



HOJA DE RUTA SAF 2050

Combustibles de Aviación Sostenibles



Hoja de Ruta SAF 2050

Documento desarrollado colaborativamente por



Agencia de
Sostenibilidad
Energética



Vuelo limpio



BID

Apoyado por



ENAP

EQUIPO

- Ministerio de Energía: Karla Chace y Álvaro Ruiz.
- Junta de Aeronáutica Civil: Romina Altamirano, Sebastián Flores y Martín Mackenna.
- Agencia de Sostenibilidad Energética: Yerko Arteaga, Javiera Brañes, Fernanda Cabañas y Fabián Olave.
- Banco Interamericano de Desarrollo: Cristian Navas y Mariano Ansaldo.
- Equipo consultor: Mauricio Utreras y Constanza Montecinos.
- Empresa Nacional del Petróleo: Sebastián Córdova, Gina Gonthier, Marcelo Guerrero y Paulina Valenzuela.

DISEÑO

Margarita Valenzuela.

AGRADECIMIENTOS

El Ministerio de Energía, la Junta de Aeronáutica Civil del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones y la Agencia de Sostenibilidad Energética, a través del programa Vuelo Limpio, agradece a todas las personas y entidades que participaron en la Mesa SAF: a las y los presentadores y asistentes, al Comité Asesor y a las contrapartes técnicas de los Ministerios de Agricultura; Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación; Economía, Fomento y Turismo; Educación; Hacienda; Medio Ambiente; Obras Públicas; Relaciones Exteriores, y a la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC).

Se agradece también a Adriano Doniez, David Dueñas, Heinz Doebbel, Ignacio Rivas, Inmaculada Gomez, Löic Lespagnol, Marcelo Mendez y Margarita Amaya, por sus aportes a este documento.

Vuelo Limpio es un programa nacional y voluntario, gestionado por la Agencia de Sostenibilidad Energética y la Junta de Aeronáutica Civil, que busca avanzar en la sostenibilidad energética de la aviación en Chile.

Abril 2024





Contenido

| | |
|--|-----------|
| Palabras Autoridades | 4 |
| Resumen ejecutivo | 8 |
| Introducción | 11 |
| 1. Industria de la aviación y cambio climático | 13 |
| 1.1. Consumo de combustible y emisiones de GEI | 14 |
| 1.2. Transición energética como pieza clave en la descarbonización de la aviación | 15 |
| 2. Combustibles de Aviación Sostenibles (SAF) | 16 |
| 2.1. Las 5 claves de los SAF | 17 |
| 2.2. Capacidad de producción de SAF en el mundo | 22 |
| 2.3. Tratados y acuerdos internacionales para la reducción de GEI | 23 |
| 2.3.1. Políticas públicas para el uso de SAF en otros países | 23 |
| 2.3.2. Perspectiva nacional | 25 |
| 3. Hoja de Ruta | 28 |
| 3.1. Mesa SAF | 29 |
| 3.2. Visiones del sector Transporte y del sector Energía | 31 |
| 3.3. Oportunidades de desarrollo de SAF en Chile | 32 |
| 3.4. Los desafíos para el desarrollo de los SAF en Chile | 35 |
| 3.5. Aportando a la descarbonización de la aviación: nuestro camino a seguir | 38 |
| 3.6. Primeros hitos | 47 |
| 3.7. Implementación de la Hoja de Ruta SAF | 48 |
| ANEXO | 50 |
| Antecedentes de la Mesa SAF público-privada | |



Diego Pardow

Ministro de Energía

Desde el Ministerio de Energía reconocemos el impacto que generan los usos energéticos en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y, a su vez, priorizamos el avance de políticas públicas en pro de su mitigación y la adaptación al cambio climático. En esa vía, el programa Vuelo Limpio, en conjunto con el Ministerio de Energía, ha desarrollado importantes medidas vinculadas a la descarbonización de la aviación en Chile a través de la Hoja de Ruta SAF.

Durante el 2022, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), agencia especializada de la ONU, de la que nuestro país es un Estado miembro, asumió el compromiso que la aviación sea carbono neutral al año 2050. Para ello, estudios encargados por este organismo, han determinado que los Combustibles de Aviación Sostenibles (SAF), impulsarían las reducciones globales de CO₂. En ese sentido, se acordó un marco mundial para lograr la transición energética limpia en la aviación internacional, la que busca promover la producción y uso de SAF en todo el mundo, desafío plenamente en línea con lo convenido en la 28a Conferencia de las Partes (COP28) de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), donde se logró un acuerdo que busca dejar atrás el uso de combustibles fósiles al 2050.

Ahora bien, con el gran potencial de Chile en el desarrollo de energías renovables y nuevos energéticos, se evidencia una oportunidad para impulsar políticas que promuevan la producción y uso de SAF, aportando en el proceso de transición energética y descarbonización del país. Instrumentos como la Política Nacional de Energía; la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde y el Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023-2030;



junto a la Estrategia Nacional de Electromovilidad, son reflejo de los grandes esfuerzos que hemos impulsado en este ámbito.

De este modo, Chile se suma a las iniciativas internacionales y reconoce el rol de los SAF en la descarbonización del sector aeronáutico, resaltando la necesidad de explorar y desarrollar esta industria sostenible a nivel local. Al igual que el hidrógeno verde y sus derivados, los *e-fuels* o combustibles sintéticos constituyen una gran oportunidad para nuestro país, pero también plantea grandes desafíos para su escalamiento. Esta Hoja de Ruta propone las primeras acciones para ir disminuyendo esas brechas y estableciendo de manera segura y certera este nuevo potencial.

Para una adecuada implementación de la Hoja de Ruta SAF es primordial contar con la participación activa de todos los actores de la cadena de valor. En esta línea, la colaboración, tanto de entidades públicas como privadas, facilitarán el desarrollo de las propuestas contenidas en este documento.

El proceso de transición hacia una matriz energética de bajas emisiones, que permita enfrentar la crisis climática y alcanzar las metas de descarbonización a nivel global, ya está en marcha. Estoy seguro de que esta Hoja de Ruta SAF será un aporte para alcanzar dicho objetivo.



Juan Carlos Muñoz

Ministro de Transportes y Telecomunicaciones

Desde sus inicios en el siglo XX el transporte aéreo ha desempeñado un papel fundamental en la conectividad global brindando beneficios en áreas como el crecimiento económico, el desarrollo social, la facilitación del comercio y el turismo.

Chile por su geografía única y ubicación han hecho que el transporte aéreo sea indispensable para conectar ciudades de manera eficiente, rápida y segura, tanto dentro como fuera de nuestras fronteras.

Este rol primordial de conexión que juega el sector y los desafíos de cuidado con el planeta que plantea el escenario mundial, hacen que sea crucial enfocar los esfuerzos para hacer de la aviación una herramienta que permita alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Para esto, debemos trabajar incansablemente a través de un manejo equilibrado de las esferas económica, social y medioambiental.

Nuestro país está firmemente comprometido con la descarbonización y en esto el transporte enfrenta un gran desafío. Este sector es responsable del 25% de las emisiones de gases de efecto en el territorio nacional y es por esto que se han implementado una serie de políticas y medidas destinadas a mitigar las emisiones, las cuales están estrechamente ligadas a la promoción de la electromovilidad y al uso de nuevas fuentes energéticas como el Hidrógeno Renovable. Como Gobierno tenemos la determinación de seguir avanzando en esta dirección, buscando impulsar soluciones innovadoras y sostenibles para el transporte.

En el ámbito del transporte aéreo internacional existe un compromiso mundial en alcanzar cero emisiones netas para el año 2050. Para esto se cuenta con una canasta de medidas propuestas por la Organización de Aviación



Civil Internacional (OACI) que cubren aspectos tecnológicos y operacionales, además de acciones centradas en el mercado y los Combustibles de Aviación Sostenibles, también conocidos como SAF.

La promoción de los SAF representa una de las medidas principales de la canasta porque se pueden aplicar en un corto y mediano plazo, permitiendo alcanzar resultados de reducción importante de las emisiones para esta industria difícil de abatir.

Para avanzar en estos ámbitos, en Chile el programa Vuelo Limpio, ejerciendo un rol de promotor de la colaboración público-privada, reunió a distintos actores de la industria, quienes destacaron la necesidad de iniciar acciones para desarrollar SAF en suelo nacional. A partir de ello surge la Mesa SAF, coordinada con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), que tuvo como objetivo reunir antecedentes para elaborar esta hoja de ruta. La que se plantea como el puntapié inicial de una serie de acciones que permitirán producir esta fuente alternativa de combustible.

El desarrollo de los SAF representa un aporte fundamental para la sostenibilidad del transporte aéreo. Como Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones estamos plenamente convencidos de que la Hoja de Ruta SAF traza un camino adecuado para promover con convicción la descarbonización de la aviación. Desde ya, nos comprometemos a continuar trabajando con la prioridad que merece y de la mano con los diversos actores involucrados para hacer realidad este importante objetivo.



Rosa Riquelme

Directora Ejecutiva de la Agencia de Sostenibilidad Energética



El programa Vuelo Limpio se inició en el año 2020 con un objetivo claro: aportar para que la aviación en Chile avance hacia la sostenibilidad energética. Con una estructura ya definida, el 2021 Vuelo Limpio se estableció como un proyecto piloto con un fuerte componente de colaboración público-privada, creando las figuras de operadores aéreos y organizaciones asociadas, hito que permitió formalizar la adhesión de aerolíneas nacionales y empresas de taxi aéreo. Estas entidades se unieron de manera voluntaria y con un compromiso notable para contribuir a los objetivos del programa.

Para comprender la visión de los asociados al programa, en una jornada de planificación se planteó la necesidad de comenzar a avanzar en el desarrollo de los Combustibles de Aviación Sostenibles en Chile, de-

safío que es asumido por Vuelo Limpio. De este modo, en el año 2022 se dio inicio al trabajo que impulsa esta hoja de ruta, con una amplia participación de la industria, generando un Ecosistema SAF de más de 60 instituciones al 2023, constituido por organismos nacionales, internacionales y de la academia.

Desde la AgenciaSE, en su rol de implementador de políticas públicas en colaboración con el Ministerio de Energía, hemos logrado generar impactos significativos en áreas como la electromovilidad y el desarrollo del hidrógeno verde. En este sentido, con la implementación de la presente Hoja de Ruta, nuestro objetivo es replicar este éxito y avanzar en la transición hacia una aviación más sostenible y respetuosa con el medio ambiente, con Vuelo Limpio como programa líder en promover la consolidación de los SAF en Chile.





Martín Mackenna

Secretario General de la Junta de Aeronáutica Civil



Convencidos de que la descarbonización es el mayor desafío de la aviación en este siglo, desde la Junta de Aeronáutica Civil, como el organismo que ejerce la dirección superior de la aviación en Chile, hemos apoyado fuertemente este proceso que nos permitirá seguir creciendo en ofrecer los importantes beneficios del transporte aéreo de manera sostenible.

Para lograr este propósito debemos trabajar coordinadamente con el resto de los países en la generación de políticas públicas que nos permitan alcanzar la descarbonización. Por esta razón, creemos que el rol de la OACI y los organismos regionales como la CLAC, es fundamental. En conjunto con la elaboración de nuestra hoja de ruta, hemos participado de manera activa en reuniones internacionales, como la 41ª Asamblea y la CAAF/3 de la OACI, donde se establecieron las metas globales y otras instancias enfocadas en la descarbonización de la aviación. Este

involucramiento nos ha permitido adquirir conocimientos y experiencia a nivel internacional, así como de compartir nuestros avances, especialmente en la región latinoamericana. Un ejemplo destacado de ello es esta Hoja de Ruta SAF 2050 y nuestra participación en el programa ACT-SAF de la OACI, lo que nos ha permitido asegurar financiamiento para llevar a cabo nuestro primer estudio de factibilidad de SAF, financiado por los Países Bajos, hito que marca el inicio de la implementación de esta hoja de ruta.

Todo lo anterior demuestra nuestro compromiso y, además, respalda que Chile tiene oportunidades de desarrollo de estos combustibles. Así, el trabajo realizado globalmente, sumado a esta hoja de ruta, son acciones que se perpetuarán en el tiempo, con el propósito de lograr las cero emisiones netas de la aviación en Chile.





Resumen ejecutivo

Para enfrentar la crisis climática y alcanzar las metas de descarbonización a nivel global, se requiere de un proceso de transición energética que abarque todos los sectores productivos, siendo el transporte uno de los principales.

- » En línea con el Acuerdo de París del 2015, la aviación internacional estableció en octubre del 2022 un Objetivo Ambicioso a Largo Plazo (LTAG, por sus siglas en inglés) para **lograr cero emisiones netas de CO₂ para el 2050**¹.
- » Durante la tercera Conferencia sobre la Aviación y los Combustibles Alternativos (CAAF/3, por sus siglas en inglés) de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), en noviembre del 2023, se acordó un marco mundial para **lograr la transición energética limpia en la aviación internacional**. En este marco, los Estados miembros, por un lado, plantean como objetivo **reducir en un 5% las emisiones de CO₂ en la aviación internacional al 2030** mediante el uso de Combustibles de Aviación Sostenibles (SAF), Combustibles de Aviación con Menos Emisiones de Carbono (LCAF), y otras fuentes más limpias de energía para la aviación, respecto a un escenario de uso nulo de energías limpias, y, por otro, **promover la producción de SAF en todas las geografías**.

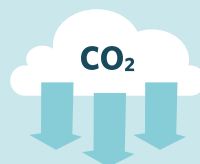
Para lograr lo anterior, se dispone de una canasta de medidas, en la que los SAF generan el mayor aporte a la descarbonización, debido a tres características:



Se pueden producir a partir de biomasa, desechos o CO₂ capturado e hidrógeno.



Son de sustitución directa, por lo que pueden utilizarse en las aeronaves actuales con la infraestructura aeroportuaria existente.



Podrían reducir emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en hasta un 99%, cuando se considera el ciclo de vida completo².

¹ Resolución A41-21, ICAO.

² Cuando se considera el ciclo de vida completo y la vía Power-to-Liquid (PtL).

Chile al ser parte de estos acuerdos para la descarbonización de la aviación internacional, plantea el desafío de promover el despliegue de los SAF en el país. Así, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones y el Ministerio de Energía, junto con la Agencia de Sostenibilidad Energética (AgenciaSE), a través del programa Vuelo Limpio, y con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), han levantado una mesa de trabajo público-privada denominada **Mesa SAF**. Su propósito fue recopilar antecedentes de los actores relacionados con la industria de combustibles, aviación y residuos, que tendrían una participación en la futura cadena de valor de los SAF, para la elaboración de esta primera Hoja de Ruta de SAF en Chile, marcando un hito importante como una de las primeras en Latinoamérica.

Desde la Mesa SAF se identificaron dos principales visiones del sector privado: por el lado del **sector energético**, constituido por empresas de combustibles, se señala que dado el potencial de reducción de emisiones de los SAF, el desarrollo de este tipo de combustible se alinea con sus objetivos de transición energética; mientras que desde el **sector transporte**, represen-

tado por las líneas aéreas, se enfatiza en la necesidad de desarrollar un mercado de SAF en Chile, y con ello poder acceder a este tipo de combustible minimizando sus impactos económicos.

Adicionalmente, se ha destacado que **existen condiciones para la producción de SAF en Chile debido, por un lado, al potencial para el desarrollo de combustibles derivados del hidrógeno a partir de fuentes renovables y, por otro lado, a la existencia de materias primas, como aceites de cocina usados, residuos de biomasa forestal y cultivos con alto contenido lipídico**. Sin embargo, en la ruta hacia convertirse en un actor para el desarrollo de SAF en la región y comenzar a explorar dicho potencial, se deben superar una serie de desafíos, que abarcan aspectos regulatorios, económicos, territoriales, sociales, tecnológicos, competitivos, entre otros.

Dichos desafíos fueron identificados en la mesa de trabajo y, para abordarlos y establecer condiciones habilitantes, esta hoja de ruta establece cinco ejes³, dentro de los cuales surgen lineamientos con 26 acciones asociadas.

EJE 1



Formación de capacidades

EJE 2



Regulación

EJE 3



Desarrollo de mercado

EJE 4



Ecosistema SAF

EJE 5



Tecnología

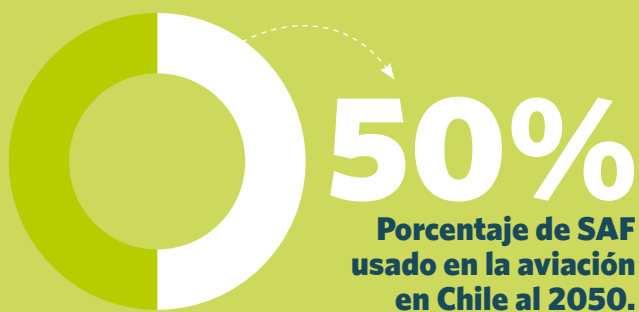
Esta estructura proporciona un medio para enfrentar los desafíos levantados en la Mesa SAF y propone un plan de trabajo con sus respectivas acciones en los próximos años, las cuales buscan dar cumplimiento a las metas globales de carbono neutralidad asumidas por Chile.

³ El orden de los ejes no indica prioridad.

Nuestra ambición

La Hoja de Ruta propone como **meta para el 2050 que los SAF representen el 50% del uso de combustible utilizado en la aviación nacional e internacional de Chile**. Esta meta asume los compromisos internacionales en materia climática y se vincula fuertemente a otras políticas nacionales, como la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP), la Política Energética Nacional (PEN), la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, el Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023-2030, y otras que aportan al proceso de descarbonización del transporte aéreo en Chile.

De esta manera, esta hoja de ruta no solo aportará a la descarbonización del transporte aéreo, también sentará las bases para que Chile avance en la independencia energética, potencie el desarrollo productivo local y sostenible, y genere una industria del SAF pionera en la región.



Primeros hitos

A continuación, se muestran aquellos hitos que se posicionan como relevantes en la implementación de esta hoja de ruta:





Introducción

En el contexto de la lucha contra el cambio climático, los países han asumido importantes compromisos para alcanzar la carbono neutralidad al año 2050. Si bien el sector de la aviación es responsable de solo el 2%⁴ de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI), esta industria no está ajena al desafío; visto de otra manera, si la aviación fuera una nación, formaría parte del top 10 del mundo en las emisiones de GEI⁵. Además, resulta clave considerar que este es un sector difícil de descarbonizar.

Adicionalmente, la aviación internacional ha establecido su propia meta de cero emisiones netas de carbono al 2050 y diversas instituciones^{1,6,7} han estudiado las vías para lograr la meta llegando a la misma conclusión: **no existe un camino único para descarbonizar esta industria**. Es así que, en los últimos años organismos técnicos como la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), han desarrollado recomendaciones basadas en una canasta de medidas¹. Estas medidas consisten en:



AVANCES TECNOLÓGICOS: aeronaves más eficientes en consumo de combustible, sumado a nuevas tecnologías como aviones eléctricos, híbridos y a hidrógeno.



MEJORAS OPERACIONALES Y DE INFRAESTRUCTURA: optimización de la gestión del tráfico aéreo y de los procedimientos operativos en tierra y aire.



USO DE LOS SAF: reemplazar el uso de combustibles fósiles por Combustibles de Aviación Sostenibles (SAF, por sus siglas en inglés), los que presentan una menor huella de carbono.



MEDIDAS BASADAS EN EL MERCADO: mecanismo de bonos de carbono. En el caso de la aviación internacional se rige por el Esquema de Compensación y Reducción de Emisiones para la Aviación Civil Internacional (CORSIA, por sus siglas en inglés).

Considerando la contribución de cada una de estas medidas para lograr la carbono neutralidad, **los SAF tendrían el mayor potencial de descarbonización de la aviación.**

Por esta razón y sin dejar de considerar la importancia de desarrollar el resto de las medidas, desde el programa Vuelo Limpio se decidió **avanzar con la creación de la Hoja de Ruta SAF en Chile.**

⁴ Hannah Ritchie (2020) - "Climate change and flying: what share of global CO₂ emissions come from aviation?".

⁵ Reducing emissions from aviation, Climate Action. European Commission

⁶ Waypoint 2050 - Aviation, ATAG, 2021.

⁷ Aviation Sustainability Briefing - Edición 9, Eurocontrol.

¿Qué son los SAF?

De acuerdo al Convenio Sobre Aviación Civil Internacional, los SAF se definen como combustibles aeronáuticos renovables o derivados de residuos que cumplen con los criterios de sostenibilidad de CORSIA (Annex 16 - Environmental Protection, Volume IV, CORSIA).

Los SAF pueden reemplazar los combustibles de origen fósil sin requerir modificaciones en las aeronaves, y podrían reducir en hasta un 99%⁸ las emisiones de GEI en todo el ciclo de vida respecto a los combustibles convencionales.



Es importante mencionar que la descarbonización por medio del uso de SAF presenta una serie de **barreras** que traen consigo que la disponibilidad de este combustible actualmente tienda a ser baja a nivel mundial. Por lo anterior, se plantea la necesidad de desarrollar políticas públicas para superar esas barreras e impulsar este mercado, siguiendo la misma línea respecto a las políticas ya implementadas por diversos países para el despliegue de las energías renovables, tales como la eólica y la solar⁸. En este contexto, el programa Vuelo Limpio, gestionado por la Junta de Aeronáutica Civil del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones y la Agencia de Sostenibilidad Energética, junto al Ministerio de Energía

y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), y en el cual la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) participó relatando su experiencia en los combustibles renovables, impulsaron el desarrollo de esta Hoja de Ruta SAF, que busca generar condiciones habilitantes para potenciar el desarrollo de estos combustibles en Chile y avanzar hacia la meta de cero emisiones netas de CO₂ de la industria aérea al 2050.

Para elaborar la Hoja de Ruta SAF se desarrollaron cinco sesiones denominadas Mesa SAF público-privada, cuyo objetivo fue determinar las barreras, los desafíos y las oportunidades para el desarrollo de esta industria, desde la perspectiva del sector de combustibles y de aviación que participarían de la cadena de valor de los SAF en Chile. Mediante estas jornadas, se concluyó que la mayoría de las brechas identificadas derivan de una barrera principal: su alto costo de producción y, por tanto, elevado precio de mercado, que lo ubica entre 2 y 4 veces por sobre el de los combustibles tradicionales⁸.⁹ Adicionalmente, en las sesiones de la Mesa SAF se levantaron antecedentes asociados a la ausencia de regulación en el ámbito de los SAF, la necesidad de capital humano avanzado, entre otros. Así, la presente Hoja de Ruta propone **cinco ejes** de acción tendientes a: **formar capacidades (eje 1), establecer un marco regulatorio (eje 2), desarrollar un mercado de SAF (eje 3), crear un ecosistema para el mercado de los SAF (eje 4) y fortalecer la innovación y el desarrollo (eje 5).**

La Hoja de Ruta SAF propone abarcar los ejes a través de lineamientos y tareas específicas, que involucran acciones, tanto de agentes públicos como privados. Asimismo, se establecen metodologías de seguimiento e instancias de participación ciudadana tanto para su implementación como para las actualizaciones. En este sentido, la Hoja de Ruta se instala como un punto de partida que considera además la revisión y actualización de este instrumento cada 3 años por el programa Vuelo Limpio de la AgenciaSE y la JAC, junto a los Ministerios de Transportes y Telecomunicaciones y de Energía. El seguimiento y desarrollo de la presente hoja de ruta se configuran como un gran paso hacia el cumplimiento de los acuerdos internacionales adoptados por Chile ante la OACI, en línea con el Acuerdo de París.

⁸ *Clean Skies for Tomorrow: Sustainable Aviation Fuel Policy Toolkit, World Economic Forum, 2021.*

⁹ *Working Paper A41-WP/477, ICAO.*



1. **Industria de la aviación y cambio climático**



1.1.

Consumo de combustible y emisiones de GEI

El desarrollo de la industria de la aviación ha experimentado un crecimiento considerable en las últimas décadas, producto del incremento de nuevas rutas y la necesidad de conectividad global, lo que ha implicado un aumento promedio anual de pasajeros de 5,4%¹⁰ en el mundo. Lo anterior ha generado un impacto no solo en el tráfico aéreo de pasajeros y carga, sino también en toda la cadena de valor que se vincula a sus operaciones. En Chile, al igual que otros países en vías de desarrollo, las tasas de crecimiento son aún más elevadas y tienen un potencial para mantenerse altas durante los próximos años.

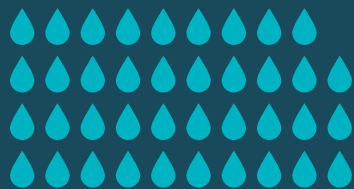
Según proyecciones de la *U.S. Energy Information Administration* (EIA), se espera que el consumo de combustible para aviación aumente a un ritmo más rápido que

cualquier otro combustible líquido para el transporte hacia 2050. Durante este tiempo, el uso mundial de combustible para aviones comerciales aumentará a más del doble, pasando de 391 mil millones de litros en 2018 a 874 mil millones de litros en 2050.

Actualmente, la aviación es responsable del 2% de las emisiones globales de GEI y del 2,5% de las emisiones de CO₂¹¹, proyectándose un incremento a medida que otros sectores se vayan descarbonizando. De acuerdo a las proyecciones (pre-pandemia) de la OACI¹², en un escenario sin acciones o *business as usual*, se prevé que las emisiones de CO₂ del sector aéreo internacional se tripliquen al 2050 comparado con el 2015, por lo que la descarbonización se convierte en uno de los principales desafíos de la industria aérea hacia el futuro.

COMPARACIÓN DEL COMBUSTIBLE CONSUMIDO PARA AVIACIÓN EL 2018 EN RELACIÓN AL 2050

2018



391 mil millones de litros

2050



874 mil millones de litros

¹⁰ Indicadores de Desarrollo Mundial (1974 - 2019). Banco Mundial.

¹¹ Hannah Ritchie (2020). "Climate change and flying: what share of global CO₂ emissions come from aviation?".

¹² Working Paper A40-WP/560, ICAO.

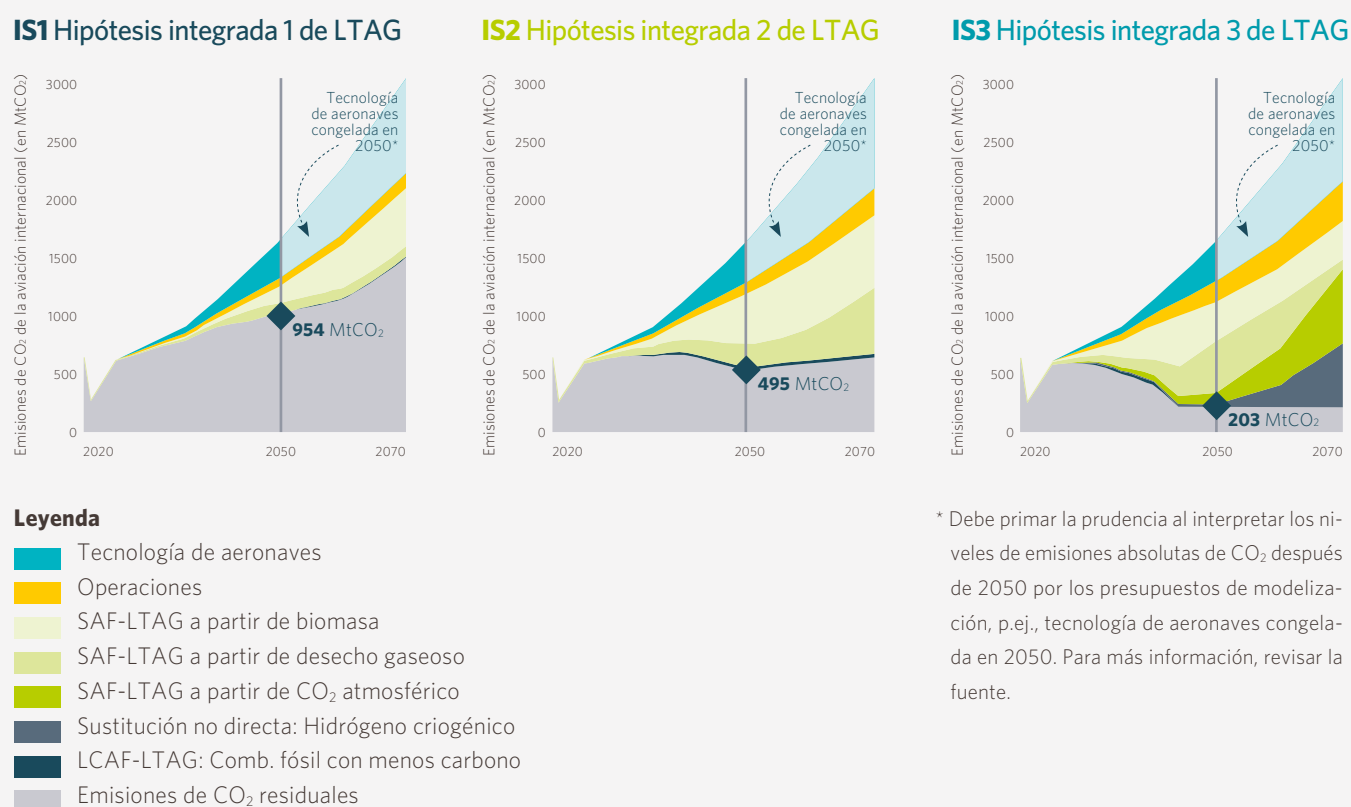
1.2.

Transición energética como pieza clave en la descarbonización de la aviación

Como se señaló anteriormente, la OACI ha propuesto una canasta de medidas para lograr la meta de tener una aviación internacional carbono neutral al 2050. De acuerdo al Informe de Factibilidad de un Objetivo Ambicioso a Largo Plazo¹³, el cual evaluó tres esce-

narios integrados (IS, por sus siglas en inglés) para alcanzar dicha meta, se proyecta que las medidas asociadas a los combustibles contribuyan entre un 15% (IS1) y un 55% (IS3) de la reducción de emisiones de CO₂ (Figura 1).

Figura 1. Escenarios de emisiones de CO₂ y contribución a la carbono neutralidad de la canasta de medidas propuestas por el LTAG. Fuente: Informe de factibilidad de un objetivo ambicioso a largo plazo, 2022.



* Debe primar la prudencia al interpretar los niveles de emisiones absolutas de CO₂ después de 2050 por los presupuestos de modelización, p.ej., tecnología de aeronaves congelada en 2050. Para más información, revisar la fuente.

¹³ LTAG Report, ICAO, 2022.

2. Combustibles de Aviación Sostenibles (SAF)





2.1. Las 5 claves de los SAF

A continuación, se presentan las **5 claves de los SAF**, que permiten asegurar la sostenibilidad de estos energéticos.

1

Reemplazo del *jet fuel* de origen **fósil**

Los SAF son combustibles de sustitución directa o *drop in*; es decir, pueden ser utilizados en los aviones convencionales, sin la necesidad de cambiar o adaptar la tecnología de la aeronave ni la infraestructura aeroportuaria. Así, estos pueden ser usados en el corto plazo, sin comprometer la seguridad ni autonomía de vuelo. Actualmente, los SAF son mezclados con el combustible convencional en un porcentaje que llega hasta el 50%, proporción que tenderá a incrementarse. Incluso, los fabricantes de aviones proyectan que puedan operar con un 100% de SAF para el 2030^{14,15}.

¹⁴ *Sustainable Aviation Fuel - Fact Sheet, Boeing, abril 2023.*

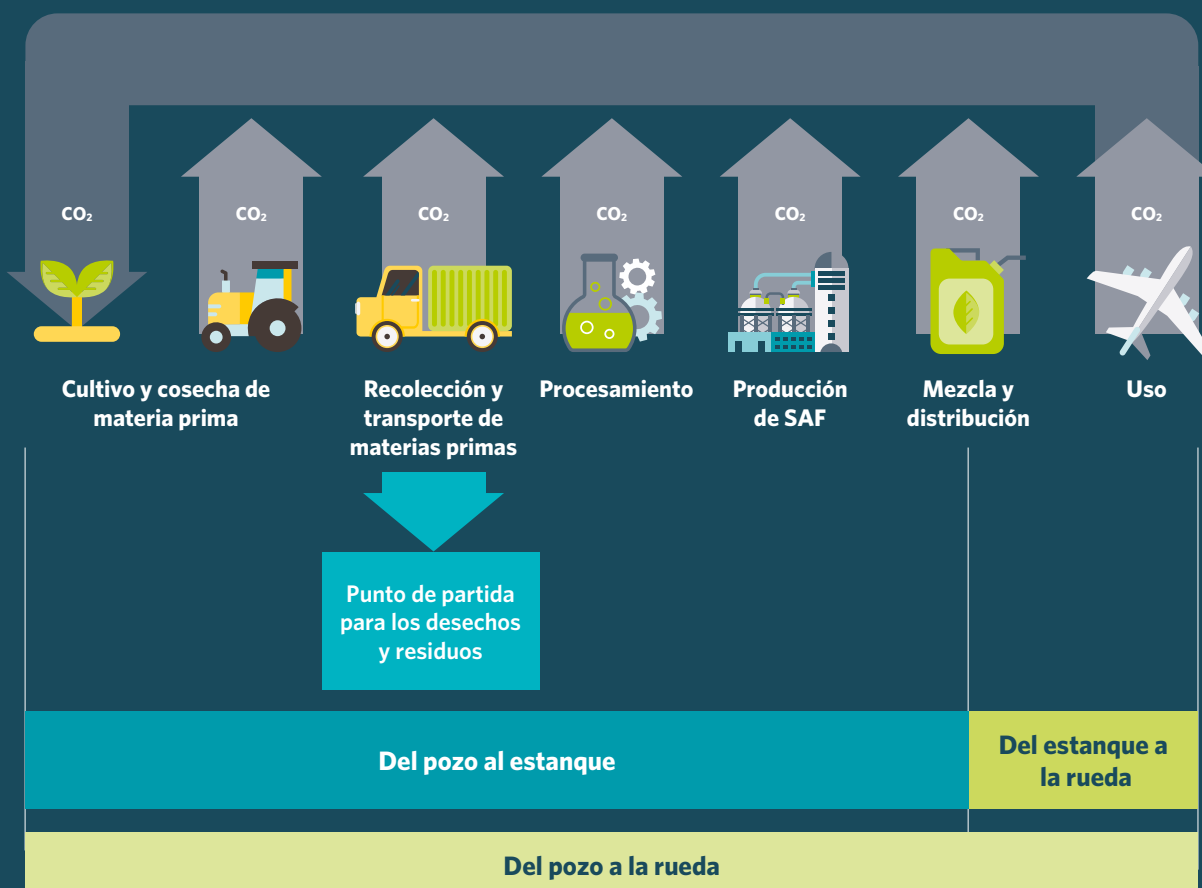
¹⁵ *Sustainable Aviation Fuel, Airbus.*

Reducción de emisiones de GEI

El ciclo de vida del combustible considera todas las etapas necesarias para llegar a su consumo final: desde la obtención de la materia prima hasta su uso final en el avión, lo que es comúnmente denominado “del pozo a la rueda” (*well-to-wheel*). En cada una de estas etapas se generan emisiones

de GEI, sin embargo, los SAF podrían disminuir en hasta un 99% (Figura 2) sus emisiones en comparación con los combustibles fósiles, ya que parte de estas serían reabsorbidas o evitadas durante el ciclo de producción de SAF.

Figura 2. Ciclo de vida de los combustibles sostenibles. Fuente: Roundtable on Sustainable Biomaterials, RSB 2022¹⁶.



¹⁶ SAF Sustainability Guidance for Airports, RSB, 2022.

Materias primas y procesos de conversión

Existen diferentes procesos y tecnologías para producir SAF, algunos en evaluación y otros aprobados por la American Society for Testing and Materials (ASTM). Actualmente existen 11 procesos aprobados la ASTM¹⁷, a través de las normas de referencia ASTM D7566 y ASTM D1655, en las que se establecen además las especificaciones de calidad que deben cumplir los SAF así como sus grados de mezcla. Dentro de los procesos

de producción de SAF ya aprobados están el de Fischer-Tropsch (FT), Alcohol-to-jet (AtJ), Hydrotreated Esters and Fatty Acids (HEFA) y coprocesado. Cada proceso tiene asociado el tipo de materias primas que pueden ser utilizadas, que van desde biomasa celulósica, aceites de cocina y residuos sólidos municipales hasta fuentes de alto poder de descarbonización, como el hidrógeno verde y el carbono capturado (Tabla 1).

Tabla 1. Procesos de conversión aprobados, materias primas y potencial de reducción de GEI en relación a combustibles fósiles de aviación. Fuente: Modificado a partir del documento: *Clean Skies for Tomorrow: Sustainable Aviation Fuel Policy Toolkit*, World Economic Forum, 2021.

| | Materia prima | Evaluación de oportunidades | Madurez tecnológica | Reducción de emisiones de GEI en el ciclo de vida vs el jet fósil. |
|-------------------------------------|---|--|--|--|
| HEFA | Residuos de lípidos y aceites usados, y plantas cultivadas para la producción de energía ^(a) , transportables y con cadenas de suministro preexistentes. | Tecnología segura, probada y escalable. Potencial para satisfacer entre el 5% y el 10% de la demanda de combustible para aviones. | Madura. | 70%-85% ^(b) . |
| Alcohol-to-Jet^(c) | Residuos agrícolas y forestales, residuos sólidos urbanos ^(d) , cultivos energéticos cultivados a propósito ^(e) celulosa. Gran disponibilidad de materias primas baratas, pero recolección desagregada. | Tecnología desarrollada, con los primeros proyectos comerciales ya en marcha. Gran potencial en América Latina, donde ya existe producción de etanol | Desarrollada, proyectos de ingeniería a escala comercial en curso. | 75%-95% ^(f) . |

¹⁷ SAF conversion processes, ICAO

| | | Materia prima | Evaluación de oportunidades | Madurez tecnológica | Reducción de emisiones de GEI en el ciclo de vida vs el jet fuel fósil |
|-------------------------|----------------------------------|---|---|---|--|
| Biomass to SAF Pathways | Gasification + Fischer-Tropsch | Residuos agrícolas y forestales, residuos sólidos urbanos ^(d) , cultivos energéticos cultivados a propósito ^(e) celulosa. Gran disponibilidad de materias primas baratas, pero recolección desagregada. | Potencial a medio plazo. Retos técnicos en la gasificación de biomasa. Gama de productos combustibles más flexible ^(g) . | Desarrollada, proyectos de ingeniería a escala comercial en curso. | 80%-90%. |
| | Gasification + Methanol-to-Jet | | Potencial a medio plazo. Retos técnicos en la gasificación de biomasa. Alta selectividad a SAF ^(h) . | Desarrollada, proyectos de ingeniería a escala comercial en curso (certificación ASTM pendiente). | 80%-90%. |
| | Pyrolysis + Upgrading | | Tecnologías de pirólisis probadas a escala comercial, con mejoras en desarrollo, a ser probadas en 2027+. | En desarrollo (certificación ASTM pendiente). | 75%-85%. |
| Power-to-Liquid | Carbon Capture + Fischer-Tropsch | Energía eléctrica renovable, H ₂ y CO ₂ . Potencial ilimitado mediante la captura directa de CO ₂ desde el aire. Captura de CO ₂ desde fuentes puntuales como tecnología de transición. | Proyectos a escala comercial en marcha para 2027+, principalmente en zonas con gran potencial de generación de electricidad de bajo costo. Gama de productos combustibles más flexible ^(g) . | Desarrollada, proyectos de ingeniería a escala comercial en curso. | 85%-99% ⁽ⁱ⁾ . |
| | Carbon Capture + Methanol-to-Jet | | Proyectos a escala comercial en marcha para 2027+, principalmente en zonas con gran potencial de generación de electricidad de bajo costo. Alta selectividad a SAF ^(h) . | Desarrollada, proyectos de ingeniería a escala comercial en curso (certificación ASTM pendiente). | 85% -99% ⁽ⁱ⁾ . |

a. Árboles que producen semillas oleaginosas en tierras degradadas de bajo cambio indirecto del uso de la tierra (low-ILUC, por sus siglas en inglés) o como cultivos oleaginosos de rotación; b. Excluidos todos los cultivos oleaginosos comestibles; c. Producción de SAF a partir de Etanol; d. Utilizados principalmente para la producción de SAF vía gasificación/ FT; e. Como cultivos de cobertura y de rotación; f. Excluidos todos los azúcares comestibles; g. Proceso FT incluye productos como queroseno, diésel y nafta, entre otros; h. En un proceso industrial se entiende como selectividad a la fracción de producto formado y la cantidad transformada de uno de los componentes; i. Hasta el 100% con una cadena de suministro totalmente descarbonizada.

La vía más utilizada en la actualidad corresponde a HEFA y emplea principalmente aceites usados de cocina como materia prima. Se prevé que aproximadamente el 85% del volumen de SAF producido en los próximos 5 años provendrá exclusivamente de esta vía¹⁸.

Adicionalmente, el proceso por el cual se obtienen los SAF conlleva a la obtención de otros productos, generando un valor agregado a esta industria.

¹⁸ Comunicado N°34. IATA, 2023

4 Criterios de sostenibilidad

Diferentes instituciones han establecido una serie de criterios con el fin de asegurar que el combustible sea efectivamente sostenible. Algunos de los requisitos que deben cumplir los SAF son: deben reducir significativamente las emisiones respecto a los combustibles fósiles (un combustible elegible para CORSIA logrará reducciones netas de GEI de, al menos, un 10%, en comparación con los valores de referencia de las emisiones del ciclo de vida del combustible de aviación¹⁹); no se pueden producir a partir de cultivos en tierras con altas reservas de carbono ni provocar deforestación; y que debe minimizarse su impacto en la biodiversidad; entre otros principios y criterios de sostenibilidad.

Algunos ejemplos de materia prima con potencial de cumplir estos criterios de sostenibilidad serían los aceites de cocina usados, los residuos forestales, los residuos urbanos y el carbono capturado directamente del aire.

5 Beneficios medioambientales, económicos y sociales

Además del principal beneficio del uso de SAF, que es la descarbonización de la aviación, el consumo de estos combustibles también permitiría reducir las emisiones de otros contaminantes, como el dióxido de azufre y material particulado²⁰, respecto al empleo de combustibles fósiles. Por otro lado, el desarrollo de esta industria permitiría que se activen localmente ciertos sectores productivos, generando importantes impactos económicos y sociales en las localidades donde se ubique, propiciando la descentralización.

¹⁹ *CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels*, ICAO, 2022.

²⁰ *Lukas Durdina et al. (2021). "Reduction of Nonvolatile PM Emissions of a Commercial Turbofan Engine at the Ground Level from the Use of a SAF Blend".*



2.2. Capacidad de producción de SAF en el mundo

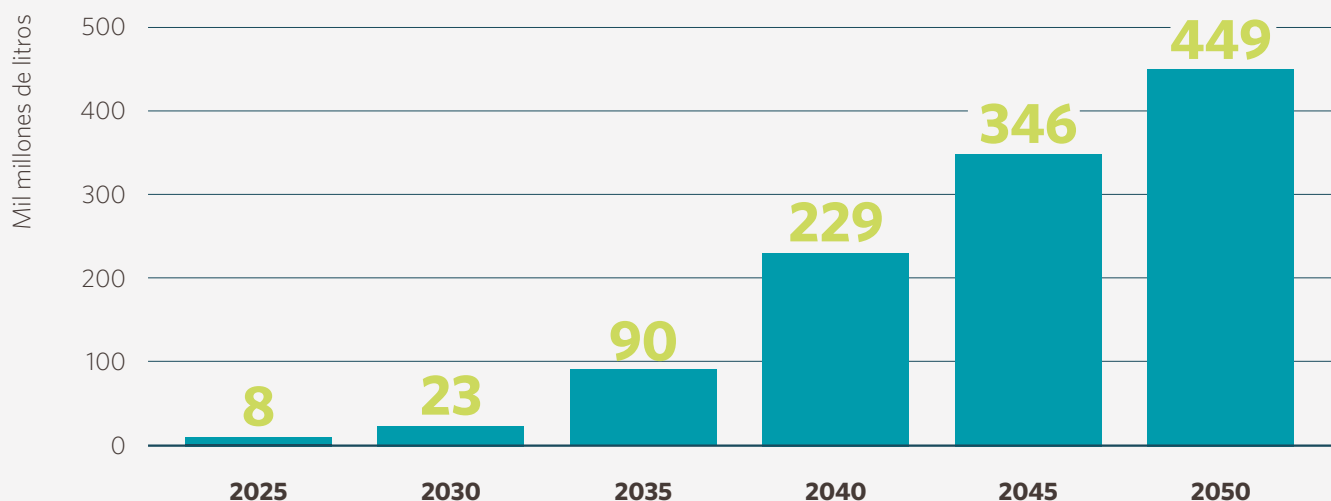
Actualmente las distintas industrias están haciendo esfuerzos para aumentar la producción y el consumo de los SAF. En el 2023, la producción de SAF superó los 600 millones de litros, duplicando la producción del año anterior. Se estima que en el 2024 la producción de SAF se triplique respecto al 2023, lo que representaría el 0,53% de la demanda de *jet fuel*²¹.

A pesar de que el precio de los SAF es superior al del *jet fuel* convencional, las aerolíneas están avanzando hacia acuerdos de compra con proveedores de SAF. Reflejo de lo anterior es el aumento en el volumen contratado por ellas para los próximos años, pasando de 9 mil millones

de litros en el 2021 a 21,7 mil millones de litros en el 2022²². Este incremento se ha visto expresado en el aumento de vuelos comerciales con estos combustibles, registrando entre el 2011 y el 2023 más de 700.000 vuelos comerciales²³.

Según la *International Air Transport Association* (IATA), para lograr la meta de cero emisiones netas de carbono al 2050, la producción de SAF debería alcanzar los 449 mil millones de litros en el 2050 (Figura 3). Dado lo anterior, se anticipan importantes avances tecnológicos así como un significativo desarrollo en infraestructura para toda la cadena de valor de estos combustibles²⁴.

Figura 3. Proyección de demanda de SAF para lograr el cero neto al 2050. Fuente: *Net Zero 2050, Sustainable Aviation Fuels*, IATA.



²¹ *Press Release N°69, IATA*

²² *SAF Offtake Agreements, ICAO.*

²³ *Sustainable Aviation Fuel, Aviation Benefits.*

²⁴ *Net zero 2050: sustainable aviation fuels - Fact Sheet. IATA, 2023.*

2.3.

Tratados y acuerdos internacionales para la reducción de GEI

Durante la 21ª Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), realizada en el 2015, líderes mundiales acordaron compromisos para reducir las emisiones de carbono mediante el **Acuerdo de París**²⁵.

Por otro lado, en la 41ª Asamblea General de la OACI (2022), se estableció el LTAG, un objetivo mundial de **lograr cero emisiones netas de carbono al 2050**, en línea con los compromisos del citado Acuerdo de París. Para el logro de lo anterior, la Asamblea solicita a los Estados miembros que establezcan un enfoque coordinado respecto a las políticas y la inversión para acelerar la investigación, el desarrollo y el uso de fuentes de energía más limpias y renovables para la aviación, incluido el uso de SAF²⁶, teniendo en consideración sus circunstancias locales. Adicionalmente, la resolución de la 41ª Asamblea General de la OACI insta a los Estados miembros a preparar o actualizar sus Planes de Acción para Reducción de las Emisiones de CO₂ de la Aviación Internacional, y que los presenten a la OACI, en lo posible para finales de junio del 2024.

Asimismo, en noviembre del 2023, durante la Tercera Conferencia sobre la Aviación y los Combustibles Alternativos de la OACI (CAAF/3), se estableció un marco global para impulsar la transición energética limpia en la aviación internacional. Dentro de este marco, los Estados miembros acordaron colaborar para lograr el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ en la aviación internacional en un 5% para el 2030, respecto a un

escenario de uso nulo de energías limpias²⁷. El marco toma en consideración las circunstancias especiales y las capacidades respectivas de cada Estado para aportar en el logro del objetivo y, asimismo, busca promover la producción de SAF en todas las geografías.

Por último, la promoción del uso de SAF en la aviación, señalada anteriormente, se encuentra plenamente alineada con lo convenido recientemente en la COP28 de la CMNUCC, realizada en diciembre del 2023 en Dubai, donde se alcanza un acuerdo que busca dejar atrás el uso de combustibles fósiles de aquí al 2050²⁸.

Por su lado, Chile es parte del Acuerdo de París y se ha adherido al LTAG, así como a otros compromisos globales, los que han sido una base para definir sus planes y estrategias medioambientales. Estos compromisos han permitido levantar medidas para mitigar los efectos del cambio climático aplicados a todos los sectores productivos del país, incluyendo al transporte aéreo, responsabilidad que respalda la elaboración de esta Hoja de Ruta SAF.

2.3.1. Políticas públicas para el uso de SAF en otros países

A nivel internacional, se han desarrollado diversos planes y estrategias para enfrentar el impacto de la industria de la aviación en el cambio climático, tanto para el transporte aéreo internacional como el doméstico. Éstos se apoyan en la canasta de medidas que proponen organismos como la OACI, señalada ya anteriormente, que incluye la promoción del uso de SAF.

²⁵ *Acuerdo de París. Naciones Unidas, 2015*

²⁶ *Resolución A41-21, ICAO.*

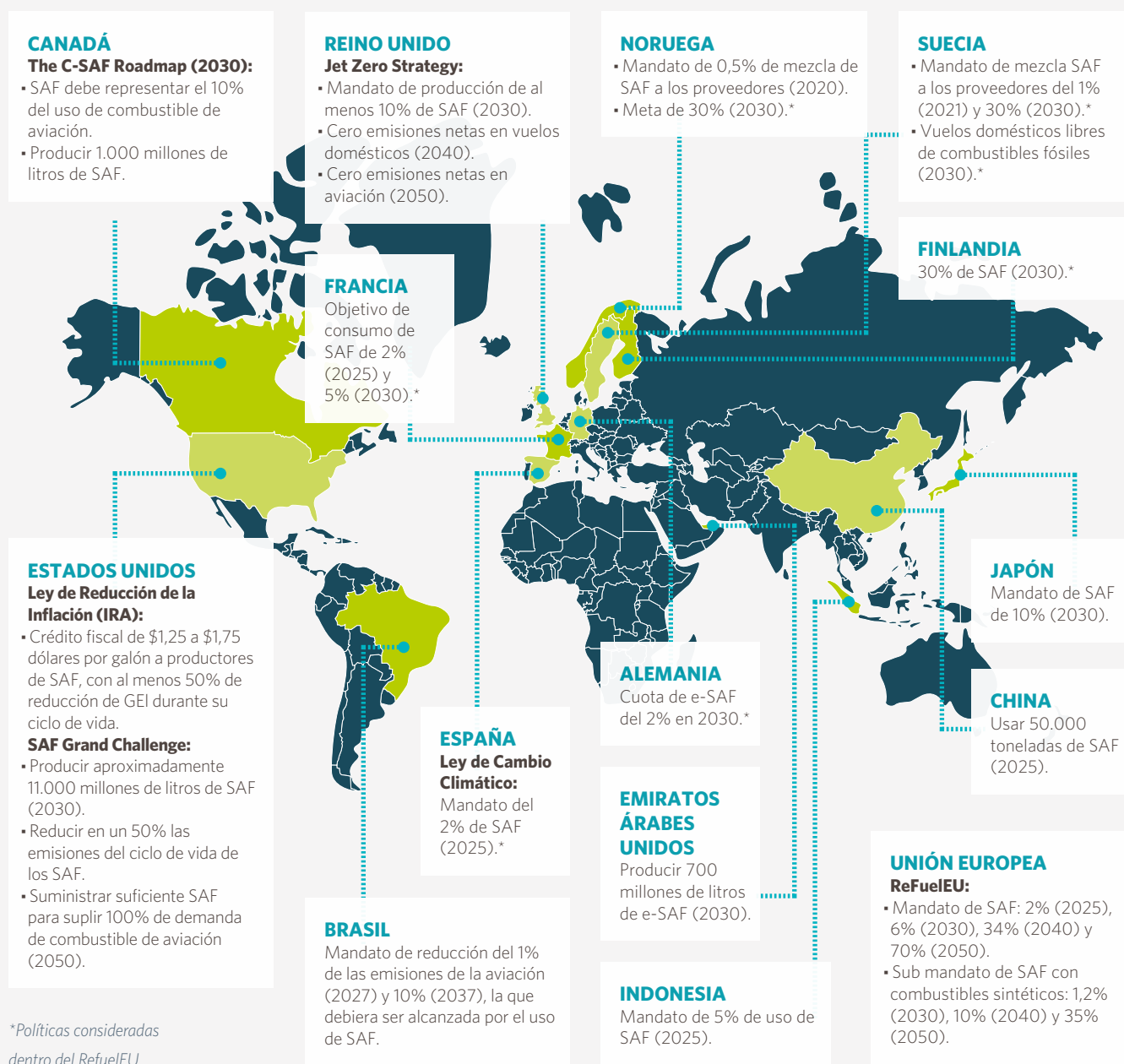
²⁷ *Marco Global sobre SAF, LCAF y otras fuentes más limpias de energía para la aviación, CAAF/3, ICAO, 2023.*

²⁸ *Primer Balance Mundial. COP28, 2023.*

Habitualmente, algunas de estas políticas establecen **incentivos** para la investigación, desarrollo y producción de SAF, y en otros casos se fijan metas específicas a alcanzar en un determinado tiempo. Por otra parte, también pueden incluir **mandatos** que establecen una obligatoriedad a operadores aéreos o proveedores de combustible respecto a una tarea en específico o **metas**

de uso de SAF. Estas políticas contienen distintos objetivos: reducir la incertidumbre para los inversionistas privados, propiciar la generación de un mercado y aunar esfuerzos entre distintas industrias para la transición energética. Algunas de las políticas internacionales que actualmente estimulan la producción y aumento de demanda de SAF se detallan en el siguiente mapa:

Figura 4. Políticas de SAF en el mundo. Fuente: Elaboración propia.

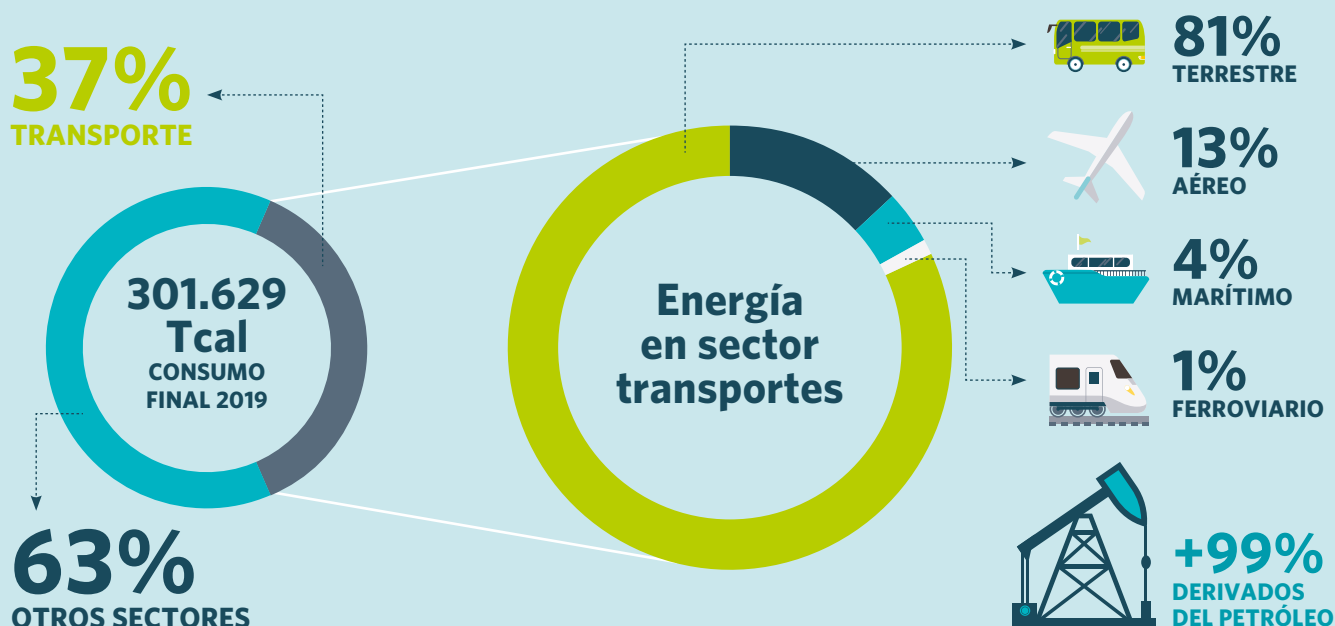


2.3.2. Perspectiva nacional

Consumo de combustibles en el Transporte Aéreo

Según los datos del Balance Nacional de Energía (BNE), en el 2019 (año prepandemia del COVID-19) el consumo total de energía de Chile alcanzó las 301.629 TCal. Un 37% de dicho consumo correspondió al sector transporte, dentro del cual el sector aéreo representa el 13%, en relación a los demás medios de transporte²⁹.

Figura 5. Consumo de energía en Chile 2019. Fuente: Balance Nacional de Energía 2020, Ministerio de Energía.



Actualmente en Chile todo el combustible de aviación consumido es de origen fósil, sea éste importado directamente como combustible o bien producido localmente a partir de la refinación del petróleo crudo. Las ventas de jet fuel convencional han visto incrementos equivalentes a un 6,6% anual durante la última década, previo a la pandemia. Así, la venta de este combustible se duplicó en 11 años, entre el 2008 y el 2019, alcanzando su máximo histórico en el 2018, con 1,6 mil millones de litros³⁰, con una caída posterior a causa de la pandemia (Figura 6).

Asimismo, basado en estimaciones realizadas por el equipo asesor de la Mesa SAF conformado por representantes del Ministerio de Transportes y Telecomuni-

caciones, del Ministerio de Energía, de la AgenciaSE, de ENAP y del BID, se proyecta que, considerando medidas de eficiencia energética, el consumo de combustibles de aviación en Chile podría aumentar en un 129% entre el 2019 y el 2050 (Figura 6). Lo anterior se refuerza con el crecimiento de la demanda de pasajeros proyectada³¹, que se atribuye a factores como una mayor accesibilidad de este medio de transporte y la lejanía del país con respecto a los grandes polos.

En relación a las emisiones de GEI proveniente del transporte aéreo, Chile contribuyó a nivel mundial con un 0,3% de las emisiones el 2017, porcentaje que se ha mantenido estable en los últimos años³².

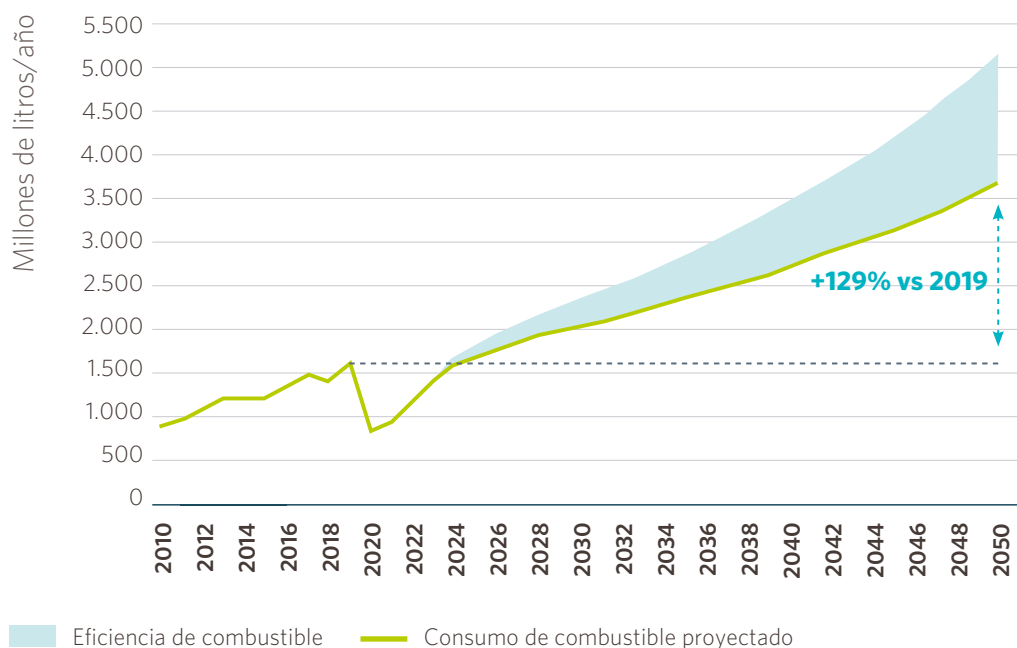
²⁹ Balance Nacional de Energía 2019, Energía Abierta.

³⁰ Venta combustibles líquidos. Energía Abierta.

³¹ Plan Estratégico del Transporte Aéreo. Junta de Aeronáutica Civil, 2020.

³² Plan de Acción para Reducir las Emisiones de GEI Provenientes de la Aviación Civil Internacional. DGAC, 2022.

Figura 6. Proyección en el consumo de combustible de aviación en Chile. *Fuente: Elaboración propia.*



Se proyecta que al 2050 el consumo de *jet fuel* en Chile **aumentará a más del doble de lo consumido en el 2019.**

Políticas públicas con impacto en la descarbonización del transporte aéreo

En marzo de 2022, Chile presentó a la OACI su Plan de Acción para Reducir las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Provenientes de la Aviación Civil Internacional³³, reporte que detalla tanto las acciones implementadas como aquellas que el país está levantando en el ámbito de las reducciones de emisiones de GEI.

Dentro de las políticas públicas nacionales con impacto en la descarbonización del transporte aéreo que surgen desde el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), destaca la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP), que contempla la reducción de emisiones del transporte aéreo, además de la participación del país en acuerdos globales con este propósito. Dentro de su objetivo 1, para alcanzar una matriz energética baja en carbono al 2050, establece al 2040 una reducción de un 20% de las emisiones directas de GEI provenientes del uso

de combustibles en el sector transporte (incluido el transporte terrestre, marítimo y aéreo) con respecto al 2018 y un 40% al 2050.

En cuanto a las políticas emanadas desde el Ministerio de Energía se encuentra la Política Energética Nacional³⁴ (PEN), actualizada el 2022. En su Objetivo General 1 pone foco en una matriz energética baja en emisiones de GEI. Dentro de sus metas, en concordancia con las metas planteadas por la ECLP, establece alcanzar al menos un 70% de combustibles cero emisiones al 2050 en los usos energéticos finales no eléctricos. Además, en su Objetivo General 4, se refiere al transporte sustentable, donde plantea promover la incorporación de combustibles cero emisiones para los distintos modos de transporte, que incluiría al aéreo, y asegurando tener la infraestructura necesaria para su implementación.

A estas iniciativas se suman otras como la Estrategia

³³ Ibid.

³⁴ *Política Energética Nacional. Ministerio de Energía, 2022.*

Nacional de Hidrógeno Verde y el Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023-2030, en las que se plantea la transición energética y la reducción de emisiones de diversos sectores de la economía, entre ellos el de la aviación, mediante el uso de combustibles derivados del hidrógeno. Además, se propone que Chile avance como proveedor global de energéticos limpios, diversificando el mercado de exportación a través de los combustibles sintéticos, en el caso del transporte aéreo.

Por último, otras políticas nacionales, como la Ley REP, la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos Chile 2040³⁵ y el proyecto de ley que promueve la valorización de los residuos orgánicos y fortalece la gestión de los residuos a nivel territorial, podrían relacionarse con la descarbonización de la aviación, desde un punto de vista de la valorización energética de los residuos.

Rol de los SAF para descarbonizar la aviación en Chile

Si bien existen otras tecnologías para descarbonizar la industria de la aviación, como la electrificación o el uso de celdas de hidrógeno, la utilización de éstas en el corto y mediano plazo estarían acotadas a aeronaves pequeñas y a vuelos de corta distancia. Para aviones de mayor tamaño y, por ende, que realizan vuelos de larga distancia, se hace indispensable el uso de SAF (Tabla 2).

Debido a las características geográficas de Chile y al modelo de negocios que prepondera, la mayor concentración de pasajeros viaja en vuelos de mediana y larga distancia (52% y 45%, respectivamente), por lo que el uso de SAF aparece como una medida necesaria y esencial para cumplir con los objetivos de descarbonización en el país.

Tabla 2. Usos de nuevos energéticos para la aviación por categoría de vuelo y participación de mercado en Chile. Fuente: Air Transport Action Group, Waypoint 2050 (2021) y estadísticas de la JAC.

| TIPO DE VUELO | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 | Participación pasajeros 2019 en Chile |
|--------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------------|
| Commuter | ● | ● ● ● | ● ● ● | ● ● ● | ● ● ● | ● ● ● | ● ● ● | ~0% |
| Regional | ● | ● | ● ● ● | ● ● ● | ● ● ● | ● ● ● | ● ● ● | ~0% |
| Short-haul | ● | ● | ● | ● ● | ● ● | ● ● | ● ● | 3,6% |
| Medium-haul | ● | ● | ● | ● | ● ● | ● ● | ● ● | 51,8% |
| Long-haul | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | 44,7% |

● SAF ● Celdas hidrógeno ● Hidrógeno ● Potencialmente Hidrógeno ● Eléctricos

³⁵ Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos - Chile 2040. Ministerio de Medio Ambiente.

3. Hoja de Ruta



3.1.

Mesa SAF

De acuerdo al interés de diversos sectores en desarrollar acciones y políticas para impulsar la descarbonización de la aviación en Chile, el programa Vuelo Limpio, formado por la AgenciaSE y la JAC del MTT, gestionó, junto con el BID y el Ministerio de Energía, el lanzamiento de una mesa de trabajo público-privada para el desarrollo de SAF en Chile, denominada **Mesa SAF**. Esta instancia, de participación voluntaria y de carácter consultivo, reunió a diversos actores de la cadena de valor de los combustibles de aviación, con el propósito principal de recopilar antecedentes de la industria que permitieran **elaborar la primera hoja de ruta de SAF en Chile**.

Roles Mesa SAF

Comité asesor

Responsable de participar en las sesiones de la Mesa SAF público-privada y acompañar transversalmente el desarrollo de estas como contraparte técnica, con el objetivo de establecer los lineamientos para generar la Hoja de Ruta SAF.

Participantes: AgenciaSE, MTT, MEN, ENAP y BID.

Coordinación Mesa SAF

Gestiona el cumplimiento de los objetivos de cada sesión de la mesa SAF público-privada. Sistematiza la información resultante y elabora sus actas.

Participantes: BID y Vuelo Limpio.

Mesa público-privada

Convocada para recoger las apreciaciones, contribuciones y sugerencias de las partes interesadas respecto al desarrollo de los SAF en Chile.

Participantes: todos los stakeholders.



En total se realizaron cinco sesiones denominadas **Mesa SAF público-privada**, cuyos participantes incluyeron operadores aéreos; asociaciones de líneas aéreas, forestales, de biomasa y de hidrógeno; potenciales productores, distribuidores e importadores de SAF, como empresas de combustibles; empresas concesionarias

de aeropuertos; fabricantes de aeronaves; instituciones académicas y representantes de otros países y regiones, pioneros en este ámbito (Anexo). Todas las sesiones incluyeron la realización de presentaciones por parte de los asistentes y conversatorios (Figura 7), involucrando a más de 60 empresas u organizaciones³⁶.

³⁶ *Actas de reuniones Mesa SAF. Programa Vuelo Limpio.*

Figura 7. Entidades participantes como presentadores en sesiones de la Mesa SAF. Fuente: Elaboración propia.

| Lanzamiento de la Mesa SAF (oct 2022) | Sesión 1 (nov 2022) | Sesión 2 (dic 2022) | Sesión 3 (ene 2023) | Sesión 4 (mar 2023) | Sesión 5 (may 2023) |
|--|--|--|---|--|--|
|   |   |   |   |   |   |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  | |  |  |  |  |
|  | |  |  | |  |
|  | | |  | | |

En este proceso se recopilaban puntos de vista compartidos por las entidades presentadoras de la Mesa SAF público-privada, subrayando la importancia de un enfoque colaborativo para impulsar una aviación y una producción de energía más sostenibles en Chile. Con estos insumos se elaboró una primera versión de Hoja de Ruta SAF, la que fue validada y robustecida con las observaciones vertidas mediante un proceso de Consulta Pública.

Etapas de elaboración de la Hoja de Ruta SAF 2050



De las distintas etapas del proceso de elaboración de la Hoja de Ruta SAF, se identificaron las visiones tanto del sector Transporte como del sector Energía, las cuales se señalan en el siguiente capítulo.

3.2.

Visiones del sector

Transporte y del sector Energía



Sector Transporte

Los potenciales usuarios de SAF, las aerolíneas, han desarrollado iniciativas de sostenibilidad que están a su alcance, como la eficiencia energética, las mejoras operacionales y los cambios en la flota. Sin embargo, estas medidas no son suficientes para lograr la carbono neutralidad al 2050. Dado lo anterior es que las aerolíneas que operan en Chile han indicado **la necesidad de desarrollar un mercado de SAF**, e incluso algunas ya tienen metas y/u objetivos establecidos de su uso para los próximos años. Sin embargo, **han enfatizado en que la adquisición de combustibles sostenibles no debe generar mayores impactos económicos y debe estar dentro de un marco regulatorio coherente con el escenario global**, pues estos costos posteriormente podrían ser traspasados a los pasajeros.



Sector Energía

Las empresas vinculadas a la producción, importación y distribución de combustibles han mostrado interés en esta industria del SAF que potencialmente podría desarrollarse, además de señalar que tienen planes para aportar a la transición energética de Chile, dado los compromisos climáticos asumidos por el país. Por lo anterior, manifiestan que la producción y/o distribución de SAF se alinea a estos objetivos destacando que, **con los incentivos adecuados, se podría abastecer al mercado local con SAF** en un corto y mediano plazo. Dentro de los aspectos mencionados por este sector, **se destacan necesidades acerca de visibilizar la disponibilidad de materias primas, estudiar la factibilidad del mercado de SAF en Chile, adecuación de un marco regulatorio y establecer mecanismos para acceder a capital para la inversión en la producción de SAF.**

Durante las sesiones de la mesa SAF público-privada se distinguieron múltiples vías para impulsar esta industria en Chile. Sin embargo, se enfatizó en que primero es necesario trabajar en reducir distintas brechas y barreras (capítulo 3.4) que, al día de hoy, imposibilitan una producción local a gran escala de SAF. Por ello, se requieren esfuerzos y coordinación público-privada para **generar las condiciones habilitantes del mercado.**

3.3.

Oportunidades de desarrollo de SAF en Chile

Chile, debido a sus características geográficas y climáticas, se ha posicionado como un referente mundial para el desarrollo de energías renovables. Esta cualidad ha permitido impulsar una serie de iniciativas en pos de la descarbonización de la matriz energética. Sumado a esto, el país presenta una alta disponibilidad de recursos energéticos renovables, llegando potencialmente a un total energético acumulado de más de 1.800 GW. Asimismo, el incentivo estatal para el desarrollo de estas fuentes de energía se acentúa al considerar los bajos costos asociados a producir energías renovables, mediante recursos

como lo son el solar (zona centro-norte) y el eólico (zona sur), en comparación a otras regiones del mundo³⁷.

Por otro lado, Chile cuenta con múltiples ecosistemas y una diversidad de materias primas, de tipo biológicas y no biológicas, lo que permite explorar diferentes procesos de conversión para el desarrollo de SAF. Es así como, a partir de los testimonios de los participantes de la Mesa SAF, se visualizaron distintas materias primas que presentan oportunidades para la producción de estos combustibles en Chile, tales como:



Aceites de cocina usados: existen empresas en Chile que operan recolectando aceites de cocina usados de industrias que lo utilizan en sus procesos productivos. El aceite recolectado es principalmente exportado, para posteriormente ser valorizado, entre otros, para la elaboración de biocombustibles.

Existe un potencial de recuperar estos aceites en la fuente donde se generan (por ejemplo, restaurantes), pudiendo destinarse a la producción local de SAF. Además, es posible revisar la incorporación de estos residuos en la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (Ley REP) como producto prioritario, lo que podría potenciar esta industria.



Biomasa forestal: esta materia prima posee múltiples usos en Chile, desde la construcción hasta la calefacción, focalizada esta última principalmente en la zona sur del país. Si bien la alta demanda de esta biomasa ha generado disponibilidad limitada, los gremios de la industria forestal aluden a que su disponibilidad podría acrecentarse si existieran planes para la gestión de residuos forestales que permitiera ampliar su oferta.



Biomasa de alto contenido lipídico: estos cultivos se caracterizan por presentar un alto potencial de conversión. Algunos ejemplos de estas materias primas, que no compiten con la industria alimentaria, son: las microalgas, la jatropha, la halófito y la camelina³⁸, las cuáles, dependiendo de sus características, pueden cultivarse en el mar, tierra adentro, en el desierto y/o zonas semiáridas. Chile debido a su variedad de climas posee una oportunidad para explorar estas materias primas.

³⁷ *Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. Ministerio de Energía.*

³⁸ *Beginner's Guide to SAF, ATAG, 2017.*



Hidrógeno verde: dentro de las múltiples aplicaciones de esta molécula se encuentra la producción de combustibles sintéticos o *e-fuels*, mediante procesos que se denominan *Power-to-Liquid* (PtL). Chile, al poseer un alto potencial de energías renovables, tiene ventajas en la generación de hidrógeno verde, materia prima para la producción de combustible sintético, lo que también se encuentra reflejado en la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde.

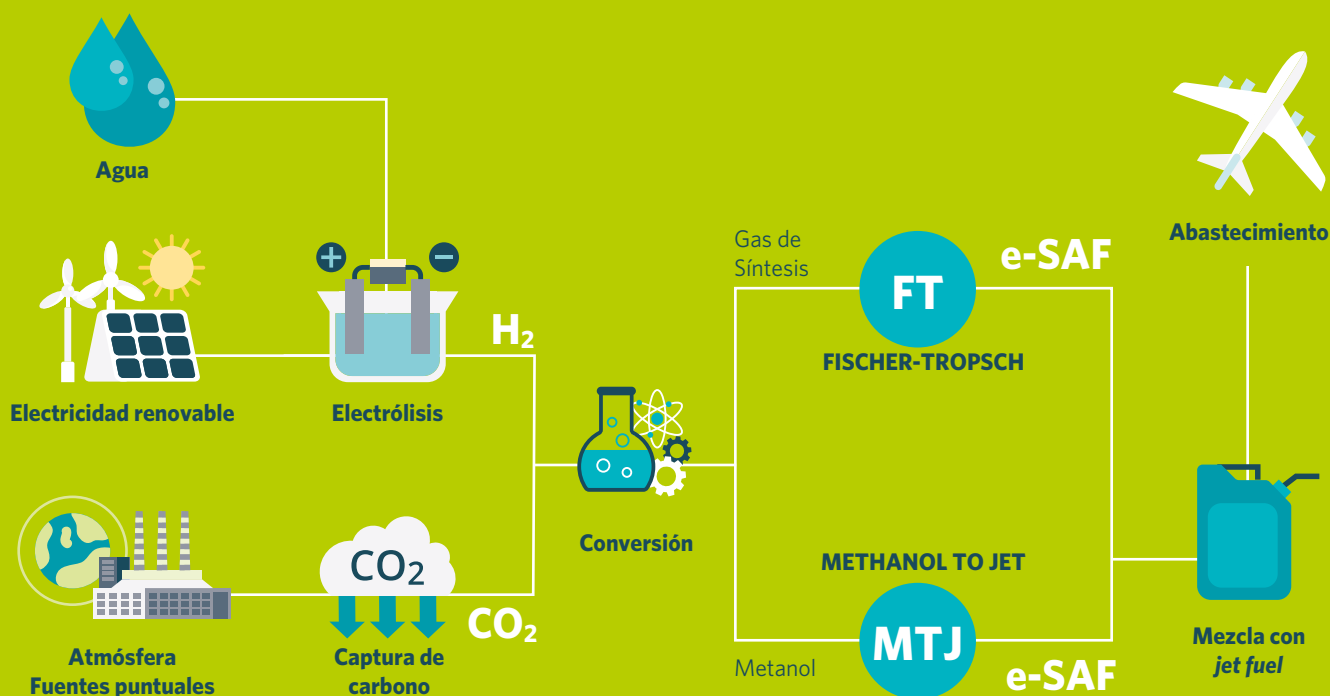
3.3.1 SAF derivado del hidrógeno verde o e-SAF

Como se señaló anteriormente, los *e-fuels* son combustibles sintéticos producidos mediante la vía PtL, la cual usa hidrógeno verde, una fuente de carbono (e.g. CO₂) y electricidad renovable para producir hidrocarburos líquidos, incluidos los SAF. El hidrógeno verde se puede obtener mediante el proceso de electrólisis, en el que las moléculas de agua son expuestas a corrientes

eléctricas a partir de energías renovables. Por su parte, el CO₂ puede ser capturado de fuentes puntuales o directamente desde el aire³⁹.

La vía PtL engloba múltiples vías para producir *e-fuels*, destacando el proceso FT, tecnología aprobada por la ASTM para producir SAF; y el proceso *Methanol-to-Jet* (MtJ), el que se encuentra en proceso de certificación ASTM (Figura 8.). Cuando el SAF se produce por esta vía, se le denomina e-SAF.

Figura 8. Fases de producción y abastecimiento de e-SAF. Fuente: *Elaboración propia.*



³⁹ *Power-to-Liquids A scalable and sustainable fuel supply perspective for aviation. German Environment Agency, 2022.*



3.3.2 E-fuels en la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde y el Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023-2030

La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde es una política pública que establece las ambiciones de Chile para crear una nueva industria, siendo uno de sus objetivos claves, como ya fue mencionado, el poder exportar hidrógeno y sus derivados a partir del 2030, y dentro de los cuales se encuentran los *e-fuels* para la aviación (Etapa III).

Desde el 2020 hasta el 2025, se lleva a cabo la Etapa I, de implementación de la estrategia, que consiste en “Activar la industria doméstica y desarrollar la exportación”⁴⁰. Como resultado, se busca fomentar las primeras inversiones, que debieran traducirse en plantas pilotos o demostrativas. Por otro lado, durante el 2023 y hasta el 2030, se encontrará en desarrollo el Plan de Acción de Hidrógeno Verde, que definirá la hoja de ruta para el despliegue de esta industria. Este Plan en una de sus medidas indica “Fomentar demanda de hidrógeno verde y derivados en transporte ferroviario y aéreo”, donde se busca impulsar el desarrollo y demanda local de SAF a través de esta Hoja de Ruta SAF⁴¹.

Uno de los ejes de la Estrategia es el posicionamiento internacional de Chile como productor de combustibles limpios. En este contexto, se han firmado instrumentos con potencias como Estados Unidos, Francia, Alemania y Japón, así como con el Banco Mundial (BM), para generar alianzas en la materia.

Cabe destacar que en Chile ya existen proyectos pilotos, cuyo foco es la producción de hidrógeno verde y de *e-fuels*, considerando que algunos de ellos además poseen centros de control de calidad avanzados y ejecutan actividades de investigación, desarrollo e innovación relacionadas con este tipo de combustibles. Así, surge la oportunidad de que estos proyectos puedan diversificar su variedad de productos, lo que permitirá, por ejemplo, avanzar en la producción de e-SAF.

⁴⁰ *Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. Ministerio de Energía.*

⁴¹ <https://www.planhidrogenoverde.cl/>

3.4.

Los desafíos para el desarrollo de los SAF en Chile

A pesar de los muchos beneficios existentes en la cadena de valor de los SAF, como la reducción de GEI y de desechos, y la creación de empleos, existen múltiples complejidades para su desarrollo. De las sesiones de la Mesa SAF público-privada se desprenden siete desafíos para el desarrollo de los SAF, los que están en línea con lo expresado por diversas organizaciones internacionales^{42,43}.



Limitada información respecto a la disponibilidad y el potencial de materias primas para la producción de SAF

Cada tipo de proceso de conversión de SAF determina la infraestructura requerida, las zonas de producción, los requerimientos logísticos y los costos de producción⁴⁴. Por lo anterior, se ha definido como esencial contar con **información respecto a la disponibilidad y potencialidad de materias primas para la producción de SAF**.

Competencia en el uso de materias primas para la producción de SAF

Se prevé que la producción de SAF compita con la disponibilidad de materia prima para la producción de otros energéticos y para diferentes usos. Por ejemplo, el aceite de cocina usado para la producción de biodiésel, el hidrógeno verde para producir amoníaco y la biomasa forestal para calefaccionar los hogares, la generación de energía eléctrica, el forraje y el resguardo de animales. Cabe señalar que la aviación tiene menos vías para la descarbonización comparado con otros medios de transporte, por lo que podría evaluarse algún mecanismo para dar preferencia al uso de algunas de estas materias primas, en particular las que tiendan a ser más competitivas para la producción de SAF.



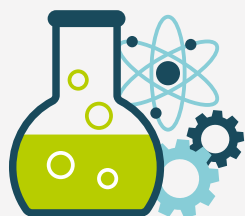
⁴² *Clean Skies for Tomorrow: Sustainable Aviation Fuel Policy Toolkit*, World Economic Forum, 2021.

⁴³ *Sustainable aviation fuel*, ATAG.

⁴⁴ *Fueling Net Zero. ICF Report for ATAG Waypoint 2050*, 2021.

Mayor costo de producción de SAF frente al jet fuel convencional

Desde el punto de vista de la cadena de valor de los SAF y sus costos asociados, se observa que en muchos casos los costos tienden a ser elevados, como ocurre con la materia prima, su transporte y almacenamiento. A ello se suma el alto costo de la tecnología de producción de los SAF y que se requiere de mayor inversión para alcanzar la economía de escala. Lo anterior, trae como consecuencia que **el costo de producción de los SAF es mayor frente al jet fuel convencional**.



Baja madurez tecnológica para escalar la producción de SAF

Dado que la tecnología para los distintos procesos de producción de SAF aún está en fase experimental (salvo en el caso de algunas tecnologías como la HEFA⁴⁵), el mayor costo de producción de SAF se ve también acentuado por el **bajo grado de madurez de la tecnología, afectando así a la escalabilidad de la producción**.

Falta de conocimiento especializado en la cadena de valor de los SAF

Al no existir una industria de este tipo en Chile, **no se cuenta con capacidades técnicas y de capital humano avanzado para operar las futuras plantas de producción**. Sumado a esto, hoy en día, prácticamente no hay inversión en I+D que financie la capacitación de personas en la materia, en particular en los centros de formación técnica y superior.



Ausencia de normativa nacional específica para los SAF respecto a la seguridad de instalaciones en su cadena de valor y a la calidad del producto

El nulo desarrollo de esta industria en Chile, que incluyen sus aspectos logísticos, **no han creado la necesidad de un trabajo normativo asociado a la seguridad de las instalaciones dentro de la cadena de valor de SAF, ni respecto a las especificaciones de calidad que debiesen poseer estos combustibles**. Por tanto, el establecimiento de esta industria en Chile requerirá un desarrollo regulatorio que permita su operación segura.

⁴⁵ Okolie et al. (2023). "Multi-criteria decision analysis for the evaluation and screening of sustainable aviation fuel production pathways".

Necesidad de condiciones habilitantes para la certificación de SAF en todo su ciclo de vida

El SAF que será comercializado deberá cumplir atributos asociados a su ciclo de vida (ACV) y a criterios de sostenibilidad para los cuales existen metodologías a nivel internacional para su verificación. Sin embargo, al no existir un mercado de SAF en Chile, no están las condiciones actuales para verificar y certificar esos atributos, **generando incertidumbre en Chile respecto a la disponibilidad de un esquema de certificación del SAF.**



Gran parte de los desafíos anteriormente señalados traen como resultado que actualmente exista una **oferta de SAF reducida a nivel internacional**. En este sentido, algunas de las empresas productoras de SAF declaran que, a la fecha, su producción ya se encuentra comprometida para el corto y mediano plazo.

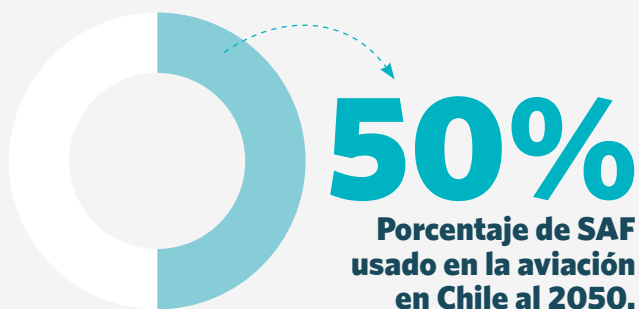


3.5.

Aportando a la descarbonización de la aviación: nuestro camino a seguir

Como resultado del proceso participativo público-privado de esta Hoja de Ruta, se elaboró una estructura de cinco **ejes**, cada uno de los cuales posee **lineamientos** y **acciones asociadas**, las cuales buscan dar cumplimiento a una **meta de uso de SAF al 2050**. Esta meta va en línea con las distintas estrategias y políticas energéticas nacionales, además de otros compromisos globales internacionales que impulsan mitigar los efectos del cambio climático. Esta estructura se hace cargo de las brechas levantadas en la Mesa SAF y propone un plan de trabajo con sus respectivas acciones en los próximos años.

El objetivo de esta hoja de ruta, expresado como una meta de uso de SAF al 2050 para dar cumplimiento a las expectativas proyectadas del sector, el uso de SAF deberá representar al menos el **50%** del combustible utilizado en la aviación nacional e internacional de Chile al 2050.



EJE 1 Formación de capacidades

- » Generar instancias de integración de capacidades con países de la región o pioneros en la producción de SAF.
- » Promover procesos de formación de capital humano, enfocados en la transición energética de la industria de la aviación.



EJE 2 Regulación

- » Realizar adecuaciones regulatorias que faciliten el desarrollo de la industria de los SAF y que permitan su operación segura, estableciendo como referencia estándares internacionales.
- » Generar las condiciones habilitantes para posibilitar y facilitar la certificación de sustentabilidad tanto de SAF como de sus materias primas, cumpliendo con los estándares internacionales.



EJE 3 Desarrollo de mercado

- » Facilitar el crecimiento de la oferta de SAF.
- » Crear demanda.
- » Habilitar el mercado.



EJE 4 Ecosistema SAF

- » Fortalecer la cooperación, la coordinación y el surgimiento de actores nacionales e internacionales.



EJE 5 Tecnología

- » Promover la I+D+i para acelerar el desarrollo tecnológico.

Para esta hoja de ruta se definen tres etapas, de las cuales se establecen acciones para las etapas 1 y 2, con miras a la incorporación de acciones en la etapa 3 una vez obtenidos los insumos técnicos. Lo que se verá reflejado en las próximas actualizaciones de la Hoja de Ruta SAF para avanzar en acciones que permitan el logro de la meta al 2050.

| | PERÍODO |
|---|-----------|
| ETAPA 1 PREPARACIÓN: abarca la investigación inicial, la generación de estudios, el establecimiento de normativas, la identificación de recursos clave y la creación de la base necesaria para el desarrollo de los SAF. | 2024-2028 |
| ETAPA 2 DESARROLLO: considera todas las acciones relacionadas con la producción de los SAF, como la investigación aplicada, la inversión en infraestructura, la producción a pequeña escala y las pruebas iniciales. | 2029-2035 |
| ETAPA 3 ESCALAMIENTO: se centra en la expansión a gran escala de la producción y uso de los SAF, optimizando procesos, reduciendo costos y buscando la integración total en la industria de la aviación. | 2036-2050 |



EJE 1

Formación de capacidades

Busca promover la capacitación y el desarrollo del capital humano necesario para la consolidación de esta industria, destacando el rol de la academia, además de impulsar la colaboración internacional y la integración de conocimientos.

| Acciones | Organismos vinculados* | Etapas |
|--|---|------------------------|
| Lineamiento 1.1 Generar instancias de integración de capacidades con países de la región o pioneros en producción de SAF. | | |
| Suscribir instrumentos entre Chile y países pioneros en el desarrollo y producción de SAF para el intercambio de experiencias y cooperación técnica. | Ministerios de Relaciones Exteriores, de Transportes y Telecomunicaciones y de Energía. | Etapas 1: Preparación. |
| Lineamiento 1.2 Promover procesos de formación de capital humano, enfocados en la transición energética de la industria de la aviación. | | |
| Identificar necesidades locales de formación de capital humano calificado para la participación dentro de la cadena de valor de los SAF (implementación de pilotos, análisis sobre requerimientos de capital humano, entre otros). | Ministerios de Energía y de Educación. | Etapas 1: Preparación. |
| Potenciar el sector académico para desarrollar capacidades locales. | Ministerios de Energía y de Educación. | Etapas 2: Desarrollo. |
| Crear perfiles laborales específicos para el desarrollo de los SAF. | Ministerio de Energía. | Etapas 2: Desarrollo. |
| Crear programas de capacitación específicos para diversos niveles y roles en la cadena de valor de los SAF. | Ministerio de Energía. | Etapas 2: Desarrollo. |

* Podría incluir a otros organismos o servicios.

EJE 2

Regulación

Busca crear un entorno regulatorio propicio para el desarrollo y despliegue de los SAF en Chile. Esto incluye ajustes regulatorios relacionados con la seguridad, la calidad, las certificaciones y las materias primas utilizadas en su producción. Este marco debe ser congruente con los estándares internacionales, para servir como método válido de descarbonización, lo que permitirá a Chile participar en el mercado global de los SAF.

| Acciones | Organismos vinculados* | Etapas |
|--|--|------------------------|
| Lineamiento 2.1 Realizar adecuaciones regulatorias que faciliten el desarrollo de la industria de los SAF y que permitan su operación segura, estableciendo como referencia estándares internacionales. | | |
| Identificar la regulación necesaria a implementar para propiciar el desarrollo adecuado de todas las actividades asociadas a la industria de SAF, considerando aspectos relativos a seguridad de las instalaciones en toda la cadena de valor, a la infraestructura aeroportuaria y a las materias primas y, asimismo, con respecto a las especificaciones de calidad del combustible. | Ministerios de Energía, del Medio Ambiente y Dirección General de Aeronáutica Civil. | Etapas 1: Preparación. |
| Establecer un equipo interministerial con el objetivo de abordar las adecuaciones regulatorias necesarias a implementar en la cadena de valor de los SAF. | Ministerios de Energía, del Medio Ambiente, de Agricultura, de Economía, Fomento y Turismo, de Hacienda, de Transportes y Telecomunicaciones, de Obras Públicas y la Dirección General de Aeronáutica Civil. | Etapas 1: Preparación. |

* Podría incluir a otros organismos o servicios.

| Acciones | Organismos vinculados* | Etapas |
|---|---|------------------------|
| Elaborar un plan de trabajo regulatorio de los SAF, que incluya un cronograma de adecuación normativa, en función de la madurez tecnológica y de futuros proyectos, siendo actualizado cada 3 años. | Ministerios de Energía y de Transportes y Telecomunicaciones. | Etapas 1: Preparación. |
| Alinear las necesidades regulatorias de los SAF a otras políticas de energía y medio ambiente, como el sector del hidrógeno verde, de los biocombustibles y de la economía circular. | Ministerio de Energía. | Etapas 1: Preparación. |

Lineamiento 2.2 Generar las condiciones habilitantes para posibilitar y facilitar la certificación de sostenibilidad tanto de SAF como de sus materias primas, cumpliendo con los estándares internacionales.

| | | |
|---|--|------------------------|
| Determinar las brechas existentes en Chile para monitorear y cumplir con los estándares utilizados internacionalmente para la certificación de materias primas y de sostenibilidad de los SAF. | Ministerios de Energía, del Medio Ambiente y de Agricultura. | Etapas 1: Preparación. |
| Establecer un marco habilitante para la certificación de las materias primas y la certificación de sostenibilidad de los SAF (plataformas, capacidad de monitorear el ciclo de vida, disponibilidad de organismos de certificación, entre otros). | Ministerios de Energía, del Medio Ambiente y de Agricultura. | Etapas 1: Preparación. |

* Podría incluir a otros organismos o servicios.





EJE 3

Desarrollo de mercado

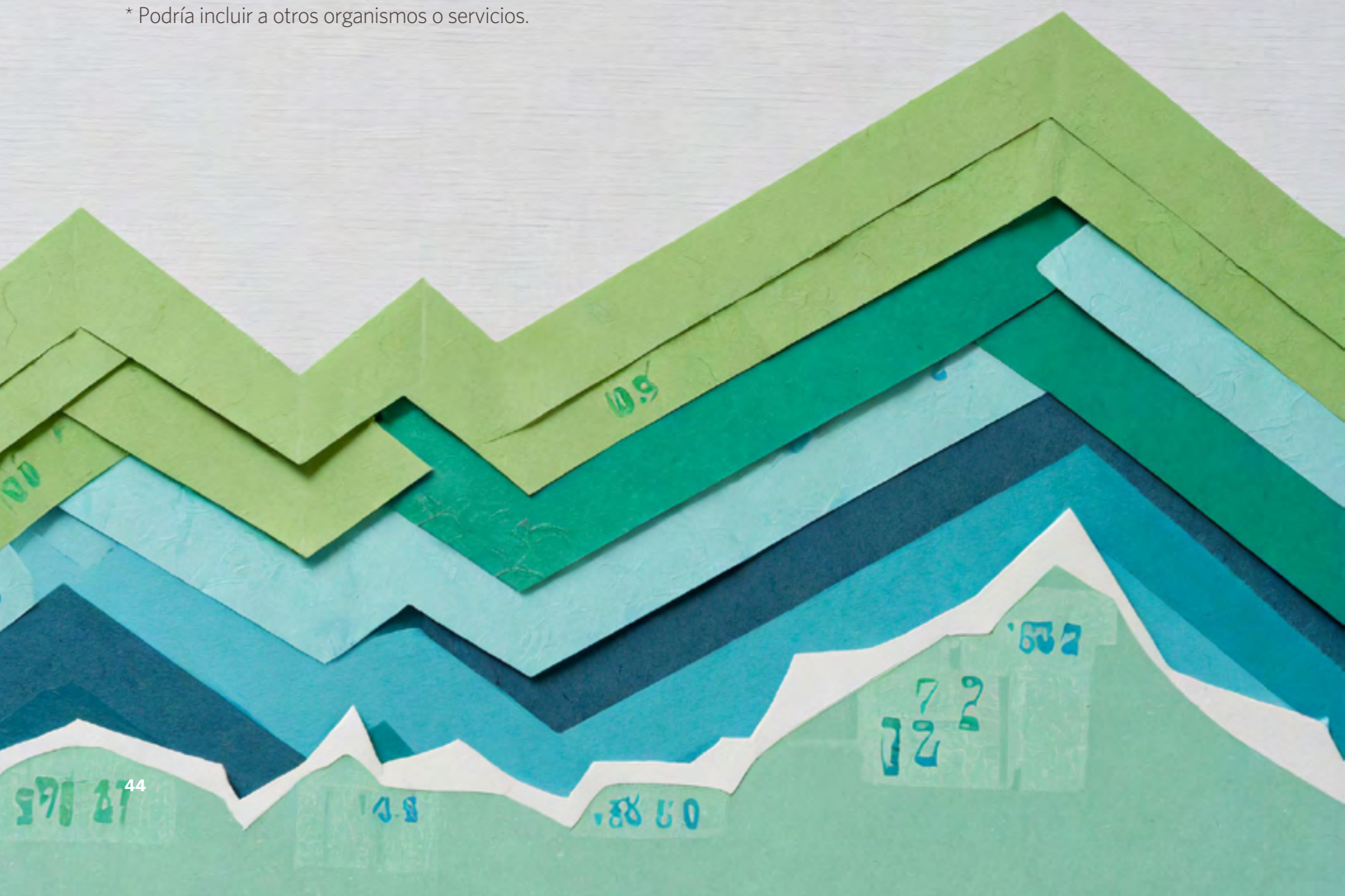
Busca estimular el crecimiento de la oferta y la demanda de SAF, y habilitar el mercado de este combustible en el país, para impulsar una industria alineada a los compromisos globales de descarbonización. Para ello, se requerirá identificar y analizar las condiciones del mercado para propiciar un mejor desarrollo, lo que permitirá la ejecución de políticas en los próximos años.

| Acciones | Organismos vinculados* | Etapas |
|--|---|------------------------|
| Lineamiento 3.1 Facilitar el crecimiento de la oferta de SAF. | | |
| Analizar las políticas públicas que se han implementado internacionalmente, que han propiciado el desarrollo productivo de SAF, y evaluar su aplicabilidad en Chile (mecanismos de subastas, <i>book and claim</i> , crédito fiscal, entre otros). | Ministerios de Economía, Fomento y Turismo y de Energía. | Etapas 1: Preparación. |
| Establecer mecanismos de mercado para desarrollar la capacidad productiva de los SAF. | Ministerios de Economía, Fomento y Turismo, y de Energía. | Etapas 2: Desarrollo. |
| Promover la canalización de fondos de inversión hacia proyectos nacionales de SAF con alta madurez tecnológica y con potencial para escalar su producción. | Ministerios de Economía, Fomento y Turismo, y de Energía. | Etapas 2: Desarrollo. |
| Lineamiento 3.2 Estimular la demanda. | | |
| Evaluar y generar políticas públicas que mejoren la competitividad de los SAF en Chile. | Ministerios de Economía, Fomento y Turismo, de Energía y de Hacienda. | Etapas 1: Preparación. |

* Podría incluir a otros organismos o servicios.

| Acciones | Organismos vinculados* | Etapas |
|---|---|------------------------|
| Lineamiento 3.3. Habilitar el mercado. | | |
| Levantamiento de información base para evaluar el potencial de producción y/o desarrollo de industria de los SAF (estudios de factibilidad de producción y disponibilidad de materia prima, brechas de capital humano, infraestructura, impacto medioambiental, social, entre otros). | Ministerios de Energía, de Transportes y Telecomunicaciones, del Medio Ambiente y de Agricultura. | Etapas 1: Preparación. |
| Difundir internacionalmente el potencial que posee Chile para el desarrollo de una industria de SAF, así como la perspectiva del ecosistema de los SAF con el objetivo de atraer la inversión. | Ministerios de Relaciones Exteriores y de Energía. | Etapas 2: Desarrollo. |
| Promover la inversión y mecanismos de financiamiento en la implementación de instalaciones e infraestructura aeroportuaria de SAF. | Ministerios de Economía, Fomento y Turismo, Transportes y Telecomunicaciones, y de Energía. | Etapas 2: Desarrollo. |

* Podría incluir a otros organismos o servicios.





Busca consolidar un ecosistema de actores de la industria de los SAF en Chile, que permita fortalecer la colaboración nacional e internacional de toda la cadena de valor, a través de la promoción de acuerdos, memorandos de entendimiento, asociaciones con la industria y la cooperación.

| Acciones | Organismos vinculados* | Etapas |
|---|--|------------------------|
| Lineamiento 4.1 Fortalecer la cooperación, la coordinación y el surgimiento de actores nacionales e internacionales. | | |
| Trabajar con asociaciones y gremios para explorar caminos y prácticas que permitan mejorar las condiciones del mercado. | Ministerios de Energía, de Agricultura y de Economía, Fomento y Turismo. | Etapas 1: Preparación. |
| Realizar instancias de difusión para informar la importancia y el avance de los SAF. | Ministerios de Energía y de Transportes y Telecomunicaciones. | Etapas 1: Preparación. |
| Identificar e impulsar acuerdos y alianzas nacionales e internacionales para la promoción del mercado nacional de los SAF, tales como los Acuerdos de Producción Limpia (APL) y el ACT-SAF. | Ministerios de Energía, de Transportes y Telecomunicaciones, de Relaciones Exteriores, de Economía, Fomento y Turismo (ASCC) y del Medio Ambiente. | Etapas 1: Preparación. |
| Llevar a cabo instancias de colaboración con actores nacionales e internacionales de los SAF. | Ministerios de Relaciones Exteriores, de Energía y del Medio Ambiente. | Etapas 2: Desarrollo. |

* Podría incluir a otros organismos o servicios.



Busca impulsar la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) para acelerar los avances tecnológicos en las fases de investigación, demostrativa y piloto, para la producción de SAF en Chile, aplicándolos a todas las etapas de la cadena de valor. Este eje promueve la colaboración entre organizaciones, y a su vez, la disponibilidad y obtención de fondos para proyectos de I+D+i, para posicionar a Chile como un líder en el desarrollo de SAF en la región.

| Acciones | Organismos vinculados* | Etapa |
|--|---|-----------------------|
| Lineamiento 5.1 Promover la I+D+i para acelerar el desarrollo tecnológico. | | |
| Promover la integración de las organizaciones postulantes a fondos de I+D+i con actores de la industria de los SAF para apoyar su adjudicación. | Ministerios de Economía, Fomento y Turismo (CORFO), y de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (ANID). | Etapa 1: Preparación. |
| Promocionar la visión y participación del país en las discusiones, nacionales e internacionales, sobre procesos tecnológicos de los SAF, promoviendo, a su vez, la certificación (huella de carbono, ASTM, DEF STAN ⁴⁶ , entre otros) de tecnologías de producción de SAF desarrolladas en Chile. | Ministerios de Relaciones Exteriores (ProChile, InvestChile), de Energía y del Medio Ambiente. | Etapa 1: Preparación. |
| Coordinar el lanzamiento de fondos concursables de I+D+i para apoyar las vías de producción de SAF con baja madurez tecnológica. | Ministerios de Economía, Fomento y Turismo (CORFO), y de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. | Etapa 1: Preparación. |
| Impulsar la realización de proyectos demostrativos para la producción de SAF a partir de fuentes de energías renovables. | Ministerios de Energía, de Transportes y Telecomunicaciones, y de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. | Etapa 2: Desarrollo. |

* Podría incluir a otros organismos o servicios.

⁴⁶ [Guidance UK Defense Standardization](#)

3.6. Primeros hitos

Esta hoja de ruta establece una meta de uso de SAF al 2050, identificando los lineamientos y sus acciones para lograr este “deSAFío”. A continuación, se muestran aquellos hitos que se posicionan como relevantes en la implementación de esta hoja de ruta:



3.7.

Implementación de la Hoja de Ruta SAF

Considerando el desarrollo tecnológico y del mercado en el contexto nacional, regional e internacional, se considera necesario como primera acción crear una estructura de gobernanza que asegure el correcto despliegue, seguimiento y evaluación de esta hoja de ruta y que dé paso a nuevas líneas de acción.

Gobernanza de la Hoja de Ruta de SAF

A continuación, se establecen las instituciones que formarán parte de la gobernanza de esta hoja de ruta y que velarán por la implementación y el desarrollo de los lineamientos y las acciones expuestas:

- » Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.
- » Ministerio de Energía.
- » Junta de Aeronáutica Civil.
- » Agencia de Sostenibilidad Energética.
- » Programa Vuelo Limpio.

Las funciones a desarrollar por estas instituciones son las siguientes:

Gestión de la Hoja de Ruta

- » Aportar una visión global de la Hoja de Ruta SAF, en cuanto a implementación, monitoreo y evaluación de la misma.
- » Actuar como articulador de las partes interesadas, tanto del sector público como del privado, para la implementación de esta hoja de ruta.
- » Apoyar activamente a los distintos organismos públicos en la aplicación de las acciones.

- » Elaborar un reporte de avance de la Hoja de Ruta SAF, que será presentado al ecosistema SAF y publicado, como máximo, cada 2 años desde esta publicación.
- » Realizar una revisión de esta hoja de ruta con una periodicidad de 3 años, proponiendo actualizaciones, a cargo de los ministerios de Transportes y Telecomunicaciones y de Energía, a través del programa Vuelo Limpio.
- » Basado en los resultados de los estudios que se desarrollen, proponer hitos intermedios asociados a los SAF y acciones para la etapa 3, en las futuras actualizaciones de este documento.

Soporte para el desarrollo de la Hoja de Ruta

- » Elaborar recomendaciones generales para explorar las oportunidades para los SAF.
- » Desarrollar y participar en mesas técnicas en materia de SAF.
- » Identificar nuevas áreas e iniciativas estratégicas que potencien el desarrollo de los SAF en Chile.
- » Integrar el desarrollo de I+D+i de SAF a otras agendas nacionales (Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, ECLP, entre otros).

Esta hoja de ruta requerirá de la participación de otras instituciones, públicas y privadas, que tendrán un rol preponderante en su implementación.

Abreviaciones

| | | | |
|-----------------------|--|--------------|---|
| ACT-SAF | Assistance, Capacity-building and Training for Sustainable Aviation Fuels. | ENAP | Empresa Nacional del Petróleo. |
| ACV | Análisis del Ciclo de Vida. | FAA | Federal Aviation Administration. |
| AgenciaSE | Agencia de Sostenibilidad Energética. | FT | Fischer-Tropsch. |
| ASCC | Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático. | GEI | Gases de Efecto Invernadero. |
| ASTM | American Society for Testing and Materials. | GLEC | Global Logistics Emissions Council. |
| AtJ | Alcohol-to-Jet. | HEFA | Hydrotreated Esters and Fatty Acids. |
| BID | Banco Interamericano de Desarrollo. | IATA | International Air Transport Association. |
| BM | Banco Mundial. | IEA | International Energy Agency. |
| BNE | Balance Nacional de Energía. | IRA | Inflation Reduction Act. |
| CAAF/3 | Third Conference on Aviation Alternative Fuels. | IRENA | International Renewable Energy Agency. |
| CLAC | Comisión Latinoamericana de Aviación Civil. | JAC | Junta de Aeronáutica Civil. |
| CMNUCC | Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. | LCFC | Low Carbon Fuels Coalition. |
| CO₂ | Dióxido de carbono. | LTAG | Objetivo Ambicioso a Largo Plazo. |
| COP21 | 21a Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. | MEN | Ministerio de Energía. |
| COP28 | 28a Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. | MLIT | Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism of Japan. |
| CORFO | Corporación de Fomento de la Producción | MMA | Ministerio del Medio Ambiente. |
| CORSIA | Esquema de Compensación y Reducción de Emisiones para la Aviación Civil Internacional. | MtJ | Methanol-to-Jet. |
| DGAC | Dirección General de Aeronáutica Civil. | MTT | Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. |
| EASA | European Union Aviation Safety Agency. | OACI | Organización de Aviación Civil Internacional. |
| EAU | Emiratos Árabes Unidos. | PEN | Política Energética Nacional. |
| ECLP | Estrategia Climática de Largo Plazo. | PtL | Power-to-Liquid. |
| EEUU | Estados Unidos. | SAF | Combustibles de Aviación Sostenible. |
| | | UE | Unión Europea. |
| | | UK | Reino Unido. |
| | | I+D+i | Investigación, Desarrollo e Innovación. |

ANEXO

Antecedentes de la Mesa SAF público-privada

A continuación, se entrega un resumen de cada una de las cinco sesiones de la Mesa SAF público-privada. Las actas, presentaciones y grabaciones de las jornadas están disponibles en la página web de [Vuelo Limpio](#).

Sesión 1: "Interés y desafíos de las aerolíneas para implementar el uso de SAF"

Expositores: SKY Airline, LATAM, JetSMART, ASCC. Asisten además representantes extranjeros.

De la jornada se extraen los siguientes puntos clave y propuestas:

- » Realizar un diagnóstico de las materias primas para producir SAF en Chile.
- » Identificar el impacto de los SAF en los precios como una problemática para la sostenibilidad del negocio.
- » Generar incentivos de uso de SAF para disminuir la brecha de precios con el combustible fósil.
- » Las aerolíneas manifiestan voluntad de consensuar metas y objetivos, con la finalidad de encaminar la industria en el uso de los SAF.
- » Revisión normativa e identificación de las brechas para plasmar las nuevas políticas de SAF, con una coherencia regulatoria, tanto dentro como fuera de Chile.
- » Revisar la posibilidad de generar un Acuerdo de Producción Limpia con la ASCC.
- » Realizar un benchmarking estudiando la experiencia de otros países.

Sesión 2: "Interés y desafíos de importadores, productores, refinerías y distribución/abastecimiento de SAF"

Expositores: IATA, ENAP, BioFuels (Brasil), Rendering, HIF y Copec.

De la jornada se extraen los siguientes puntos clave y propuestas:

- » Identificar las materias primas disponibles en Chile que podrían ser utilizadas para producir SAF.
- » Considerar la diversificación en el uso de materias primas y, el uso de tecnologías, propiciando la innovación.
- » Es necesario analizar la factibilidad del mercado de los SAF en Chile.
- » Generar un marco regulatorio que permita habilitar las condiciones en el mercado que se ajusten a la realidad del país.
- » Garantizar la obtención suficiente de SAF para poder cumplir las metas de la industria aérea, siendo la disponibilidad de SAF uno de los mayores retos.
- » Generar mecanismos de acceso al capital para nuevas inversiones en SAF.
- » Identificar políticas públicas que hagan accesible los SAF, reduciendo su costo.

Sesión 3: "Interés y desafíos de importadores, productores, refinerías y distribución/abastecimiento de SAF"

Expositores: Corporación Chilena de la Madera (COR-MA), Honeywell, Neste, Universidad Católica de la Santísima Concepción (UCSC), Linde, Enx y Air Liquide.

De la jornada se extraen los siguientes puntos clave y propuestas:

- » Existe suficiente capacidad instalada en investigación a nivel de laboratorios.
- » Se requiere el apalancamiento de inversiones para acelerar el aspecto teórico asociado al desarrollo de los SAF.
- » Crear incentivos a las inversiones para apalancar los costos de las tecnologías.
- » Los créditos fiscales son una vía eficiente para promover el uso de SAF, por lo que se propone estudiar casos como el de California, para avanzar en esta materia.
- » Al diseñar políticas que fomenten la producción de los SAF también se debe considerar la existencia de incentivos a la producción de biodiésel y otros derivados del etanol.
- » Explorar la biomasa forestal como materia prima. Esta se podría disponibilizar por medio de planes de manejo de bosques y de residuos de las empresas forestales.

Sesión 4: "Interés y desafíos de la regulación, certificación e investigación"

Expositores: DGAC, Pontificia Universidad Católica de Chile, Axens, SGS y Universidad de Concepción (UdeC).

De la jornada se extraen los siguientes puntos clave y propuestas:

- » Considerar la dificultad que implica la modificación de contratos vigentes, por ejemplo, de la provisión

de combustible en los aeropuertos, al ser de largo plazo y no poder alterarse fácilmente. Esto podría limitar el uso de los SAF en contratos futuros.

- » Hay universidades chilenas bien equipadas y con importantes avances en investigación en bio-combustibles, con laboratorios, equipamiento y disponibilidad para aportar en el ámbito de los SAF y desarrollo de pilotos.
- » Se menciona la posibilidad de instalar nuevos laboratorios en Chile, lo que podría fomentar nuevas normativas en relación a los SAF.
- » El hidrógeno verde requiere mayor investigación para disminuir los costos de producción. Sin embargo, si bien el hidrógeno azul y el gris no son consideradas opciones sostenibles, existe una capacidad instalada que debe ser aprovechada para avanzar en los estudios pertinentes de los SAF.
- » La biomasa forestal es viable como materia prima, al integrar los residuos no utilizados actualmente. Lo anterior es posible mediante la creación de planes de manejo para el bosque nativo que permitan una explotación sostenible. Las plantaciones dendroenergéticas también deben ser exploradas, considerando una explotación sostenible.

Sesión 5: "Experiencias Internacionales en estrategias e iniciativas para producción, distribución y uso de SAF"

Expositores: Japan Civil Aviation Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT), Federal Aviation Administration (FAA), Low Carbon Fuels Coalition (LCFC), European Union Aviation Safety Agency (EASA), Boeing, CAC Chemieanlagenbau Chemnitz GmbH.

De la jornada se extraen los siguientes puntos clave y propuestas:

- » Dentro de los compromisos de descarbonización de la aviación en hojas de ruta, que toman como guía las recomendaciones de la IATA y la OACI, los SAF son la opción más predominante.

» Es necesario evaluar la disponibilidad de materia prima en todos los países que promueven el desarrollo de los SAF.

» Se requiere un sistema regulatorio capaz de adaptarse a diferentes escenarios de producción de los SAF.

» Las hojas de ruta requieren cooperaciones público-privadas. Las grandes inversiones necesarias para generar el mercado de los SAF conllevan, además de ayudas estatales, una activa participación del sector privado.

» Las ayudas financieras por parte de los Estados son una herramienta usada para disminuir la brecha existente entre el precio de los SAF y el combustible fósil.

» Los créditos o bonos verdes adquieren cada vez más relevancia en el contexto de un mercado de los SAF, contribuyendo a la competitividad del mismo.

» El apilamiento (o *stacking*) es una opción usada en las políticas de los países. Esto implica poder acumular los beneficios, incentivos, medidas y/o políticas en la producción y uso de los SAF.

» La vía PtL presenta un alto potencial de descarbonización de la industria a largo plazo. El escalamiento de su producción se proyecta a partir de 2030 en adelante, cuando la madurez de su tecnología lo permita.

Tabla A1. Vínculo a documentos generados en las Mesa SAF público-privado.

| Sesión | Fecha | Acta | Presentación | Transmisión |
|-----------------------------|------------|---|---|---|
| Lanzamiento mesa de trabajo | 20/10/2022 |  |  |  |
| Primera mesa SAF | 24/11/2022 |  |  |  |
| Segunda mesa SAF | 12/12/2022 |  |  |  |
| Tercera mesa SAF | 12/01/2023 |  |  |  |
| Cuarta mesa SAF | 16/03/2023 |  |  |  |
| Quinta mesa SAF | 31/05/2023 |  |  |  |



HOJA DE RUTA SAF 2050

Combustibles de Aviación Sostenibles

