

COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN SOSTENIBLES SAF



©Agencia de Sostenibilidad Energética

Documento desarrollado colaborativamente por:
Agencia de Sostenibilidad Energética
Junta de Aeronáutica Civil

La Agencia de Sostenibilidad Energética y la Junta de Aeronáutica Civil, a través del Programa Vuelo Limpio, agradecen la colaboración en el desarrollo de la presente Guía a los siguientes profesionales:

Autores

Fernanda Cabañas, Agencia de Sostenibilidad Energética
Romina Altamirano, Junta de Aeronáutica Civil
Sebastián Flores, Junta de Aeronáutica Civil

Revisión

Carolina Parra, Agencia de Sostenibilidad Energética
Cristina Victoriano, Agencia de Sostenibilidad Energética
Fabián Olave, Agencia de Sostenibilidad Energética
Francisca Barriga, Agencia de Sostenibilidad Energética
Martín Mackenna, Junta de Aeronáutica Civil
Matías Vera, Agencia de Sostenibilidad Energética
Víctor Toro, Agencia de Sostenibilidad Energética

Diseño

Eduardo Parra Castro, Agencia de Sostenibilidad Energética

Agradecimientos

El programa Vuelo Limpio agradece a la International Air Transport Association (IATA) por su apoyo en el proceso de obtención de esta guía y al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) por su rol como coordinador de la Mesa de Trabajo de Combustibles de Aviación Sostenibles, organizada por el Programa Vuelo Limpio

Derechos reservados

Prohibida su reproducción

Publicación octubre 2022



CONTENIDO

1. CONTEXTO DE DESCARBONIZACIÓN DE LA AVIACIÓN

2. MEDIDAS PARA LA DESCARBONIZACIÓN DE LA AVIACIÓN

- Emisiones de CO₂ de la aviación internacional
- Contribución de medidas para la descarbonización al 2050 según la IATA

3. TIPOS DE COMBUSTIBLES

4. COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN SOSTENIBLES (SAF)

- Materias primas
- Tecnologías de producción
- Criterios de sostenibilidad
- Huella de carbono de los SAF
- Viabilidad económica
- Producción en el mundo
- Aeropuertos con suministro de SAF
- Vuelos realizados con SAF
- Principales desafíos

5. REFERENCIAS

01 CONTEXTO DE DESCARBONIZACIÓN DE LA AVIACIÓN

La aviación es responsable de:

- ▶ Aproximadamente un **2% de las emisiones globales de CO₂**.
- ▶ **Contribuye en un 5% al cambio climático inducido por humanos [1].**
- ▶ Si la aviación mundial fuera un país, estaría entre los 10 primeros emisores [2].

Metas para la descarbonización de la aviación civil internacional de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI):

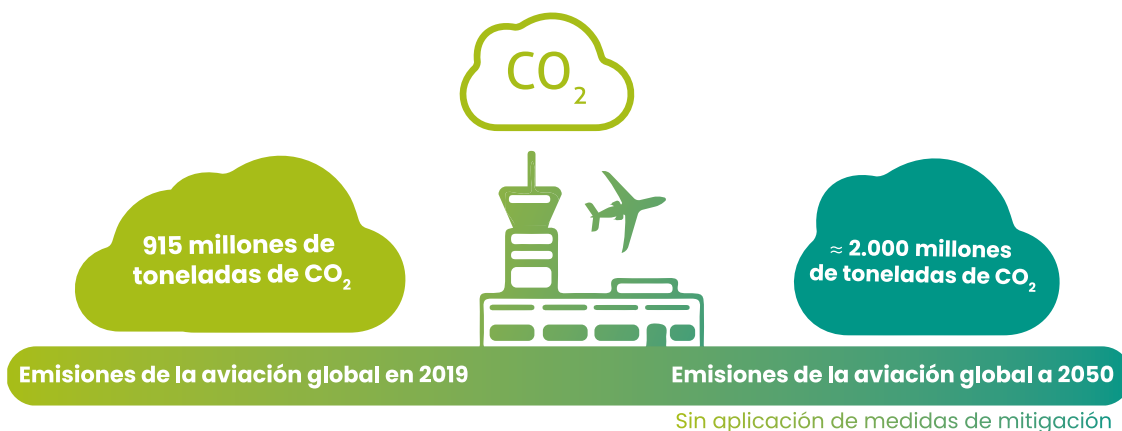
Mejorar la eficiencia energética en un 2% anual hacia el año 2050.



Estabilizar las emisiones netas de CO₂ de la aviación mediante un crecimiento neutro en carbono a partir del año 2020.



La Asamblea General de la Organización de Aviación Civil Internacional estableció por primera vez una meta colectiva a largo plazo (LTAG) para la aviación internacional de cero emisiones netas para 2050.

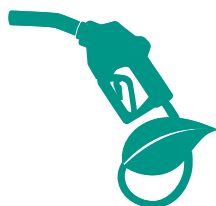


“
EL DESAFÍO MÁS IMPORTANTE DE
ESTE SIGLO PARA LA INDUSTRIA DE LA
AVIACIÓN ES LA DESCARBONIZACIÓN
”

02 MEDIDAS PARA LA DESCARBONIZACIÓN DE LA AVIACIÓN

Para descarbonizar la aviación se han planteado diversas medidas, cada una de las cuales aporta a la reducción de gases de efecto invernadero, que incluyen:

- 01 Combustibles sostenibles de aviación (SAF, por sus siglas en inglés): combustible de aviación no convencional producido a partir de fuentes biológicas (material vegetal o animal) y no biológicas (por ejemplo, residuos municipales o CO₂ residual).



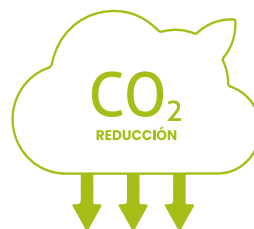
- 02 Nuevas tecnologías: como aviones eléctricos, híbridos y a hidrógeno. Estas tecnologías se espera puedan aportar a la descarbonización para vuelos de hasta 150 minutos de duración.



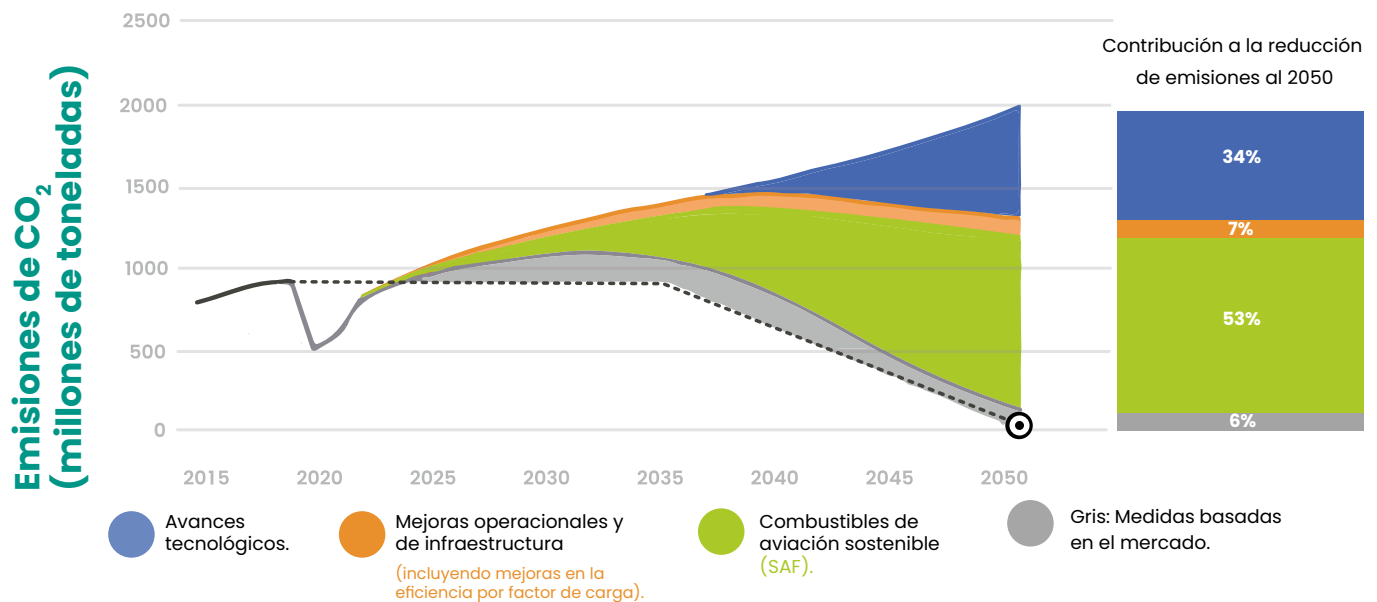
- 03 Mejoras operacionales y de infraestructura.



- 04 Compensación a través de bonos de carbono y tecnología de captura de carbono (CO₂ residual).



La contribución de cada una de estas medidas en la reducción de emisiones al 2050 se observa a continuación[4]:



Fuente: Air Transport Action Group, 2021 https://aviationbenefits.org/media/167418/w2050_v2021_27sept_summary.pdf



El rol de cada uno de los cuatro componentes en la descarbonización fue estudiado por el Comité Sobre la Protección para la determinación y la Aviación de la OACI, para la determinación de un Objetivo Ambicioso a Largo Plazo (LTAG) [4].



Este estudio expone el rol de los SAF para la descarbonización de la aviación,

logrando una reducción de gases de efecto invernadero al 2050 de entre un 15 y 55%

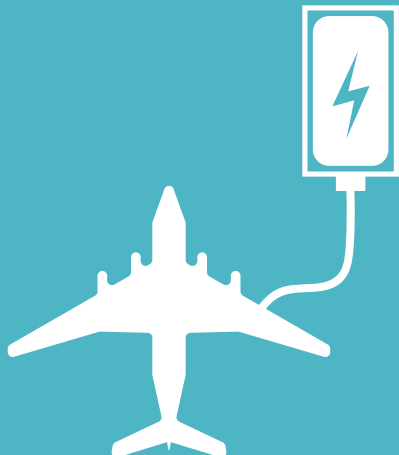
considerando las emisiones del ciclo de vida completo de los SAF.



03

TIPOS DE COMBUSTIBLES

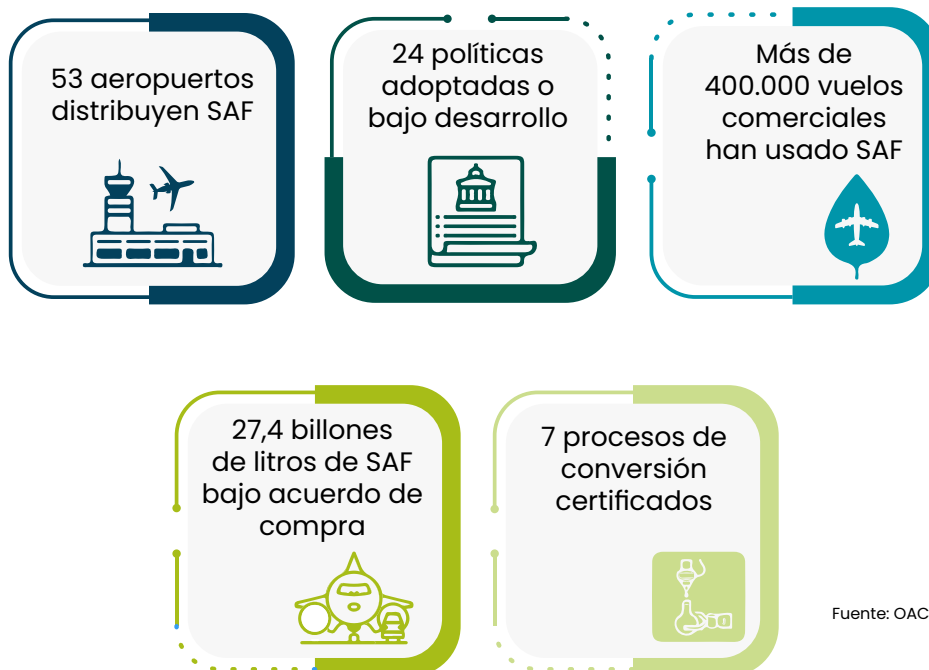
Los combustibles alternativos de aviación se pueden clasificar en:

Drop-in (sustitución directa)		Non-drop in
Tienen las mismas características que el jet fuel ¹ convencional para lograr una sustitución directa y así su uso en aviones actuales. Se clasifica en:		Combustibles que no pueden ser usados en los motores convencionales de aeronaves por lo que se requieren cambios a las estructuras de aviones y las formas de suministro. Incluye: electricidad, gas licuado de aviación e hidrógeno criogénico.
Combustibles de Aviación Sostenible (SAF) Si su materia prima es renovable o de residuos y cumple con los criterios de sostenibilidad del anexo 16 volumen IV de la Convención de Chicago. Puede ser categorizado según la materia prima para su producción: biomasa, residuos sólidos o líquidos, CO2 provenientes de la atmósfera o residual.	Lower Carbon Aviation Fuel (LCAF) Combustible fósil producido con una menor huella de carbono cuya intensidad de carbono es mejor a 80,1 gCO ₂ /MJ gracias a la aplicación de tecnologías de mitigación de carbono y buenas prácticas [4].	
		

Esta guía se enfoca exclusivamente en los SAF ya que es la opción que permitirá una mayor reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Esto debido a que, esta opción puede ser aplicada en un corto plazo al ser compatible con las aeronaves actuales y no requerir modificaciones de la infraestructura aeroportuaria.

¹ Combustible de aviación convencional (Jet A-1).

04 COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN SOSTENIBLES (SAF)



Beneficios de los SAF para la aviación

- ◆ **01 Descarbonización:** permitiría reducir hasta en un 80% las emisiones de CO₂ en todo el ciclo de vida del combustible.
- ◆ **02 Medioambiente:** este combustible, al poseer menos impurezas, permite reducir las emisiones de dióxido de azufre y material particulado [5].
- ◆ **03 Diversificación de la oferta:** los SAF ofrecen una alternativa viable al jet fuel convencional y puede sustituir el combustible tradicional por uno de origen más diverso geográficamente mediante materias primas de cultivos no alimentarios.
- ◆ **04 Aspectos sociales y económicos:** los SAF pueden dar beneficios económicos, especialmente a países en desarrollo que poseen tierras inviables para el cultivo alimentario, pero que son adecuadas para el crecimiento de materias primas para el SAF. Por otro lado, la infraestructura de refinado suele instalarse cerca de las fuentes de materias primas, lo que generaría más puestos de trabajo y actividad económica.

Materias primas para la producción Tecnologías para la producción de SAF



Por definición, la materia prima para la producción de SAF es renovable o de residuos.



Fuente: IATA.

Tecnologías para la producción del SAF



Para que un combustible sea aprobado para su uso en aviones, debe cumplir con el estándar ASTM D4054.

La producción de combustibles drop-in requiere de una fuente de hidrocarburo que debe ser sometida a un proceso de conversión asociado a tecnologías existentes que cuentan con aprobación ASTM D7566 y D1655, siendo el estándar que regula las especificaciones técnicas de los SAF. Esta especificación cubre la producción de combustible jet y establece criterios de mezcla entre combustibles convencionales y sintéticos. Así, los procesos aprobados para la producción de SAF son [6]:



Tabla 1. Estado actual para la producción de SAF.

ASTM	Proceso de conversión	Abreviación	Posibles materias primas	Porcentaje de mezcla con jet fuel por volumen
ASTM D7566 anexo 1	Queroseno parafínico sintetizado por hidroprocesamiento Fischer-Tropsch Fischer-Tropsch hydroprocessed synthesized paraffinic kerosene	FT	Carbón, gas natural y biomasa, power to liquid	50%
ASTM D7566 anexo 2	Queroseno parafínico sintetizado a partir de Ésteres y Ácidos Grasos Hidroprocesados Synthesized paraffinic kerosene from hydroprocessed esters and fatty acids	HEFA	Bio-aceites, grasa animal, aceites reciclados	50%
ASTM D7566 anexo 3	Iso-Parafinas Sintéticas a partir de azúcares fermentados hidroprocesados Synthesized iso-paraffins from hydroprocessed fermented sugars	SIP	Biomasa utilizada para la producción de azúcar	10%
ASTM D7566 anexo 4	Queroseno Parafínico Sintético Fischer-Tropsch más aromáticos Synthesized kerosene with aromatics derived by alkylation of light aromatics from non-petroleum sources	FT-SKA	Carbón, gas natural y biomasa	50%
ASTM D7566 anexo 5	Queroseno derivado de Alcohol Alcohol to jet synthetic paraffinic kerosene	ATJ-SPK	Biomasa procedente de la producción de etanol o isobutanol	50%
ASTM D7566 anexo 6	Queroseno producido por Hidrotermólisis Catalítica Catalytic hydrothermolysis jet fuel	CHJ	Triglicéridos como el aceite de soja, jatrofa, camelina, carinata y tung	50%
ASTM D7566 anexo 7	Queroseno producido por Hidrocarburos-Ésteres y Ácidos Grasos Hidroprocesados Synthesized paraffinic kerosene from hydrocarbon-hydroprocessed esters and fatty acids	HC-HEFA-SPK	Alga	10%
ASTM D1655 anexo A1	co-hidroprocesamiento de ésteres y ácidos grasos en una refinería de petróleo convencional co-hydroprocessing of esters and fatty acids in a conventional petroleum refinery	co-processed HEFA	Grasas y aceites co-procesados con petróleo	5%
ASTM D1655 anexo A1	co-hidroprocesamiento de hidrocarburos Fischer-Tropsch en una refinería de petróleo convencional co-hydroprocessing of Fischer-Tropsch hydrocarbons in a conventional petroleum refinery	co-processed FT	Hidrocarburos Fischer-Tropsch coprocesados con petróleo	5%

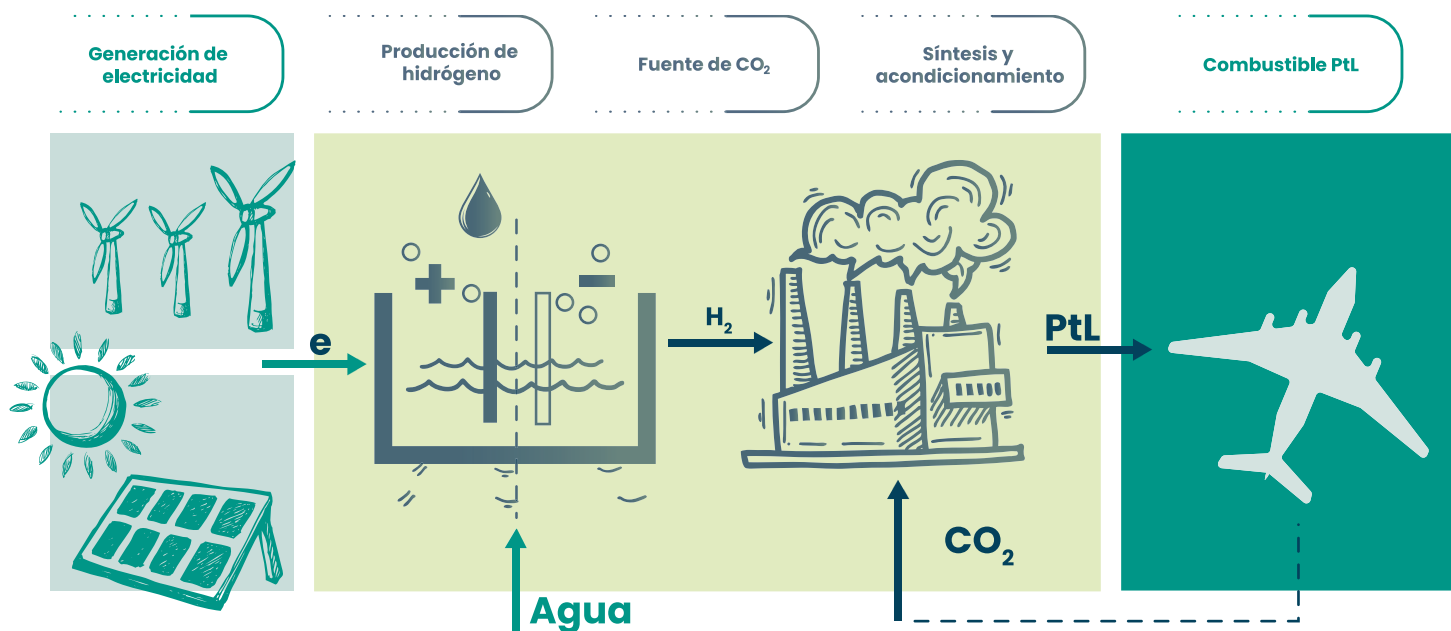
¿Qué rol juega el
HIDRÓGENO
en la producción
DE SAF?

POWER-TO-LIQUID

Se puede producir SAF a partir de [4]:

1. **Una fuente de hidrógeno:** para que este sea verde debe ser producido con electricidad renovable.
2. **Una fuente de CO₂:** capturado de la atmósfera o como residuo industrial.
3. **Un proceso de conversión:** para convertir el hidrógeno y el CO₂ en combustible para aviones (y otros productos).

Procesos para la elaboración de Power-to-liquid [7]



Esta conversión requiere de electricidad en varias etapas del proceso. Por este motivo se suelen considerar vías de conversión de energía a líquido, Power-to-Liquid, PtL.

El combustible de aviación por medio de PtL puede producirse tanto por medio de Fischer Tropsch, camino que ya cuenta con estándar ASTM, o a partir de metanol, el cual a la fecha no cuenta con aprobación.

Criterios de sostenibilidad para SAF

Para que un combustible de aviación sea considerado sostenible, este debe cumplir con diversos criterios de sostenibilidad, algunos de estos son [8,9]:

- ▶ Deben producir emisiones de gases de efecto invernadero en su ciclo de vida sustancialmente menores que los combustibles fósiles convencionales. Una reducción base de 60% de emisiones de GEI es recomendada².
- ▶ Para lograr una producción global sostenible de SAF se requiere de un rango amplio de materias primas, al no existir una única que pueda suplir la necesidad [9].
- ▶ No debe producirse con biomasa obtenida de tierras con altas reservas de carbono.
- ▶ Debe contribuir al desarrollo social y económico.
- ▶ No debe desplazar ni competir con los cultivos alimentarios.
- ▶ No puede provocar deforestación.
- ▶ Debe minimizar el impacto en la biodiversidad.
- ▶ Ser sostenibles con respecto al uso de la tierra, el agua y la energía.
- ▶ Para el caso del SAF producido a partir de PtL, además de los criterios anteriores, deben cumplir con que:
 - ▶ La producción será a partir de energía renovable adicional.
 - ▶ La utilización del CO₂ necesario será a partir de captura directa o de fuentes inevitables.

2. Recomendación del Roundtable on Sustainable Biofuels.



Huella de carbono de los SAF

¿Qué es la huella de carbono en el ciclo de vida completo?

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del combustible de aviación para el ciclo de vida completo.



Distribución y producción de combustible



0,70 kg CO_{2e}/kg de jet fuel



Pozo al tanque

Combustión



3,18 kg CO_{2e}/kg de jet fuel



Tanque a la rueda

Emisiones del ciclo de vida del combustible



3,88 kg CO_{2e}/kg de jet fuel



Pozo a la rueda

Huella de carbono SAF vs convencional

La sustitución de los combustibles fósiles por combustibles más sostenibles juega un rol protagonista en la descarbonización de la aviación. Para estimar la huella de carbono de los combustibles se utilizan factores de emisión basados, por ejemplo, en cuántas emisiones de CO₂ se producen al quemar un kilogramo de combustible.

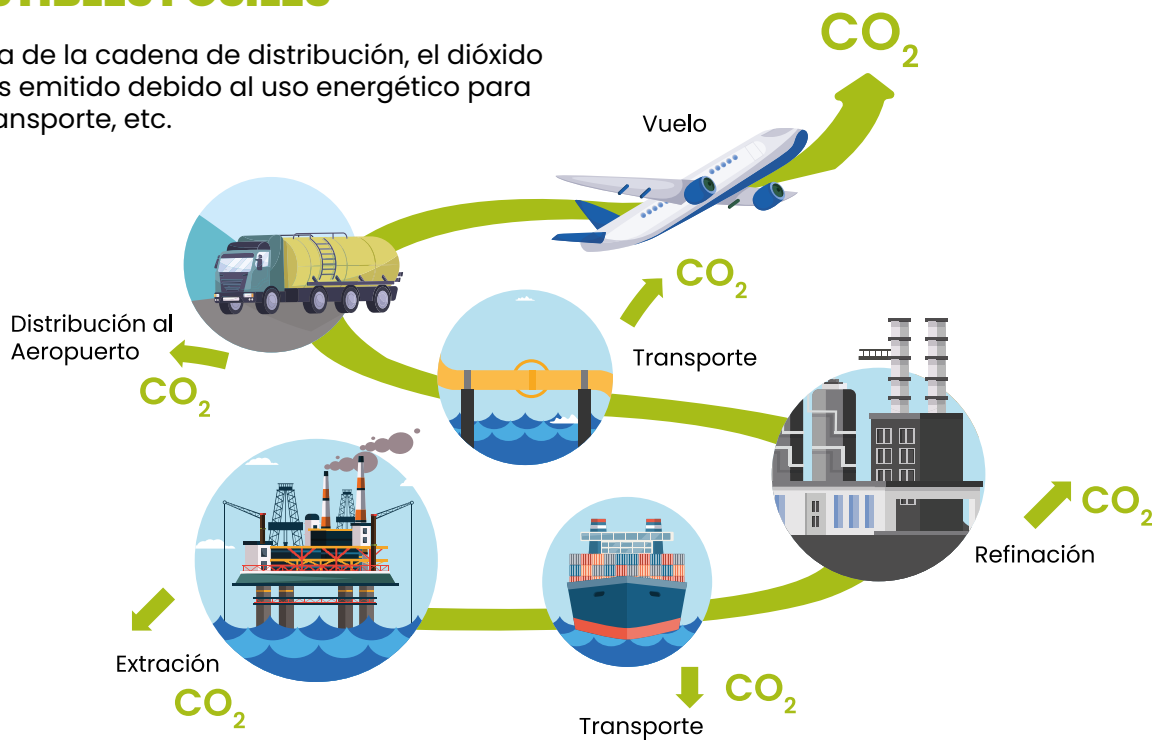
El uso de SAF ha demostrado que proporciona reducciones significativas en las emisiones totales de CO₂ del ciclo de vida, incluso hasta en un 80% en comparación con los combustibles fósiles, lo que dependerá de la materia prima y la tecnología de producción utilizadas [10].

Diagrama del ciclo de vida del carbón



COMBUSTIBLES FÓSILES

En cada etapa de la cadena de distribución, el dióxido de carbono es emitido debido al uso energético para extracción, transporte, etc.



COMBUSTIBLE DE AVIACIÓN SOSTENIBLES

El dióxido de carbono será reabsorbido a medida que la siguiente generación de materia prima vaya creciendo.



Viabilidad económica de los SAF



A pesar de todos los avances tecnológicos asociados a los SAF, hoy en día se produce en cantidades muy pequeñas comparadas con la demanda de combustible.

Además, el costo de los SAF es mayor que el costo del combustible jet fuel convencional, lo que limita su expansión. Así, se requiere de una mayor inversión y de un escalamiento a nivel industrial [11].

Producción de SAF en el mundo



 Aceites vegetales

 CO₂

 Residuos

 Aceites

 Aceites usados y grasa animal

 Sin información

 Biomasa lignocelulósica

 Captura de CO₂ residual

 Hidrógeno

 Isobutanol

 Residuos forestales

Aeropuertos con suministro de SAF

Según la **OACI**, 53 aeropuertos en el mundo suministran SAF, entre ellos están [5]:

- Ámsterdam
- Londres
- San Francisco
- Los Ángeles
- Bergen
- Oslo
- Estocolmo
- Johannesburgo
- Singapur
- Brisbane
- Tokio
- Esmirna

Vuelos desarrollados con SAF

En el primer vuelo con biocombustibles en Chile [11] fueron utilizados 3.000 litros para realizar la ruta Santiago – Concepción en marzo de 2012. Este vuelo tuvo un 31% de biocombustible y permitió la reducción de un 25% de las emisiones de CO₂.

- ▶ Junio 2022: La fábrica franco-italiana ATR realizó su **primer vuelo 100% SAF en ambos motores** en su modelo ATR 72-600 [12].
- ▶ Marzo 2022: Airbus operó el 1º A380 con 100% **SAF en 1 de los 4 motores**, luego de realizar otras exitosas pruebas en A350 y A319neo [13].
- ▶ Diciembre 2021: United Airlines operó el **primer vuelo comercial con pasajeros a bordo, suministrado con 100% SAF en uno de sus dos motores** [14].
- ▶ Octubre 2021: Boeing y Rolls-Royce operaron un vuelo de prueba de 4 horas en un modelo Boeing 747, **con 100% SAF en 1 de sus 4 motores** [15].



Principales desafíos de los SAF

Con siete procesos de conversión de SAF aprobados para su uso en aviones, cientos de miles de vuelos en el mundo operados con este combustible sostenible y decenas de aeropuertos con una oferta de SAF, demuestra que técnicamente es posible producir SAF. Sin embargo, actualmente la producción de SAF cubre menos del 1% del consumo [15]. El desafío está en las fracciones económicas y políticas, dentro de los que se destacan [11]:

- ▶ Lograr un costo de SAF competitivo con el jet fuel convencional, que hoy llega a ser 2 a 4 veces más costoso que el combustible convencional [15].
- ▶ Garantizar un suministro adecuado de materias primas sostenibles, priorizando la aviación frente a otros sectores que son más factibles de electrificar o a otras formas de transporte.
- ▶ Optimizar la logística para incluir el uso de sistemas de combustible en los aeropuertos y lugares de mezcla eficientes.
- ▶ Garantizar que los gobiernos apliquen los mecanismos adecuados para permitir que la industria del SAF aumente su volumen y obtenga los beneficios de la economía de escala.
- ▶ Más inversión en investigación, desarrollo y demostración es requerida para facilitar la maduración de las tecnologías existentes.
- ▶ Desarrollar sistemas de notificación o contabilización del uso final de los SAF.





REFERENCIAS

- [1] ICAO, "International Civil Aviation Organization," 31 Marzo 2022. [Online]. Available: https://unitingaviation.com/news/environment/equipping-aviation-regulators-to-decarbonise-air-transport-and-tackle-climate-change/?utm_source=International+Civil+Aviation+Organization&utm_campaign=d1d946cbef-Newsletter+-+UnitingAviation&utm_medium=email&u.
- [2] European Commission, Reducing emissions from aviation, 2021. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-aviation_en#:~:text=The%20aviation%20sector%20creates%2013.9,in%20the%20top%2010%20emitters.. [Accessed Junio 2022].
- [3] ICAO, "International Civil Aviation Organization LTAG," Marzo 2022. [Online]. Available: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/LTAG.aspx> [Accessed Junio 2022].
- [4] ICAO, "International Civil Aviation Organization, Sustainable Aviation Fuels (SAF)," [Online]. Available: <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/SAF.aspx>. [Accessed Junio 2022].
- [5] ATAG, "Beginner's Guide to Sustainable Aviation Fuel," Air Transport Action Group, 2017.
- [6] ICAO, "International Civil Aviation Organization, Conversion processes," [Online]. Available: <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Conversion-processes.aspx>. [Accessed Julio 2022].
- [7] ICAO, "International Civil Aviation Organization, Initiatives & Project List," [Online]. Available: <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Project.aspx?ProjectID=46>. [Accessed 2022].
- [8] ICAO, "International Civil Aviation Organization, CORSIA," [Online]. Available: <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/ICAO%20document%2005%20-%20Sustainability%20Criteria%20-%20November%202021.pdf>.
- [9] International Air Transport Association, "IATA Sustainable Alternative Fuel Advocacy," 2015.
- [10] World Economic Forum, "Clean Skies for Tomorrow: Sustainable Aviation Fuel Policy Toolkit," World Economic Forum, 2021.
- [11] International Air Transport Association, "Sustainable Aviation Fuels Fact Sheet 5," IATA, 2012.

REFERENCIAS

- [12] UChile, "Universidad de Chile," 19 Marzo 2012. [Online]. Available: <https://uchile.cl/noticias/80022/prof-paneque-participa-en-primer-vuelo-comercial-con-biocombustible>. [Accessed 2022].
- [13] C. Charpentreau, "AeroTime," 21 Junio 2022. [Online]. Available: <https://www.aerotime.aero/articles/31373-atr-regional-aircraft-full-saf>. [Accessed Junio 2022].
- [14] J. Lim, "AeroTime," 29 Marzo 2022. [Online]. Available: <https://www.aerotime.aero/articles/30606-airbus-flight-test-first-a380-saf-one-engine>. [Accessed Junio 2022].
- [15] W. Palmer, "General Electric, GE," 02 Diciembre 2021. [Online]. Available: <https://www.aerotime.aero/articles/30606-airbus-flight-test-first-a380-saf-one-engine>. [Accessed Junio 2022].
- [16] FINN, "Farborough International," 20 Octubre 2021. [Online]. Available: <https://www.wearefinn.com/topics/posts/rolls-royce-and-boeing-carry-out-100-per-cent-saf-test-flight/>. [Accessed Junio 2022].
- [17] IATA, "International Air Transport Association," 04 Octubre 2021. [Online]. Available: <https://www.iata.org/en/pressroom/2021-releases/2021-10-04-03/>



Visita nuestra página web: www.vuelolimpio.cl

Contáctanos: vuelolimpio@agenciase.org

Síguenos en RRSS: www.twitter.com/VueloLimpio