-2028
Gobierno / C. de Investigación	2 definición	Involucrar a los Centros de Investigación e Universidades para analizar las capacidades tecnológicas de Chile para la producción y operación del SAF	2026-2028
Gobierno / Sectores / C. de Investigación	2 definición	Análisis de tecnologías existentes en Chile y su complementariedad con las potenciales rutas tecnológicas para la producción de SAF	2026-2027
Gobierno / Sectores / C. de Investigación	2 definición	Evaluación de tecnologías complementarias o auxiliares en Chile para apoyar la producción de SAF, tales como captura de CO ₂ , SMR, hidrocrackeo etc.	2026-2027
Gobierno / Entidades Investigación	2 definición	Atracción e invitación a las empresas referentes las tecnológicas internacionales para potenciar y desarrollar sus tecnologías en Chile	2026-2028
Gobierno / C. de Investigación	2 definición	Promover una diversificación y neutralidad tecnológica para el SAF que optimice los recursos del país, aumente la producción y la autonomía energética	2026-2028
Gobierno / C. de investigación	2 definición	Análisis tecnológicos nacionales o internacionales para el aprovechamiento de otras materias primas especiales (algas, residuos oleaginosos, etc.)	2026-2028
Gobierno / Entidades Investigación / promotores	2. definición	Análisis del potencial tecnológico para la producir alcoholes a partir de residuos lignocelulósicos o con contenido en azúcares para la producción de SAF en Chile a través de la ruta AtJ	2026-2028
Gobierno / C. de investigación	3 ejecución	Desarrollar instrumentos para promocionar la investigación y desarrollo de tecnologías para la utilización de materias primas disponibles y la producción de SAF.	2026-2028
Gobierno / C. de Investigación	3 ejecución	La promoción y desarrollo de un esfuerzo en investigación propia en las rutas tecnológicas para la producción de SAF	2026-2030
Gobierno / C. de Investigación	3 ejecución	Selección y promoción de las rutas tecnológicas a desarrollar en Chile más viables y sostenibles de acuerdo con los recursos disponibles en el país	2026-2027

REFERENCIAS Y FUENTES CONSULTADAS

1. ICAO - ACT-SAF -2025
2. ICAO - European Union Assistance Project - 2025
3. ICAO - Assistance Project with the European Union (EU) Funding, Phase II - 2025
4. ICAO - Annex 16 - Environmental Protection, Volume IV, CORSIA - 2023
5. ICAO - LTAG Report – marzo 2020
6. ICAO - third ICAO Conference on Aviation and Alternative Fuels (CAAF/3) – noviembre 2023
7. ICAO - ningún país se queda atrás - 2025
8. ICAO - The ICAO Assembly at its 41st - Resolution A41-21 - Climate Change. - 2022
9. MMA-NDC – marzo 2020
10. Estadísticas de la Agencia Internacional de Energía, año 2010
11. Invest Chile - Información Clave hidrógeno verde en Chile – mayo 2024
12. MEN - Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde – noviembre 2020
13. Ver Figura 4, extraída del Informe de factibilidad de la OACI un objetivo ambicioso a largo plazo (LTAG Report)
14. UNDP - Plan de Acción Nacional de Cambio Climático de Chile
15. ICAO guidance on policy measures for SAF development and deployment
16. Vuelo-Limpio - programa de sostenibilidad energética para la aviación – 2025
17. Marco Mundial OACI para SAF, LCAF y otras energías más limpias para la aviación (Adoptado por la CAAF/3 el 24 de noviembre de 2023)
18. Objetivo global aspiracional a largo plazo de la OACI (LTAG) para la aviación internacional
19. Gobierno de Chile - Nuestro País - 2025
20. JAC – informe diciembre 2023 – enero 2024
21. Gobierno de Chile - Nuestro País - 2025
22. INE: Censos de Población y Vivienda - 2025
23. MMA – Estrategia Climática a Largo Plazo - Chile, país vulnerable frente al cambio climático - 2021
24. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile Mapa de Chile- 2025
25. Statista Research Department – septiembre 2024
26. Banco Mundial – países de ingresos altos - 2025
27. OECD Economic Surveys: Chile 2022 | septiembre 2022
28. Panorama económico de Chile – enero 2025
29. OECD calculations based on OECD Long-term growth model - Guillemette and Turner - 2018
30. Contribución determinada a nivel nacional (NDC) – Actualización 2020 – Gobierno de Chile - 2020
31. MMA – Estrategia Climática a Largo Plazo - Mitigación: Camino a la Carbono Neutralidad a más tardar al 2050 - 2021
32. ME - estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_potencial renovable – noviembre 2020
33. Invest Chile: Información Clave hidrógeno verde en Chile - Potencial de producción de energías renovables en Chile– mayo 2024
34. Lanzamiento hoja de ruta – H2V Biobío - Global Wind Atlas – mayo 2024
35. CNE – Anuario Estadístico de Energía 2023 – matriz energética - 2025
36. ACERA - Balance Acera 2023 - 2025
37. CEN - Sistema eléctrico redujo 21% sus emisiones en 2023 - enero 2024
38. Balance Nacional de Energía - informe 2020 – mayo 2022
39. MEN - Plan de Descarbonización 2º tiempo de la transición energética – importancia del gas natural - noviembre 2024
40. Comisión Nacional de Energía potencia instalada – noviembre 2024
41. Coordinador Energía Nacional CEN – El carbón retrocedió un 27% - enero 2024
42. MEN - Plan de Descarbonización 2º tiempo de la transición energética – retirada/reconversión 9 u. carbón - noviembre 2024
43. CEN - Hoja de Ruta para una Transición Energética Acelerada – diciembre 2024
44. Generadoras de Chile - Generación eléctrica en Chile - 2025
45. Conexión Energía: Kimal - Lo Aguirre - 2025
46. Enap – Reporte integrado 2023
47. Sonac – Quiénes somos - 2025
48. Enap produce diésel a partir de aceite usado de cocina – enero 2025
49. ENAP – Reporte Integrado 2023
50. MEN - Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde – noviembre 2020
51. MEN - Explorador de Hidrógeno Verde - 2025

52. H2Chile - Mapa de proyectos – septiembre 2024
53. MEN – Plan de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático de Energía – diciembre 2024
54. ICAO State Action Plans and Assistance - 2025
55. MMA Sector Energía – SNI Chile - 2025
56. DGAC - Plan de Acción de Chile – marzo 2022
57. IATA: Factsheet Net zero 2050: sustainable aviation fuels - 2024
58. ICAO – LTAG - SAF Projections - 2025
59. EIA - projects energy consumption in air transportation to increase through 2050 - noviembre 2019
60. Vuelo Limpio - Hoja_de_Ruta_SAF_2050 – abril 2024
61. JAC: Estadísticas INFORME- diciembre-2023
62. Plan Estratégico del Transporte Aéreo (1).pdf - 2020
63. JAC - Estadísticas Históricas serie 2014-2024 - 2025
64. MEN - PELP 2023-2027_informe_final – diciembre 2024
65. Comité de desarrollo productivo regional de Biobío: lanzamiento hoja de ruta – H2V Biobío – abril 2024
66. Centro Tecnológico Hidrógeno Verde Magallanes – noviembre 2024
67. FCh - Fundación Chile se adjudica nuevo Centro Tecnológico de Hidrógeno Verde en Magallanes – noviembre 2024
68. Methanex 2025
69. Fraunhofer Chile - Proyecto Poweer-to-MeDME - 2025
70. H2news - Fraunhofer impulsa producción de DME en Antofagasta - 2025
71. ASTM International - Standards Worldwide - 2025
72. ICAO environmental report: article - New Sustainable Aviation Fuels (SAF) technology pathways under development - 2022
73. ICAO environmental – Sustainability Criteria for CORSIA eligible fuels – noviembre 2022
74. Arsa Group – 2025
75. Rendering - 2025
76. IATA – Comunicado N.º 34 - junio 2023
77. RETC – Datos Emisiones al aire de fuentes puntuales 2023
78. CEN - Sistema eléctrico redujo 21% sus emisiones en 2023 – enero 2024
79. WRI-Aqueduct Country Ranking- 2025
80. PtX hub – Disponibilidad del recurso hídrico en el desarrollo del H2V y sus-Derivados en Chile – septiembre 2023
81. Consejo Minero, ACADES y C4: Presentan el primer catastro nacional de plantas y proyectos de desalinización en Chile – 2025
82. ACADES: 85% de la capacidad instalada de desalación de agua de mar abastece a la gran minería del cobre- noviembre 2024
83. País Circular - MOP -Despachan proyecto que permite al MOP construir infraestructura de desalación -enero 2025
84. H2 Antofagasta- proyecto Conecta – abril 2025
85. Gobierno de Chile - Estrategia-Nacional-del-litio- julio 2023
86. Ineratec / GIZ: Project Lighthouse e-Fuel in Chile FEED – julio 2024
87. Ineratec - 2025
88. IEA Bioenergy – Upgrading landfill gas – noviembre 2018
89. CORSIA: Methodology for calculating actual life cycle emission value – octubre 2024
90. OECD – Environment at a glance indicators – octubre 2025
91. SINIA -Reporte del Estado del Medio Ambiente 2023
92. RETC - Residuos (Disposición al suelo) – RETC - 2025
93. SINIA - Reporte del Estado del Medio Ambiente - 2023
94. Ministerio de Medio Ambiente: Ley responsabilidad extendida al productor y fomento al reciclaje – mayo 2016
95. ReSimple - 2025
96. SUBDERE - Informe. Diagnóstico y catastro nacional de residuos sólidos domiciliarios - 2024
97. CONAF actualiza información de superficie forestal de Chile – enero 2022
98. INFOR: Anuario forestal 2024 – 2025
99. Trozos: Uso o aprovechamiento de trozos de madera, normalmente restos de la producción de madera maciza.
100. ODEPA - Bioenergía: Oportunidades y desafíos de la biomasa forestal como biocombustible regulado – marzo 2022
101. ODEPA - Ficha nacional, actualización -enero 2025
102. INIA – Rastros de Cultivos Anuales y Residuos Forestales - 2014
103. COMASA – plantas - 2025
104. ICAO Guidance on Policy Measures for SAF Development and Deployment – 2024
105. https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/saf_guidance_potential_policies.aspx
106. Gobierno de Chile - Comité Estratégico | Plan de Acción de Hidrógeno Verde – diciembre 2023
107. CORFO - Corporación de Fomento de la Producción - 2025
108. Mission Possible Partnership: Making net zero aviation possible executive summary – julio 2022
109. Agencia de Sostenibilidad y Cambio y Climático – CORFO - Acuerdos de Producción Limpia - 2025
110. CORFO – Hidrógeno Verde - 2025

111. Centro Tecnológico Hidrógeno Verde Magallanes – noviembre 2024
112. H2 Antofagasta – Conecta 2025
113. CORFO programa transforma - 2025
114. ANID - 2025
115. H2in - 2025
116. H2LAC - La investigación en el sector del hidrógeno verde avanza en la zona norte de Chile – mayo 2025
117. Hidrógeno verde – Acceso Abierto ANID - 2025
118. FCh - Impulsando el desarrollo sostenible de Chile - 2025
119. ICAO Guidance on Policy Measures for SAF Development and Deployment-2025
120. ICAO - Environmental Policies on Aviation Fuels - 2025
121. Unión Europea - Directiva - 2023/959 – mayo 2023
122. ICAO - CAAF.3 – noviembre 2023
123. MEN - Gobierno presenta Fondo por US\$ 1.000 millones para el desarrollo del Hidrógeno Verde en Chile – junio 2023
124. Ministerio de Hacienda - Estrategia Financiera para un desarrollo medioambientalmente sostenible (MAS) - 2022
125. SEIA - Sala del Senado aprueba en general proyecto de Evaluación Ambiental 2.0 - julio - 2024
126. BNamericas - Oportunidades en transición energética fuerzan a Chile a acelerar reforma de permisos – mayo 2024
127. Ministerio de Bienes Nacionales: Hidrógeno Verde en Terrenos Fiscales – noviembre 2021
128. OECD calculations based on OECD Long-term growth model - Guillemette and Turner - 2018
129. OECD Product Market Regulation database 2018, available at <http://oe.cd/pmr> - 2018
130. OECD, Main Science and Technology Indicators database - 2025
131. WCR-Rankings - IMD business school - Rankings out of 67 countries - 2024
132. Banco Central de Chile Base de Datos Estadísticos (BDE diciembre 2023
133. ODEPA - Ficha Nacional 2024.pdf - noviembre 2024
134. Mercado Eléctrico Chileno-Luis-Llanos – julio 2024
135. Energía Abierta – CNE – capacidad instalada – enero 2025
136. Enap: adjudica construcción de su primera planta de hidrógeno verde – abril 2024
137. Enap: expone avances en Hidrógeno Verde al presidente Boric – junio 2024
138. EDF: “Prefeasibility study for a synthetic fuel project in the Magallanes region based on green hydrogen” marzo 2022
139. TCI Group: Proyecto HOASIS - 2025
140. HIF - Haru Oni - 2025
141. Revista Nueva Minería y Energía – julio 2022
142. Ineratec: Project Lighthouse e-Fuel in Chile – octubre 2024
143. MAE - Proyecto Volta - 2025
144. AES Chile ingresa al SEA Evaluación de Impacto Ambiental del proyecto INNA – diciembre 2024
145. ICAO document - CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels – noviembre 2022
146. IPCC - Urgent climate action can secure a liveable future for all - marzo 2023
147. IEA - The world has vast capacity to store CO₂: Net zero means we'll need it – Analysis – abril 2021
148. World Resources Institute: DAC - 6 Things To Know – mayo 2022
149. Forbes - Will Direct Air Capture Ever Cost Less Than \$100 Per Ton Of CO₂? – noviembre 2024
150. Decarbonfuse: Direct Ocean Capture: The Next Frontier in Carbon – octubre 2024
151. World Economic Forum - Direct Ocean Capture: A new way to remove CO₂ from the sea – octubre 2024
152. MinCiencia - Chile entrega ECLP a la secretaria ejecutiva de ONU Cambio Climático noviembre 2021
153. MMT – Programa de viabilidad y transporte urbano - anteproyecto PSMYA sector transporte – mayo 2024
154. MEN -Proyecto_definitivo_plan_sectorial_energia PSMYA Energía – diciembre 2024
155. MEN – Planificación Estratégica de Largo Plazo – Informe final – diciembre 2024
156. BCN – Resolución 970 Exenta CORSIA – diciembre 2017
157. SUBREI - Plan de Acción Voluntario de Chile para la Reducción de Emisiones en el Transporte Aéreo Internacional – abril 2022
158. MEN - Desarrollo de Políticas para Combustibles Sintéticos - Álvaro Ruiz – marzo 2024

ANEXO 1 – PARTICIPANTES Y COLABORADORES

Tabla 30. Participantes y Colaboradores

Nº	Date	Location	Company	Sector
1	27-Nov-24	Santiago - Workshop	AXENS	Technology Company
2	27-Nov-24	Santiago- Workshop	SONACOL	Fuel storage and pipeline company
3	28-Nov-24	Santiago - Ministry of Energy	Sky Airlines	Airlines (Low cost model)
4	28-Nov-24	Santiago - Ministry of Energy	Smart Earth Camelina	Agriculture- Camelina seed supplier
5	28-Nov-24	Santiago - Ministry of Energy	Centro Energía Universidad de Chile	University
6	29-Nov-24	Santiago - Ministry of Energy	Petrolisis Biocombustibles spa	Equipment builder
7	29-Nov-24	Santiago - Ministry of Energy	Agricola multiseed (Soneseed)	Agriculture - Myscanthus seed supplier
8	2-Dec-24	Agencia Sostenibilidad Energética	ENAP	National oil refining company
9	2-Dec-24	Santiago -Agencia Sostenibilidad Energética	JetSmart	Airline (Low cost model)
10	2-Dec-24	Santiago -Agencia Sostenibilidad Energética	COPEC	Fuel distributor
11	2-Dec-24	Santiago -Agencia Sostenibilidad Energética	Universidad Pontificia Chile	CO ₂ capture project
12	2-Dec-24	Santiago -Agencia Sostenibilidad Energética	ARAUCO	Pulp and paper manufacturer
13	3-Dec-24	Santiago -Agencia Sostenibilidad Energética	Nuevo Pudahuel	Santiago airport management company
14	3-Dec-24	Santiago -Agencia Sostenibilidad Energética	Bio Process	Technology for Bio Diesel production
15	3-Dec-24	Santiago -Agencia Sostenibilidad Energética	ENEX	Fuel distribution Former Shell Chile
16	3-Dec-24	Santiago -Agencia Sostenibilidad Energética	LATAM	Airline (Legacy)
17	3-Dec-24	Santiago -Agencia Sostenibilidad Energética	HIF Global	H2 and eFuels producer
18	4-Dec-24	Santiago - Ministerio Transportes	DGAC	Aviation Regulatory Authority

19	4-Dec-24	Santiago - Ministerio Transportes	Rendering	Used Cooking Oil (UCO) recycler
20	4-Dec-24	Santiago - Ministerio Transportes	CORFO (Corporación de Fomento de la Producción)	Project finance entity depending on the Ministry of Economy
21	12-Dec-24	Video Conf	LATAM	MIT presentation
22	24-Dec-24	Video Conf	Fraunhofer	Project developer
23	26-Dec-24	Video Conf	H2 Antofagasta	Green Hydrogen projects in Antofagasta
24	27-Dec-24	Video Conf	Universidad de Concepción	Biomass Expert
25	30-Dec-24	Video Conf	Universidad de los Lagos	Algae Project
26	30-Dec-24	Video Conf	ARSA	Used Cooking Oil recycler
27	3-Jan-25	Video Conf	INIA	Agriculture Institute (Instituto de Investigaciones Agropecuarias)
28	6-Jan-25	Video Conf	CONAF	Forestry association
29	6-Jan-25	Video Conf	H2V Bio bio	Green Hydrogen projects in Bio Bio
30	9-Jan-25	Video Conf	TCL Geocom	Green Hydrogen projects developer in Antofagasta (HOASIS project)
31	9-Jan-25	Video Conf	Fedefruta	Fruit producer association
32	13-Jan-25	Video Conf	Ineratec	Technology and efuels Comp
33	17-Jan-25	Video Conf	COLBUN	Power generation company
34	17-Jan-25	Video Conf	ENAP	Project ForEnergy (biofuels from woody biomass)
35	20-Jan-25	Video Conf	AXENS	Technology / EPC
36	20-Jan-25	Video Conf	INIA	Agriculture Institute (Instituto de Investigaciones Agropecuarias)
37	24-Jan-25	Video Conf	INFOR	Forest Institute (Instituto Forestal)

38	28-Jan-25	Video Conf	Chile Oliva	Association of olive Oil producers
39	29-Jan-25	Video Conf	Resimple	Waste Recycling Company

ANEXO 2 – TALLER DE TRABAJO



MÓDULO I: CONTEXTO DE LOS COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN SOSTENIBLES (SAF) Y EL PROGRAMA ACT-SAF.

Sesión 1: Programa de trabajo ACT-SAF para estudios de factibilidad

(Hoja de Ruta SAF 2050: EJE 4- Ecosistema SAF).

- César Velarde, Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

El programa ACT-SAF de la OACI.

Estudio de factibilidad de SAF en Chile y vías de implementación comercial:

- Contenido del estudio.
- Identificación de partes interesadas y necesarias para el desarrollo del estudio y establecimiento de grupos de trabajo.
- Plan de trabajo (Cronograma de trabajo), gobernanza del Estudio e interacción con los agentes nacionales

Sesión 2: SAF: Principales conceptos y tendencias internacionales

(Hoja de Ruta SAF 2050: EJE 1- Formación de capacidades).

- César Velarde, Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).
 - Descarbonización de la aviación.
 - ¿Qué son los SAF?
 - Criterios de sostenibilidad (breve introducción).
 - Concepto de evaluación del ciclo de vida.
 - Certificación de sostenibilidad.
 - Materias primas y vías de conversión.

Mercado mundial de SAF (tendencias, prospectiva).

Sesión 3: CORSIA: Requerimientos para la certificación de SAF

(Hoja de Ruta SAF 2050: EJE 2– Regulación)

- César Velarde, Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)
 - El marco de sostenibilidad para combustibles elegibles bajo CORSIA.
 - El proceso de certificación de sostenibilidad de CORSIA y el papel de los Esquemas de Certificación (SCS).
 - Organismos certificadores.

Sesión 4: Seguridad, Especificaciones de calidad para SAF e infraestructura habilitante

(Hoja de Ruta SAF 2050: EJE 2– Regulación y EJE 5- Tecnología)

- Alan Lecocq, Consultor experto técnico, Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).
 - Términos y acrónimos de los combustibles de aviación.
 - Normativa internacional existente y aspectos de seguridad a considerar para SAF:

- Especificaciones de calidad para SAF puro y blending (Estándares internacionales, parámetros a controlar y métodos de ensayo).
- Procesos ASTM validados y en vías de aprobación para SAF.
- Aprobación de nuevos combustibles sintéticos para aviación y futuras evoluciones de los procesos de certificación.
- Infraestructura habilitante para SAF en la cadena de valor: Logística, trazabilidad y cadena de custodia de SAF

Cierre y próximos pasos.

MÓDULO II: IMPLEMENTACIÓN DE LA HOJA DE RUTA SAF 2050 PARA CHILE

Sesión 5: Visión y objetivos de la Hoja de Ruta SAF 2050.

(Hoja de Ruta SAF 2050: EJE 3- Desarrollo de mercado).

Recopilación de información y discusión con los agentes nacionales sobre las posibles vías de implementación comercial de SAF en Chile.

Sesión interactiva 5.1: Producción de SAF a partir de aceites usados

Sesión interactiva 5.2: Materias primas para producción de SAF a partir de biomasa.

Sesión interactiva 5.3: Materias primas para producción de SAF a partir de combustibles sintéticos.

Sesión 6: Políticas para SAF y energías más limpias.

(Hoja de Ruta SAF 2050: EJE 3- Desarrollo de mercado).

- César Velarde, Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

Recomendaciones de la OACI sobre políticas de SAF.

- Oferta, demanda y políticas facilitadoras.
- Rama A: Estimulación del crecimiento de la oferta de SAF.
- Rama B: Medidas del lado de la demanda para estimular el uso de SAF.
- Rama C: Facilitación de los mercados de SAF.
- Interacción entre la oferta, la demanda y las medidas facilitadoras.

Panorama general de políticas mundiales sobre SAF.

Sesión interactiva 6.1: Posibles políticas y regulación para impulso de SAF.

Sesión 7: Debate con las partes interesadas en la promoción de SAF.

Sesión interactiva 7.1: Mesa redonda con agentes del gobierno

Sesión interactiva 7.2: Discusión con los agentes nacionales sobre prioridades a considerar en el estudio de factibilidad de SAF en Chile.

Cierre y próximos pasos.

ANEXO 3 - MAPA REGIONAL DE CHILE



Figura 65. Mapa regional de Chile

ANEXO 4 – CHILE PERSPECTIVA OCDE

De acuerdo con las simulaciones de crecimiento de la OCDE (Guillemette y Turner, 2018)¹²⁶, la implementación de reformas adecuadas en áreas clave como el fortalecimiento de la estructura institucional, la mejora en la regulación, el fomento de la competencia para impulsar la productividad, y el avance en los resultados educativos, podría resultar en la duplicación del PIB per cápita para el año 2060. En contraste, si no se llevarán a cabo estas reformas, el crecimiento sería solo del 26%. Este escenario permitiría a Chile retomar una senda de convergencia en términos de renta con respecto a Estados Unidos y otros países avanzados de la OCDE (ver Figura 66).

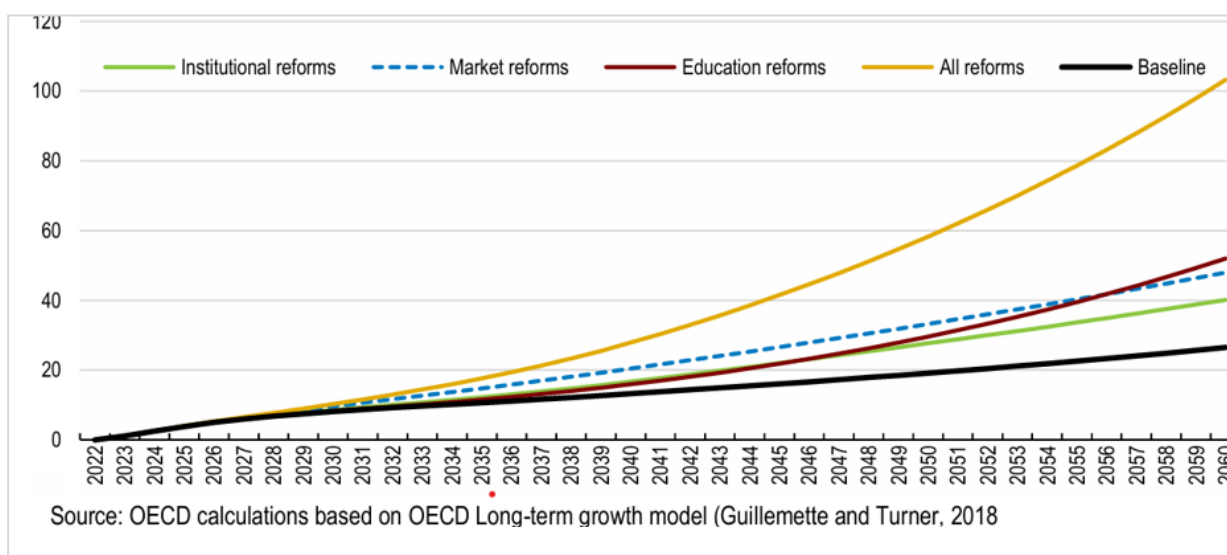


Figura 66. Simulaciones utilizando el modelo de crecimiento a largo plazo de la OCDE.

En relación con la mejora regulatoria, la OCDE señala que los procesos duraderos y complejos¹²⁷ para la obtención de permisos, licencias o concesiones dificultan el emprendimiento, limitan la competencia y restringen el desarrollo tecnológico. Este escenario, en última instancia, tiene un impacto directo sobre los niveles de productividad en el país. La Figura 67, muestra que en este respecto en comparación con la media de la OCDE existe un espacio de mejora para Chile.

¹²⁶ OECD calculations based on OECD Long-term growth model - Guillemette and Turner (2018)

¹²⁷ OECD Product Market Regulation database 2018 (2018)

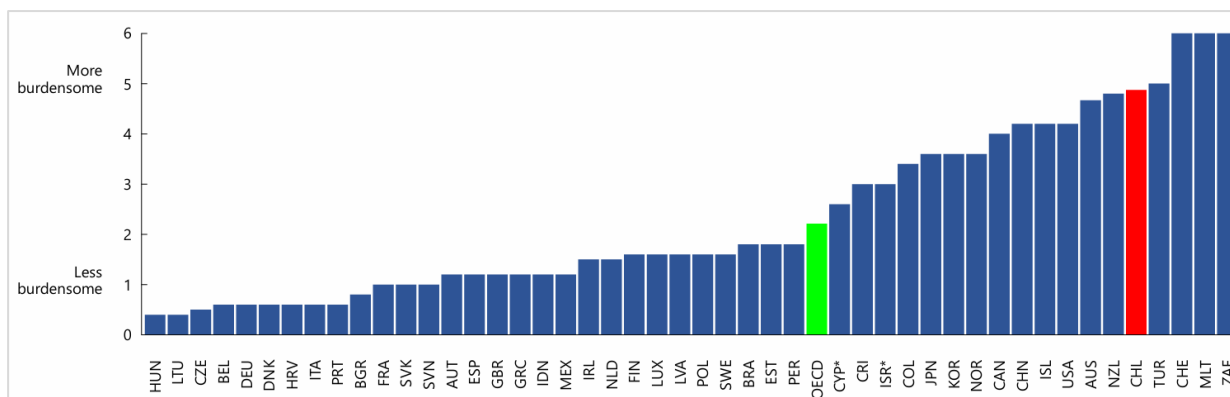


Figura 67. OCDE: Barreras licencias y permisos.

En cuanto al gasto en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i)¹²⁸, Chile presenta un nivel muy inferior al promedio de la OCDE. En este contexto, una mayor inversión en I+D+I se propone como una de las reformas clave para mejorar la competitividad y aumentar la productividad del país (ver Figura 68).

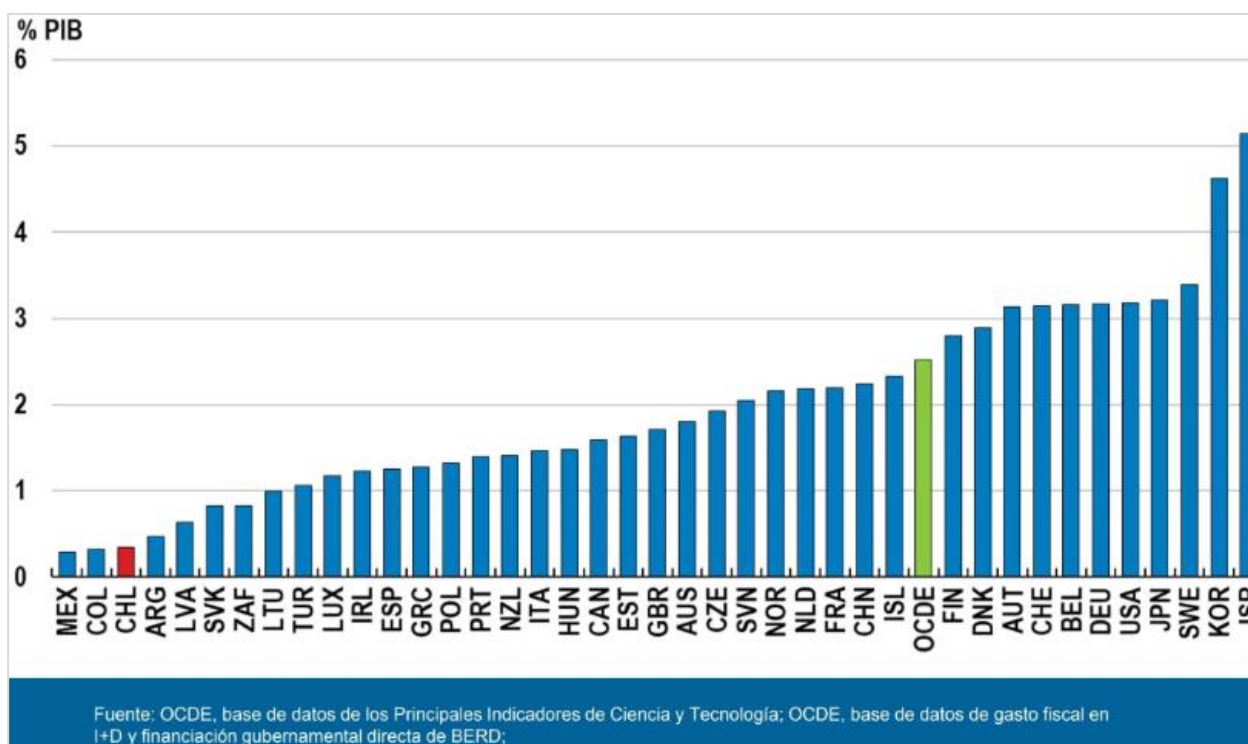


Figura 68. OCDE - Gasto bruto en I+D, 2019 o último disponible.

En relación con la competitividad, el IMD Institute for Management Development sitúa a Chile en el puesto 44 de su ranking global de competitividad de 2024, siendo el líder en América Latina y el Caribe¹²⁹.

En el contexto de los indicadores señalados por la OCDE, Chile enfrenta el desafío de reducir los obstáculos regulatorios y destinar mayores recursos a la investigación y desarrollo, con el fin de crear un entorno propicio para el avance y la inversión en nuevos retos estratégicos y transformadores, como la producción de combustibles sostenibles para la aviación. Además, debe garantizar que tanto la oferta como la demanda

¹²⁸ OECD, Main Science and Technology Indicators database - 2025

¹²⁹ WCR-Rankings - IMD business school - Rankings out of 67 countries - 2024

operen dentro de un marco de libre competencia, asegurando un acceso transparente y no discriminatorio para todos los actores involucrados.

ANEXO 5 – PRODUCTO INTERNO BRUTO REGIONAL Y SECTORIAL

Sectores a nivel regional

Tabla 31. PIB Chile Regional.

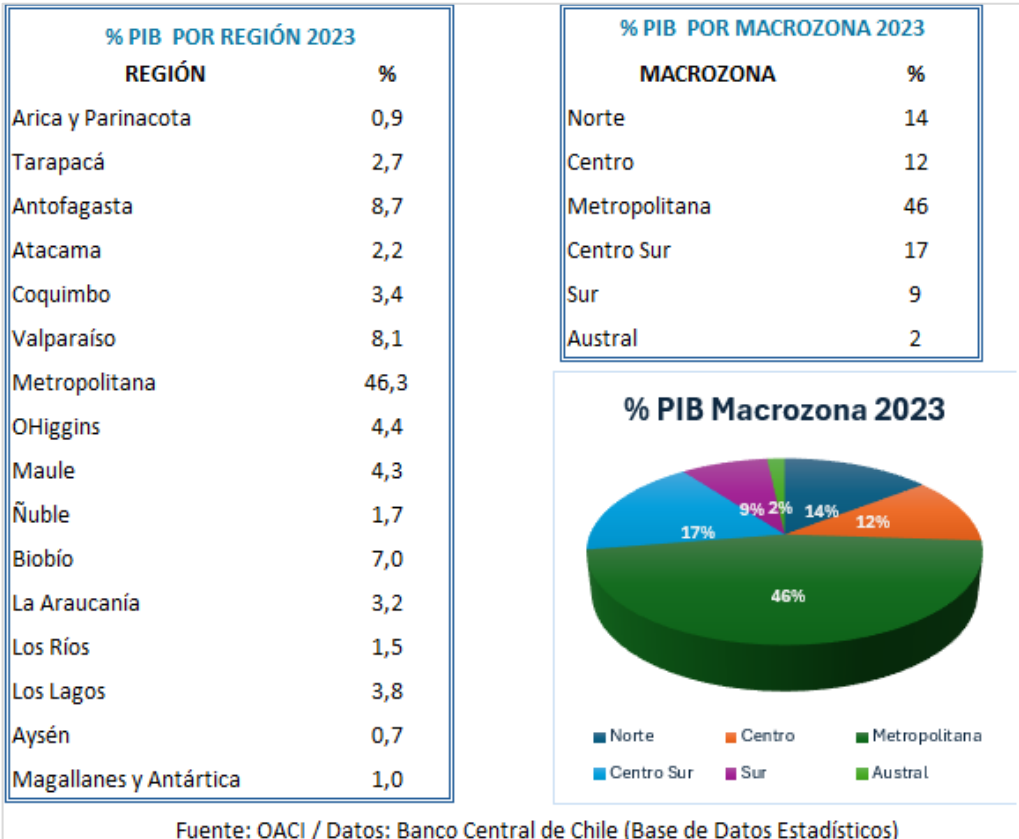
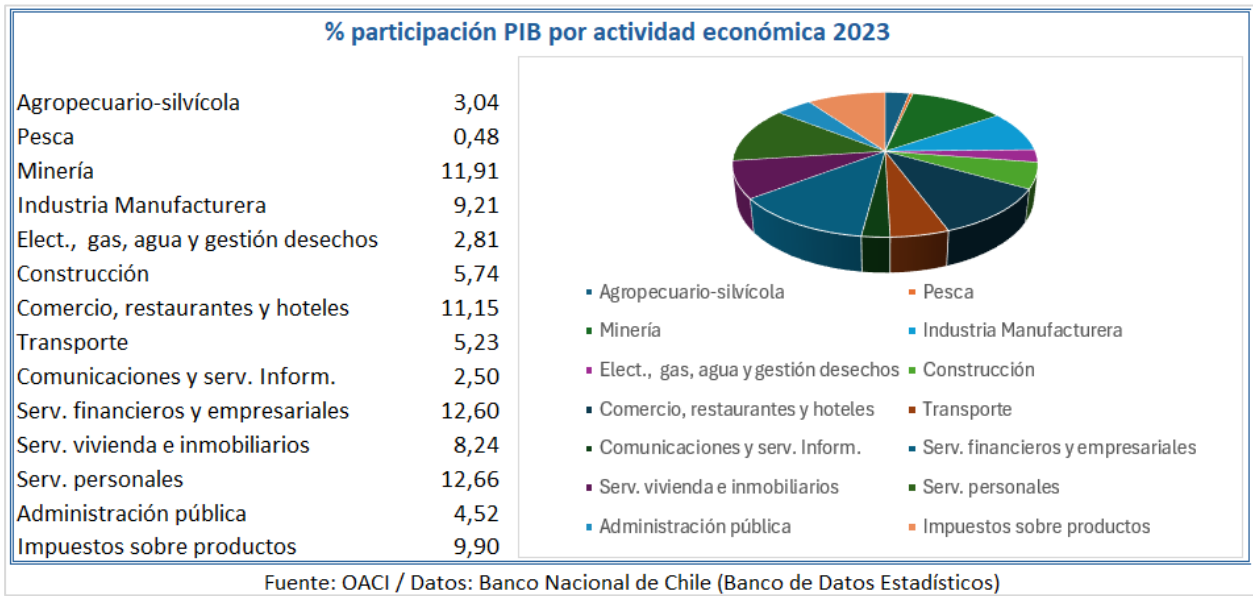


Tabla 32. Porcentaje participación PIB por actividad económico 2023.



En el sector silvoagropecuario representa aproximadamente el 3,5% del total PIB del país, donde más del 50% se concentra en la macrozona Centro-Sur del país¹³⁰. Con una fuerte industria del cereal y especialmente frutícola que se ha convertido en un referente a nivel mundial tras destacar en calidad, diversificación de productos y apertura a los mercados internacionales.

En cuanto a la industria pesquera y acuicultura, Chile es uno de los mayores productores mundiales de pescado, destacándose particularmente en la producción de salmón. Las principales regiones vinculadas a esta actividad son Aysén, Magallanes, Los Lagos y Coquimbo, que concentran una gran parte de la producción pesquera del país.

Finalmente, el sector de la energía en Chile se ha transformado significativamente, con un enfoque en la generación de energía renovable. La energía solar, producida principalmente en el norte del país, y la hidroelectricidad, destacándose en la región del Biobío, son las fuentes primarias de generación de energía renovable. Además, la biomasa juega un papel importante en la matriz energética, especialmente en las regiones norte y centro, donde sus fuentes principales provienen del carbón y de la industria forestal.

¹³⁰ ODEPA - Ficha Nacional 2024 (2024)

ANEXO 6 – POTENCIA INSTALADA DE ENERGÍA EN CHILE

Tabla 32. Potencia instalada – Chile.

POTENCIA INSTALADA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA- NOVIEMBRE 2024												
Potencia Bruta instalada MW	Biomasa	Carbón	Concentración Solar de Potencia	Eólica	Gas Natural	Geotérmica	Hidráulica de Embalse	Hidráulica de Pasada	Mini Hidráulica de Pasada	Petróleo Diesel	Solar Fotovoltaica	General
Aisen del Gral Carlos Ibáñez del Campo				2					24	39	3	68
Antofagasta		2.415	114	983	1.531	95				467	3.931	9.537
Anco y Parinacota									11	10	115	137
Región de Atacama		764		1.117					5	695	2.531	5.111
Coquimbo				695					28	687	574	1.983
La Araucanía	81			805					81	18	123	1.108
Los Lagos				390			172	60	94	252		968
Los Ríos	61							92	72	120	3	348
Magallanes y de la Antártica				13	110					20		143
Nuble	71								32	22	177	302
Tarapacá									6	68	429	503
Valparaíso	7	537			1.558			197	3	584	528	3.415
Biobío	277	394		629	64		1.601	1.209	41	779	99	5.093
O'Higgins	16			174	239		381	651	51	44	470	2.027
Maule	37				44		1.234	347	114	164	667	2.607
Metropolitana de Santiago	50				438			822	91	37	913	2.350
Salta (Argentina)					380							380
Total general	599	4.110	114	4.807	4.365	95	3.388	3.377	653	4.006	10.563	36.079
% Sobre el total	2%	11%	0%	13%	12%	0%	9%	9%	2%	11%	29%	100%

Distribución Potencia Termoelectrica	
Biomasa	5%
Carbón	31%
Gas Natural / Petróleo Diesel	64%

Fuente: Comisión Nacional de Energía - Capacidad Instalada Generación - Noviembre 2024

ANEXO 7 – LA ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN CHILE

Los tres sectores del Sistema Eléctrico

- La Generación se refiere a la producción de energía eléctrica mediante diversas tecnologías, operando en un “mercado abierto” donde las decisiones de inversión son tomadas por entidades privadas encargadas de su gestión y operación. La viabilidad económica de este sector se materializa a través de contratos de venta de energía a clientes libres y/o regulados.
- La Transmisión, por su parte, funciona bajo un “monopolio natural”, en el cual el gestor accede a operar a través de licitaciones públicas. Este sector se encarga de transportar la energía desde los puntos de generación hasta los centros de consumo o distribución.
- La Distribución se ocupa del transporte de energía a niveles de voltaje más reducidos en comparación con la transmisión, llevándola directamente a los consumidores. Opera bajo un régimen concesional, con la obligación de ofrecer suministro a los clientes regulados y aplicar tarifas reguladas.
- Los sectores de Transmisión y Distribución operan dentro de un esquema regulado, en el que sus actividades están sujetas a normativas y controles establecidos por las autoridades competentes. En contraste, la Generación se desarrolla bajo un régimen de libre competencia, donde las decisiones de inversión y operación son tomadas por entidades privadas sin la misma intervención regulatoria que rige los otros sectores¹³¹.

La División del Sistema Eléctrico

El mercado eléctrico chileno está conformado por tres sistemas independientes¹³² (ver Figura 69), aunque la gran mayoría se concentra en uno (el Sistema Eléctrico Nacional, ver Figura 70). Es relevante destacar que dichos sistemas no se encuentran interconectados entre sí:

- Sistema Eléctrico Nacional (SEN): Zona Norte y Centro del país. Capacidad instalada a noviembre de 2024 34.863 MW.
- Sistema Eléctrico de Aysén (SEA): sistema que produce electricidad para abastecer la Región de Aysén. Capacidad instalada a noviembre 2024 74 MW.
- Sistema Eléctrico de Magallanes (SEM): Produce electricidad para abastecer las regiones de Magallanes y de la Antártica Chilena. Capacidad instalada a noviembre 2024 129 MW.

¹³¹ Mercado Eléctrico Chileno-Luis-Llanos (2024)

¹³² Energía Abierta – CNE – capacidad instalada (2025)

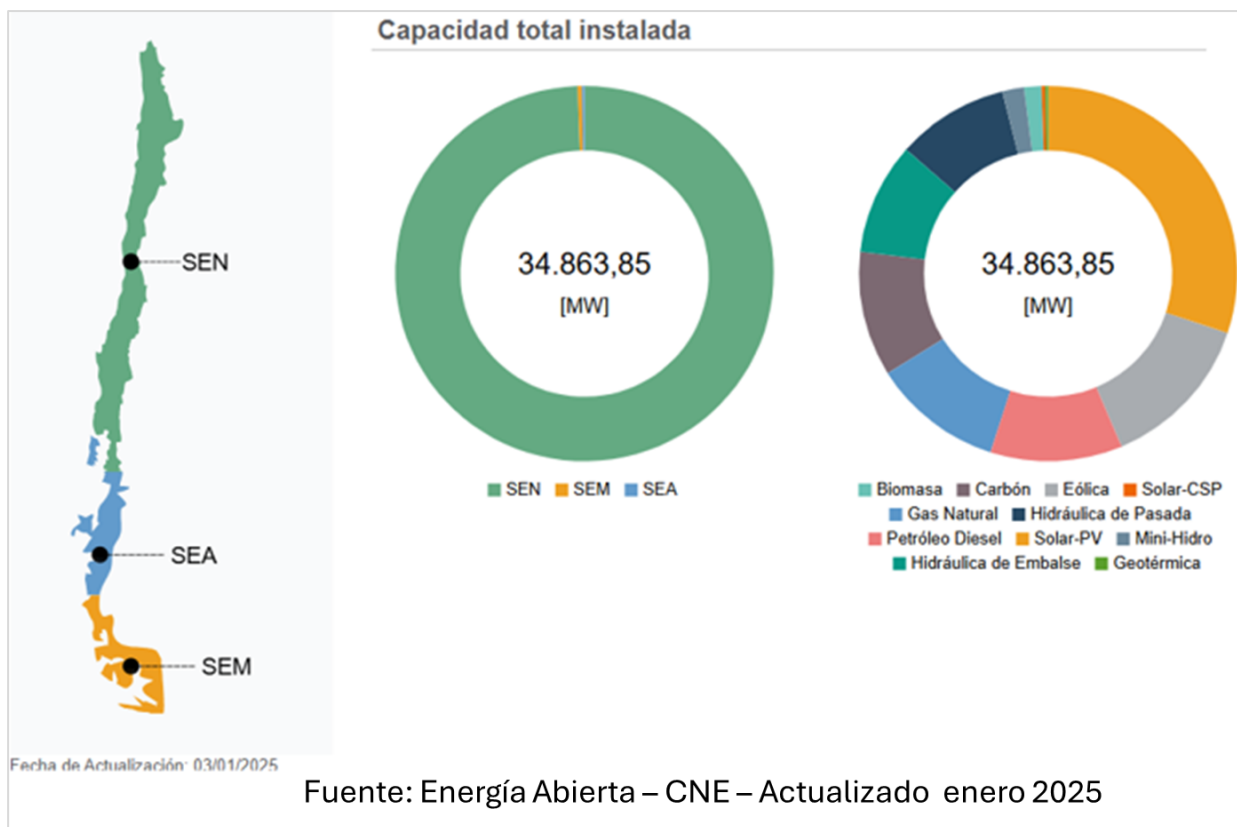
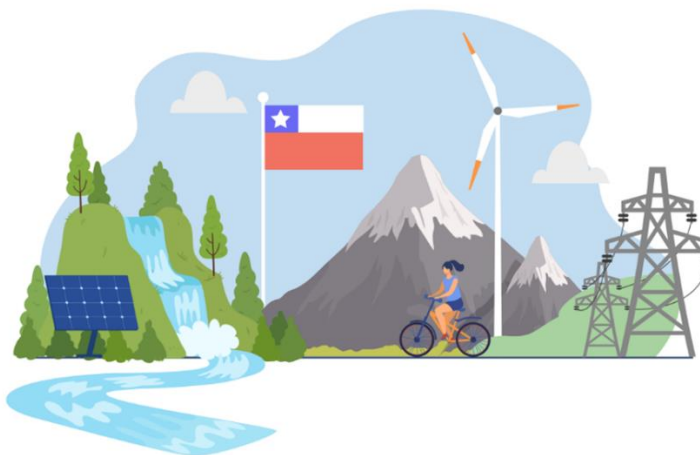


Figura 69. Sistemas Eléctricos de Chile.

De los tres sistemas, el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) posee el 99% de la capacidad instalada y abastece al 97% de la población. Este sistema concentra la mayor parte de los focos de generación, así como la actividad industrial y económica.

Características del Sistema Eléctrico Nacional

- **3.100 KM** de extensión entre Arica y Chiloé
- **755 empresas** participan del mercado
- Cerca de **1.000 unidades generadoras** de electricidad
- **11.549 MW** de demanda máxima
- **34.318 MW** de capacidad instalada (se considera salida de Ventanas 2)



Fuente: Coordinador Eléctrico Nacional – Actualización enero 2025

Figura 70. Características del Sistema Eléctrico Nacional.

ANEXO 8 – ÓRGANOS DE GOBIERNO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

- Ministerio de Energía: Desarrolla las políticas de gobierno y supervisa el sector eléctrico.
- Comisión Nacional de Energía: Fija las tarifas del mercado, desarrolla las bases de licitación de los contratos de suministro eléctrico, supervisa la operación del mercado eléctrico y coordina el desarrollo de la infraestructura energética y su optimización.
- Superintendencia de Electricidad y Combustibles: Supervisa la calidad del servicio eléctrico y de las instalaciones y actúa como organismo auditor y sancionador. Responsable de administrar los contratos de suministro eléctrico y velar por la transparencia en la operación del mercado eléctrico.
- Coordinador Eléctrico Nacional: Es responsable de la coordinación de los sistemas eléctricos en Chile. Coordina la programación diaria de todas las plantas de generación de energía. El CEN es un organismo de carácter público, sin fines de lucro, preservando la seguridad del sistema eléctrico, con la operación más económica para el conjunto de sus instalaciones y garantizando el acceso abierto a los sistemas de transmisión.

El CEN es un organismo estratégico que, a través de una planificación eficiente en el desarrollo del sistema eléctrico, permite conectar y optimizar el transporte de los principales focos de generación renovable a los grandes centros de consumo. Bajo su responsabilidad recae fijar la capacidad anual técnica del sistema.

ANEXO 9 – PROYECTOS E INICIATIVAS HIDRÓGENO VERDE

- ENAP (abril 2024): Construcción de su primera planta de hidrógeno verde en la Región de Magallanes. Tendrá una capacidad de 1 MW, con la aplicación en las estaciones de carga de vehículos y para alimentar el horno de la planta de fraccionamiento de ENAP de Cabo Negro. La infraestructura será desarrollada por la empresa alemana Neuman & Esser. Entrada en operación: finales 2025¹³³.
- ENAP (junio 2024): Grupo de iniciativas en los sectores de Laredo, Gregorio y Cabo Negro, para generar infraestructura habilitante para el desarrollo de hidrógeno verde en la región de Magallanes¹³⁴.
- ENAP (julio 2023): Firma de acuerdo con Total Energies Chile, HIF Chile, FreePower Group, Grupo EDF, RWE y HNH Energy para generar el mayor desarrollo de infraestructuras logísticas de hidrógeno verde y derivados en el país. ENAP, sellaron una alianza para transformar dicha infraestructura en un nuevo complejo industrial de gran escala para el despliegue de la industria del hidrógeno.
- EDF, publicación de un “estudio de prefactibilidad para para un proyecto de combustible sintético en la región de Magallanes basado en hidrógeno verde”¹³⁵. Este estudio fue remitido al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y al (marzo 2022). El estudio se focaliza en la producción de hidrógeno verde a partir de energía eólica generada en la Región de Magallanes y valorar la producción de combustibles sintéticos derivados sus brechas y oportunidades.
- Proyecto HOASIS – TCI group: Instalación de 3.000 MW en plantas de electrólisis con una producción de 133.000 t de H₂/año. Usos para la movilidad en la minería, vehículos pesados, industria termo intensiva y producción de amoníaco (NH₃)¹³⁶.
- HARU ONI - HIF: Actualmente en operación. La planta utiliza energía renovable procedente del viento y un proceso de electrólisis para producir hidrógeno verde. El proyecto captura CO₂ de una fuente biogénica y a través de un proceso de síntesis combina el CO₂ y el hidrógeno para producir combustibles sintéticos, entre ellos gasolina neutra en carbono (E-Gasolina) y gas licuado neutro en carbono (E-GL) a partir de metanol. En el proyecto participan: HIF, Enel, Siemens Energy, Gasco, ENAP, Porsche, Exxon Mobil. Produce 130 kL/año de combustibles sintéticos¹³⁷.
- Lighthouse e-Fuel in Chile. Front-End Engineering Design (FEED) for the realisation of a Power-to-Liquid (PtL) plant” (julio-2024): Desarrollado por INERATEC en colaboración con la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en el marco del Proyecto Faro e-Fuel en Chile del Programa H2Uppp. Realiza un Estudio de Diseño de Ingeniería Frontal (FEED) para evaluar la viabilidad técnica y comercial de una planta PtL para producir 50.000 t/a de combustibles sintéticos, utilizando aproximadamente 23.000 t/a de H₂ verde y reciclando hasta 170.000 t/a de CO₂¹³⁸.
- Planta piloto producción combustibles sintéticos (2025): Desarrollado por Arauco, COPEC, ABASTIBLE e INERATEC desarrollará a través de la producción de hidrógeno renovable y CO₂ biogénico propio la producción de combustibles sintéticos o e-fuels.
- Proyecto Volta – MAE- Antofagasta: Ubicado en Mejillones, una de las principales zonas portuarias del país. Producción de 600.000 toneladas de amoníaco verde por año. Inicio de la producción en 2027¹³⁹.

¹³³ Enap: adjudica construcción de su primera planta de hidrógeno verde – abril 2024

¹³⁴ Enap: expone avances en Hidrógeno Verde al presidente Boric – junio 2024

¹³⁵ EDF: “Prefeasibility study for a synthetic fuel project in the Magallanes region based on green hydrogen” marzo 2022

¹³⁶ TCI Group: Proyecto HOASIS - 2025

¹³⁷ HIF - Haru Oni - 2025

¹³⁸ Ineratec: Project Lighthouse e-Fuel in Chile – octubre 2024

¹³⁹ MAE - Proyecto Volta - 2025

- Proyecto INNA- Taltal- Antofagasta: Proyecto liderado por AES Andes, para la producción a gran escala de hidrógeno verde y amoniaco. Estimada producción de 116.000 t/año de amoniaco y 101.000 t/año de hidrógeno verde. En diciembre de 2024 inició tramitación del Estudio de Impacto Ambiental¹⁴⁰.

¹⁴⁰ AES Chile ingresa al SEA Evaluación de Impacto Ambiental del proyecto INNA – diciembre 2024

ANEXO 10 – PRINCIPALES ÓRGANOS DE GOBIERNO DE LA AVIACIÓN EN CHILE

- Junta de Aeronáutica Civil (JAC): Dependiente del MTT. Ejerce la dirección superior de la aviación civil en Chile, gestionando políticas públicas que promuevan su desarrollo y, especialmente, el del transporte aéreo comercial nacional e internacional, con el fin de que exista la mayor cantidad de servicios aéreos accesibles, eficientes, competitivos, seguros y de calidad.
- Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC): Desarrolla la dirección, organización y control superior de los recursos humanos, materiales, financieros y de información para las actividades aeronáuticas. Genera y recauda todas las tasas del sector que permitan financiar todas el SAN.

La DGAC, administra directamente 101 aeropuertos (propiedad fiscal), donde presta servicios aeroportuarios y de navegación aérea, además de ejercer labores de fiscalización y control, las que realiza también en la totalidad de la Red Aeroportuaria Nacional.

- Ministerio de Obras Públicas (MOP): Encargado de desarrollar y mantener la red aeroportuaria del país.
- Dirección de Aeropuertos (DAP): Dependiente del MOP se encarga de dotar los servicios de infraestructura aeroportuaria asegurando las necesidades de los usuarios del sistema de transporte aéreo y la conectividad nacional e internacional del país.
- Sistema Aeronáutico Nacional (SAN): Es el conjunto de organismos estatales, la normativa aeronáutica, la infraestructura aeronáutica, los operadores del sistema y los usuarios. El SAN provee servicios aeroportuarios y de navegación aérea a sus usuarios, a fin de dar conectividad e integración territorial al país, incentivar el desarrollo económico y social, y prestar un servicio en beneficio del bien común.
- Red Aeroportuaria Nacional: En Chile existe una extensa red aeroportuaria compuesta por 344 Aeródromos, 102 Helipuertos y 7 Aeropuertos distribuidos desde Arica a la Antártica, incluyendo los territorios insulares. (111 aeropuertos administrados directamente por DGAC).

De los 344 aeródromos:

- 16 pertenecen a la Red Primaria
- 14 pertenecen a la Red Secundaria
- 303 pertenecen a la Red de Pequeños Aeródromos
- 11 pertenecen a la Red de Aeródromos Militares

ANEXO 11 - CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD CORSIA

Según el documento de la OACI sobre los criterios de sostenibilidad CORSIA para combustibles elegibles del CORSIA (ICAO – Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels)¹⁴¹.

Capítulo 1: Criterios de sostenibilidad del CORSIA aplicables a los lotes de combustible elegible para CORSIA producido por un productor de combustible certificado antes del 01 de enero de 2024.

Tabla 33. Criterios de sostenibilidad CORSIA - Capítulo 1.

Theme	Principle	Criteria
1. Greenhouse Gases (GHG)	Principle: CORSIA eligible fuel should generate lower carbon emissions on a life cycle basis.	Criterion 1.1: CORSIA eligible fuel will achieve net greenhouse gas emissions reductions of at least 10% compared to the baseline life cycle emissions values for aviation fuel on a life cycle basis.
2. Carbon stock	Principle: CORSIA eligible fuel should not be made from biomass obtained from land with high carbon stock.	Criterion 2.1: CORSIA eligible fuel will not be made from biomass that is either obtained from land converted after 1 January 2008 that was primary forest, wetlands, or peat lands or contributes to degradation of the carbon stock in primary forests, wetlands, or peat lands as these lands all have high carbon stocks.
		Criterion 2.2: In the event of land use conversion after 1 January 2008, as defined based on the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) land categories, direct land use change (DLUC) emissions will be calculated. If DLUC greenhouse gas emissions exceed the default induced land use change (ILUC) value, the DLUC value will replace the default ILUC value.

Capítulo 2: Criterios de sostenibilidad del CORSIA aplicables a los lotes de combustible elegible para CORSIA producido por un productor de combustible certificado a partir del 01 de enero de 2024 o después.

¹⁴¹ ICAO document - CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels – noviembre 2022

Tabla 34. Criterios de sostenibilidad CORSIA - Capítulo 2.

Theme	Principle	Criteria
1. Greenhouse Gases (GHG)	Principle: CORSIA SAF should generate lower carbon emissions on a life cycle basis.	Criterion 1.1: CORSIA SAF will achieve net greenhouse gas emissions reductions of at least 10% compared to the baseline life cycle emissions values for aviation fuel on a life cycle basis.
2. Carbon stock	Principle: CORSIA SAF should not be made from biomass obtained from land/aquatic systems with high biogenic carbon stock.	<p>Criterion 2.1: CORSIA SAF will not be made from biomass that is either obtained/extracted from land or aquatic ecosystems converted after 1 January 2008 that was primary forest, wetlands, peat lands, coral reefs, kelp forests, seagrass meadows, estuaries, tidal salt marshes or mangrove forests or contributes to degradation of the carbon stock in primary forests, wetlands, peat lands, coral reefs, kelp forests, seagrass meadows, estuaries, tidal salt marshes or mangrove forests as these systems all have high carbon stocks.</p> <p>Criterion 2.2: In the event of land use conversion after 1 January 2008, as defined based on the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) land categories, direct land use change (DLUC) emissions will be calculated. If DLUC greenhouse gas emissions exceed the default induced land use change (ILUC) value, the DLUC value will replace the default ILUC value.</p>
3. Greenhouse gas Emissions Reduction Permanence	Principle: Emissions reductions attributed to CORSIA SAF should be permanent.	Criterion 3.1: Operational practices will be implemented to monitor, mitigate and compensate any material incidence of non-permanence resulting from carbon capture and sequestration (CCS) activities.
4. Water	Principle: Production of CORSIA SAF should maintain or enhance water quality and availability.	<p>Criterion 4.1: Operational practices will be implemented to maintain or enhance water quality.</p> <p>Criterion 4.2: Operational practices will be implemented to use water efficiently and to avoid the depletion of surface or groundwater resources beyond replenishment capacities.</p>

5. Soil	Principle: Production of CORSIA SAF should maintain or enhance soil health.	Criterion 5.1: Agricultural and forestry best management practices for feedstock production or residue collection will be implemented to maintain or enhance soil health, such as physical, chemical and biological conditions.
6. Air	Principle: Production of CORSIA SAF should minimize negative effects on air quality.	Criterion 6.1: Air pollution emissions will be limited.
7. Conservation	Principle: Production of CORSIA SAF should maintain biodiversity, conservation value, and ecosystem services.	Criterion 7.1: CORSIA SAF will not be made from biomass obtained from areas that, due to their biodiversity, conservation value, or ecosystem services, are protected by the State having jurisdiction over that area, unless evidence is provided that shows the activity does not interfere with the protection purposes.
		Criterion 7.2: Low invasive-risk feedstock will be selected for cultivation and appropriate controls will be adopted with the intention of preventing the uncontrolled spread of cultivated alien species and modified microorganisms
		Criterion 7.3: Operational practices will be implemented to avoid adverse effects on areas that, due their biodiversity, conservation value, or ecosystem services, are protected by the State having jurisdiction over that area.
8. Waste and Chemicals	Principle: Production of CORSIA SAF should promote responsible management of waste and use of chemicals.	Criterion 8.1: Operational practices will be implemented to ensure that waste arising from production processes as well as chemicals used are stored, handled, and disposed of responsibly.
		Criterion 8.2: Responsible and science-based operational practices will be implemented to limit or reduce pesticide use.
		Criterion 8.3: Operational practices will be implemented to prevent, minimize, and mitigate any damage from unintentional release of fossil resources, fuel products, and/or other chemicals.
9. Seismic and Vibrational Impacts	Not applicable	Not applicable
10. Human and labour rights	Principle: Production of CORSIA SAF should respect human and labour rights.	Criterion 10.1: CORSIA SAF production will respect human and labour rights.

11. Land use rights and land use	Principle: Production of CORSIA SAF should respect land rights and land use rights including indigenous and/or customary rights.	Criterion 11.1: CORSIA SAF production will respect existing land rights and land use rights including indigenous peoples' rights, both formal and informal.
12. Water use rights	Principle: Production of CORSIA SAF should respect prior formal or customary water use rights.	Criterion 12.1: CORSIA SAF production will respect the existing water use rights of local and indigenous communities.
13. Local and social development	Principle: Production of CORSIA SAF should contribute to social and economic development in regions of poverty.	Criterion 13.1: CORSIA SAF production will strive to, in regions of poverty, improve the socioeconomic conditions of the communities affected by the operation.
14. Food security	Principle: Production of CORSIA SAF should promote food security in food insecure regions.	Criterion 14.1: CORSIA SAF production will, in food insecure regions, strive to enhance the local food security of directly affected stakeholders.

ANEXO 12 – OTRAS OPORTUNIDADES INNOVADORAS PARA LA CAPTURA DE CO₂ EN CHILE

DAC Direct Air Capture

Hasta hace muy poco el DAC, como una solución para eliminar emisiones de CO₂, se consideraba algo muy lejano, incluso hoy, para muchos, lo siguen viendo como una solución inviable por las barreras tecnológicas y sobre todo económicas que tiene.

Sin embargo, hoy el DAC, como una alternativa para el Carbon Dioxide Removal (CDR), mediante el Carbon Capture Storage (CCS) or Carbon Capture Utilization (CCU), ha alcanzado un punto de no retorno en su desarrollo, donde los gobiernos, inversores y empresas, consideran el DAC como una solución indispensable para dar cumplimiento con los ambiciosos objetivos globales para la reducción de emisiones. El IPCC, declaró “Urgencia de una Acción Climática Integrada a Corto Plazo” y, según sus estimaciones, para alcanzar las emisiones netas cero en 2050, será necesario eliminar de la atmósfera hasta 10.000 Mt de CO₂ al año¹⁴².

El DAC, como tecnología de captura de CO₂ para ser almacenado o utilizado (producción de combustibles sostenibles) es un componente clave para ayudar a alcanzar el objetivo global de cero emisiones o la descarbonización de aquellas industrias cuyas emisiones son difíciles de abatir como el sector aeronáutico. En este sentido la Agencia Internacional de Energía (AIE) estima que la necesidad de almacenamiento de CO₂ debe pasar de las 40 Mt/año actuales a 5.000 Mt/año a mediados de siglo para cumplir con los objetivos de cero emisiones en el 2050¹⁴³.

La concentración de CO₂ en el aire es muy similar en cualquier parte del mundo (aproximadamente un 0,4%), donde generalmente el aire es muy limpio y el CO₂ extraído tiene una pureza muy alta. Aunque todavía existe un proceso de aprendizaje para analizar cómo podrían variar los rendimientos en lugares con variables atmosféricas extremas. Pese a su baja concentración el DAC es 100 veces más eficiente en términos de suelo que la captura de CO₂ a través de la reforestación¹⁴⁴.

El gran inconveniente del SAF estriba en los costos de producción, se estima que puede estar entre 500 y 1000 dólares por tonelada de CO₂ capturada. Estos costos actuales hacen inviable, incluso en Chile poder tener un SAF PtL a un precio competitivo. Sin embargo, hay que estar atentos a su bajada paulatina basados en la mejora tecnológica, la producción a gran escala y el apoyo financiero que el DAC podría aspirar alcanzar. En esta bajada paulatina, todos los esfuerzos están dirigidos a que el DAC alcance los 100 dólares de costo en el 2050¹⁴⁵.

En Chile, en áreas como Magallanes, con unos factores de eficiencia extraordinarios para la producción de energía eólica, la implementación del DAC puede estar más próxima. En este sentido el proyecto Haru Oni contempla el DAC como potencial fuente de CO₂ en su desarrollo comercial.

La captura de CO₂ del agua

¹⁴² IPCC - Urgent climate action can secure a liveable future for all (2023)

¹⁴³ IEA - The world has vast capacity to store CO₂: Net zero means we'll need it – Analysis (2021)

¹⁴⁴ World Resources Institute: DAC - 6 Things To Know (2022)

¹⁴⁵ Forbes - Will Direct Air Capture Ever Cost Less Than \$100 Per Ton Of CO₂? (2024)

La captura de CO₂ del agua, es una tecnología en investigación, siendo una oportunidad que debe ser considerada y analizada en Chile por las autoridades e instituciones de I+D como potencial componente de apoyo en la transición energética y descarbonización del país. El agua del mar, un recurso prácticamente ilimitado, es fácilmente accesible gracias a los más de 4.300 km de costa que posee el país.

Su objetivo es la eliminación de concentraciones de CO₂ en el mar. Aunque es un concepto aún en desarrollo y su nivel de investigación actualmente es menos intensivo que otras tecnologías de captura de carbono como el DAC, tiene un gran potencial para un futuro desarrollo a gran escala.

En este contexto, al igual que el DAC, ofrece una solución para capturar CO₂ en aquellas áreas de Chile donde no existen fuentes puntuales de CO₂, pero sí una gran capacidad para generar energía renovable a costos muy bajos. Esto facilitaría el impulso de la producción de combustibles sostenibles, especialmente SAF PtL. El despliegue de plantas desalinizadoras, tanto existentes como futuras, especialmente en el norte de Chile, podría generar sinergias y eficiencias significativas (La red de plantas desalinizadoras existentes y planificadas en Chile abre un nuevo campo de investigación relacionado con la captura de CO₂, enfocándose específicamente en su extracción a partir de la salmuera generada durante el proceso de desalinización).

La idea principal de esta tecnología es extraer el CO₂ disuelto en el agua del mar y, al igual que otras tecnologías de captura, almacenarlo o utilizarlo en materia prima para transformarlo en productos como combustibles. Los océanos ya desempeñan un papel crucial como sumideros naturales de carbono, absorbiendo grandes cantidades de CO₂ de la atmósfera. Sin embargo, a medida que los niveles de CO₂ continúan aumentando, también lo hace la acidez del océano, lo que afecta negativamente a los ecosistemas marinos, incluyendo a los corales y los peces.

Una de las principales ventajas de la captura del CO₂ del mar es su capacidad para desarrollar proyectos a gran escala sin requerir grandes extensiones de terreno. Además, la concentración de CO₂ en el océano es aproximadamente 150 veces mayor que en la atmósfera¹⁴⁶. Esta alta concentración permite, a su vez, potencialmente reducir los costos de captura en comparación con tecnologías como el DAC.

Son pocas las empresas involucradas en el desarrollo de esta tecnología también conocida como Direct Ocean Capture (DOC), pero cada vez son más las que se están incorporando con objetivos muy ambiciosos. Un ejemplo es “Sea02”, una empresa derivada de la Universidad Técnica de Delft en los Países Bajos, que tiene como objetivo capturar 250 toneladas de CO₂ este año, con un plan de incremento progresivo para alcanzar hasta 1 millón de toneladas antes de 2045¹⁴⁷.

¹⁴⁶ Decarbonfuse: Direct Ocean Capture: The Next Frontier in Carbon (2024)

¹⁴⁷ World Economic Forum - Direct Ocean Capture: A new way to remove CO₂ from the sea (2024)

ANEXO 13 – PLANTAS DESALINIZADORAS EN OPERACIÓN

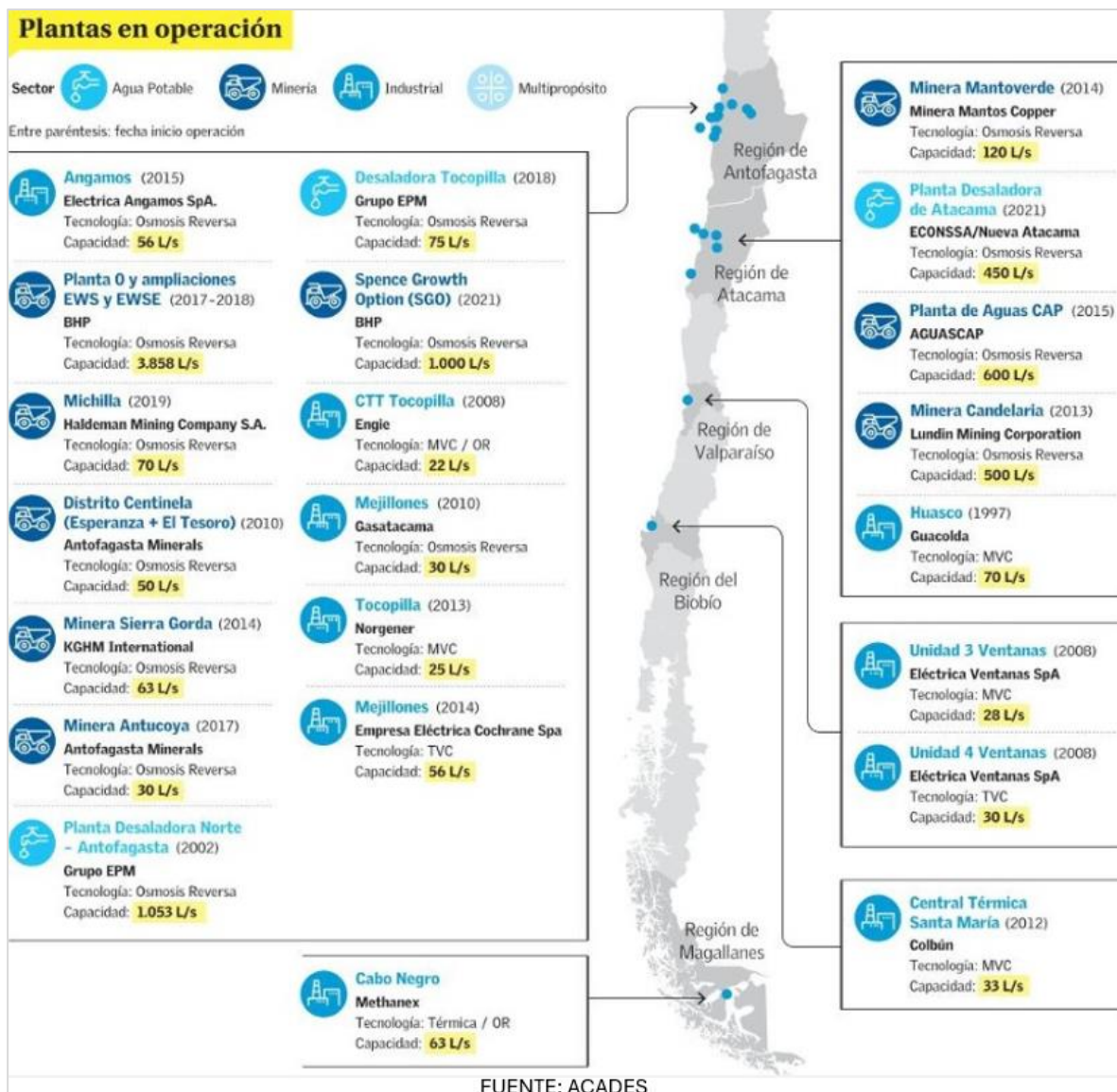



Figura 71. Plantas desalinizadoras en operación.

ANEXO 14 – PROJECT LIGHTHOUSE – LOCALIZACIONES

Project Lighthouse e-Fuel in Chile – GIZ / Ineratec – Localizaciones plantas SAF PtL



Nombre	CO ₂ Industrial > 170.000 t/a	CO ₂ Biogénico > 170.000 t/a	Fuentes potenciales de gas de síntesis	Agua	Electricidad	H ₂
Sitio Potencial N°1 - La Negra (Antofagasta)	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sitio Potencial N°3 - Tiltil (RM)	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Sitio Potencial N°4 - Graneros (Rancagua)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Sitio Potencial N°5 - Maule	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Sitio Potencial N°6 - Ñuble	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Sitio Potencial N°7 - Cabrero (zonas N°7 & 11)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Sitio Potencial N°9 - Coronel (zonas N°8, 9 & 10)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Sitio Potencial N°12 - Lautaro	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Sitio Potencial N°14 - Puerto Montt	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Sitio Potencial N°16 - Cabo Negro (Magallanes)	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>

Fuente: Project Lighthouse e-Fuel in Chile – GIZ / Ineratec

Figura 72. Proyecto Lighthouse - localizaciones.

ANEXO 15 – INCENTIVOS INTERNACIONALES

Tabla 35. Políticas medioambientales de la OACI sobre combustibles de aviación.

Date	State (organization)	Policy Title	Policy Description	Status	Source (weblink)
18-abr-2018	United Kingdom	Renewable Transport Fuel Obligation (RTFO)	The Renewable Transport Fuel Obligation (RTFO) rewards SAF production with the same economic incentives given to road vehicles.	adopted	https://www.icao.int/Meetings/Stocktaking2020/Documents/CAO%20Stocktaking%202020%20-%203.4.1%20-%20Cesar%20Velarde.pdf https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/880023/rtfo-guidance-part-1-process-guidance-year-2019-guidance-document.pdf
27-jun-2018	ICAO (International)	CORSIA	CORSIA allows airlines to reduce their offsetting requirements with the use of CORSIA eligible fuels, which include Sustainable Aviation Fuels and Lower Carbon Aviation Fuels.	adopted	https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/CORSIA-Eligible-Fuels.aspx
27-sep-2018	United States (California)	Low Carbon Fuel Standard (LCFS)	crediting for fuel pathways and projects, based on a carbon intensity score	adopted	https://ww2.arb.ca.gov/news/carb-amends-low-carbon-fuel-standard-wider-impact https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/low-carbon-fuel-standard
25-nov-2021	Brazil	National Biokerosene Programme	The policy directs federal agencies and institutions to provide resources to SAF projects, as well as fiscal incentives.	adopted	https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2021/lei-14248-25-novembro-2021-791992-publicacaooriginal-163943-pl.html
25-nov-2021	Brazil	National Biokerosene Programme	The policy directs federal agencies and institutions to provide resources to SAF projects, as well as fiscal incentives.	adopted	https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2021/lei-14248-25-novembro-2021-791992-publicacaooriginal-163943-pl.html
07-abr-2022	United States	Renewable Diesel and Sustainable Aviation Fuel Parity Act	The Renewable Diesel and Sustainable Aviation Fuel Parity Act of 2022 will: Require the Energy Information Administration to report on U.S. production and foreign imports of renewable diesel and sustainable aviation fuel, including the type, origin, and volume of feedstocks used for these fuels; Allow renewable diesel and sustainable aviation fuel production facilities to qualify for the Department of Energy's Title XVII loan guarantees under the Energy Policy Act of 2005; and Exempt renewable diesel that meets the same technical specifications as petroleum-based diesel from the labeling section of the Energy Independence and Security Act of 2007.	adopted	https://www.feinstein.senate.gov/public/index.cfm/press-releases?id=AEF39DCE-B703-4B9F-98ED-BB0BF6ACD749
16-ago-2022	United States	Inflation Reduction Act (SAF blenders tax credit)	The bill provides a \$1.25 per-gallon credit for each gallon of SAF sold as part of a qualified fuel mixture, including that it has a demonstrated lifecycle greenhouse gas (GHG) reduction of at least 50 percent compared to conventional jet fuel. The credit, available for two years beginning January 1, increases up to \$1.75 per gallon on a sliding scale based on the percentage of lifecycle GHG emissions reduced beyond 50 percent. Beginning in 2025, SAF would be eligible for credits up to \$1.75 per gallon under a new Clean Fuel Production Credit (CFPC). That credit is set to expire at the end of 2027.	adopted	https://www.aionline.com/aviation-news/business-aviation/2022-08-15/house-clears-way-saf-blenders-tax-credit
10-feb-2023	United States (Washington)	Washington State Senate Bill 5447	the bill aims to create a preferential business and operations (B&O) tax rate of 0.275 percent for the manufacturing and wholesaling of alternative jet fuels. The B&O tax is Washington's major business tax. According to a legislative documents, the B&O tax is imposed on the gross receipts of business activities conducted within the state, without any deduction for the cost of doing business. Some current B&O tax rates include 0.471 percent for retailing and 0.484 percent for manufacturing, wholesaling and extracting. The bill would also establish a B&O and public utilities tax credit for certain sales and purchases of alternative jet fuel. The amount of the credit would be \$1 per gallon of alternative jet fuel that has at least 50 percent less carbon dioxide equivalent emissions than conventional jet fuel. The credit would increase by 2 cents for each additional 1 percent reduction beyond 50 percent, with a cap of \$2 per gallon. Eligibility for the credit for sales of alternative jet fuel would be limited to businesses located in a qualifying county or a businesses' designated alternative jet fuel blender located in Washington. A qualifying county is a county that has a population of less than 650,000. The credits could only be earned on purchases of alternative jet fuel for flights departing Washington.	adopted	https://biomassmagazine.com/articles/19812/washington-senate-passes-bill-to-establish-saf-tax-credits
13-feb-2023	United States (Illinois)	Invest in Illinois Act	This legislation in Illinois provides a tax credit of \$1.50 per gallon for SAF used by aircraft in the state. For the SAF to qualify for the credit, it must reduce carbon emissions by at least 50% throughout its life. The credit applies to all SAF used in Illinois, regardless of where it is produced. However, credits for SAF used before June 1, 2028, must come from renewable sources such as biomass, waste streams, renewable energy, or aqueous carbon oxides. The tax credit will be available until January 1, 2033.	adopted	https://www.knowesg.com/regulators/illinois-passes-sustainable-aviation-fuel-saf-law-07022023
04-sep-2023	United Kingdom	revenue certainty scheme	the government has committed to introduce a revenue certainty scheme as part of the UK's world-leading sustainable aviation fuel (SAF) programme, helping create new jobs and grow the economy as part of the Energy Bill, the government has tabled legislation that will launch a consultation on options for designing and implementing the scheme this will positively contribute towards government's ambitious commitment of having at least 5 commercial SAF plants under construction in the UK by 2025 and cement the UK's status as a world leader in this industry	under development	https://www.gov.uk/government/news/new-measures-to-support-sustainable-aviation-fuel-industry
25-sep-2023	United States	FAST-SAF and FAST-TECH Grant Programme	The Department of Transportation (DOT), Federal Aviation Administration (FAA) announces the opportunity to apply for funds for the FAA Fueling Aviation's Sustainable Transition (FAST) Grant Program, established under Section 40007 of the Inflation Reduction Act of 2022. The grant program will have elements focused on sustainable aviation fuel (SAF), to be termed FAST-SAF, and elements focused on low-emission aviation technologies, to be termed FAST-Tech. The amount of available funding for the FAST Grant Program is \$244.53M and \$46.53M for FAST-SAF and FAST-Tech, respectively. The purpose of the FAST Grant Program is to make grants available to eligible entities for projects that support sustainable aviation fuels and low-emission aviation technologies in line with the goals of the United States Aviation Climate	adopted	https://www.grants.gov/web/grants/view-opportunity.html?oppld=350315
14-dic-2023	Japan	2024 Tax Reform Framework	Japan's ruling Liberal Democratic Party (LDP) has submitted a proposal to reform the country's taxation system, offering tax credits for strategically important products such as electric vehicles (EVs) and sustainable aviation fuel (SAF), to promote domestic investment.	under development	https://www.argusmedia.com/en/news-and-insights/latest-market-news/2518984-japan-proposes-tax-credits-for-ev-saf-investment
22-may-2024	United States	Nebraska production tax credit for SAF	Nebraska Gov. Jim Pillen has signed into law LB 937, which includes establishing a production tax credit for sustainable aviation fuel (NAF) in Nebraska. Ethanol and oils from corn and soybean processing serve as low-carbon, low-cost feedstocks for the production of SAF, which can reduce emissions by more than 50 percent compared to conventional jet fuel, according to NEB. LB937 establishes an income tax credit for the production of SAF beginning in 2027.	adopted	https://www.wastetodaymagazine.com/news/nebraska-governor-signs-landmark-saf-legislation-into-law/

ANEXO 16 - BASES REGULATORIAS EN CHILE CON IMPACTO EN EL DESARROLLO DEL SAF

Normativa para luchar contra el cambio climático y desarrollar la transición energética

- Plan de Acción Nacional del Cambio Climático 2017-2022 -PANCC II- (2017): Actualización de PANCC 2008-2012: Establece un paquete de medidas para el desarrollo de la política de cambio climático. Identifica cuatro ejes de acción: mitigación, adaptación, medios de implementación, y gestión del cambio climático a nivel regional y comunal.
- Plan de Adaptación al Cambio Climático para el Sector Energía 2018-2023 del MEN (diciembre 2018) – Vigente hasta el 31 de dic. del 2023.
- En el año 2020 actualizó su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) y se comprometió a ser carbono-neutral al 2050. La NDC establece una meta absoluta incondicional expresada a través de un presupuesto de carbono de 1.100 MtCO₂eq para el período 2020-2030, el establecimiento de un pico para las emisiones en el 2025, un presupuesto de 95 MtCO₂eq en 2030.
- Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (ENH₂V) (noviembre 2020): Establece los pilares para la transformación para ser un productor líder mundial en la producción de H₂V. Las principales metas de la estrategia para los años 2025 y 2026:
 - Top 1 inversiones en hidrógeno verde en Latinoamérica - 2025
 - Producción de 200 kt/año en al menos 2 polos de hidrógeno verde – 2025
 - Líder exportador global de hidrógeno verde y sus derivados - 2030
 - El hidrógeno verde más barato del planeta - 2030
 - Líder productor global de hidrógeno verde por electrólisis - 2030
- Estrategia Climática a Largo Plazo – ECLP (octubre 2021): Establece las emisiones máximas por sector económico para cumplir el presupuesto nacional de emisiones de carbono máximo para el periodo 2020-2030 de 1.100 MtCO₂eq. Esto equivale a un esfuerzo indicativo de mitigación para el periodo 2020-2030 de 57,4 MtCO₂eq.

Sus metas principales:

- 2025, retirar y/o reconvertir el 65% de las unidades generadoras termoeléctricas a carbón del sistema eléctrico nacional. 2030, 80% de generación eléctrica procedente de energía renovable
 - Promover retirar y/o reconvertir totalmente las centrales a carbón del sistema eléctrico nacional en los primeros años de la próxima década.
 - 2040, 20% de la matriz de combustibles sea a base de hidrógeno
 - 20% en el 2040 y 40% en el 2050 reducción de las emisiones GEI vs 2018 en el sector transporte
 - 2040, reducción de un 20% de las emisiones directas de GEI provenientes del uso de combustibles en el sector transporte respecto al 2018 y de un 40% en el 2050.
 - 2040, tasa general de reciclaje ha alcanzado el 75%
 - 2050, 100% de generación eléctrica proviene de fuentes de energía cero emisiones
 - 2050, al menos un 70% de combustibles cero emisiones en los usos energéticos finales no eléctricos.
- COP26 (noviembre 2021): Presentación de la ECLP en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático¹⁴⁸.

¹⁴⁸ MinCiencia - Chile entrega ECLP a la secretaria ejecutiva de ONU Cambio Climático (2021)

- Política Energética Nacional (PEN) (Actualización febrero 2022)
 - 100% cero emisiones generación eléctrica 2050 / 80% energías renovables 2030
 - Reducción 60% en 2050 vs 2018 emisiones GEI sector energético (para alcanzar carbono neutralidad antes 2050)
 - 70% combustibles cero emisiones usos finales energéticos no eléctricos en el 2050, con un 15% en el 2035.
 - Asegurar las infraestructuras necesarias para la incorporación de combustibles cero emisiones en el transporte
- Ley Marco de Cambio Climático (LMCC) (junio 2022): Crea un marco jurídico para afrontar al cambio climático con una visión a largo plazo y estar alineado con los compromisos internacionales. Establece la meta para ser un país carbono neutral antes del 2050. Incorpora metas e instrumentos procedentes de la NDC y la ECLP, dándoles un carácter vinculante. Mandata la formalización e institucionalidad a los respectivos ministerios para el desarrollo de “planes de adaptación y mitigación sectorial” para cumplimiento a sus respectivos presupuestos de emisiones acordados en la ECLP.
- Agenda inicial para un Segundo Tiempo de la Transición Energética MEN (abril 2023): El objetivo es el desarrollo de nuevas iniciativas con el objetivo de avanzar hacia una descarbonización acelerada de la matriz eléctrica.
- Plan de Acción 2023-2030 de Hidrógeno Verde (abril 2024) definirá la hoja de ruta para el despliegue del hidrógeno verde en Chile y poner en marcha las acciones necesarias para avanzar en el cumplimiento de los objetivos de la ENH2V. El plan de acción tiene como misión desarrollar una serie de hitos temporales que permite la habilitación y desarrollo de la industria.
- Anteproyecto del Plan Sectorial de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático del Sector Transporte (mayo 2024)¹⁴⁹ – MTT
- Estrategia de Adaptación del Sector Energía a la Crisis Climática (Jul 2024): Tiene como objetivo desarrollar una hoja de ruta hacia 2050 que oriente y materialice las transformaciones requeridas en el sector energía para la recuperación de la crisis climática. Esta hoja de ruta considerará los desafíos actuales y futuros para avanzar en la ambición climática de Chile.
- Plan Sectorial de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático del Sector Energía - PSMYA Energía (diciembre 2024)¹⁵⁰ – MEN (en desarrollo): Plan vinculante, a cargo del MEN que establece el conjunto de acciones y medidas que permita cumplir las metas de emisiones asignado al sector por la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP). El sector de energía representa el 75% de GEI totales del país al 2020 y tiene a su cargo el 70% del esfuerzo de mitigación de emisiones del país necesarios para no sobrepasar el presupuesto de carbono nacional comprometido en la NDC.
- Por el uso de combustibles de aviación establece una mitigación esperada da 40-50 ktCO₂eq en el periodo 2020-2030, cuyo porcentaje de responsabilidad se distribuye en un 80% y 20% el MEN y el MTT respectivamente. Para el periodo 2020-2050 la mitigación esperada es de 9.790 - 11.960 ktCO₂eq.
- La Planificación Energética de Largo Plazo -PELP- (diciembre 2024): Reglamento de la Ley General de Servicios Eléctricos. Tiene por objetivo cada cinco años, el Ministerio de Energía deberá desarrollar un proceso de planificación energética de largo plazo, para los distintos escenarios energéticos de expansión de la generación y del consumo, en un horizonte de al menos treinta años. El informe final del nuevo proceso quinquenal PELP 2023-2027 fue publicado en diciembre de 2024¹⁵¹.

¹⁴⁹ MMT – Programa de viabilidad y transporte urbano - anteproyecto PSMYA sector transporte (2024)

¹⁵⁰ MEN -Proyecto_definitivo_plan_sectorial_energia PSMYA Energía (2024)

¹⁵¹ MEN – Planificación Estratégica de Largo Plazo – Informe final (2024)

- Hoja de Ruta para una Transición Energética Acelerada Actualización – (diciembre 2024): Visión del Coordinador Eléctrico Nacional para una transición energética acelerada, junto con las iniciativas, propuestas, y decisiones mínimas necesarias para preparar el sistema eléctrico y posibilitar un escenario de generación 100% renovable.

Normativa específica para la descarbonización del sector aeronáutico

- La Junta Aeronáutica Civil en fecha 13 de diciembre de año 2017, estableció que la DGAC sería la institución técnica responsable de la implementación del CORSIA¹⁵².
- Lanzamiento por OACI en enero del 2019 de CORSIA (Norma aeronáutica esquema de compensación y reducción de emisiones para la aviación civil internacional).
- Plan de Acción para Reducir las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Provenientes de la Aviación Civil Internacional (marzo 2022). Tiene como objetivo alinear los objetivos para la reducción de emisiones de GEI de la aviación internacional con los objetivos nacionales de descarbonización y los establecidos a nivel internacional Presentado oficialmente a OACI¹⁵³.
- Hoja de Ruta SAF 2050 (agosto 2024): Promovido por el ME y MTT, tiene como objetivo construir una hoja de ruta para la producción de SAF, que involucre a todos los actores públicos y privados con el objetivo de alcanzar el 50% de consumo de SAF en el 2050.

Normativa específica para el desarrollo para la producción de combustibles sintéticos

- Desarrollo de Políticas para Combustibles Sintéticos¹⁵⁴ (marzo 2024): Resume el estado de todas las políticas o regulaciones que impactan en el futuro desarrollo de los combustibles sintéticos (ver Figura 73).

¹⁵² BCN – Resolución 970 Exenta CORSIA (2017)

¹⁵³ SUBREI - Plan de Acción Voluntario de Chile para la Reducción de Emisiones en el Transporte Aéreo Internacional (2022)

¹⁵⁴ MEN - Desarrollo de Políticas para Combustibles Sintéticos - Álvaro Ruiz (2024)



Figura 73. Políticas combustibles sintéticos.

Normativa relacionada con la gestión de residuos y su valorización energética

- Ley Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje (Ley REP) – (2016): Dicta que los productores son responsables de la organización y financiamiento de la gestión de residuos derivados de la comercialización de productos definidos como prioritarios en el mercado nacional. Establece la jerarquía en el manejo de residuos y su uso como valorización energética. Orden de preferencia: 1º Prevención en la generación de residuos 2º Reutilización 3º Reciclaje 4º Valorización energética 5º Eliminación.
- En relación con la valorización energética la ley REP la define como el empleo de un residuo con la finalidad de aprovechar su poder calorífico.
- Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos 2040 (enero 2020): Da cumplimiento al compromiso de Chile en su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC). Tiene como meta pasar de un 1% a un 66% de valorización de los residuos orgánicos generados a nivel municipal al 2040. Esta estrategia deja fuera los residuos de los sectores productivos.
- Establece otras metas como mecanismos de cobro para aquellos que generan residuos, o generación de incentivos para proyectos de valorización de residuos.
- Proyecto de Ley de Residuos Orgánicos (en desarrollo): Promueve la valorización de los residuos orgánicos y fortalece la gestión de los residuos a nivel territorial. Tiene por objeto disminuir la cantidad de residuos que se eliminan, previniendo su generación y fomentando su valorización a través de la instauración de obligaciones para el manejo diferenciado de los residuos orgánicos domiciliarios, el fortalecimiento de la planificación y la gobernanza de la gestión de los residuos, y el refuerzo del financiamiento del servicio de aseo municipal.