

HOJA DE RUTA SAF 2050

Documento para el proceso
de Consulta Pública



Hoja de Ruta de SAF 2050

Documento desarrollado colaborativamente por:



Apoiado por:



Equipo:

- Ministerio de Energía: Karla Chace y Alvaro 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.
- Empresa Nacional del Petróleo: Sebastián Córdoba, Gina Gonthier, Marcelo Guerrero y Paulina Valenzuela.
- Banco Interamericano de Desarrollo: Mariano Ansaldo y Cristian Navas.
- Consultores del Banco Interamericano de Desarrollo: Mauricio Utreras y Constanza Montecinos.

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 Aviación Civil (DGAC).

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

Enero 2024

Versión para consulta pública.

CONTENIDO

Resumen ejecutivo	4
Introducción	7
1. Industria de la aviación y cambio climático	10
2. Combustibles de Aviación Sostenibles (SAF)	13
2.1. Las 5 claves de los SAF	14
2.2. Capacidad de producción de SAF en el mundo	16
2.3. Tratados y acuerdos internacionales para la reducción de GEI	17
2.3.1. Políticas públicas para el uso de SAF en otros países	18
2.3.2. Perspectiva nacional	19
2.3.2.1. Consumo de combustibles en el Transporte Aéreo	19
2.3.2.2. Políticas públicas con impacto en la descarbonización del transporte aéreo	20
2.3.2.3. Rol de los SAF para descarbonizar la aviación en Chile	21
3. Hoja de Ruta	22
3.1. Mesa SAF	23
3.2. Visiones del sector Transporte y del sector Energía	24
3.3. Oportunidades de desarrollo de SAF en Chile	25
3.4. Los desafíos para el desarrollo de los SAF en Chile	27
3.5. Hacia la descarbonización de la aviación: nuestro camino a seguir	29
3.6. Primeros hitos	38
3.7. Implementación de la Hoja de Ruta de SAF	38
ANEXO	41
Antecedentes de la Mesa SAF público-privada	41

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 2050¹. 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, respecto a un escenario de uso nulo de energías limpias, y, por otro, promover la producción de Combustibles de Aviación Sostenibles (SAF, por sus siglas en inglés) 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, CO ₂ atmosférico, o 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 completo ² .
---	--	--

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**, representado por las líneas aéreas, se enfatiza en la necesidad de desarrollar un mercado

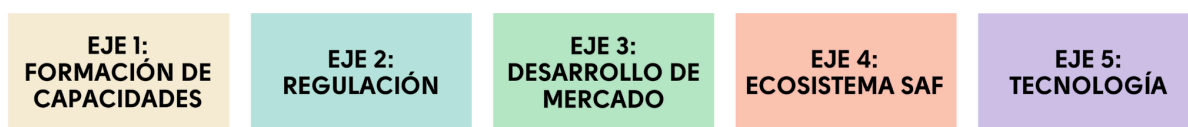
¹ <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/LTAG.aspx>

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

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 27 acciones asociadas.



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 la **meta de uso de SAF al 2050** que permita alcanzar las metas globales de carbono neutralidad asumidas por Chile para la industria de la aviación.

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.



³ El orden de los ejes no indica prioridad.

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 2050⁶ y diversas instituciones^{7,8,9} 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 medidas**¹⁰. 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).

La Figura 1 ilustra la contribución de cada una de estas medidas para lograr la carbono neutralidad, en las que los SAF tienen el mayor potencial de descarbonización de la aviación.

¿Qué son los SAF?

De acuerdo al Convenio Sobre Aviación Civil Internacional¹¹, los SAF se definen como combustibles aeronáuticos renovables o derivados de residuos que cumplen con los criterios de sostenibilidad de CORSIA.

⁴ <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-aviation>

⁵ Sitio web de la *European Commission*, sección *Climate Action, Transport, Reducing emissions from aviation*.

⁶ Sitio web de la OACI, prensa, octubre del 2021. La OACI acoge con satisfacción el compromiso de la industria del transporte aéreo de emisiones netas cero para 2050.

⁷ <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/LTAG.aspx>

⁸ https://aviationbenefits.org/media/167417/w2050_v2021_27sept_full.pdf

⁹ <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2023-12/eurocontrol-aviation-sustainability-briefing-edition-9.pdf>

¹⁰ <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/climate-change.aspx>

¹¹ 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%¹² las emisiones de GEI en todo el ciclo de vida respecto a los combustibles convencionales.

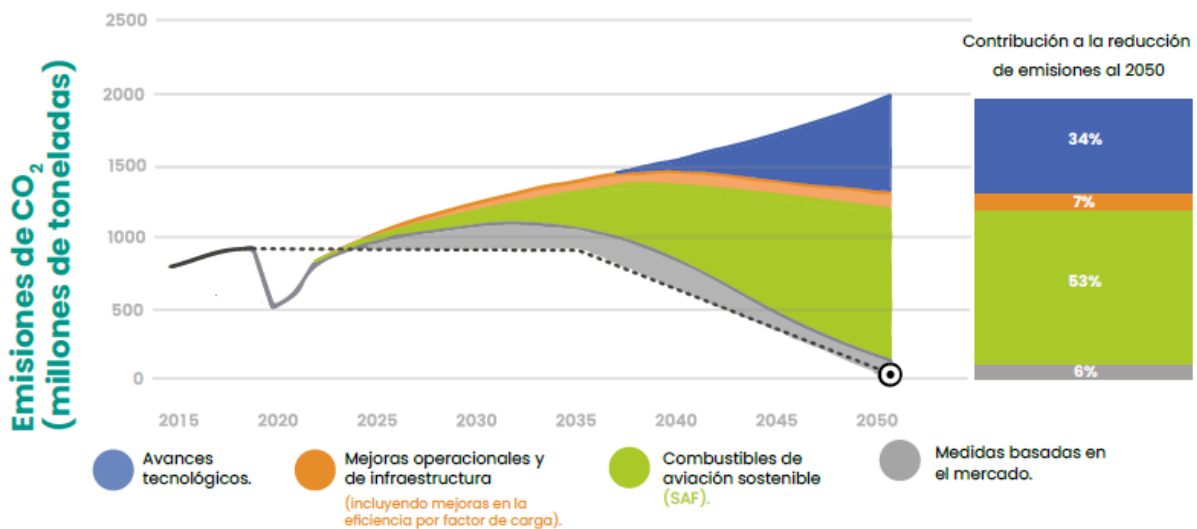


Figura 1. Contribución de la canasta de medidas propuesta por la OACI a la carbono neutralidad de la aviación al 2050.

Fuente: *Air Transport Action Group*, 2021.

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 y desarrollar 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 solar¹³. 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 tradicionales^{14,15}. 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.

¹² https://aviationbenefits.org/media/167417/w2050_v2021_27sept_full.pdf

¹³ *Clean Skies for Tomorrow: Sustainable Aviation Fuel Policy Toolkit*, World Economic Forum, 2021.

¹⁴ https://www.icao.int/Meetings/a41/Documents/WP/wp_477_en.pdf

¹⁵ *Clean Skies for Tomorrow: Sustainable Aviation Fuel Policy Toolkit*, World Economic Forum, 2021.

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 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.

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%¹⁶ 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 hasta 2050. Durante este tiempo, el uso mundial de combustible para aviones comerciales se más que duplica, 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 CO₂¹⁷, proyectándose un incremento a medida que otros sectores se vayan descarbonizando. De acuerdo a las proyecciones (pre-pandemia) de la OACI¹⁸, 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.

1.2. Transición energética como pieza clave en la descarbonización de la aviación

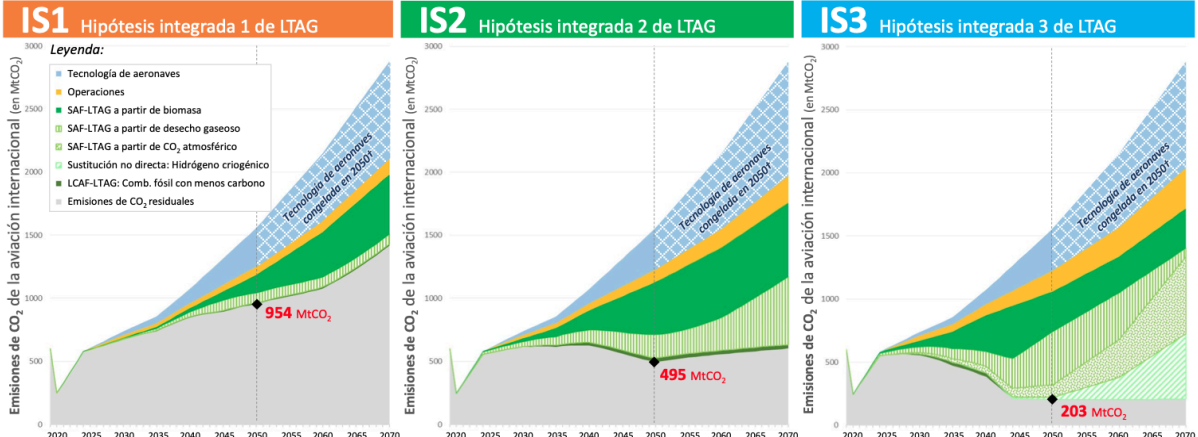
Como se señaló anteriormente, la OACI ha propuesto una canasta de medidas para lograr la meta de tener una aviación internacional carbono neutral al 2050. De estas, los SAF son la principal medida, ya que se proyecta que contribuyan con el 53%¹⁹ de la reducción de emisiones (Figura 2.).

¹⁶ Indicadores de Desarrollo Mundial (1974 - 2019). Banco Mundial.

¹⁷ <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-aviation>

¹⁸ https://www.icao.int/Meetings/a40/Documents/WP/wp_560_rev1_en.pdf

¹⁹ Escenario número 3 de ATAG: https://aviationbenefits.org/media/167417/w2050_v2021_27sept_full.pdf



†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. Por efecto de estos supuestos, las emisiones de CO₂ son más altas que en una hipótesis (y criterio de modelización) de alternativa donde la tecnología seguiría avanzando después de 2050.

Figura 2. Escenarios de emisiones de CO₂ y contribución a la carbono neutralidad de la canasta de medidas propuestos por el LTAG.

Fuente: *Report on the Feasibility of a Long-Term Aspirational Goal*, 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.

Primera. 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 aplicados en el corto plazo, sin comprometer 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. De hecho, los fabricantes de aviones proyectan que puedan operar con un 100% de SAF para el 2030²⁰.

Segunda. 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 3) sus emisiones en comparación con los combustibles fósiles, ya que parte de estas serían reabsorbidas o evitadas durante el ciclo de producción de SAF.

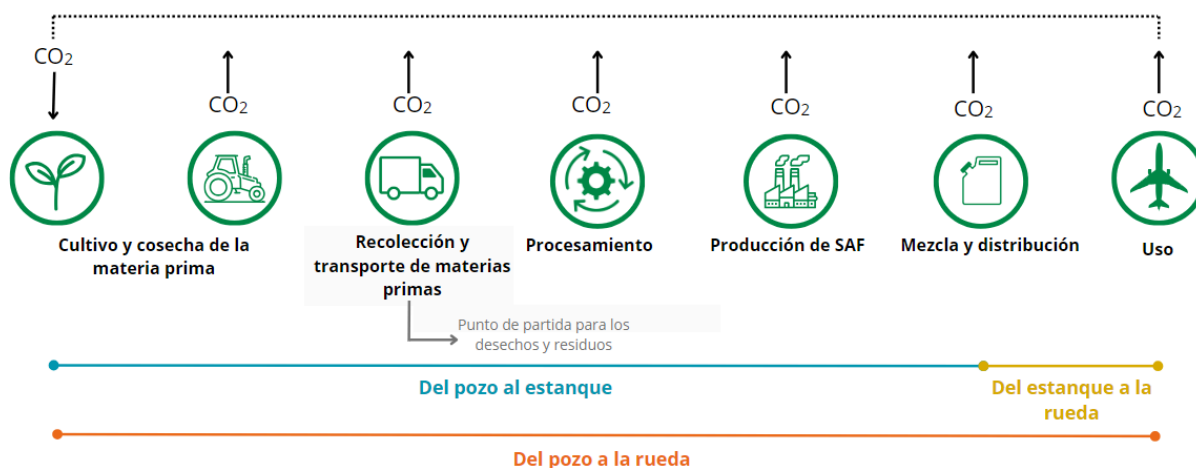


Figura 3. Ciclo de vida de los combustibles sostenibles.
Fuente: *Roundtable on Sustainable Biomaterials*, RSB 2022²¹.

Tercera. 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 11²² procesos aprobados la ASTM, a través de las normas de referencia ASTM D7566 y





²⁰ Sitio web de Vuelo Limpio, sección Combustibles de Aviación Sostenibles (SAF). www.vuelolimpio.cl

²¹ <https://rsb.org/wp-content/uploads/2023/01/SAP-2022-SAF-Guidance-for-Airports.pdf>

²² <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Conversion-processes.aspx>

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 (Tabla 1). 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. Procesos de conversión aprobados, materias primas y potencial de reducción de GEI en relación a combustibles fósiles de aviación.

	 HEFA	 Alcohol-to-jet^a	 Gasificación/FT	 Power-to-liquid
Evaluación de oportunidades	Tecnología segura, probada y escalable.	Potencial en el mediano plazo, aunque existe una gran incertidumbre técnico-económica.		Prueba de concepto al 2025+, principalmente en las zonas con alto potencial de generación eléctrica y a bajo costo.
Madurez tecnológica	Madura.	Pilotos comerciales.		En desarrollo.
Materia prima	Desechos lipídicos y de aceites residuales, y plantas cultivadas para la producción de energía(b), transportables y con cadenas de distribución preexistentes. Potencial para cubrir el 5%-10% de la demanda de combustible para aviones.	Residuos agrícolas y forestales, residuos sólidos municipales(d), cultivos energéticos(e) celulósicos cultivados a propósito. Alta disponibilidad de materia prima barata, pero de recolección disgregada.		Energía eléctrica renovable 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.
Reducción de emisiones de GEI en el ciclo de vida vs el jet fuel fósil.	73%-84% (c).	85%-94% (f).		99% (g).

a. Producción de SAF a partir de Etanol; b. 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; c. Excluidos todos los cultivos oleaginosos comestibles; 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. Hasta el 100% con una cadena de suministro totalmente descarbonizada.

Fuente: Modificado a partir del documento: *Clean Skies for Tomorrow: Sustainable Aviation Fuel Policy Toolkit*, World Economic Forum, 2021.

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 vía²³.

Cuarta. 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

²³ <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/presentations/sustainable-aviation-fuel-agm-2023/>

combustible de aviación²⁴); 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.

Quinta. 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 particulado²⁵, respecto al empleo de combustibles fósiles. Por otro lado, el desarrollo de esta industria permitirá que se activen localmente ciertos sectores productivos, generando importantes impactos económicos y sociales en las localidades donde se ubique; por ejemplo, mediante la generación de empleos.

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, lo que representaría el 0,53% de la demanda de *jet fuel*²⁶.

A pesar de que el precio de los SAF es superior al del *jet fuel* convencional²⁷, 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 2022²⁸. Este incremento se ha visto expresado en el aumento de vuelos comerciales con estos combustibles, registrando 500 vuelos comerciales en el 2016 y más de 449.000 hasta el 2023²⁹.

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 4). Dado lo anterior, se anticipan importantes avances tecnológicos así como un significativo desarrollo en infraestructura para toda la cadena de valor de estos combustibles³⁰.

²⁴ Sitio web de la OACI, sección *Environmental Protection, CORSIA Eligible Fuels*. Documento: *CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels*.

²⁵ <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34662519/>

²⁶ <https://www.iata.org/en/pressroom/2023-releases/2023-12-06-02/>

²⁷ Kerosene de aviación de origen fósil.

²⁸ <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Offtake-Agreements.aspx>

²⁹ <https://www.airbus.com/en/sustainability/respecting-the-planet/decarbonisation/sustainable-aviation-fuel>

³⁰ <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet---alternative-fuels/>

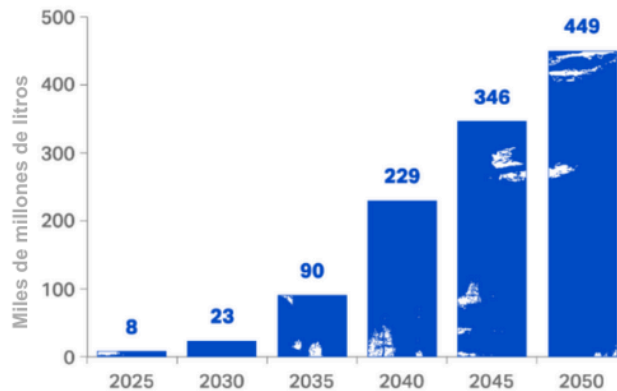


Figura 4. Proyección de demanda de SAF para lograr el cero neto al 2050.

Fuente: *Net Zero 2050, Sustainable Aviation Fuels*, IATA.

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**³¹.

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 SAF³², 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 CAAF/3³³, 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 limpias³⁴. 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

³¹ <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>

³² https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Assembly/Resolution_A41-21_Climate_change.pdf

³³ Conferencia sobre la Aviación y los Combustibles Alternativos de la OACI.

³⁴ Sitio web de la OACI, prensa, noviembre 2023. La OACI adopta en una conferencia un sólido marco mundial para lograr una transición energética limpia en la aviación internacional.

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 2050³⁵.

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.

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 que estimulan la producción y aumento de demanda de SAF se detallan el siguiente mapa:

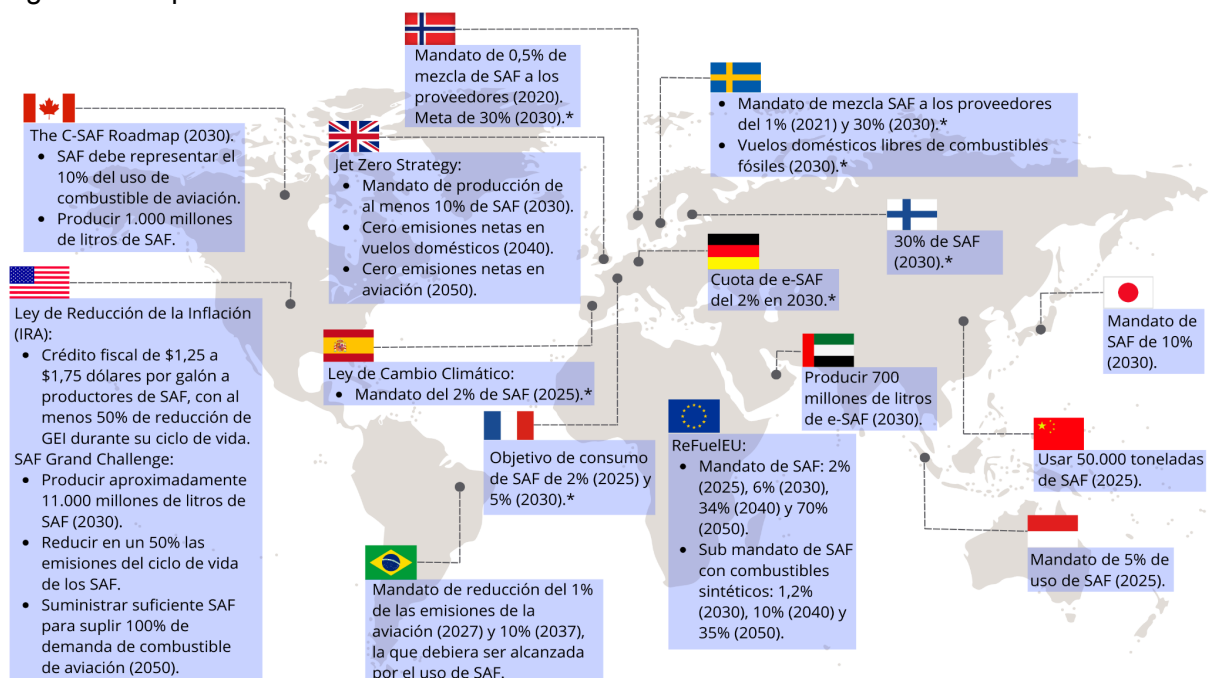


Figura 5. Políticas de SAF en el mundo.

Fuente: Elaboración propia.

³⁵ Sitio web del MMA, noticias, diciembre del 2023. "El comienzo del fin de una era": COP28 finaliza con un histórico texto para acabar con el uso de combustibles fósiles.

2.3.2. Perspectiva nacional

2.3.2.1. 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 transporte ³⁶.

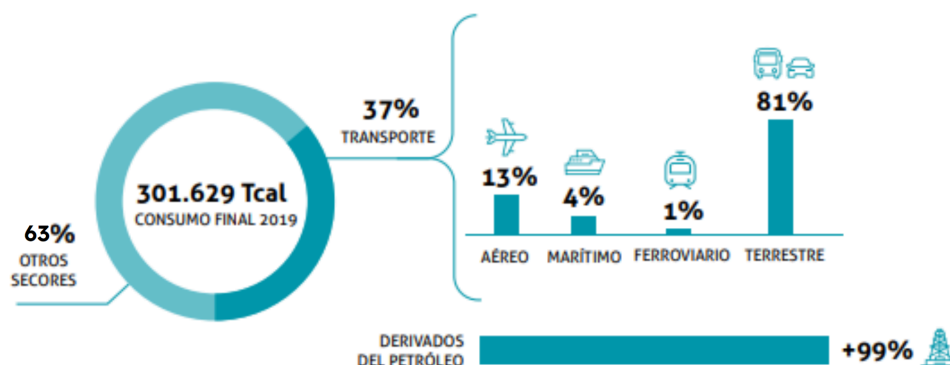


Figura 6. Consumo de energía en Chile 2019.

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 litros³⁷, con una caída posterior a causa de la pandemia (Figura 7).

Asimismo, basado en estimaciones realizadas por el equipo asesor de la Mesa SAF conformado por representantes del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, del Ministerio de Energía, de la AgenciaSE, de ENAP y del BID, se proyecta que el consumo de combustibles de aviación en Chile podría aumentar en un 129% entre el 2019 y el 2050 (Figura 7). Lo anterior se refuerza con el crecimiento de la demanda de pasajeros proyectada³⁸, que se atribuye a factores como una mayor accesibilidad de este medio y la lejanía del país con respecto a los grandes polos.

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

³⁶ <http://energiaabierta.cl/categorias-estadistica/balance-energetico/>

³⁷ <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/combustibles-por-region/>

³⁸ Plan Estratégico del Transporte Aéreo, disponible en: <https://vueloolimpio.cl/estrategias-y-tecnicas-para-la-gestion-energetica>

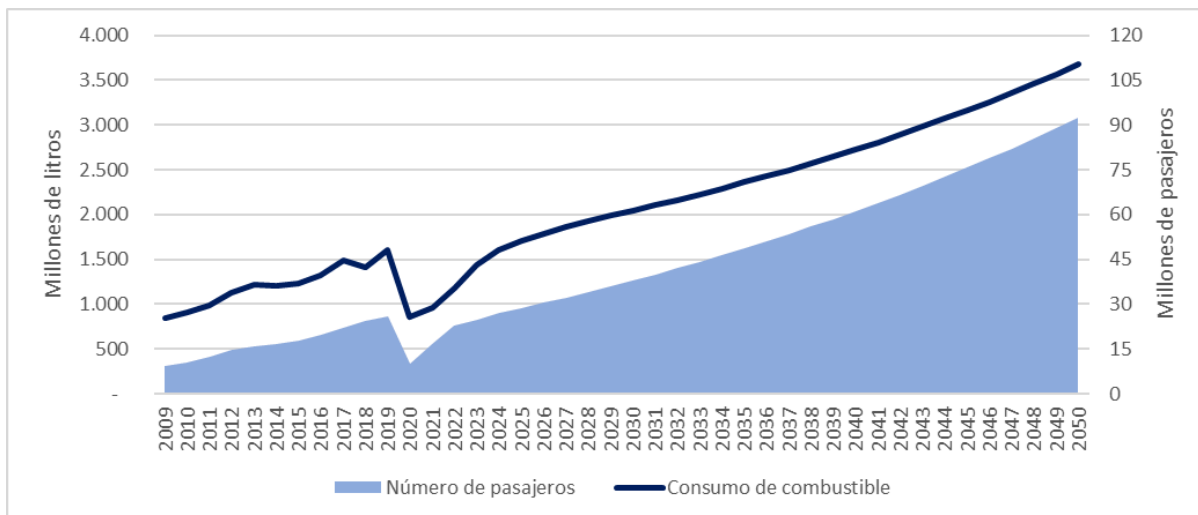


Figura 7. Proyección en el consumo de combustible de aviación en Chile y demanda de pasajeros.
Fuente: Elaboración propia.

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 años³⁹.

2.3.2.2. 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 internacional⁴⁰, 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 internacional, 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 Nacional⁴¹ (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

³⁹ Sitio web de la OACI, sección Environmental Protection, State Action Plans and Assistance - [Chile](#).

⁴⁰ Sitio web de la OACI, sección Environmental Protection, State Action Plans and Assistance - [Chile](#).

⁴¹ https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/pen_2050_-_actualizado_marzo_2022_0.pdf

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 Nacional de Hidrógeno Verde y el Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023-2030, en lo 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.

2.3.2.3. 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.

TIPO DE VUELO	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	Participación pasajeros 2019 en Chile
Commuter	SAF	Eléctricos, Celdas hidrógeno o SAF	Eléctricos, Celdas hidrógeno o SAF	Eléctricos, Celdas hidrógeno o SAF	Eléctricos, Celdas hidrógeno o SAF	Eléctricos, Celdas hidrógeno o SAF	Eléctricos, Celdas hidrógeno o SAF	~0%
Regional	SAF	SAF	Eléctricos, Celdas hidrógeno o SAF	Eléctricos, Celdas hidrógeno o SAF	Eléctricos, Celdas hidrógeno o SAF	Eléctricos, Celdas hidrógeno o SAF	Eléctricos, Celdas hidrógeno o SAF	~0%
Short-haul	SAF	SAF	SAF	SAF potencialmente Hidrógeno	SAF e Hidrógeno	SAF e Hidrógeno	SAF e Hidrógeno	3,6%
Medium-haul	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF potencialmente Hidrógeno	51,8%
Long-haul	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	44,7%

Fuente: Air Transport Action Group, Waypoint 2050 (2021) y estadísticas de la JAC.

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**.

La Mesa SAF fue conformada por:

- **Mesa SAF 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.

- **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 de SAF.

Participantes: Agencia de Sostenibilidad Energética, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Ministerio de Energía, Empresa Nacional del Petróleo y Banco Interamericano de Desarrollo.

- **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.

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 (revisar síntesis de cada sesión en el Anexo). Todas las sesiones incluyeron la realización de presentaciones por parte de los asistentes y conversatorios (Figura 8), involucrando a más de 60 empresas u organizaciones⁴².

⁴² <https://vuelolimpio.cl/estrategias-y-tecnicas-para-la-gestion-energetica/#mesa>

Lanzamiento de la Mesa SAF (20/10/22)	Sesión 1 (24/11/22)	Sesión 2 (12/12/22)	Sesión 3 (12/01/23)	Sesión 4 (16/03/23)	Sesión 5 (31/05/23)

Figura 8. Entidades participantes como presentadores en sesiones de la Mesa SAF.
Fuente: Elaboración propia.

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. Al respecto, 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 establecidas de su uso para los próximos años. Sin embargo, **han enfatizado en que la adquisición de combustibles sostenibles no debe generar mayores impactos económicos**, 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 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.

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 (ver 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 mundo⁴³.

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 aceite de cocina usados de industrias que lo utilizan en sus procesos productivos⁴⁴. 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 (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 camelina⁴⁵, 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.

⁴³ https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf

⁴⁴ En la actualidad, de la fracción de aceites contenida en los residuos sólidos municipales que llega a los vertederos, el 2,1% se revaloriza, lo que se estima equivale a 1.400 toneladas al año.

⁴⁵ https://aviationbenefits.org/media/166152/beginners-guide-to-saf_web.pdf

- **Hidrógeno verde**⁴⁶: 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, insumo 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, que 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 aire⁴⁷.

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 9.). Cuando el SAF se produce por esta vía, se le denomina e-SAF.

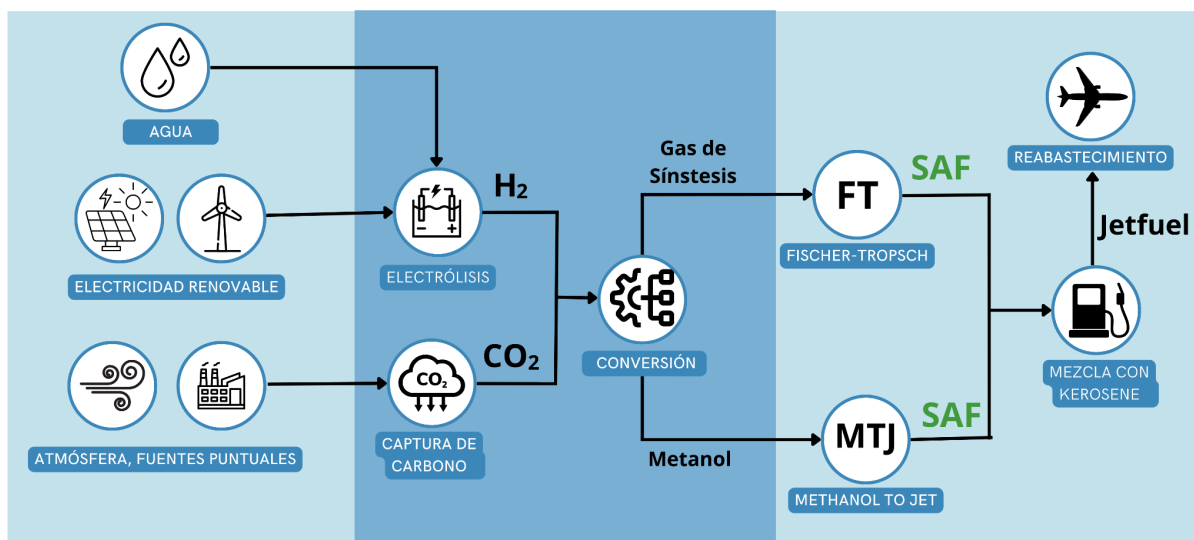


Figura 9. Fases de producción de *e-fuels* para la aviación.

Fuente: elaboración propia.

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 que establece las ambiciones de Chile para crear una nueva industria, siendo uno de sus objetivos claves, como ya fue

⁴⁶ El hidrógeno es el elemento más abundante en el universo y tiene un alto potencial para la transición energética global. Existen diversos mecanismos para obtenerlo y, dependiendo de si esta fuente es renovable, se obtiene hidrógeno verde.

⁴⁷ https://www3.weforum.org/docs/WEF_UAE_Power_to_Liquid_Roadmap_2022.pdf

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”⁴⁸. 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 específicamente considera “Impulsar el desarrollo y demanda local de combustibles sostenibles de aviación (Sustainable Aviation Fuels, SAF) a través de Hoja de Ruta SAF”⁴⁹.

Uno de los ejes de la Estrategia es el posicionamiento internacional de Chile como productor de combustible limpio. En este contexto, se han firmado instrumentos con potencias como Estados Unidos, Francia⁵⁰, Alemania⁵¹ y Japón, así como con el Banco Mundial (BM)⁵², 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 avanzados centro de control de calidad para este tipo de combustibles y una base de actividades de investigación, desarrollo e innovación relacionadas con los productos de la planta. 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-fuels* para la aviación.

3.4. Los desafíos para el desarrollo de los SAF en Chile

- Limitada información respecto a la disponibilidad y el potencial de materias primas para la producción de SAF.
- Mayor costo de producción de SAF frente al *jet fuel* convencional.
- Competencia en el uso de materias primas para la producción de SAF.
- Baja madurez tecnológica para escalar la producción de SAF.
- Falta de conocimiento especializado en la cadena de valor de los SAF.
- Ausencia de normativa nacional para la seguridad de instalaciones en la cadena de valor de los SAF y la calidad del producto.
- Necesidad de condiciones habilitantes para la certificación de SAF en todo su ciclo de vida.

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

⁴⁸ https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf

⁴⁹ <https://www.planhidrogenoverde.cl/>

⁵⁰ Sitio web del Ministerio de Energía, noticias, junio del 2023. Chile y Francia firman declaración conjunta para creación de grupo de trabajo bilateral para el desarrollo del hidrógeno verde.

⁵¹ Sitio web del Ministerio de Energía, noticias, agosto del 2022. Chile firma acuerdo con el puerto más grande de Alemania para exportar hidrógeno verde.

⁵² Sitio web del Banco Mundial, prensa, junio del 2023. Chile acelera la industria del hidrógeno verde con apoyo del Banco Mundial.

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^{53,54,55}.

Cada tipo de proceso de conversión de SAF determina la infraestructura requerida, las zonas de producción, los requerimientos logísticos y los costos de producción⁵⁶. Por lo anterior, se ha definido como esencial la necesidad de contar con **información respecto a la disponibilidad y potencialidad de materias primas para la producción de SAF**. A la vez, 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.

Por otro lado, 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**.

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 HEFA⁵⁷), 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**.

Asimismo, 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.

Asimismo, 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. Por otro lado, el SAF a ser 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

⁵³ <https://www.weforum.org/agenda/2023/11/what-is-sustainable-aviation-fuel/>

⁵⁴ <https://atag.org/industry-topics/sustainable-aviation-fuel>

⁵⁵ Sitio web de la OACI, prensa, noviembre del 2022. La OACI apoya la descarbonización de la aviación en la COP27.

⁵⁶ <https://www.icf.com/insights/transportation/deploying-sustainable-aviation-fuel-to-meet-climate-ambition>

⁵⁷ *Multi criteria decision analysis for the evaluation and screening of sustainable aviation fuel production pathways.* [https://www.cell.com/iscience/pdf/S2589-0042\(23\)01021-0.pdf](https://www.cell.com/iscience/pdf/S2589-0042(23)01021-0.pdf)

mercado de SAF en Chile, no están las condiciones actuales de poder verificar y certificar esos atributos, **generando incertidumbre en Chile respecto a la disponibilidad de un esquema de certificación para la sustentabilidad del SAF.**

Gran parte de los desafíos anteriormente señalados traen como resultado que actualmente exista una **oferta de SAF reducida**. 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. Hacia 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 aspiracional 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 aspiracional 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.



Para esta hoja de ruta se definen tres etapas:

	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.	2024-2027
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.	2028-2033
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.	2034-2040

EJE 1. FORMACIÓN DE CAPACIDADES

Busca promover la capacitación y el desarrollo del capital humano necesario para la consolidación de esta industria, 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, 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).	Ministerio de Energía.	Etapas 1: Preparación.
Potenciar el sector académico para desarrollar capacidades locales.	Ministerios de Energía y 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 3: Escalamiento.

* Podría incluir a organismos dependientes de la institución.

EJE 2. REGULACIÓN

Busca crear un entorno regulatorio propicio para el desarrollo y la adopción de 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 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 de los SAF, a la infraestructura aeroportuaria y a las materias primas y, asimismo, con respecto a especificaciones de calidad del combustible SAF.	Ministerio de Energía, Ministerio 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, de Hacienda, de Transportes y Telecomunicaciones, de Obras Públicas y la Dirección General de Aeronáutica Civil.	Etapas 1: Preparación.
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.	Ministerio de Energía y Ministerio 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 sustentabilidad 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 sustentabilidad de los SAF.	Ministerios de Energía, del Medio Ambiente y de Agricultura.	Etapa 1: Preparación.
Establecer un marco habilitante para posibilitar 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.	Etapa 1: Preparación.

* Podría incluir a organismos dependientes de la institución.

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*	Etapa
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.	Etapa 1: Preparación.
Establecer mecanismos de mercado para desarrollar la capacidad productiva de los SAF.	Ministerios de Economía, Fomento y Turismo, y de Energía.	Etapa 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.	Etapa 3: Escalamiento.
Lineamiento 3.2 Estimular la demanda.		
Generar políticas públicas que mejoren la competitividad de los SAF en Chile, centrándose en el uso de SAF.	Ministerios de Economía, Fomento y Turismo, de Energía y de Hacienda.	Etapa 1: Preparación.
Evaluar mecanismos que propicien la disminución de la disparidad de precio entre los SAF y los combustibles fósiles.	Ministerios de Economía, Fomento y Turismo, de Energía y de Hacienda.	Etapa 3: Escalamiento.
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, brechas de capital humano, infraestructura, impacto medioambiental, social, entre otros).	Ministerio de Energía, de Transportes y Telecomunicaciones, de Medio Ambiente y de Agricultura.	Etapa 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 Energía.	Etapa 2: Desarrollo.

Promover la inversión y mecanismos de financiamiento en la implementación de plantas piloto o proyectos de SAF.	Ministerios de Economía, Fomento y Turismo, Transportes y Telecomunicaciones, y Energía.	Etapa 2: Desarrollo.
---	--	----------------------

* Podría incluir a organismos dependientes de la institución.

EJE 4. ECOSISTEMA SAF

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*	Etapa
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.	Etapa 1: Preparación.
Realizar campañas educativas para informar la importancia y el avance de los SAF usando medios como redes sociales, seminarios, etc.	Ministerios de Energía y de Transportes y Telecomunicaciones.	Etapa 1: Preparación.
Identificar e impulsar acuerdos y alianzas internacionales para la promoción del mercado nacional de los SAF.	Ministerios de Energía, de Transportes y Telecomunicaciones, de Relaciones Exteriores y del Medio Ambiente.	Etapa 2: Desarrollo.
Llevar a cabo instancias de colaboración con actores nacionales e internacionales de los SAF.	Ministerios de Relaciones Exteriores, de Energía y del Medio Ambiente.	Etapa 2: Desarrollo.

* Podría incluir a organismos dependientes de la institución.

EJE 5. TECNOLOGÍA

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*	Etapas
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).	Etapas 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, <i>Defence Standard</i> ⁵⁸ , entre otros) de tecnologías de producción de SAF desarrolladas en Chile.	Ministerios de Relaciones Exteriores (ProChile, InvestChile), de Energía y del Medio Ambiente.	Etapas 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.	Etapas 2: Desarrollo.
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.	Etapas 2: desarrollo.

* Podría incluir a organismos dependientes de la institución.

⁵⁸ <https://www.gov.uk/guidance/uk-defence-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 de 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, 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, que será presentado al ecosistema SAF y publicado, como máximo, cada 2 años desde esta publicación.
 - Realizar una revisión periódica de esta hoja de ruta, con una periodicidad de 3 años, a cargo de los ministerios de Transportes y Telecomunicaciones y de Energía, a través del programa Vuelo Limpio y proponer actualizaciones.

- 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 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

ACV	Análisis del Ciclo de Vida.	GEI	Gases de efecto invernadero.
AgenciaSE	Agencia de Sostenibilidad Energética.	GLEC	<i>Global Logistics Emissions Council.</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials.</i>	HEFA	<i>Hydrotreated Esters and Fatty Acids.</i>
AtJ	<i>Alcohol-to-Jet.</i>	IATA	<i>International Air Transport Association.</i>
BID	Banco Interamericano de Desarrollo.	IEA	<i>International Energy Agency.</i>
BM	Banco Mundial.	IRA	<i>Inflation Reduction Act.</i>
BNE	Balance Nacional de Energía.	IRENA	<i>International Renewable Energy Agency.</i>
CAAF/3	<i>Third Conference on Aviation Alternative Fuels.</i>	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.	MLIT	<i>Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism of Japan.</i>
COP28	28ª Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.	MMA	Ministerio del Medio Ambiente.
CORSIA	Esquema de Compensación y Reducción de Emisiones para la Aviación Civil Internacional.	MtJ	<i>Methanol-to-Jet.</i>
DGAC	Dirección General de Aeronáutica Civil.	MTT	Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.
EASA	<i>European Union Aviation Safety Agency.</i>	OACI	Organización de Aviación Civil Internacional.
EAU	Emiratos Árabes Unidos.	PEN	Política Energética Nacional.
ECLP	Estrategia Climática de Largo Plazo.	PtL	<i>Power-to-Liquid.</i>
EEUU	Estados Unidos.	RU	Reino Unido.
ENAP	Empresa Nacional del Petróleo.	SAF	Combustibles de Aviación Sostenible.
FAA	Federal Aviation Administration.	UE	Unión Europea.
FT	<i>Fischer-Tropsch.</i>	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, Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático. 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 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 Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático.
- 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 con proyección de disminuir emisiones de GEI en su ciclo de vida.
- Considerar la diversificación en el uso de materias primas, el uso de tecnologías e innovación y el trabajo de los laboratorios que ya están operando.
- No hay una solución única para la descarbonización de la industria: es necesario analizar la factibilidad del mercado de SAF
- 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.
- Buscar políticas públicas que hagan accesible al SAF, reduciendo su costo.

Sesión 3: “Hoja de Ruta: Combustibles de Aviación Sostenible”

Expositores: Corporación Chilena de la Madera, Honeywell, Neste, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Linde, Enex 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.
- Crear incentivos a las inversiones para apalancar los costos de las tecnologías.
- Los créditos fiscales parecen ser lo más eficiente para promover el uso de SAF, así, se propone estudiar casos como el de California, para avanzar en esta materia.
- Al diseñar políticas que fomenten la producción de SAF se debe considerar la existencia de incentivos a la producción de biodiésel y otros derivados del etanol, más que para la producción de SAF.
- 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, certificaciones e investigación”

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

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 SAF en contratos futuros.
- Hay universidades chilenas bien equipadas y con importantes avances en investigación en biocombustibles. Hay laboratorios, equipamiento y disponibilidad para aportar en el ámbito de los SAF y desarrollo de pilotos.
- SGS menciona la posibilidad de instalar un laboratorio en Chile (inversión de 650 mil dólares y un año de instalación), lo que podría fomentar nuevas normativas en relación con 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 sustentables, existe una capacidad instalada que debe ser aprovechada para avanzar en los estudios pertinentes de los SAF.
- Se reitera a la biomasa forestal como materia prima viable al integrar los residuos no utilizados actualmente, considerando la creación de planes de manejo para el bosque nativo que permitan una explotación sustentable. 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:

- Se observan los compromisos de descarbonización de la aviación en hojas de ruta, tomando como guía las recomendaciones de la IATA y la OACI, siendo los SAF la opción más predominante.
- Se propone generar un mercado de SAF.
- Es necesario evaluar la disponibilidad de materia prima en todos los países que promueven el desarrollo SAF. Esto requiere un sistema regulatorio capaz de adaptarse a diferentes escenarios de producción.
- Las hojas de ruta requieren cooperaciones público-privadas. Las grandes inversiones necesarias para generar el mercado de SAF conllevan, además de ayudas estatales, una activa participación del sector privado.
- Las ayudas financieras por parte de los estados son la herramienta más 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 SAF, al aumentar el valor de los SAF contribuyendo a la competitividad del mismo.
- El apilamiento de políticas (o stacking) es una opción ampliamente usada en las hojas de ruta. Esto implica poder acumular los beneficios, incentivos, medidas y/o políticas en la producción y uso de 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	Presentaciones	Link de la transmisión
Lanzamiento mesa de trabajo	20/10/2022	https://vueloimpio.cl/wp-content/uploads/2022/11/Acta-Lanzamiento-mesa-de-trabajo-SAF_compressed-1.pdf	https://vueloimpio.cl/wp-content/uploads/2022/11/Presentaciones-lanzamiento-Mesa-de-SAF_compressed-1.pdf	https://www.youtube.com/live/LZKcnSKz4bk?si=nkg1Ce-aiYrto0u-
Primera mesa SAF	24/11/2022	https://vueloimpio.cl/wp-content/uploads/2023/01/Acta-Reunion-Primera-Mesa-SAF_FIN_AL.pdf	https://vueloimpio.cl/wp-content/uploads/2022/12/Presentacion-general-primera-Mesa-SAF.pdf	https://youtu.be/PVcmqSvJKEg

Sesión	Fecha	Acta	Presentaciones	Link de la transmisión
Segunda mesa SAF	12/12/2022	https://vuelolimpio.cl/wp-content/uploads/2023/03/Acta-Segunda-Mesa_Entrega_Revision_final.pdf	https://vuelolimpio.cl/wp-content/uploads/2022/12/Presentaciones-segunda-mesa.pdf	https://youtu.be/d54z7X-BJvU
Tercera mesa SAF	12/01/2023	https://vuelolimpio.cl/wp-content/uploads/2023/04/Acta-Tercera-Mesa_HDR_Final.pdf	https://vuelolimpio.cl/wp-content/uploads/2023/01/Presentaciones-3ra-mesa.pdf	https://youtu.be/59bvO9onLzY
Cuarta mesa SAF	16/03/2023	https://vuelolimpio.cl/wp-content/uploads/2023/05/Acta-Cuarta-Mesa-SAF.pdf	https://vuelolimpio.cl/wp-content/uploads/2023/04/Presentacion-final-cuarta-mesa-SAF.pdf	https://youtu.be/uQTkSmc7eq0
Quinta mesa SAF	31/05/2023		https://vuelolimpio.cl/wp-content/uploads/2023/06/5ta-mesa-SAF-Presentacion.pdf	https://youtu.be/Z9R0tqgxN9Q