

INFORME FINAL

“NORMATIVA INTERNACIONAL PARA LA PRODUCCIÓN Y USO DE SAF”

Marzo 2025

Autores:

Consultora Navitas Viridis Limitada

Rodrigo Benavides

Javier Saldias

Fabiola Cepeda

Catalina Velasquez

ACRONIMOS

A continuación, se definen los acrónimos utilizados a lo largo del informe.

SAF: *Sustainable Aviation Fuel*. Combustible de Aviación Sustentable.

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

UE: Unión Europea.

OACI: Organización de Aviación Civil Internacional.

CORSIA: *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*. Plan de Compensación y Reducción de Carbono de la Aviación Internacional.

ISCC: Certificación Internacional de Sostenibilidad y Carbono.

RSB: *Roundtable on Sustainable Biomaterials*.

RFS: *Renewable Fuel Estándar*. Estándar de combustible renovable.

CFR: Código Federal de Regulación

RIN: *Renewable Identification Number*. Número de identificación renovable.

EPA: *Environmental Protection Agency*. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

LTAG: *Long term global aspirational goal*. Meta aspiracional de largo plazo.

LCAF: *Low Carbon Aviation Fuel*. Combustible de Aviación bajo en carbón.

ASTM: *American Society for Testing and Materials*. Sociedad Americana de testeo y materiales.

SBC: *Synthetic Blending Component*. Componente sintético de mezcla, que es aquel producido por las vías indicadas en la norma ASTM D7566.

PtL: *Power to liquid*. Producción de combustible a través de hidrógeno verde vía metanol.

ERNC: Energías Renovables No Convencionales.

CEF: *CORSIA eligible fuels*. Combustibles elegibles bajo esquema CORSIA.

MBM: Medidas Basadas en el Mercado.

CoQ: *Certification of Quality*. Certificado de Calidad.

RCQ: *Refinery Certification of Quality*. Certificado de Calidad de Refinería.

CoA: *Certificate of Analysis*. Certificado de Análisis.

RTC: *Recertification Test Certification*. Certificado de prueba de recertificación.

MBRE: Mercado Brasileño de Reducción de Emisiones.

FAA: *Federal Aviation Agency*. Agencia Federal de Aviación de Estados Unidos.

TSA: *Transportation Security Administration*. Administración de Seguridad de transporte.

EISA: *Energy Independence and Security Act*. Ley de Independencia y Seguridad Energética de 2007.

PFMA: *Petroleum and Flammable Materials Act*. Ley de petróleo y materiales inflamables.

CAAS: *Civil Authority Aviation of Singapore*. Autoridad de Aviación Civil de Singapur.

SCDF: *Singapore Civil Defence Force*. Fuerza de defensa civil de Singapur.

RESUMEN EJECUTIVO.

El presente estudio tiene por objeto entregar elementos de juicio sobre la regulación internacional del combustible de aviación sostenible (SAF por sus siglas en inglés), los desafíos regulatorios que han enfrentado los países en estudio y las brechas con la normativa nacional para permitir e impulsar la producción y uso del SAF.

Dentro de estas acciones está el realizar estudios que faciliten y permitan a Chile incorporar el SAF en los vuelos nacionales e internacionales. Es por ello que la Subsecretaría de Transportes solicitó realizar el estudio denominado “Normativa Internacional para producción y uso de SAF”, que tiene como objetivo levantar información referente a los requisitos normativos internacionales relacionados con SAF, en los países de Estados Unidos, Brasil, Singapur y la Unión Europea (UE), que sean necesarios para cubrir toda la cadena de valor, desde la materia prima, hasta la producción y uso, incluyendo la importación y/o exportación.

El desarrollo del SAF a nivel mundial es parte de los acuerdos de los países miembros de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), de la cual Chile es parte integrante, y donde se estableció el Plan de Compensación y Reducción del Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA por sus siglas en inglés), esquema al cual los países pueden adherir voluntariamente.

La OACI define SAF como aquellos *“combustibles aeronáuticos renovables o derivados de residuos que cumplen con los criterios de sostenibilidad de CORSIA y pueden reemplazar los combustibles de origen fósil sin requerir modificaciones en las aeronaves¹”*, esta característica de compatibilidad se denomina *drop-in* o sustitución directa (definición que se especifica más adelante en este informe).

Se estima que el uso del SAF podría llegar a reducir hasta un 99% de las emisiones de GEI considerando todo su ciclo de vida, respecto a los combustibles convencionales. En efecto, una de las principales características de los combustibles de aviación es que deben ser certificados y cumplir estándares de calidad internacionalmente aceptados para su uso en aviones comerciales a diferencia de lo que sucede con otros combustibles que no cuentan con una estricta regulación internacional.

Los principales estándares de calidad para combustibles de aviación son las normas ASTM D1655, denominado *“Standard Specification for Aviation Turbine Fuel”* y el UK Defence Standard 91-091 denominado *“Turbine Fuel, Aviation Kerosene Type, Jet A-1”*,

¹ Annex16 - Environmental Protection, Volume IV, CORSIA.

mientras que el estándar para la producción de combustibles de aviación sintéticos dentro de los cuales se ubican los SAF es la norma ASTM D7566, denominada “*Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons*”.

Estas normas internacionales definen tanto las materias primas como los procesos, métodos o vías de producción de SAF autorizados hasta la fecha, así como los porcentajes máximos de *blending* o mezcla entre el SAF producto de estas vías de producción autorizadas y el combustible de aviación Jet Fuel A o Jet Fuel A1, para que puedan ser utilizados en las turbinas de los aviones comerciales.

Actualmente, se establecen 11 procesos autorizados para producir SAF de los cuales 3 de ellos corresponden a coprocesados en refinerías de petróleo, con porcentajes de mezcla con combustible de aviación convencional (CAF por sus siglas en inglés) que van del 5% hasta el 50%.

Es importante destacar que, para ser considerado SAF no basta con cumplir requerimientos técnicos de rendimiento y calidad, sino además se deberá acreditar el cumplimiento de criterios de sostenibilidad y reducción de GEI, sean estos criterios dictados por organizaciones internacionales, como los criterios de sostenibilidad CORSIA o considerados en leyes particulares en cada uno de los países, como es el caso de la Directiva de la Unión Europea (EU) denominada RED II y III.

Si bien cada país es libre de dictaminar sus propios criterios de sostenibilidad y reducción de GEI, es posible advertir una cierta homogeneidad entre los criterios adoptados por los países y aquellos definidos en el esquema CORSIA, siendo el cumplimiento de estos últimos criterios los que garantizan un comercio internacional del SAF y su registro en el esquema CORSIA de reducción de GEI.

Los procesos de certificación de calidad de los combustibles de aviación son una etapa fundamental para garantizar la seguridad de los vuelos, por ello las normas antes indicadas ASTM o Def Stan aseguran la calidad en el punto de producción, existiendo otras normas para asegurar la calidad durante las etapas de transporte, distribución y almacenamiento hasta llegar al aeropuerto y el abastecimiento a los aviones como son los estándares JIG1&2 y JIG 3, entre otras, así como diversas certificaciones para acreditar la sostenibilidad de las materias primas utilizadas en la producción del SAF.

El levantamiento de la normativa realizado para la UE, indica que en el año 2023 se promulga el Reglamento (UE) 2023/2405 denominado, “*ReFuelEU Aviation*”, que establece las normas armonizadas sobre la utilización y el suministro de Combustibles de Aviación Sostenibles, con ello permite la producción y comercialización de SAF en

base a las normas ASTM D1655 y ASTM D7566, pero además se establecen criterios para las materias primas posibles de utilizar para la producción de SAF, considerando criterios de sostenibilidad, como aspectos al tipo de uso de suelo para no afectar la producción alimenticia, y que se encuentran definidas en la parte A y B del Anexo IX de la Directiva (UE) 2018/2001 (RED II), así como también se excluyen de manera expresa algunas materias primas para su uso en SAF. Adicionalmente, la UE se destaca por que ha desarrollado varios esquemas de certificación de sostenibilidad dentro de los dos más utilizados son los realizados por la *International Sustainability and Carbon Certification* (ISCC) y el *Roundtable on Sustainable Biomaterials* (RSB) los cuales son esquemas de certificación también aprobados por CORSIA.

Para el caso de Brasil, este país tiene una amplia experiencia en producción de biocombustibles, como es el caso del etanol a partir de la caña de azúcar, y también un importante potencial de materias primas para producir SAF. El desarrollo del SAF en Brasil está bajo el amparo del programa ProVioQAB establecido por la ley 14.248/2021, Programa Nacional de BiojetFuel, que considera el desarrollo del combustible de aviación que tengan como objetivo la reducción de los GEI. Además, existen una serie de regulaciones respecto a la materias primas a utilizar como la Resolución N°758, del 2018 que establece en su artículo 24 los requisitos para las materias primas que son autorizadas para producir biocombustibles, y el Código Forestal de Brasil que es la principal legislación que regula la conservación, explotación y uso sostenible de los bosques y la vegetación nativa en el país junto con la Ley N°12.651/2012, que es una pieza clave en la regulación ambiental de Brasil, que incluye un equilibrio entre la producción agropecuaria y la preservación de los ecosistemas, y con ello las condiciones que debe cumplir la biomasa para ser utilizada para producir biocombustibles. Asimismo, la Resolución ANP N°856, del 2021, establece las especificaciones que deben cumplir los combustibles de aviación comercial, como el queroseno de aviación Jet A, Jet A1, el queroseno de aviación alternativo y el queroseno de aviación C (JET C), destinado exclusivamente al consumo en turbinas de aeronaves, compuesto por un solo tipo de querosene de aviación alternativo mezclado con Jet A o Jet A1 en las proporciones definidas en esta Resolución. Los procesos para producir queroseno de aviación alternativo están definidos en esta resolución y son similares a los definidos en la norma ASTM D7566.

El desarrollo del SAF en Estados Unidos es a través del programa *Fuel Grand Challenge* que promueve la producción de combustible en 6 grandes áreas de acción, materia prima, tecnología de producción, cadena de suministro, políticas y evaluación, uso final y difusión. Este programa ha levantado las potenciales materias primas para producir SAF y lograr las metas establecidas en el país, donde se destacan el uso de

lípidos, donde también las materias primas en base a almidón y azúcar están surgiendo como posibles materias primas a corto plazo. Para efectos de la producción el SAF, este puede ser considerado como un combustible renovable, siendo regulados por el programa *Renewable Fuel Standard* (RFS) y el Código Federal de Regulación (CFR) 40 CFR, *Protection of the Environment, Part 80: Regulation of Fuels and Fuel Additives, Subparts K and M*. Las disposiciones de esta Subparte M se aplicarán a todo el combustible renovable, y a todos los *Renewable Identification Number* (RIN) generados desde el 2010. La producción y comercialización de combustibles renovables es autorizada por la *Environmental Protection Agency* (EPA), la cual considera la materia prima, el proceso y el tipo de combustible para entregar su autorización, asignando un código y número RIN para su comercialización según el tipo de combustible. Las especificaciones de los combustibles de aviación están basadas en las normas ASTM D1655 y ASTM D7566 para su uso en aviones. En Estados Unidos la producción de combustibles renovables no tiene en general limitaciones respecto a la materia prima a utilizar y solo considera limitaciones respecto a establecer un nivel mínimo de reducción de emisiones de CO₂ del combustible renovable, como se indica más adelante.

Singapur por su parte, no dispone de suficientes materias primas para producir SAF, por ello su política está orientada a la importación de materias primas de zonas cercanas de Asia y además crear un poder comprador de importación de SAF para cumplir sus metas de uso del combustible, las que se establecen en el programa hoja de ruta para el SAF, denominada “*Singapore Sustainable Air Hub Blue Print*”. Para los criterios de sostenibilidad, esta nación adopta derechamente aquellos definidos por CORSIA.

Del análisis realizado del levantamiento de las regulaciones para el SAF en Estados Unidos, Brasil, Singapur y UE, se puede concluir que estos países han definido un combustible renovable en su normativa, lo cual permite realizar mezclas de este combustible renovable con combustible de aviación fósil Jet A acorde a las normas internacionales reconocidas por la aviación civil internacional como ASTM o Def Stan y donde las materias primas a utilizar para producir este combustible renovable dependen de las características propias de cada país, siendo limitada por criterios de sostenibilidad que son definidos en forma voluntaria en cada país, a pesar que, como se advierte en la Tabla N°17 de este informe, estos criterios de sostenibilidad presentan una coherencia u homogeneidad.

Finalmente, una vez revisada la regulación del SAF en los países ya indicados, será posible apreciar las brechas normativas con Chile, así como entregar

recomendaciones normativas que permitan el desarrollo de la producción y uso del SAF en cumplimiento de las metas autoimpuestas en la Hoja de Ruta del SAF 2050.

La principal brecha normativa que se observa en la regulación nacional para albergar al SAF, es que, tanto la regulación de los combustibles líquidos y biocombustibles, como la regulación del combustible de aviación, se circunscriben a productos derivados del petróleo, y en el caso de los biocombustibles, circunscrito solo a biodiesel y bioetanol.

Una de las principales conclusiones del análisis normativo de los países realizado, es que hemos encontrado que todos ellos definen SAF, incorporando criterios de calidad establecidos por normas internacionales y criterios de sostenibilidad basados parcialmente o totalmente en los criterios de CORSIA, por ello podemos concluir que en Chile es necesario definir el SAF, que incluya los criterios de calidad internacionalmente aceptados, y criterios que adopta CORSIA para los combustibles elegibles que engloben a los combustibles renovables de origen biológico y no biológicos. Esto es relevante si se quiere lograr la coherencia y reconocimiento en el plano internacional. Se debe considerar que uno de los Pilares de una Buena Regulación² es el pilar de la “Coherencia” bajo el cual es necesario evaluar la nueva regulación según su interrelación al marco normativo nacional vigente y estándares internacionales, evitando duplicidades y Contradicciones.

Además, no existe espacio para que los países definan normas de calidad del SAF debido a que estos están definidos por requerimientos internacionales a diferencia de los criterios de sostenibilidad que pueden llegar a ser definidos por cada país. Esto tiene su lógica en la naturaleza internacional de la aviación comercial, en que los vuelos despegan de un país cargados de combustible, aterrizan en otro país y vuelven a despegar. Es necesario en consecuencia que en todos esos países se entienda lo mismo por calidad del combustible de aviación.

² Guía Chilena para una Buena regulación. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. 2019

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.	11
2. OBJETIVO.	12
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO.	13
4. ESTRUCTURA DEL INFORME.	14
5. ANTECEDENTES.	15
6. ESTANDARES DE CALIDAD PARA EL COMBUSTIBLE DE AVIACIÓN.	22
7. CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD PARA EL SAF.	39
8. CERTIFICACIONES PARA EL COMBUSTIBLE DE AVIACIÓN Y SAF.	45
9. REGULACIÓN INTERNACIONAL PARA EL SAF: UNIÓN EUROPEA, ESTADOS UNIDOS, BRASIL Y SINGAPUR.	52
10. NORMATIVA VIGENTE EN CHILE PARA COMBUSTIBLES Y COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN.	87
11. BRECHAS NORMATIVAS PARA LA INDUSTRIA DEL SAF EN CHILE.	90
12. CONCLUSIONES.	92
14. BIBLIOGRAFÍA.	98
ANEXO N°1 PROGRAMA GRAND DESAFIO SAF (SUSTAINABLE AVIATION FUEL GRAND CHALLENGE)	103
ANEXO 2.- ANTECEDENTES DE CÓDIGOS Y ESTÁNDARES DE SAF	108

1. INTRODUCCIÓN.

Dentro del gran compromiso de Chile con la descarbonización, se encuentran las metas de disminución de las emisiones de GEI, haciendo extensivo este compromiso al sector transporte, dado que este sector representa un 25%³ de las emisiones actuales de GEI en el país. Siendo el transporte aéreo uno de estos contribuyentes, y en línea con el Acuerdo de París del 2015, la aviación internacional a través de la OACI estableció un Objetivo Ambicioso de Largo Plazo (LTAG por sus siglas en inglés) para lograr cero emisiones netas de CO2 para el 2050. En este sentido, Chile ha establecido la ambiciosa meta de utilizar un 50% de SAF en sus vuelos nacionales e internacionales para el año 2050, según lo dispuesto en la "Hoja de Ruta SAF 2050", lanzada oficialmente en abril de 2024.

Para implementar la “Hoja de ruta SAF 2050”, se ha planteado 5 ejes de trabajo. Eje N°1 Formación de capacidades; Eje N°2 Regulación; Eje N°3 Desarrollo de Mercado; Eje N°4 Ecosistema; y Eje N°5 Tecnologías.

En el contexto del eje N°2 se encuentra el estudio de la normativa que se debe desarrollar o implementar para llegar a tener ese 50% de SAF en el tráfico aéreo tanto nacional como internacional, para lo cual se hace necesario conocer cómo se regula el SAF en el plano internacional, respecto de toda su cadena de valor, esto es, desde la materia prima utilizada, su logística, su producción y logística de distribución.

Es por esta razón que la Subsecretaría de Transportes encomendó la realización de un estudio denominado “Normativa internacional para la producción y uso de SAF”. En base a los anterior se establecen los siguientes objetivos del presente estudio

³ Resolución exenta N°337/2024CDL, Licitación Santiago 26/08/2024, Autoriza llamado a licitación pública, aprueba bases técnicas administrativas y anexos para la contratación del estudio, “Normativa internacional para producción y uso de SAF”

2. OBJETIVO.

Realizar un levantamiento de la normativa internacional vigente que regule la producción y uso de SAF en los siguientes países o conglomerados: Estados Unidos, Singapur, Brasil, y la UE.

Los ámbitos del levantamiento de la información tienen relación con toda la cadena de valor del SAF, establecer las etapas de este proceso, y las diferencias que pueden existir entre actores, con el objetivo de conocer las regulaciones y normas que se exigen para el almacenamiento, importación, producción, distribución y exportación de SAF.

2.1. Objetivos Específicos

De este objetivo principal se desprenden los siguientes objetivos específicos:

- a) Evaluar, al menos, la normativa vigente en términos operativos de Unión Europea (UE), Estados Unidos, Brasil y Singapur aplicable para la producción y uso, que incluya toda la cadena de valor. Además, debe considerar los escenarios donde la materia prima sea importada.
- b) Evaluar la regulación vigente en los países definidos anteriormente asociada a la logística del SAF, que incluya toda la cadena de valor. Debe considerar escenarios de producción SAF, incluidos coprocesados. Adicionalmente, se debe tomar en cuenta la normativa aduanera relacionada al comercio internacional de los SAF.
- c) Hacer un levantamiento de los estándares o códigos técnicos internacionales existentes (tales como ASTM, ISO, DEF STAN, ASME u otros) así como buenas prácticas respecto a los SAF para toda su cadena de valor, incluyendo aspectos relacionados al diseño, construcción y operación de las instalaciones y a la calidad del producto.
- d) Incluir normativas relacionadas a la importación o exportación de estos combustibles. Además, en cada etapa de la cadena de valor en que exista más de un estándar o código, realizar un análisis comparativo entre ellos, identificando claramente las similitudes y diferencias entre ellos.
- e) Descripción del estado actual de la regulación chilena en torno al combustible de aviación. Analizar la regulación y normativa existente en los principales aeropuertos de los países o zonas mencionadas para la provisión de SAF.

- f) Entregar recomendaciones para una adecuación regulatoria en Chile e identificar posibles requisitos necesarios previos a desarrollar e implementar. Este análisis debe fundamentarse mediante un análisis comparativo entre las regulaciones y normas de los distintos países.
- g) Analizar la regulación y normativa existente en los principales aeropuertos de los países o zonas mencionadas para la provisión de SAF.

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO.

Por tratarse de una revisión y análisis normativo, el estudio parte de la bibliografía sugerida en las bases de licitación de este informe, continuando la investigación en base a fuentes oficiales de cada país en revisión, así como sobre las versiones más actualizadas de los códigos o estándares que regulan los combustibles de aviación o el SAF, las cuales fueron adquiridas desde las organizaciones internacionales que las promulgan o en el caso de Chile, la norma chilena sobre calidad de combustibles de aviación.

Se continuó la revisión desde fuentes oficiales de la industria de la aviación, la industria de los combustibles, las materias primas consideradas, los aspectos o criterios de sostenibilidad adoptados en cada caso, así como las políticas públicas y metas internacionales. Se elabora un cuadro comparativo para los distintos países estudiados, de los aspectos normativos en toda la cadena de valor de producción del SAF y un cuadro comparativo de los criterios de sostenibilidad considerados en cada país.

Posteriormente se sostuvo entrevistas con incumbentes en la materia a objeto de clarificar ciertos aspectos del estudio y se analiza la regulación chilena en materia de combustible de aviación, de manera de poder analizar las brechas existentes para desarrollar el SAF.

Finalmente se presentan las conclusiones del levantamiento normativo realizado a los distintos países y las recomendaciones para su desarrollo en Chile.

Al final de este trabajo se citan todas las fuentes utilizadas con los respectivos link de descarga, de modo de entregar al lector la posibilidad de recurrir a dichas fuentes sea para corroborar la información o imponerse por sí mismo de las materias tratadas en este estudio.

4. ESTRUCTURA DEL INFORME.

En primer término, el presente informe se estructura en base a dos grandes tópicos: i) Los combustibles de aviación propiamente tal y los requisitos de calidad que se deben cumplir para ser utilizados en las turbinas de un avión; y ii) los criterios de sostenibilidad que deben cumplir el combustible de aviación para su calificación como SAF, como se muestra en la Figura N°1 esquemáticamente.

Las certificaciones de calidad para combustible de aviación desatienden todo lo relativo a los criterios de sostenibilidad, ya que estos pueden o no tener una homogeneidad internacional que escapa a las posibilidades de acreditación por parte de las instituciones ocupadas de garantizar la calidad del combustible de aviación y con ello la seguridad de personas e instalaciones en la aviación. Los criterios de sostenibilidad del combustible de aviación en tanto son acreditados por esquemas de certificación reconocidos por CORSIA y/o por los criterios a definir en cada país en estudio.

En segundo lugar y para efectos de revelar las brechas normativas entre el plano internacional y la regulación nacional se revisa conceptos relativos a los combustibles, a los combustibles de aviación y a los criterios de sostenibilidad, para concluir que, en todo lo que ellos coincidan, estaremos en presencia del denominado SAF.

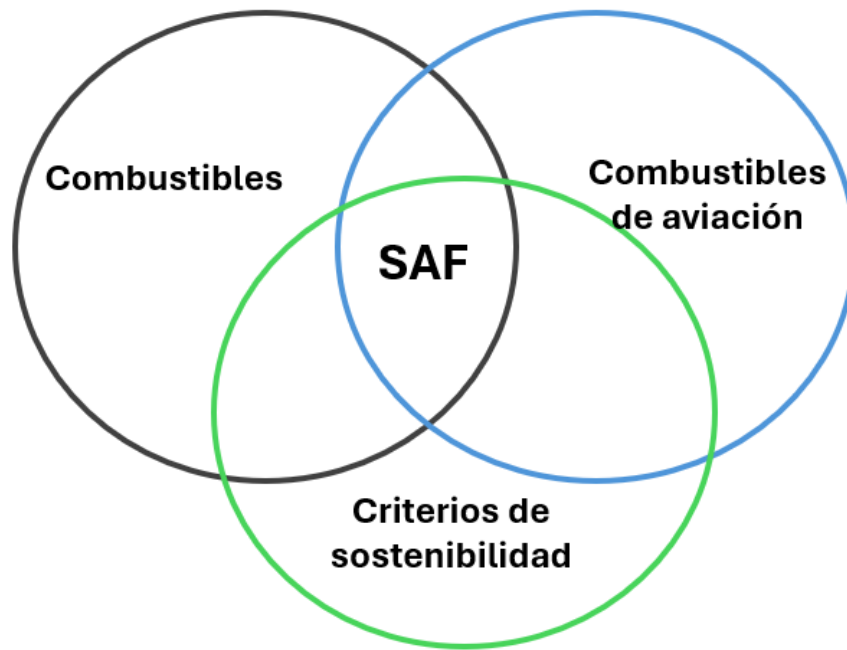


Figura N°1. Esquema de los principales componentes del SAF

5. ANTECEDENTES.

La OACI y sus países miembros están trabajando en forma conjunta para elaborar planes de acción de los Estados interesados en reducir las emisiones de GEI de la aviación internacional. Para poder elaborar estos planes de acción y reducir las emisiones de GEI, se requiere de un proceso de cooperación internacional entre las partes de la aviación, cuyo objetivo es proporcionar a la autoridad estatal, la información que necesita para establecer una estrategia a largo plazo para la mitigación de las emisiones de GEI de la aviación internacional, además considerando que esta industria a diferencia de otras, debe tener una consistencia entre las regulaciones y normativas del combustible a utilizar, para permitir la interoperabilidad de los vuelos internacionales.

Este camino comienza en el año 2013, cuando la OACI adoptó la Resolución A38-18, denominada, “*Declaración consolidada de las políticas y prácticas de la OACI relativas a la protección del medio ambiente - Cambio Climático*”, siendo el paso decisivo, luego del acuerdo de París del año 2015, el año 2016, donde se estableció el Plan de Compensación y Reducción del Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA) mediante la Resolución A39-3.

Esta resolución toma los siguientes compromisos de implementación:

- Mejorar la eficiencia anual de combustibles en un 2% en el año 2020 y llegar a carbono neutralidad a partir del año 2050⁴.
- Como objetivos intermedios de avance a esta gran meta se encuentra, reducir en un 5% las emisiones de CO2 en la aviación internacional al año 2030⁵.

Para alcanzar estos desafíos, existe un paquete de medidas que incluye:

- Avances tecnológicos: aeronaves más eficientes en consumo de combustible, sumado a nuevas tecnologías de propulsión como aviones eléctricos, a hidrógeno e híbridos.
- Mejoras operacionales y de infraestructura: optimización de la gestión del tráfico aéreo y de los procedimientos operativos en tierra y aire.
- Uso de combustibles de aviación sostenibles (SAF) y combustibles de aviación bajos en carbono (LCAF por sus siglas en inglés).
- Medidas basadas en el mercado: esquema de compensación y reducción de emisiones para la aviación civil internacional CORSIA.

Los SAF pueden reemplazar los combustibles de origen fósil sin requerir modificaciones en las aeronaves, esta característica se denomina *drop-in* o sustitución directa y podrían llegar a reducir hasta un 99% de las emisiones de GEI en todo el ciclo de vida respecto a los combustibles convencionales⁶.

En la literatura revisada en este estudio aparece de manera reiterada el concepto *drop-in*, razón por la cual es necesario realizar una explicación del mismo.

Combustible *drop-in* o de sustitución directa, implica tener una compatibilidad absoluta con el combustible de aviación convencional o fósil, en términos de performance del combustible, performance de las máquinas o turbinas donde se utiliza, y uso compatible con toda la infraestructura de transporte, almacenamiento y distribución del combustible de aviación, incluido el suministro directo al avión.

El concepto *drop-in* debiese alcanzar una componente jurídica, cual es, hacerle aplicable al SAF la normativa de combustibles de aviación, ya sea para su transporte, almacenamiento, distribución y uso final en el avión.

⁴ Ministerio para la transición ecológica y reto demográfico. <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/comercio-de-derechos-de-emision/operadores-aereos-corsia.html>.

⁵ OACI, Sustainable Aviation Fuels, 2018.

⁶ Resolución exenta N°337/2024CDL, Licitación Santiago 26/08/2024, Autoriza llamado a licitación pública, aprueba bases técnicas administrativas y anexos para la contratación del estudio, “Normativa internacional para producción y uso de SAF”

Si bien la combustión de SAF emite cantidades similares de CO₂ a los combustibles tradicionales de la aviación de origen fósil, los beneficios ambientales se basan en el ciclo de vida de este combustible, que consta de varios pasos desde la materia prima hasta el uso final en un motor. El ciclo de vida del combustible incluye, aprovisionamiento de las materias primas, logística, el procesamiento, el transporte del combustible, la mezcla, almacenamiento y despacho al motor del avión. En cada uno de estos pasos, es probable que se produzcan emisiones de GEI. La huella de carbono total del combustible se obtiene de la suma de todas las emisiones de CO₂ en su ciclo de vida. Cuando se consideran todas esas emisiones, el combustible de aviación SAF dará como resultado una reducción de las emisiones en comparación con el valor de referencia del ciclo de vida del combustible de aviación de origen fósil, que es de 89 gCO₂e/MJ⁷. Estos beneficios de reducción de emisiones variarán según la materia prima, la práctica de producción, la tecnología de conversión, y la logística.

Para el desarrollo del SAF se debe considerar el papel de los diferentes actores interesados y en las circunstancias nacionales específicas de cada uno, (posibilidad de producción o importación), como también el marco jurídico asociado.

El desarrollo del SAF en cada uno de los países es un proceso complejo que enfrenta una serie de variables que deben ser consideradas al momento de decidir su implementación.

A continuación, se detallan los principales aspectos relevantes a ser considerados para el desarrollo del SAF, según describe la OACI.

5.1 Principales actores involucrados en la cadena de valor del SAF.

La aviación civil es un negocio global que opera con arreglo a normas y protocolos internacionales, incluidas las normas y métodos recomendados y adoptados por la OACI. Además, las aerolíneas están sujetas a las reglamentaciones nacionales de los Estados en los que operan. Por lo tanto, las autoridades nacionales son partes interesadas importantes en la promoción de la innovación de la industria de nuevos energéticos, a través de la investigación y el desarrollo.

Los actores principales en los países son los ⁸siguientes:

⁷ OACI, Sustainable Aviation Fuels, 2018

⁸ OACI, Sustainable Aviation Fuels, 2018

5.1.1. Instituciones Gubernamentales

Las políticas públicas son muy importantes para fomentar una industria nacional de SAF. Los Estados pueden adoptar diversos instrumentos normativos para considerar o regular el SAF en toda su cadena de valor, tales como leyes, reglamentos, normas técnicas, etc.

Tan relevante resultan las políticas públicas para el desarrollo del SAF que la OACI dictó una guía para adoptar políticas para el desarrollo del SAF⁹.

El enfoque para el SAF debe ser global y debe cumplir con las regulaciones internacionales, a diferencia de un transporte terrestre.

5.1.2. Aerolíneas.

Las aerolíneas al ser consumidores de SAF, son los principales actores que permitirán lograr las metas propuestas para su uso. Es por esto que muchas aerolíneas han mostrado un claro interés por el SAF y han participado en su desarrollo desde el principio.

Las preocupaciones iniciales sobre la seguridad se han resuelto con el concepto *drop-in* antes explicado. Además de los aspectos de seguridad, las aerolíneas están preocupadas por los costos de combustible y los beneficios ambientales. La mezcla de SAF puede representar un aumento de los costos operativos, lo que representa una parte sustancial del presupuesto de una aerolínea. Dependiendo de la vía de producción adoptada, actualmente el precio del SAF podría ser de 1,5 a 3 veces el precio de los combustibles convencionales¹⁰. Sin embargo, con los distintos niveles de avance de implementación de las normas de sostenibilidad, por ejemplo, limitando los combustibles fósiles, mejoras en los costos de financiamiento, incentivos en las tasas de impuestos y los avances tecnológicos, harán que el mayor costo de producción se aminore¹¹.

5.1.3. Fabricantes de Equipos de Aviación.

⁹ ICAO Guidance on Policy measures for SAF development and deployment (2024).

<https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/SAF/Guidance%20on%20SAF%20policies%20-%20Version%203.pdf>

¹⁰ Sustainable Aviation Fuels Guide 2018. ICAO

¹¹ Sustainable Aviation Fuels, 2018, ICAO

Los equipos de transporte aéreo deben cumplir rigurosos estándares operativos y de seguridad. Las aeronaves, sus sistemas y componentes, como los motores y el sistema de suministro de combustible, así como toda la infraestructura asociada y los sistemas aeroportuarios están directamente relacionados con las operaciones de transporte, almacenamiento y abastecimiento de combustible, los que deben ser confiables y tener un buen desempeño en todas las condiciones operativas esperadas. La constante innovación, adaptando nuevas tecnologías, con mejores rendimientos en el consumo de combustible y adaptabilidad del tipo de combustible ayudan en la reducción de las emisiones de GEI. El rol de estos actores es que permitan la incorporación de SAF producido con otras materias, otras tecnologías y con distintas proporciones de mezcla de SAF con combustibles de aviación fósil (CAF), permitiendo llegar a un 100% de uso de SAF como combustible de aviación, idealmente sin intervención de los motores actuales.

5.1.4. Proveedores de Materias Primas y Productores de Combustibles.

Aunque actualmente existen varias empresas que producen otros combustibles alternativos, la producción regular de SAF es un mercado incipiente y debe cumplir con los mismos estándares de calidad y certificación para poder ser utilizado en los aviones, al igual que los combustibles convencionales, lo que supone un desafío para los productores del combustible. Hasta la fecha, ocho vías para la producción de SAF han sido autorizadas bajo la norma ASTM D7566, mientras que tres co-procesos en refinerías, se encuentran autorizados en la norma ASTM D1655.

La producción de SAF bajo los co-procesos en refinerías, supone la ventaja de aprovechar la infraestructura existente en dichas instalaciones.

Los proveedores de materias primas son fundamentales en la producción de SAF ya que son los encargados de producirla, como aceites vegetales no comestibles o de recolectarla, como por ejemplo la bio masa de origen vegetal.

5.1.5. Distribuidores de combustible para Aviación.

Los distribuidores de combustibles son participantes esenciales en este mercado. Como proveedores y manipuladores de SAF, deben tener el conocimiento para cumplir con las regulaciones y procedimientos que exige el mercado de combustibles de aviación por ejemplo en las Normas JIG/Ei 1530-1533, cuyo contenido se explica en el numeral 8.2 de más adelante.

5.2. Condiciones de los países para el desarrollo de un mercado del SAF.

Si un Estado decide desarrollar y utilizar combustibles no fósiles, debe cumplir algunas condiciones básicas. Suponiendo que se disponga de la financiación necesaria y se respeten las normas y directrices internacionales de los combustibles de aviación, como el principio de uso directo y los procesos certificados, será importante evaluar cuidadosamente el marco jurídico, la infraestructura necesaria y el potencial de producción de materia prima.

A continuación, se detallan los aspectos claves a los que refiere el párrafo anterior:

5.2.1. Infraestructura

La viabilidad de la producción de SAF depende directamente de la disponibilidad de materia prima producida de manera sostenible y a costos competitivos, lo que a su vez es una función directa de la infraestructura de suministro existente, como carreteras y sistemas de almacenamiento. En relación a la infraestructura de combustibles líquidos, dado el concepto de *drop-in* del SAF, esta debería ser la misma infraestructura que se utiliza actualmente para los combustibles líquidos fósiles.

5.2.2. Potencial Agrícola para la Producción

La agricultura es una posible fuente de materias primas para la producción de SAF. Sin embargo, el potencial agrícola para la producción sostenible de materias primas de SAF debe tener en cuenta otros factores como la disponibilidad y el uso alternativo de la tierra (por ejemplo, la producción de alimentos), las limitaciones ambientales, como la biodiversidad, el patrimonio natural y cultural y la conservación de los recursos hídricos y forestales. Estos factores están estrechamente relacionados con las condiciones que se exigen para ser elegibles como parte de la certificación de sostenibilidad. Los aspectos que pueden ser complementados con el desarrollo actual de la taxonomía en Chile, en el cual se busca establecer las actividades económicas que puedan ser clasificada como sostenibles¹².

5.2.3. Residuos y Desechos como Materia Prima

En algunas condiciones, los residuos y subproductos de la agricultura, la silvicultura, las industrias que procesan materia prima orgánica, como las industrias alimentarias

¹² <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2024/09/2024-08-29-Presentacion-Taxonomias-verdes.pdf>

y los aserraderos, así como varios tipos de desechos municipales, o aceites vegetales usados pueden también considerarse como una materia prima valiosa para la producción de SAF.

Los aspectos cruciales que se deben tener en cuenta en los estudios de viabilidad que apuntan al uso de estos materiales son los costos de recolección y logística y la disponibilidad en cantidades adecuadas para alcanzar una escala económica mínima en plantas de procesamiento, que pueden implementarse utilizando diferentes tecnologías. Es importante destacar que, en general, existe relación entre la materia prima y los costos de conversión: los materiales baratos generalmente imponen procesos más costosos.

5.2.4. Recursos de origen no biológicos.

Adicionalmente, en la actualidad existen tecnologías de producción de SAF a partir de hidrógeno renovable, a través de la producción de metanol, aunque estas tecnologías aún no están autorizadas por la norma ASTM D7566, aun cuando se encuentran actualmente en evaluación. Ver información del número 6.4.1.

5.2.5. Marco Jurídico y Reglamentos.

El marco jurídico y la estructura institucional asociada en cada país constituyen la primera condición que debe considerarse. Es necesaria una definición clara de las responsabilidades relacionadas con las especificaciones de calidad de los combustibles, así como su seguimiento y aplicación mediante la adopción de procedimientos transparentes y coherentes. Es el comienzo para establecer las pautas para una normativa local. Adicionalmente, estas regulaciones incluyen criterios de sostenibilidad a exigir para el SAF, que pueden coincidir parcial o totalmente con los criterios de CORSIA.

Dado este contexto es necesario conocer cuáles son las normativas y regulaciones vigentes que se están aplicando en los países que actualmente utilizan SAF como combustible de aviación.

6. ESTANDARES DE CALIDAD PARA EL COMBUSTIBLE DE AVIACIÓN.

Para que un combustible líquido, SAF u otro, sea considerado *drop-in* como combustible de aviación Jet Fuel A o Jet Fuel A-1 e ingresar con ello a las turbinas de un avión, este debe cumplir con especificaciones técnicas y de calidad, definidas en estándares internacionales.

Luego, para ser considerado un SAF, deberá acreditar también el cumplimiento de criterios de sostenibilidad. Sean estos criterios dictados por organizaciones internacionales, como los criterios de sostenibilidad CORSIA o en leyes como la Directiva EU RED II y III.

En este contexto, la definición de SAF se establece por la normativa de cada país o por el esquema CORSIA a cuál se someten y debe considerar en conjunto requisitos mínimos de calidad, vías de producción autorizadas y criterios de sostenibilidad.

En cuanto a combustibles de aviación se refiere, a continuación, se presentan los estándares de calidad más comunes y de cumplimiento internacional en occidente, a los cuales por cierto adscribe la OACI y todos sus Estados miembros.

6.1. ASTM D1655 “Standard Specification for Aviation Turbine Fuel”.

Este estándar es producido por la *American Society for Testing and Materials* (ASTM), organización no gubernamental, que ha publicado más de 12.000 normas técnicas sobre procedimientos de ensayo y clasificación de materiales de todo tipo.

Este estándar define los requisitos mínimos de propiedades del combustible de turbina de aviación Jet fuel A y Jet fuel A-1 como se indica en la Tabla N° 1 y además se enumera los aditivos aceptables para su uso en motores y aeronaves civiles y militares.

El estándar ASTM D1655 se desarrolló inicialmente para aplicaciones civiles, pero también se ha adoptado para aeronaves militares.

Tal como indica la referida norma ASTM, *“El combustible para turbinas de aviación es una mezcla compleja compuesta predominantemente de hidrocarburos y varía en*

*función de la fuente de crudo y el proceso de fabricación. **Por consiguiente, es imposible definir la composición exacta del Jet A/A-1¹³.***” (Énfasis agregado).

En consecuencia, como no es posible definir su composición exacta por lo que se explicó en el párrafo anterior, se trata de una especificación de rendimiento, más que una especificación de composición.

Se reconoce en esta norma que esto depende en gran medida de la experiencia acumulada en las fuentes de derivados del petróleo utilizadas; por lo tanto, la especificación limita los combustibles para turbinas de aviación a los fabricados a partir de fuentes convencionales o derivados del petróleo o de otras materias primas, pero solo mediante procesos específicamente aprobados.

La norma se trata de una especificación del combustible de aviación que se utiliza para acreditar la calidad de combustible lote a lote (batch) desde la producción hasta la aeronave. *“Sin embargo, esta especificación no define las pruebas y procedimientos de aseguramiento de la calidad necesarios para garantizar que el combustible en el sistema de distribución siga cumpliendo esta especificación después de la certificación por lotes. Dichos procedimientos se definen en otras normas internacionales, como por ejemplo en OACI 9977, EI/JIG Standard 1530, JIG 1, JIG 2, API 1543, API 1595, y ATA-103¹⁴.”*

Adicionalmente, la norma ASTM D1655 en su última versión, considera en sus anexos los siguientes métodos de producción derivados del co-procesamiento de hidrocarburos:

a.- Co-Hidroprocesamiento de Ésteres y Ácidos Grasos.

Este método alternativo para la obtención de SAF, basado en el proceso tradicional de HEFA, se caracteriza por ser llevado a cabo en una refinería convencional de petróleo, este proceso hace uso de las materias residuales del proceso de refinería, para luego ser usadas como materias primas en un proceso tradicional de HEFA.

Este proceso se encuentra regulado por la norma ASTM D1655, anexo A1. A1.2.2.1.

b.- Co-Hidroprocesamiento de Hidrocarburos Fischer-Tropsch.

A diferencia que el proceso FT tradicional, este proceso es realizado a partir de materia prima presente en una refinería tradicional de petróleo, por lo que es necesario adicionar una etapa de hidroprocesamiento para asegurar que la cantidad de azufre

¹³ ASTM D1655-24b. Edición, noviembre 2024.

¹⁴ N°1.3 estándar ASTM D1655-24b. Edición, noviembre 2024.

presente en el producto final, medido en partes por millón (PPM), se encuentre dentro de las normas establecidas.

Este proceso se encuentra regulado por la norma ASTM D1655, anexo A1. A1.2.2.2

c.- Co-procesamiento de hidrocarburos derivados de mono-, di- y triglicéridos hidroprocesados, ácidos grasos libres y ésteres de ácidos.

Esta materia prima deberá estar exenta de aditivos, salvo la adición opcional de antioxidantes del tipo y concentración especificados en la misma norma.

Este proceso se encuentra regulado por la norma ASTM D1655, Anexo A1. A1.2.2.3.

A continuación, se muestra una tabla con los requisitos de calidad para el combustible de aviación considerado en la norma ASTM D1655 descrita precedentemente.

Propiedad	Requisito	Unidad	Método Análisis
	NCH 1937 of 2000 / ASTM D 1655. Última versión.		ASTM
Gravedad API a 60°F		*API	D4052 o D 1298
Densidad a 15 °C	máx. 840	kg/m ³	D 4052 o D 1298
	min. 775		
COMPOSICION:			
Acidez Total	máx. 0,10	mg KOH/g	D 3242
Aromáticos	máx. 25	% (v/v)	D 1319
	máx. 26,5		D 6379
Azufre Mercaptano o	máx. 0,003	% (m/m)	D 3227
Doctor	Negativo	-	D 4952
Azufre total	máx. 0,30	% (m/m)	D 5453 o D 4294
VOLATILIDAD:			

Destilación:			D 86
10% Recuperado	máx. 205	°C	
50% Recuperado	Informar	°C	
90% Recuperado	Informar	°C	
Punto Final	máx. 300	°C	
Residuo	máx. 1,5	% (v/v)	
Pérdida	máx. 1,5	% (v/v)	
Punto de Inflamación	mín. 38	°C	D 56 o D 3828
FLUIDEZ:			
Punto de Congelación	máx. -47	°C	D 2386 o D 7153
Viscosidad a -20 °C	máx. 8,0	mm ² /s	D 445
COMBUSTION:			
Calor Neto de Combustión	mín. 42,8	MJ/kg	D 4529 o D 3338 o D 4809
Debe cumplir uno de los sig. Requisitos:			
1. Punto de Humo	mín. 25	mm	D 1322
2. Punto de Humo	mín. 18	mm	D 1322
Naftalenos	máx. 3,0	% (v/v)	D 1840
CORROSION:			
Corrosión lámina de Cobre	máx. 1	N°	D 130
ESTABILIDAD TÉRMICA: 2,5 h a 260 °C			D 3241
Calde de Presión Filtro	máx. 25	mm Hg	
Depósito en el Tubo	<3		
CONTAMINANTES:			
Goma existente	máx. 7,0	mg/100 ml	D 381
MSEP-A	mín. 85	a	D 3948
	mín. 70	b	

Tabla N°1. Tabla de especificaciones de jet A/Jet A1, según ASTM D1655¹⁵.

En la sección A1.12 de esta norma, se indica que los combustibles para turbinas de aviación con componentes sintéticos producidos de acuerdo con la especificación ASTM D7566 que será revisada más adelante, cumplen con los requisitos de la Especificación ASTM D1655.

¹⁵ Fuente: <https://www.enap.cl/relaciones-comerciales/productos/kerosene-de-aviacion>

6.2. UK Defence Standard 91-091: “Turbine Fuel, Aviation Kerosene Type, Jet A-1” (UK and international). Producido por el Ministerio de Defensa.

Esta Norma de Defensa especifica los requisitos para un grado de combustible de turbina de aviación tipo queroseno destinado al uso en motores de turbina de gas de aeronaves.

El combustible suministrado de acuerdo con esta Norma deberá poseer un rendimiento y propiedades satisfactorias, ósea que cumplan las especificaciones establecidas en la norma, cuando se utilice en aeronaves o motores apropiados operados por la Corona¹⁶.

Al igual que su símil ASTM D1655, el estándar Def Stan 91-091 declara que *“El combustible de aviación es una mezcla compleja de hidrocarburos que varía según la fuente de crudo y el proceso de fabricación. En consecuencia, **es imposible definir la composición exacta del combustible de aviación. Por lo tanto, esta Norma ha evolucionado principalmente como una Norma de rendimiento más que como una Norma de composición. Por lo tanto, esta Norma limita los carburorreactores a los fabricados a partir de fuentes convencionales o de procesos sintéticos específicamente aprobados**”*¹⁷. Énfasis agregado.

Este estándar define que la garantía de calidad del combustible de aviación se basa en dos conceptos clave: **lotes y trazabilidad**.

Un **lote** de combustible se define como una cantidad distinta de combustible de aviación que puede caracterizarse por un conjunto de resultados de pruebas. Es esencial que los fabricantes garanticen la homogeneidad de los lotes para que los resultados de las pruebas sean representativos del producto suministrado. Por homogéneo se entiende que la densidad no varía en más de 3,0 kg/m³ en todo el lote¹⁸. Deberá prestarse especial atención a la homogeneidad en la mezcla de combustibles de aviación semisintéticos, en particular cuando las densidades de los componentes sean muy diferentes.

¹⁶ Esta norma se refiere al concepto Corona, en referencia a los aviones militares operados por la Royal Airforce. Normativa en su origen dictada para la aviación militar de UK, bajo la cual el Ministerio de Defensa dicta la norma Def Stan 91-091, ampliada después a su uso en la aviación civil.

¹⁷ N°4.1. Def Stan 91-091. Issue 17. Date 28 June 2024.

¹⁸ Def Stan 91-091 N°5. 5.1.

Para la **trazabilidad**, en el punto de fabricación, el operador emitirá un Certificado de Calidad para certificar que el lote de combustible cumple todos los requisitos de esta Norma.

La garantía de calidad del combustible de aviación se basa en la certificación en el punto de fabricación y en procedimientos para verificar que la calidad del combustible de aviación en cuestión se mantiene dentro de los límites definidos por la Norma y no ha cambiado significativamente durante la distribución y entrega a las aeronaves.

La documentación adecuada es una parte esencial de este proceso. Los certificados de producto válidos son los siguientes, todos los cuales serán explicados en el capítulo 8 sobre esquemas de certificación:

- a) Certificado de Calidad o Certificado de Calidad de Refinería (CoQ (RCQ))
- b) Certificado de análisis (CoA)
- c) Test de recertificación (RT)

Esta Norma se desarrolló originalmente sobre la base de que el combustible procedería únicamente de fuentes petrolíferas y se procesaría mediante técnicas convencionales. Esto cambió en 1999 cuando, tras exhaustivas pruebas y revisiones, se permitieron en esta Norma los componentes de mezcla de combustible de aviación fabricados a partir de carbón por SEASOL¹⁹. Desde entonces, el interés por ampliar la gama tanto de procesos como de materias primas ha aumentado drásticamente, impulsado principalmente por el deseo de la comunidad aeronáutica de producir combustibles de aviación renovables o sustentables.

Para evitar la duplicación y asegurar la armonización entre las Especificaciones / Normas, esta norma hace referencia expresa a la norma ASTM D1655, en tanto que, para los nuevos componentes sintéticos, esta Norma también hace referencia expresa a la norma ASTM D7566 y sus Anexos asociados.

En esta norma, el co-procesamiento de materias primas aprobadas que producen queroseno semisintético coprocesado en refinerías, se reconoce como aceptable para la fabricación de combustible de aviación. Las materias primas aprobadas son:

- a) mono-, di- y triglicéridos, ácidos grasos libres y ésteres de ácidos grasos.

¹⁹ El término SEASOL proviene de *Synthetic Esters and Alkylated Solvents*, lo que indica que está compuesto principalmente de ésteres sintéticos y solventes alquilados. Estos combustibles están diseñados para ser compatibles con los motores de las aeronaves sin necesidad de modificaciones y tienen como objetivo reducir las emisiones de carbono en comparación con los combustibles fósiles tradicionales.

b) hidrocarburos derivados del gas de síntesis mediante el proceso Fischer-Tropsch utilizando un catalizador de hierro o cobalto.

c) hidrocarburos procedentes de mono-, di- y triglicéridos hidroprocesados, ácidos grasos libres y ésteres de ácidos grasos.

El co-hidroprocesamiento de mono-, di- y triglicéridos, ácidos grasos libres y ésteres de ácidos grasos incluirá el hidrocrackeo o hidrotratamiento y fraccionamiento. El procesamiento también puede incluir otros procesos convencionales de fabricación de combustibles.

El co-hidroprocesamiento de hidrocarburos Fischer-Tropsch incluirá el hidrocrackeo o el hidrotratamiento y el fraccionamiento. El procesamiento también puede incluir otros procesos convencionales de fabricación de combustible.

El coprocesamiento de hidrocarburos a partir de mono-, di- y triglicéridos hidroprocesados, ácidos grasos libres y ésteres de ácidos grasos incluirá el fraccionamiento.

6.3. ASTM D7566. “Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons”.

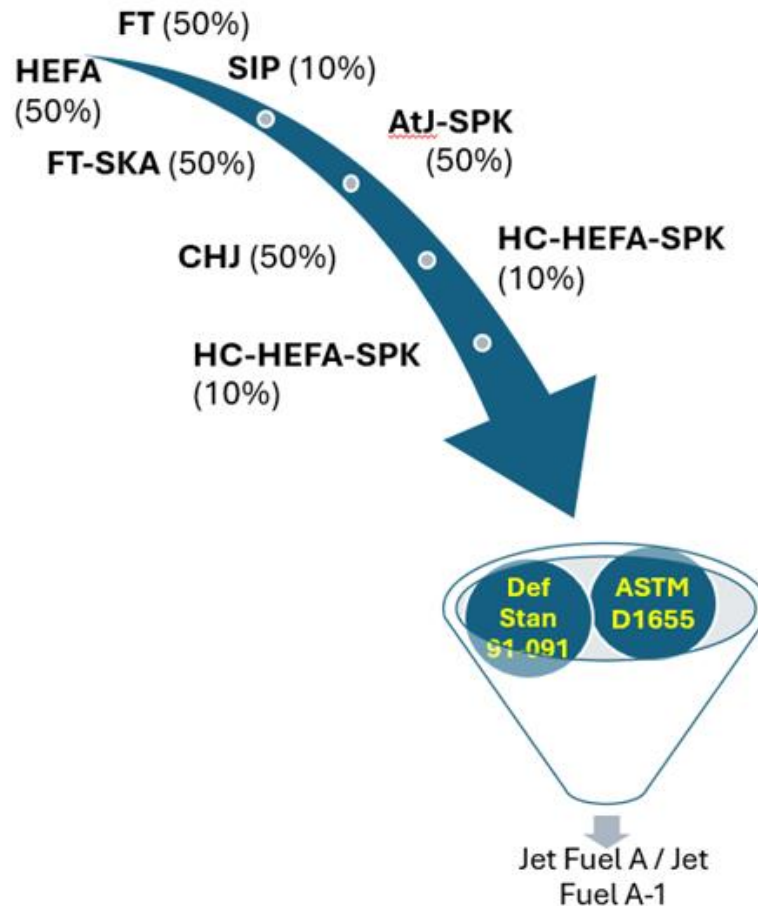
Este estándar describe las vías aprobadas para la producción de componentes sintético de mezcla (Synthetic Blending Component -SBC, por sus siglas en inglés), que, una vez mezclados en los porcentajes autorizados en esta misma norma, con combustible de aviación convencional Jet Fuel A o Jet Fuel A-1, se obtiene un combustible de aviación para utilizar en las turbinas de avión, como se muestra en la Figura N°2.

Una vez que el combustible convencional Jet Fuel A o Jet Fuel A-1 es mezclado con los SBC producto de los procesos descritos en los anexos 1 al 8 de esta norma, en los porcentajes de *blending* autorizados, se trata entonces de combustible de aviación apto para ser introducido *drop in* en los aviones y ser utilizado en sus turbinas, razón por la cual se le comienza a aplicar la normativa general de combustibles de aviación en los distintos países.

La norma ASTM D1655 y su similar Def Stan 91-091 para calidad de combustibles de aviación, están aptas para recibir el SAF que cumpla las especificaciones de la norma ASTM D7566.

El combustible para turbinas de aviación fabricado y certificado según los requisitos de esta especificación (D7566) cumple con los requisitos de la

especificación D1655 y se considerará como combustible para turbinas de la especificación D1655 (Jet A o Jet A1)²⁰.



FiguraN°2. Esquema de reconocimiento de la Norma ASTM D7566 en Norma ASTM D1655 y Defs Stan 91-091.

Mientras la norma ASTM D1655 se ha modificado especialmente para introducir el combustible sintético producido bajo las vías autorizadas por el estándar ASTM D7566, la norma Def Stan 91-091 se remite expresamente a las normas ASTM referidas, con el objeto de evitar duplicidades.

Según lo anterior si un combustible de aviación es certificado con la norma ASTM D7566 automáticamente cumple la norma ASTM D1655 y/o Def Stan 91-091.

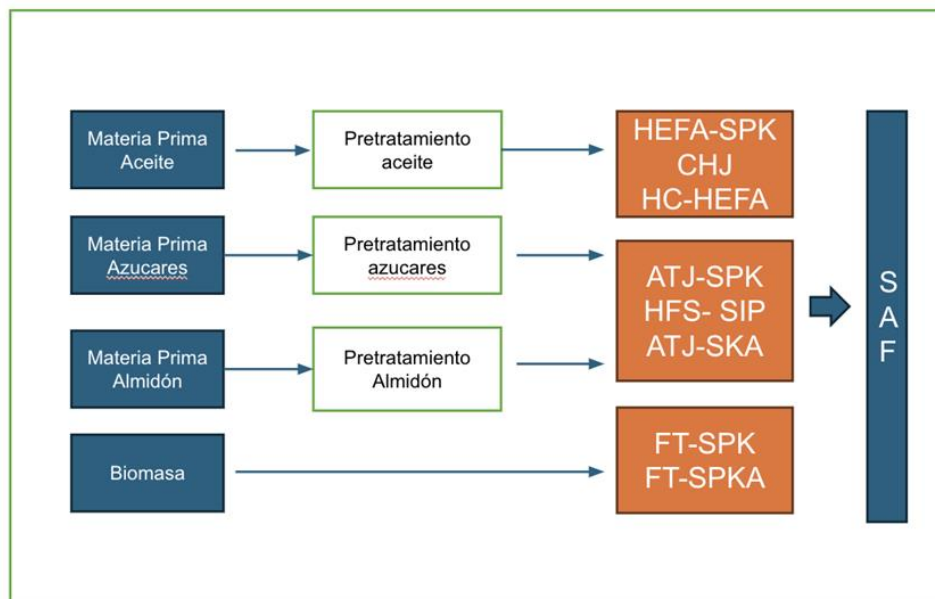
²⁰ ASTM D7566-24d. 19.12.2024. 1. Scope 1.3.1

6.3.1. Vías de producción del SAF autorizadas en ASTM D7566.

En términos normativos, es de suma importancia describir las vías de producción autorizadas hasta la fecha, así como los porcentajes máximos de *blending* o mezcla entre el producto de estos métodos de transformación autorizados y el combustible de aviación Jet Fuel A o Jet Fuel A1, toda vez que, únicamente de esta manera se puede lograr un combustible de aviación que cumpla con los estándares de calidad internacionalmente aceptados, tales como ASTM D1655 o Def Stan 91-091, siendo así aptos para ser utilizados en las turbinas de un avión.

Por su parte, las materias primas que sean procesadas bajo las vías autorizadas, deben además cumplir con criterios de sostenibilidad, para ser contabilizados en la reducción GEI. Estos criterios de sostenibilidad serán revisados en un capítulo independiente.

Estas vías de producción del SBC que luego será mezclado con combustible de aviación convencional en los porcentajes también autorizados están indicadas en el Anexo 1 al 8 (A1 al A8), de la norma ASTM D7566 son las que se muestran en la Figura N°3.²¹



²¹ **Nota al lector:** A efectos de entregar una fácil comprensión de las metodologías de producción descritas en este instrumento, cuestión eminentemente técnica, se advierte que se han utilizado citas textuales o parciales de la descripción de los procesos de producción, tomadas de la Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Mecánico de don Fabián David Olave Perez, denominada “Estudio de Disponibilidad de Materia Prima y Factibilidad Técnica para la Producción de SAF en Chile, de la Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Mecánica. Santiago 2023, a quien corresponden los créditos de dichas explicaciones y cuyo contenido es citado en la bibliografía, con su respectivo link de descarga.

Figura N°3 Esquema de tecnologías de producción de SAF según Norma D7566

a.- Queroseno parafínico sintetizado (SPK) del proceso Fischer--Tropsch (FT-SPK).

El proceso por el cual se gasifica carbón, gas natural o biomasa convirtiéndolo en gas de síntesis (syngas) compuesto de hidrógeno y monóxido de carbono. Este gas es posteriormente depurado y acondicionado a altas temperaturas, con el fin de optimizar su calidad, para luego ser sometido a un proceso de conversión catalítica, donde se forman hidrocarburos líquidos. La producción de SAF mediante el uso de FT se encuentra regulada en la norma ASTM D7566 en su Anexo 1.

b.- Queroseno parafínico sintetizado a partir de ésteres y ácidos grasos hidroprocesados (HEFA SPK).

Consiste en el hidro-procesamiento de materias primas lipídicas, mediante el aprovechamiento de varios mecanismos de reacciones catalíticas en presencia de hidrógeno. El primer paso de este proceso consiste en la saturación de los enlaces dobles de la cadena lipídica mediante la adición catalítica de hidrógeno, normalmente conocida como hidrogenación. Posterior al proceso de hidrogenación se vuelve a adicionar hidrógeno en reactor catalítico, lo cual sirve para remover el grupo carbonilo, y de manera simultánea se rompen los compuestos de glicerol, formando propano y cadena de ácidos grasos libres. Las cadenas de ácidos resultantes se encuentran unidas a ácidos carboxílicos, los cuales necesitan ser removidos para poder formar cadenas de parafina rectas, donde principalmente se usan los siguientes métodos:

- Hidrodesoxigenación
- Descarboxilación
- Descarbonilación

El SAF resultante de estos procesos se encuentra regulado en la norma ASTM D7566, en su Anexo 2.

c.- Isoparafinas sintéticas (SIP) de azúcares fermentados hidroprocesados (HFS-SIP).

Las iso-parafinas sintéticas, o SIP por sus siglas en inglés, son obtenidas a partir de tecnologías basadas en la conversión bioquímica donde el SAF es producido de manera biológica, mediante la fermentación de azúcar. En este proceso se hace uso de microorganismos que sintetizan una molécula de hidrocarburo llamada Farneseno, la cual puede ser convertida a su vez en bio combustible llamado Farneseno, el cual

puede ser mezclado con combustibles fósiles tradicionales. Los SAF producidos por este método de conversión se encuentran regulados por la norma ASTM D756 en su Anexo 3.

d.- Queroseno Sintetizado con Aromáticos derivados por alquilación de aromáticos ligeros procedentes de fuentes no petrolíferas²² o simplemente Fischer-Tropsch más aromáticos. (FT-SPK/A)

Este proceso de conversión, basado en el proceso original de FT, cuenta con la característica adicional de hacer uso de un proceso de alcalinización para disminuir la cantidad de ácidos presentes en moléculas aromáticas ligeras no derivadas del petróleo, principalmente benceno, esto con el fin de obtener moléculas aromáticas de mejor calidad, lo cual permitiría una mejor mezcla con combustibles fósiles tradicionales, aumentando así el porcentaje máximo de mezcla para materias primas poco eficientes.

La producción de SAF mediante el uso de FT se encuentra regulada según la norma ASTM D7566, en su Anexo 4.

e.- SPK del proceso Alcohol to Jet (ATJ-SPK)

Las tecnologías usadas para la producción de SAF a partir de derivados del alcohol, o AtJ por sus siglas en inglés, se basan en un proceso de conversión bioquímica donde alcoholes, como etanol o iso-butanol, son procesados en tres etapas, las cuales corresponden a la etapa de deshidratación, etapa de oligomerización y finalmente una etapa de hidrogenación. Los SAF producidos por este método de conversión se encuentran regulados por la norma ASTM D7566, en su Anexo 5.

f.- Hidrotermólisis Catalítica (CHJ)

El proceso de hidrotermólisis catalítica se basa en un proceso hidrotérmico, el cual hace uso de diversas reacciones como cracking, hidrólisis, descarboxilación, isomerización y ciclización, estos procesos son usados para convertir triglicéridos en una mezcla de hidrocarburos de cadena recta, ramificada y cíclica. Los SAF producidos por este método de conversión se encuentran regulados por la norma ASTM D7566, en su Anexo 6.

g.- Hidrocarburos-Ésteres y Ácidos Grasos Hidro-procesados (HC-HEFA SPK)

Este proceso alternativo deriva del mismo mecanismo usado tradicionalmente en HEFA, con la diferencia que su materia prima no corresponde únicamente a ácidos

²² Nombre de Anexo 4 ASTM D7566.

grasos y ésteres, si no que se considera el uso de hidrocarburos de manera adicional. Los SAF producidos por este método de conversión se encuentran regulados por la norma ASTM D7566, en su Anexo 7.

h.- Queroseno Parafínico Sintético de Alcohol – to- jet con aromáticos. (ATJ-SKA).

Producido a partir de alcohol y compuesto por los flujos de dos subprocesos procesados a través de las siguientes etapas: Un producto no aromático que comprende deshidratación, oligomerización, hidrogenación y fraccionamiento, y una corriente de productos aromáticos que comprende deshidratación, aromatización, hidrogenación y fraccionamiento. Los SAF producidos por este método de conversión se encuentran regulados por la norma ASTM D7566, en su Anexo 8.

A continuación, en la Tabla N°2, se muestra un cuadro resumen que contiene los métodos de producción autorizados antes detallados, distinguiendo la norma que le da cabida, el porcentaje de mezcla máximo autorizado y las posibles materias primas para utilizarse en la producción.

Referencia ASTM	Proceso de conversión	Abreviación	Posibles materias primas	Proporción máxima de mezcla	
ASTM D7566 Anexo A1	Queroseno parafinico sintetizado hidroprocesado Fischer-Tropsch	FT	Carbón, gas natural, biomazas	50%	
ASTM D7566 Anexo A2	Queroseno parafinico sintetizado a partir de ésteres y ácidos grasos hidroprocesados	HEFA	Aceites vegetales, grasa animal, aceites de cocina usados (UCO)	50%	
ASTM D7566 Anexo A3	Isoparafinas sintetizadas a partir de azúcares fermentados hidroprocesados	SIP	Biomasa usada por producciones de azúcar	10%	
ASTM D7566 Anexo A4	Queroseno sintetizado con aromáticos derivados por alquilación de aromáticos ligeros de fuentes no petroleras	FT-SKA	Carbón, gas natural, biomazas	50%	
ASTM D7566 Anexo A5	Queroseno parafinico sintético de alcohol a jet	AtJ-SPK	Etanol, isobutanol e isobuteno a partir de biomasa	50%	
ASTM D7566 Anexo A6	Combustible de aviación por hidrotermólisis catalítica	CHJ	Aceites vegetales, grasa animal, aceites de cocina usados (UCO)	50%	
ASTM D7566 Anexo A7	Queroseno parafinico sintetizado a partir de hidrocarburos - ésteres y ácidos grasos hidroprocesados	HC-HEFA-SPK	Algas	10%	
ASTM D7566 Anexo A8	Queroseno parafinico sintético con aromáticos	AtJ-SKA	Alcoholes de biomasa C2-C5	50%	
Co-Procesamiento		Posibles materias primas		Límite de entrada	Límite de salida
ASTM D1655 Anexo A1	Hidroprocesamiento conjunto de ésteres y ácidos grasos en una refinería convencional de	Aceites vegetales, grasas animales, aceites de cocina de biomazas procesadas con petróleo usadas		5%	
ASTM D1655 Anexo A1	Hidroprocesamiento conjunto de hidrocarburos Fischer-Tropsch en una refinería convencional de petróleo	Hidrocarburos Fischer-Tropsch procesados con petróleo		5%	
ASTM D1655 Anexo A1	Co-procesamiento de HEFA	Ésteres/ácidos grasos hidroprocesados a partir de biomasa		24%	10%

Tabla N°2. Cuadro porcentaje de mezclas autorizadas por ASTM

La cronología de incorporación de tecnologías y procesos de producción de SAF a la norma ASTM se muestra en la Figura N°4.

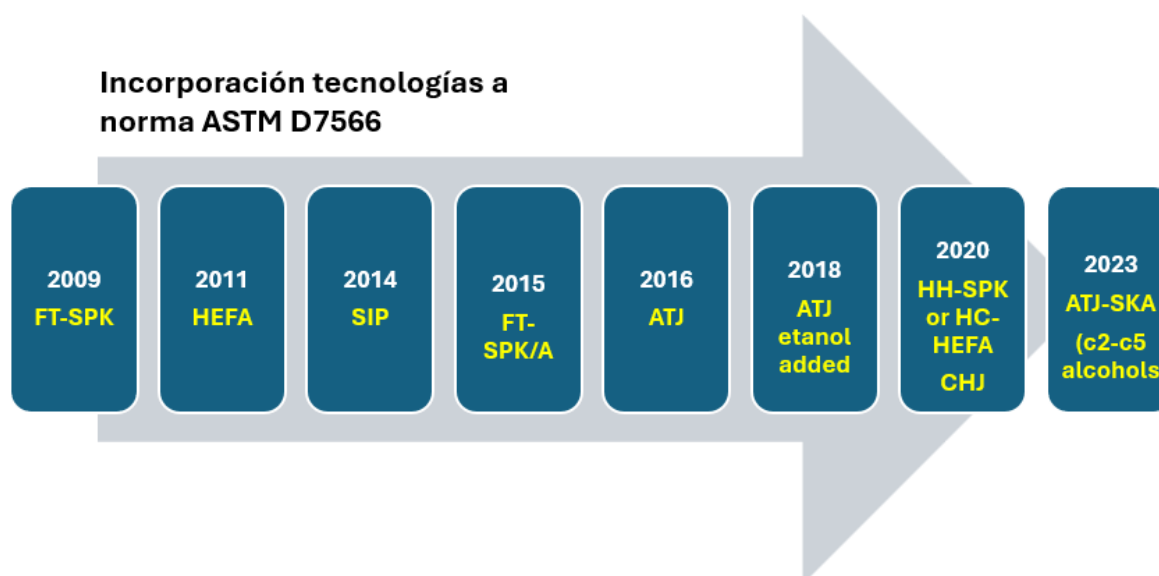


Figura N°4. Confección propia de evolución de las tecnologías aprobadas en Normativa ASTM D7566.

Ahora bien, cada vez que se quiera incorporar una nueva tecnología o método de producción de SAF a la norma ASTM D7566, se debe seguir rigurosamente el procedimiento dispuesto en la norma ASTM D4054, descrita a continuación.

6.4. ASTM D4054, “Guideline for the Qualification and Approval of New Aviation Turbine Fuels and Fuel Additives.”

La norma ASTM D4054 se desarrolló a fin de ofrecer a los productores de combustible alternativo para reactores, orientaciones sobre los ensayos y los objetivos de las propiedades necesarias al objeto de evaluar un combustible para reactores alternativo, denominado candidato.

La norma ASTM D4054 consta de un proceso iterativo que requiere que el desarrollador del combustible candidato haga ensayos con muestras del combustible para cuantificar sus propiedades, composición y prestaciones. Los ensayos abarcan las propiedades básicas de la especificación, propiedades ampliadas denominadas propiedades adaptadas a los objetivos, ensayos de componentes en el banco de pruebas y si es necesario, un ensayo completo del motor. Es un proceso riguroso que requiere la participación y aportaciones de muchas de las partes interesadas de la ASTM.

Cada vez que se quiere incorporar una nueva metodología de producción de SAF a la norma ASTM D7566, y con ello acreditar el cumplimiento de la norma ASTM D1655 e ingresar a las turbinas de un avión, se debe pasar por un exigente proceso, con un flujo que se muestra en la Figura N°5 a continuación.

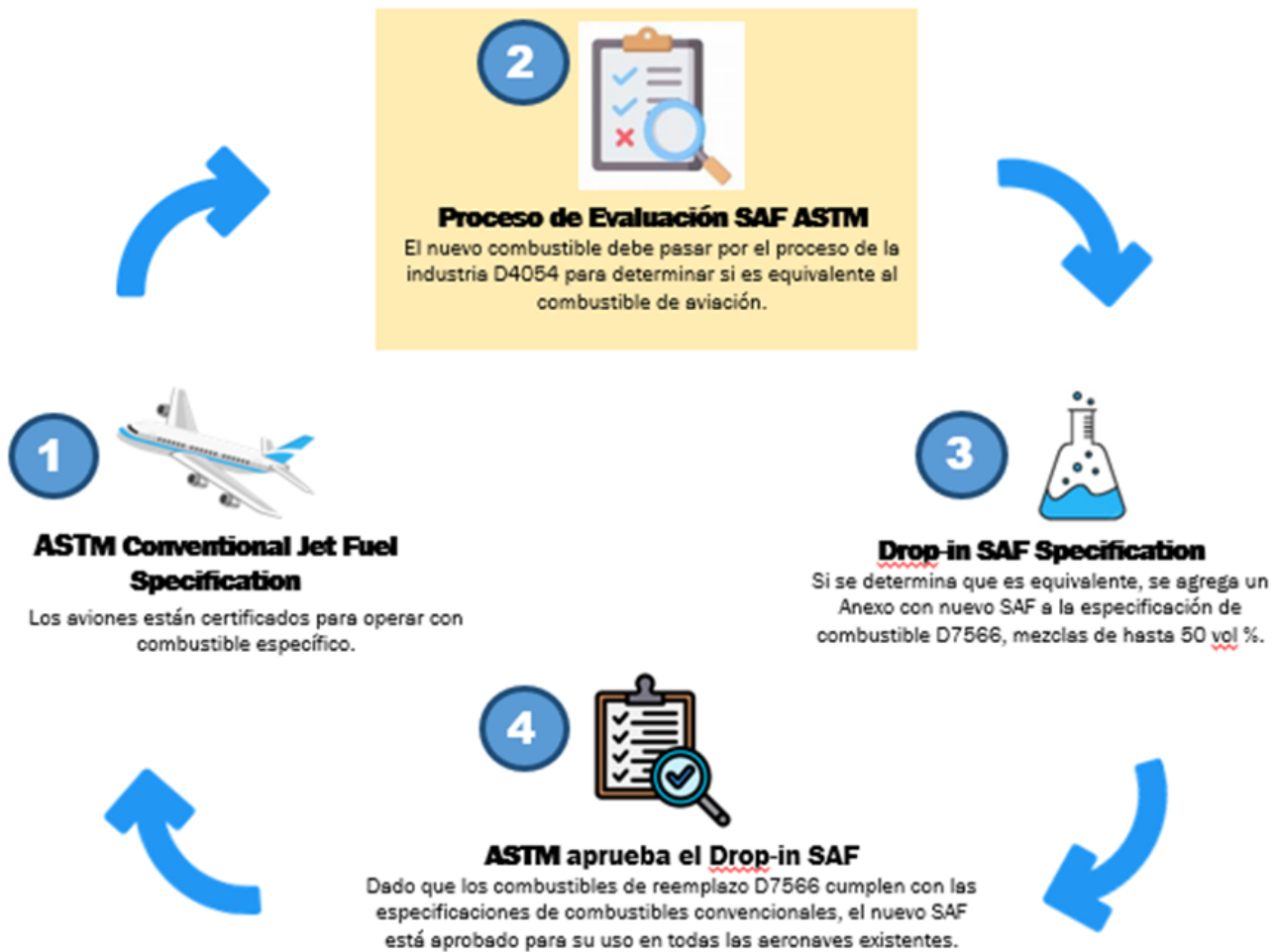


Figura N°5. Esquema para autorizar nuevas tecnologías SAF.

6.4.1. Tecnologías en evaluación para ser aprobadas por Norma ASTM 7566

Actualmente, existen varias vías de producción de SAF que no se encuentran dentro de las tecnologías certificadas por las normas nombradas anteriormente, las cuales se encuentran en etapa de desarrollo y donde mencionamos algunas en la siguiente Tabla N°3.

Conversion process under evaluation	Abbreviation	Lead developers
synthesized aromatic kerosene	SAK	Virent
Integrated hydropyrolysis and hydroconversion	IH2	Shell
Single Reactor HEFA (Drop-in Liquid Sustainable Aviation and Automotive Fuel)	DILSAAF	Indian CSIR-IIP
Pyrolysis of non-recyclable plastics	ReOIL	OMV
Co-processing of pyrolysis oil from used tires	TPO	Philips 66
Methanol to jet	MTJ	ExxonMobil
Increase in fatty acid/ester co-processing from 5% to 30%		
HEFA with higher cycloparaffins'		Revo
Biomass pyrolysis		Alder
Biomass/Waste pyrolysis		Green Lizard
Cycloalkanes from Ethanol		Vertimass

Tabla N°3: Tecnologías de producción de SAF en evaluación, no aprobadas

En especial mencionamos las tecnologías de uso de **Hidrógeno verde** en la producción del SAF. Las tecnologías usadas para la producción de SAF a partir de derivados del hidrógeno, o Power to liquid (PtL por sus siglas en inglés), se basan en hacer uso de un proceso de electrólisis del agua, alimentado con electricidad proveniente de energías renovables no convencionales (ERNC) para poder separar el hidrógeno presente en el agua. Luego se sintetizan los hidrocarburos a partir de mezclas de hidrógeno y CO₂/CO, donde el CO₂/CO pueden ser obtenidos a partir de diversas fuentes o de captura de fuentes fijas o del medio ambiente.

Actualmente, existen dos métodos de conversión que pueden ser usados para la producción de combustible de aviación basado en un proceso Power to Liquid, donde el primero de estos métodos corresponden a un proceso basado en tecnologías FT, mientras que el segundo corresponde a un proceso basado en el uso de tecnologías de producción y conversión de metanol a combustibles de aviación producido a partir de hidrógeno y CO₂, **donde este último método no cuenta actualmente con aprobación en las normas ASTM**, mientras que la producción de SAF mediante el uso de FT se encuentra regulada según la norma ASTM D7566, en su Anexo 1, en la cual se

limita el porcentaje de mezcla entre el SAF resultante del proceso y el combustibles fósiles tradicionales en un máximo del 50%.

Finalmente, para una mejor comprensión de las normas analizadas se realiza un cuadro resumen que se muestra en la Tabla N°4, donde se presentan los estándares aplicados para el combustible de aviación, la producción de SAF y la incorporación de nuevos procedimientos para la producción de SAF.

Norma	Descripción	Aplicación	Contenido clave
ASTM D1655	Especificaciones de los combustibles de aviación Jet A y Jet A-1	Define las propiedades requeridas para los combustibles Jet A y Jet A-1.	Requisitos de propiedades fisicoquímicas del combustible, permite la utilización del SAF acreditado bajo la norma ASTM D7566
ASTM D7566	Especificaciones para combustibles de aviación alternativos	Define las especificaciones y métodos de producción y prueba para los combustibles de aviación alternativos, para su uso en aeronaves.	Propiedades de los combustibles alternativos, su mezcla con Jet A y pruebas de rendimiento en condiciones operacionales
ASTM D4054	Proceso de calificación de combustibles alternativos para aviación	Define el proceso para la calificación de nuevos combustibles alternativos para aeronaves, incluyendo pruebas de rendimiento.	Procedimiento de validación para combustibles alternativos, evaluación de su compatibilidad con sistemas de aeronaves y rendimiento en motores.
Def Stan 91-091	Especifica requisitos para combustible de turbina de aviación tipo queroseno destinado al uso en motores de turbina de gas de aeronaves	Define las propiedades requeridas para los Fuel Jet para uso militar	Requisitos de propiedades fisicoquímicas del combustible, permite la utilización del SAF acreditado bajo la norma ASTM D7566

Tabla N°4 Cuadro comparativo normas internacionales de producción de SAF.

7. CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD PARA EL SAF.

Acreditados los requerimientos de calidad para que el SAF sea considerado un combustible capaz de ser utilizado en las turbinas de un avión, deberá acreditar su condición de sostenible, de acuerdo con los criterios de sostenibilidad y reducción de GEI dictaminados por CORSIA, o por los criterios de sostenibilidad considerados en los distintos países en estudio, tales como UE, Estados Unidos y Brasil.

Mientras que los parámetros técnicos son definidos por normas aceptadas internacionalmente, tales como ASTM o Def Stan, los criterios de sostenibilidad son fijados por cada país, o éstos se acogen a aquellos dictados o recomendados por organismos internacionales.

7.1. Criterios de Sostenibilidad de CORSIA.

La “*Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*” (CORSIA), de la OACI, tiene criterios de sostenibilidad y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, que son certificados bajo esquemas de certificación aprobados y permiten que el SAF sea considerado un “*CORSIA eligible fuels*” (CEF).

La forma de compensar las emisiones de CO₂ como se muestra en la Figura N°6, es identificando los métodos autorizados para la producción del SAF a partir ya sea, de biomasa, desechos o CO₂ capturado e hidrógeno, con las características específicas que deben cumplir, al mismo tiempo la identificación de los procesos autorizados para llegar a la producción de este combustible para ser reconocido y certificado como SAF. Con el fin de utilizar la metodología de contabilización de las emisiones de CO₂ (MBM 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.



Figura N°6. Ciclo de la Huella de Carbono del SAF.

	Temas de sostenibilidad	Principios para los combustibles elegibles
Reducción de carbón	1. Gases de efecto invernadero	Deberán generar menores emisiones de carbón en su vida útil
	2. Reserva de carbono	No deberá estar hecha de bio-masas obtenidas de tierras con altos niveles de reserva de carbono
	3. Permanencia de reducción de gases de efecto invernadero (GHG)	Deberá asegurar que las reducciones de carbono no estén reservadas.
Ambiente	4. Agua	La producción no deberá contaminar las vías navegables o impedir la disponibilidad
	5. Suelo	La producción deberá mantener o mejorar las condiciones del suelo
	6. Aire	La producción deberá minimizar efectos negativos en la calidad del aire
	7. Conservación	La producción deberá mantener la biodiversidad, el valor de conservación y los ecosistemas
	8. Desperdicio y químicos	La producción deberá promover el manejo responsable de desperdicios y el uso de químicos.
Socio-Económico	9. Impacto sísmico y vibracional	No aplica.
	10. Derechos humanos y de trabajo	La producción deberá respetar estos derechos
	11. Derechos del uso de tierra y uso de tierra	La producción deberá respetar los derechos de las tierras incluyendo los derechos indígenas y consuetudinarios
	12. Derechos del uso de aguas	La producción deberá respetar formalidades anteriores o derechos de uso de agua consuetudinarios
	13. Desarrollo social y local	La producción deberá contribuir al desarrollo socio-económico local
	14. Seguridad de alimentos	La producción no deberá impedir la cosecha de alimentos y deberá promover la seguridad de estos.

Tabla N°5. Principios para los combustibles elegibles por CORSIA²³

²³ Fuente: SAF Handbook May 2024. IATA

Los temas y principios de sostenibilidad de CORSIA para los criterios de admisibilidad del CEF (CORSIA eligible fuels) se muestran en la Tabla N°5 precedente.

El principal criterio es que el SAF logrará reducciones netas de gases de efecto invernadero de al menos un 10% en comparación con los valores de referencia para el combustible de aviación en su ciclo de vida.

Asimismo, CORSIA enumera una lista de materiales susceptibles de cumplir con los criterios de sostenibilidad y convertirse en SAF que se muestra en la Tabla N°6.

Clasificación	Materia prima
Producto secundario	Destilado de ácidos grasos de palma; Aceite de maíz técnico; Sebo; Sebo de bovino; Cocos no estándares; Grasa de ave; Manteca de cerdo; Mezcla de grasas animales
Coproducto	Melaza
Materias primas	Aceite de la semilla de Brassica Carinata; Aceite de la semilla de camelina; Grano de maíz; Aceite de semilla de Jatropha; Miscanthus (cultivos energéticos herbáceos); Racimos frescos de palma; Álamo (cultivos leñosos de ciclo corto); Aceite de la semilla de colza; Aceite de la semilla de soya; Remolacha azucarera; Caña de azúcar; Switchgrass (cultivos energéticos herbáceos)
Residuo	Residuos agrícolas: Bagazo; mazorcas; cáscaras; estiércol; cáscara de nuez; Tallos; rastrojo; paja;
	Residuos forestales: corteza; ramas; viruta; hojas; Acículas; Raleo pre-comercial; Tala; Copas de árboles.
	Residuos de procesamiento: Glicerina cruda; Aceite de resina crudo; Racimos de palma vacíos; Residuos de procesamiento forestales; Efluente del molino de aceite de palma; aguas residuales; Brea de aceite de resina; Lechada de almidón de maíz.
Desecho	Desechos sólidos municipales/ Municipal solid waste (MSW); Aceite de cocina usado; Gases residuales

Tabla N°6 Materiales susceptibles de cumplir con los criterios de sostenibilidad y convertirse en SAF.

Adicionalmente a los criterios de sostenibilidad recomendados por CORSIA, cada país puede definir sus propios criterios de sostenibilidad en su normativa y de acuerdo a su realidad u objetivos particulares. A modo de ejemplo de este caso se indican los criterios de sostenibilidad aplicados para la Unión Europea.

Es necesario prevenir que únicamente aquellos criterios que se homologuen a los criterios CORSIA aseguran el comercio internacional del SAF que será luego contabilizado en las metas adoptadas por la OACI.

7.2. Criterios de sostenibilidad considerados en la Directiva RED II y III.

En la UE para que el SAF pueda ser considerado en la cuota de energía de los Estados Miembros en cumplimiento de obligaciones en materia de energía renovables y optar por ayudas financieras, debe cumplir con estrictos criterios de sostenibilidad y reducción de gases de efecto invernadero establecidos en el artículo 29 de la referida Directiva RED II, y se detallan en la Tabla N°7 a continuación:

Criterios	
Sostenibilidad	Reducción de GEI
Planes de supervisión o de gestión para abordar las repercusiones negativas en la calidad del suelo y en el carbono del suelo	50% mínimo de biocarburantes y biogás consumido en instalaciones anteriores a 2015
No se permite el uso de materias primas procedentes de tierras de elevado valor en cuanto a biodiversidad	60% mínimo de biocarburantes y biogás consumido en instalaciones entre 06 de oct 2015 y 31 de dic 2020
No se permite el uso de materias primas procedentes de tierras con elevadas reservas de carbono	65% mínimo de biocarburantes y biogás consumido en instalaciones desde el 01 de enero 2021

No provendrán de materias primas extraídas de tierras que en enero de 2008 fueran turberas	70% mínimo de biocarburantes y biogás consumido en instalaciones entre el 01 de enero 2021 al 31 dic 2025
Reducir al mínimo el riesgo de utilizar biomasa forestal derivada de una producción no sostenible	80% mínimo de biocarburantes y biogás consumido en instalaciones a partir de enero 2026
Criterios en materia de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura	

Tabla N°7. Criterios de sostenibilidad y reducción de gases de efecto invernadero establecidos en el artículo 29.

Asimismo, la Directiva RED II establece las materias primas autorizadas para la elaboración del SAF mostradas en la Tabla N°8.

Anexo IX Directiva RED II Lista de materiales para la producción de biocombustibles, que pueden ser considerados Combustibles de Aviación Sostenible (SAF)	
A	a) algas cultivadas en estanques terrestres o fotobiorreactores; b) fracción de biomasa de residuos municipales mezclados, pero no de residuos domésticos separados sujetos a los objetivos de reciclado establecidos en el artículo 11, apartado 2, letra a), de la Directiva 2008/98/CE; c) biorresiduos según la definición del artículo 3, punto 4, de la Directiva 2008/98/CE recogidos de hogares particulares, sujetos a recogida separada según la definición del artículo 3, punto 11, de dicha Directiva; d) fracción de biomasa de residuos industriales no apta para su uso en la cadena alimentaria humana o animal, incluido material procedente de la venta al detalle o al por mayor y de la industria agroalimentaria o de la pesca y la acuicultura, con exclusión de las materias primas que figuran en la parte B del presente anexo; e) paja; f) estiércol animal y lodos de depuración; g) efluentes de molinos de aceite de palma y racimos de palma vacíos de la fruta; h) alquitrán de aceite de resina; i) glicerol en bruto; j) bagazo; k) orujo de uva y lías de vino; l) cáscaras de frutos secos; m) envolturas; n) residuos de mazorca limpios de granos de maíz; o) fracción de biomasa de residuos y desechos de la silvicultura y de las industrias basadas en los bosques, a saber, cortezas, ramas, aclareos precomerciales, hojas, agujas, copas de árboles, serrín, virutas, lejía negra, lejía marrón, lodos de fibra, lignina y aceite de resina; p) otras materias celulósicas no alimentarias; q) otros materiales lignocelulósicos a excepción de las trozas de aserrío y las trozas para chapa.
B	aceite de cocina usado y grasas animales clasificadas en las categorías 1 y 2 con arreglo al Reglamento (CE) N° 1069/2009

Tabla N°8 Materias primas autorizadas por REDII.

8. CERTIFICACIONES PARA EL COMBUSTIBLE DE AVIACIÓN Y SAF.

Tanto en lo que refiere a combustible de aviación, como aquello referido al SAF, la certificación es parte esencial del proceso ya que por una parte tiene por objeto garantizar la calidad y suficiencia del combustible hasta que ingresa al avión y por otra parte tiene por objeto certificar la sostenibilidad del combustible mediante la definición de las materias primas utilizadas en la producción del combustible, para poder contabilizar su uso en las metas de reducción de GEI.

8.1. Certificación de combustible de aviación²⁴.

Certificación de calidad del combustible de aviación desde su producción hasta el punto de consumo en el Aeropuerto:

❖ **Certificado de calidad (CoQ):**

El CoQ por sus siglas en inglés, es el documento original que describe la calidad de un producto combustible de aviación. Contiene los resultados de las mediciones realizadas en el laboratorio del productor. Cuando este certificado se emite en una instalación de producción de SAF deberá acreditar el cumplimiento de la norma ASTM D7566, referido al anexo pertinente.

❖ **Certificado de Calidad de la Refinería (RCQ)**

Cuando el combustible se produce a partir de un co – procesado en la refinería, el certificado de calidad original toma el nombre de RCQ (por sus siglas en inglés). Este certificado deberá acreditar el cumplimiento de la norma ASTM D1655 en sus respectivos anexos. Además, deberá incluir detalles relativos a la identidad de la refinería originaria y a la trazabilidad del producto descrito. Los RCQ deberán estar siempre fechados y firmados por un signatario autorizado.

❖ **Certificado de análisis (CoA):**

Se trata de un certificado emitido por inspectores independientes del productor o laboratorios certificados y acreditados, y contiene los resultados de las mediciones realizadas de todas las propiedades incluidas en la última edición de las normas ASTM D1655 o Def Stan 91-091. Incluirá más información relativa a la identidad del refinador

²⁴ Fuente: SAF Handbook. May 2024. IATA.

de origen y a la trazabilidad del producto descrito. Estará fechada y firmada por un signatario autorizado.

❖ **Certificado de prueba de recertificación (RTC):**

El RTC por sus siglas en inglés, demuestra que se han realizado pruebas de recertificación para verificar que la calidad del combustible de aviación no ha cambiado y se mantiene dentro de los límites de especificación (ASTM o Def Stan 91-091), por ejemplo, tras su transporte en buques cisterna oceánicos o en oleoductos multiproducto. En estos casos, cuando el producto de aviación se transfiere a una instalación en circunstancias que podrían dar lugar a contaminación, es necesaria la recertificación antes de seguir utilizándolo o transfiriéndolo. El RTC deberá estar fechado y firmado por un representante autorizado del laboratorio que realice las pruebas. Los resultados de todos los ensayos de recertificación se comprobarán para confirmar que se cumplen los límites de especificación y que no se han producido cambios significativos en ninguna de las propiedades.

8.2. Esquema de certificaciones para combustibles de aviación.

A continuación, en la Figura N°7 se presenta un esquema que detalla las certificaciones que se requieren en cada una de las etapas de la cadena de valor del combustible de aviación y/o SAF, hasta su uso final en las turbinas de un avión.

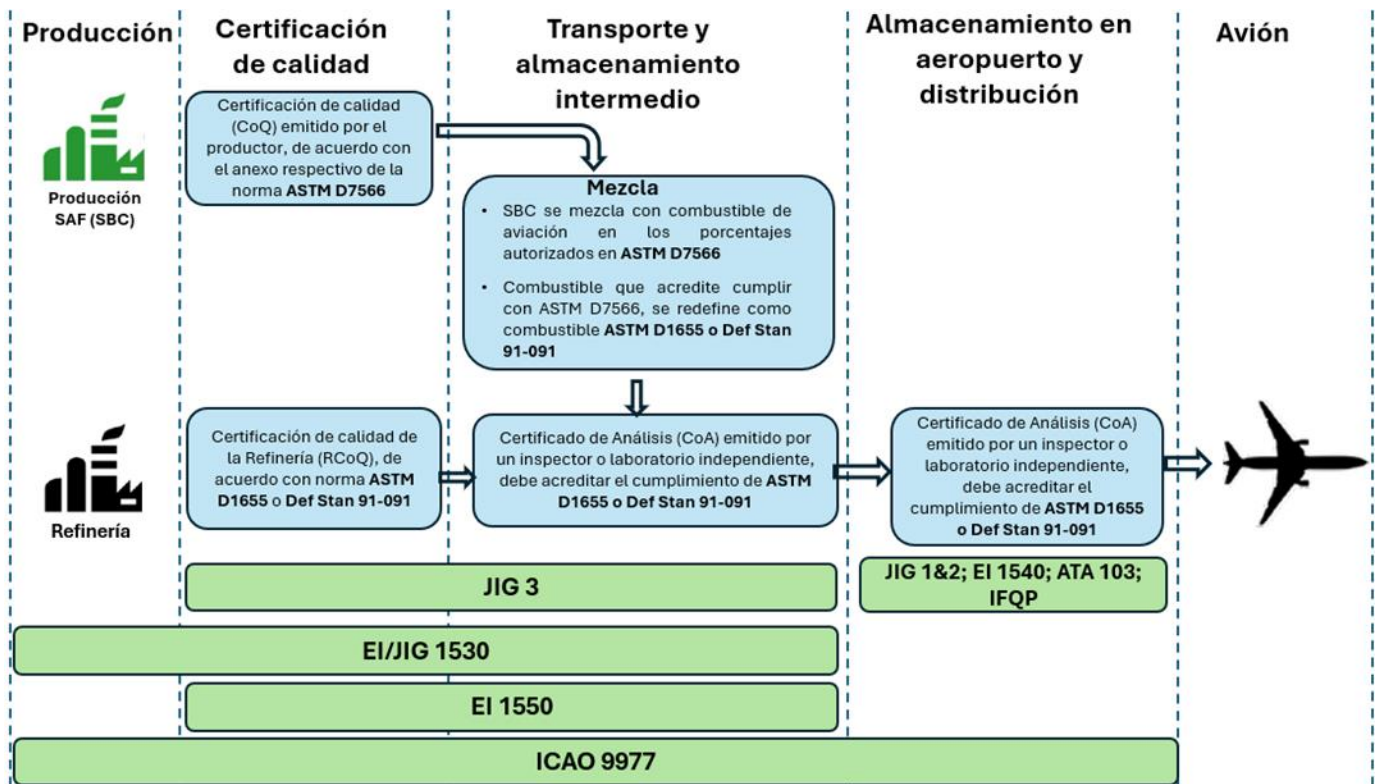


Figura N°7. Esquema proceso de certificación combustible de aviación²⁵.

El detalle de las normas de certificación mencionadas en la Figura N°7 son las siguientes:

JIG²⁶ 1: Es una norma global utilizada en la aviación que define los procedimientos operacionales y de calidad para el suministro de combustible de aviación. Su principal objetivo es asegurar que el combustible suministrado a las aeronaves cumpla con los estándares más altos de calidad, seguridad y fiabilidad, protegiendo las aeronaves, los motores y la seguridad de los pasajeros y la tripulación.

JIG 2: Es una norma internacional que establece los procedimientos operacionales y de calidad para la inspección y mantención de equipos de suministro de combustible de aviación. Su objetivo es garantizar que los equipos utilizados para cargar combustible en las aeronaves estén en perfecto estado, asegurando que el

²⁵ Fuente: IATA SAF Handbook. May 2024.

²⁶ La Join Inspection Group (JIG) es el foro líder y reconocido internacionalmente, donde los expertos en todos los aspectos de la industria de suministro de combustible de aviación puedan reunirse para establecer y mejorar estándares para el manejo seguro y el control de calidad de los combustibles de aviación a nivel mundial, y que esos estándares sean reconocidos y respaldados por todas las partes con intereses en la industria.

combustible no esté contaminado y sea entregado de forma segura y precisa. Esto es fundamental para evitar incidentes de seguridad y garantizar la fiabilidad de las operaciones aéreas.

JIG 3: Es una norma técnica que establece los procedimientos y requisitos para monitorear y asegurar la calidad del combustible de aviación durante su inspección y pruebas en los aeropuertos. Su objetivo principal es garantizar que el combustible utilizado en las aeronaves esté libre de contaminantes y cumpla con los estándares de calidad para asegurar la seguridad operacional, la fiabilidad y el cumplimiento normativo.

EI 1540: Es una norma técnica que asegura la calidad, seguridad y eficiencia en la manipulación del combustible en las instalaciones de repostaje de combustible. Su implementación es fundamental para prevenir contaminantes, mejorar el rendimiento de los motores de las aeronaves y mantener las operaciones de repostaje de combustible en conformidad con los estándares internacionales de seguridad y calidad.

ATA 103: Es una normativa que establece los procedimientos y requisitos para asegurar que el combustible de aviación entregado a las aeronaves cumpla con los estándares de calidad más altos. Esta especificación cubre todo el proceso de recepción, almacenamiento, transferencia y repostaje del combustible, con el objetivo de garantizar seguridad y fiabilidad en las operaciones de aviación.

EI/JIG 1530: Es una norma para garantizar que las operaciones de repostaje de combustible de aviación se realicen de acuerdo con los más altos estándares de calidad y seguridad. Ayuda a prevenir contaminación, daños a los motores de las aeronaves y otros incidentes relacionados con el combustible, contribuyendo de manera significativa a la seguridad operacional y la eficiencia en los aeropuertos y las instalaciones de repostaje

EI 1550: Es una norma que establece las mejores prácticas y los procedimientos necesarios para asegurar que el combustible de aviación esté en las mejores condiciones posibles antes de ser suministrado a las aeronaves. Garantiza que el combustible esté libre de contaminantes, que las instalaciones de repostaje cumplan con los más altos estándares de calidad y seguridad, y que las operaciones de repostaje sean eficientes, seguras y conformes a las normativas internacionales.

ICAO 9977: Manual on Civil Aviation Jet Fuel Supply. El objetivo de este manual es informar a las industrias de la aviación y del petróleo de todo el mundo sobre la existencia de normas internacionalmente aceptadas en la industria del petróleo y del

combustible de aviación y reforzar la necesidad de cumplir dichos requisitos y procedimientos operativos.

8.3. Certificación ambiental y de sostenibilidad del SAF

Habida consideración que la combustión de SAF emite gases de efecto invernadero, similares a las que emite la combustión de combustible de aviación convencional, su aporte a la reducción de emisión de GEI y cumplimiento de las metas de carbono neutralidad, está dada por la trazabilidad del combustible y su materia prima durante toda la cadena de valor, sea desde el cultivo de semillas, algas o biomasa, o reutilización de materiales o recolección de residuos o basura y como éstos cumplen con los criterios de sostenibilidad definidos, como se muestra en la Figura N°8.

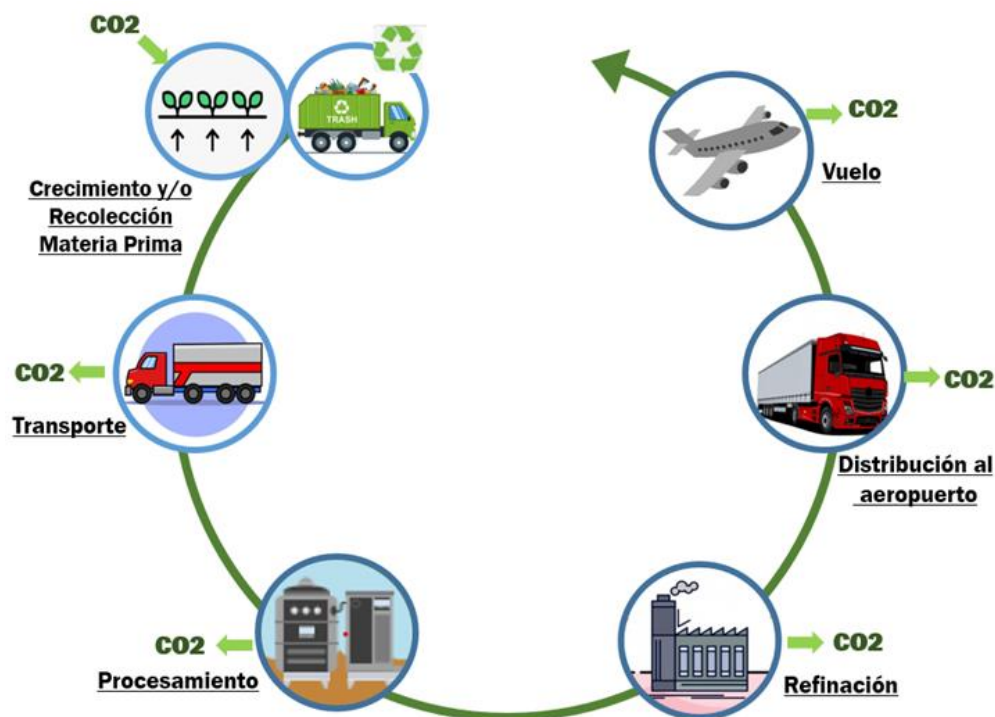


Figura N°8. Huella de carbono SAF

En el ámbito de CORSIA se reconocen tres esquemas de certificación de sostenibilidad²⁷ entregados por: i) International Sustainability and Carbon Certification

²⁷ CORSIA Approved Sustainability Certification Schemes. ICAO document. October 2024. https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA_Eligible_Fuels/ICAO%20document%2004%20-%20Approved%20SCSs%20-%20October%202024.pdf

(ISCC); ii) Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB); iii) ClassNK SCS. Los dos primeros reconocidos también por la Unión Europea²⁸.

Estos esquemas de certificación de sostenibilidad obedecen a varios principios, entre ellos²⁹:

- Emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del ciclo de vida.
- Cambio directo e inducido del uso de la tierra
- Suministro de agua
- Zona de alto valor de conservación y biodiversidad
- Condiciones socioeconómicas de los agricultores y de la población local
- Garantizar la seguridad alimentaria

El detalle de estos dos esquemas de certificación es el siguiente:

- a) **Certificación para SAF combustible de Aviación Sustentable de la International Sustainability & Carbon Certification (ISCC).** A través de este esquema se puede certificar i) Biocombustibles (combustibles líquidos para el sector del transporte producidos a partir de materias primas de origen biológico); ii) Combustibles renovables de origen no biológico (RFNBO); iii) Combustibles de carbono reciclado.
- b) **Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB).** La certificación RSB describe cómo producir SAF (SAF) a partir de materias primas biológicas y avanzadas de forma que se mejoren los resultados medioambientales y sociales a largo plazo, garantizando la elegibilidad en el marco del Sistema de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA). Especifica los requisitos para los operadores a lo largo de la cadena de suministro para producir SAF en cumplimiento con los requisitos de sostenibilidad de RSB.
- c) **ClassNK SCS** define los requisitos de certificación de sostenibilidad, establecen los requisitos para organismos de certificación, auditores y

²⁸ https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/voluntary-schemes_en

²⁹ SAF Handbook. May 2024. IATA

organismos de acreditación de conformidad con los requisitos CORSIA así como supervisar la eficacia del sistema de garantía.

8.4. Otros esquemas de certificación de SAF en la Unión Europea³⁰.

Otros esquemas de certificación de sostenibilidad para SAF utilizados en la UE se muestran en la Tabla N°9.

Programme of the Endorsement of Forest Certification (PEFC)	Red Tractor Fram Assurance Combinale Crops & Sugar Beet Scheme (Red Tractor)
Better Biomass	REDcert
Biomass Biofuels voluntary scheme (2BSvs)	Round Table on Responsible Soy EU RED
Bonsucro EU	RSB
Certifhy	Scottish Quality Farm Assured Combinale Crops (SQC)
ISCC EU	Sustainable Resources (SURE) voluntary Scheme
KZR INiG system	Trade Assurance Scheme for Combinale Crops (TASCC)
Austrian Agricultural Certification Scheme (AACS)	Universal Feed Assurance Scheme (UFAS)

Tabla N°9 Cuadro de certificaciones de sostenibilidad utilizados en la UE.

³⁰ https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/voluntary-schemes_en

9. REGULACIÓN INTERNACIONAL PARA EL SAF: UNIÓN EUROPEA, ESTADOS UNIDOS, BRASIL Y SINGAPUR.

A continuación, se analizan las regulaciones aplicables a los combustibles de aviación y en particular al SAF en los distintos países indicados, estructurando la presentación en base a entender en primer lugar la regulación en general de los combustibles de aviación en el país y posteriormente analizar las regulaciones a lo largo de toda la cadena de valor de la producción del SAF.

9.1. Regulación del SAF para la Unión Europea.

Con fecha 18 de octubre de 2023, fue promulgado el Reglamento (UE) 2023/2405 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a la garantía de unas condiciones de competencia equitativas para un transporte aéreo sostenible, denominado también **“ReFuelEU Aviation”**.

Este reglamento es parte del paquete de medidas lanzadas por la Comisión Europea en 2021, denominado “Fit for 55”, que consiste en una serie de propuestas para que las políticas de clima, energía, uso del suelo, transporte y fiscalidad de la UE sean adecuadas para reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero en al menos un 55% de aquí a 2030, en comparación con los niveles de 1990.

El reglamento **“ReFuelEU Aviation”** establece normas armonizadas sobre la utilización y el suministro de SAF (Sustainable Aviation Fuel)

9.1.1. Regulación General de los Combustibles.

En la Unión Europea, mediante la Directiva 98/70/CE se regulan los requisitos de composición y calidad de los combustibles, primeramente, de la gasolina y el diésel y luego, producto de una modificación efectuada por la Directiva 2009/30/CE, se introducen los biocarburantes, según la definición de los mismos contenida en la

Directiva RED II³¹ y los combustibles líquidos y gaseosos renovables de origen no biológico para el transporte³².

Por su parte, la Directiva 2014/94 (AFID 2014) para la Implementación de una Infraestructura para los Combustibles Alternativos en la UE, con e objeto de minimizar la dependencia de los transportes respecto del petróleo y mitigar el impacto ambiental define lo que ha de entenderse como combustibles alternativos, en términos de ser aquellos que sustituyen, al menos en parte, a los combustibles fósiles clásicos como fuente de energía en el transporte y que pueden contribuir a la descarbonización de estos últimos y a mejorar el comportamiento medioambiental del sector transporte. Considera como combustibles alternativos entre otros, los biocarburantes; los combustibles sintéticos y parafínicos.

Por su parte, la Directiva UE 2015/1513 define combustible renovable de origen no biológico, como aquellos combustibles líquidos o gaseosos distintos de los biocarburantes cuyo contenido energético provenga de fuentes de energía renovables distintas de la biomasa y que se utilizan en los transportes.

9.1.2 Definición del SAF en la Unión Europea.

El artículo 3º numeral séptimo del Reglamento (UE) 2023/2405 **“ReFuelEU Aviation”** define “Combustibles de Aviación Sostenibles” (SAF), como aquellos:

“a.- Combustibles de aviación sintéticos”; combustibles renovables de origen no biológico tal como se definen en el artículo 2³³, párrafo segundo, punto 36, de la Directiva (UE) 2018/2001³⁴, también llamada RED II, esto es, combustibles líquidos o gaseosos que se utilizan en el sector del transporte distintos de los biocarburantes y el biogás, y cuyo contenido energético procede de fuentes renovables distintas de la biomasa.

³¹ Art. 1 N°33) Directiva RED II: «biocarburantes»: los combustibles líquidos destinados al transporte y producidos a partir de biomasa;

³² combustibles líquidos o gaseosos distintos de los biocarburantes cuyo contenido energético provenga de fuentes de energía renovables distintas de la biomasa y que se utilizan en los transportes

³³ Carburantes líquidos y gaseosos renovables de origen no biológico: los combustibles líquidos o gaseosos que se utilizan en el sector del transporte distintos de los biocarburantes y el biogás, y cuyo contenido energético procede de fuentes renovables distintas de la biomasa;

³⁴ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32018L2001>

Estos combustibles de aviación sintéticos deben cumplir el umbral de reducción de emisiones durante el ciclo de vida a que se refiere el artículo 29 bis, apartado 1, de dicha Directiva³⁵ y están certificados de conformidad con su artículo 3°.

“b.- Biocombustibles de aviación”: Entre los que se encuentran:

(i) biocombustibles avanzados: tal como se definen en el artículo 2, párrafo segundo, punto 34, de la Directiva (UE) 2018/2001, esto es, los biocarburantes producidos a partir de las materias primas enumeradas en el anexo IX, parte A. (Ver detalle en Tabla N°10)

(ii) Biocombustibles (1): tal como se definen en el artículo 2, párrafo segundo, punto 33, de la Directiva (UE) 2018/2001, esto es, los combustibles líquidos destinados al transporte producidos a partir de las materias primas enumeradas en el anexo IX, parte B, de dicha Directiva, (Ver detalle en Tabla N°10)

(iii) Biocombustibles (2), líquidos destinados al transporte y producidos a partir de biomasa, que cumplan los criterios de sostenibilidad y reducción de emisiones durante el ciclo de vida establecidos en el artículo 29 de la Directiva RED II (Tabla N°10) y estén certificados de conformidad con el artículo 3° de dicha Directiva.

“c.- Combustibles de Aviación de Carbono Reciclado”; son los combustibles de aviación que son «combustibles de carbono reciclado» tal como se definen en el artículo 2, párrafo segundo, punto 35, de la Directiva (UE) 2018/2001, esto es, los combustibles líquidos y gaseosos producidos a partir de flujos de residuos líquidos o sólidos de origen no renovable que no son adecuados para la valorización de materiales con arreglo al artículo 4 de la Directiva 2008/98/CE, o a partir de gases residuales de proceso y gases de escape de origen no renovable producidos como consecuencia inevitable e involuntaria del proceso de producción en instalaciones industriales cumplen el umbral de reducción de emisiones durante el ciclo de vida a que se refiere el artículo 29 bis, apartado 2, de la Directiva RED II y están certificados de conformidad con el artículo 3° de dicha Directiva. (Tabla N°10)

³⁵ Ver Tabla N° 10

DEFINICIÓN SAF EU (Art. 3º N°7 RED II)		
a.-) Combustibles de aviación sintéticos	b.-) Biocombustibles de aviación: (i) Biocombustibles Avanzados; (ii) Biocombustibles producidos a partir de aceite de cocina usado y grasas animales; (iii) Biocombustibles producidos a partir de biomasa, con excepción de cultivos forrajeros, que cumplan a su vez criterios de sostenibilidad y reducción de emisiones.	c.-) Combustibles de Aviación de Carbono Reciclado

Tabla N°10. Materias primas utilizadas para producir biocombustible

9.1.3. Materias primas para SAF.

Las materias primas autorizadas para la producción de biocombustibles que se consideran dentro de la definición de SAF contenida en el reglamento **“ReFuelEU Aviation”** se encuentran definidas en la parte A y B del Anexo IX de la Directiva (UE) 2018/2001 (RED II), según se detalla en la Tabla N°10 de más arriba.

Las Materias primas excluidas conforme dispone el artículo cuarto número cinco de este reglamento **“ReFuelEU Aviation”**, son «cultivos alimentarios y forrajeros», tal como se definen en el artículo 2, párrafo segundo, punto 4º, de la Directiva (UE) 2018/2001, cultivos intermedios, destilado de ácidos grasos de palma y materiales derivados de la palma y la soja, así como pastas de jabón y sus derivados.

9.1.4 Regulación de producción de SAF.

En el artículo 4º del reglamento **“ReFuelEU Aviation”** dispone que los proveedores de combustible de aviación garantizarán que todo el combustible de aviación que se ponga a disposición de los operadores de aeronaves en cada aeropuerto de la Unión contenga un porcentaje mínimo de SAF, incluido un porcentaje mínimo de combustibles de aviación sintéticos de conformidad con los valores y las fechas de aplicación establecidos en la Tabla N°11.

Porcentajes Mínimos de SAF y Combustibles Sintéticos (ReFuel)						
	2025-2030	2030-2035	2035-2040	2040-2045	2045-2050	2050-
SAF	2%	6%	20%	34%	42%	70%
Combustible Sintético	0%	0,7%-2%	5%	10%	15%	35%

Tabla N°11. Porcentaje de mezcla combustible sintético³⁶

El suministro de SAF al año 2022 es inferior al 0,05% del uso total de combustible de aviación en la UE³⁷.

Las exigencias de utilización de SAF en la UE suponen el aseguramiento de los criterios de sostenibilidad indicados en el artículo 29 de la Directiva RED II, acreditados conforme la certificación indicada en su artículo 30, de modo que el cumplimiento de los criterios de sostenibilidad es un imperativo legal.

Es importante destacar que, cuando se crea el imperativo de uso de SAF en la UE, a través del reglamento **“ReFuelEU Aviation”**, ya existía en el ordenamiento jurídico, las definiciones bajo las cuales puede considerarse el SAF.

La Directiva 2014/91/UE, también conocida como AFID 2014, define lo que se entiende por combustibles alternativos en términos que son aquellos que “sustituyen, al menos en parte, a los combustibles fósiles clásicos como fuente de energía en el transporte y que pueden contribuir a la descarbonización de estos últimos y a mejorar el comportamiento medioambiental del sector del transporte” e incluye entre otros, los combustibles sintéticos.

Asimismo, la Directiva 2015/1513 UE, define los combustibles renovables de origen no biológicos, en términos que son aquellos “combustibles líquidos o gaseosos distintos de los biocarburantes cuyo contenido energético provenga de fuentes de energía renovables distintas de la biomasa y que se utilizan en los transportes”.

³⁶ Fuente: Reglamento (UE) 2023/2405, ReFuel

³⁷ Informe Medioambiental de la Aviación Europea 2022. Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA) por sus siglas en inglés.

9.1.5. Normativa Especificación de Calidad para el SAF.

La UE no dictamina un estándar de calidad particular y vinculante para sus Estados miembros, los cuales son determinados por cada país y varían entre Def Stan 91-091 y ASTM D1655 y para querosenos sintéticos o bioquerosenos el estándar ASTM D7566³⁸.

9.1.6. Logística y Distribución de SAF.

El reglamento **“ReFuelEU Aviation”** dispone que las entidades gestoras de los aeropuertos de la UE tienen la obligación de facilitar el acceso a los SAF.

En caso de incumplimiento, la autoridad o autoridades competentes solicitarán a la entidad gestora del aeropuerto de la Unión que detecte y adopte las medidas necesarias para subsanar la falta de acceso adecuado de los operadores de aeronaves a combustibles de aviación que contengan porcentajes mínimos de SAF sin demora indebida y, en cualquier caso, a más tardar tres años después de la solicitud de la autoridad competente³⁹.

Para efectos de su etiquetado, el Reglamento UE N°1272/200 relativo a la clasificación, etiquetado y envasado de sustancias peligrosas, considera al combustible de aviación como una sustancia inflamable, haciéndole aplicable sus disposiciones.

Por su parte el Reglamento ADR (Acuerdo Europeo sobre el Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera), regula el transporte de combustible por las carreteras de los estados miembros de la comunidad. Clasifica al combustible de aviación en Clase 3 que corresponde a líquidos inflamables y en base a ello se determina los requisitos específicos que deben cumplir en cuanto a embalaje, etiquetado y señalización, garantizando que se identifiquen correctamente y se manejen con las medidas de seguridad adecuadas.

Cumplimiento y Sanciones: Los Estados miembros establecerán el régimen de sanciones aplicables en caso de incumplimiento de lo dispuesto en el reglamento **“ReFuelEU Aviation”** y adoptarán todas las medidas necesarias para garantizar su ejecución. Las sanciones previstas deben ser efectivas, proporcionadas y disuasorias,

³⁸ Ej: Orden TMA/692/2020, de 15 de julio, por la que se aprueban normas técnicas aplicables al suministro de combustible a aeronaves de aviación civil. España.

³⁹ Art. 6 N°3 Reglamento (UE) 2023/2405

teniendo en cuenta, en particular, la naturaleza, duración, reiteración y gravedad de la infracción.

9.1.7. Normativa de Importación.

No se advierte la existencia de normativa que limite o restrinja la importación y exportación de SAF entre los Estados miembros de la comunidad europea. Misma situación respecto de la libre circulación de las materias primas para la elaboración de SAF que pueden circular libremente en la comunidad, salvo en caso que alguna de ellas sea catalogada como residuo peligroso por algún país de la UE, en cuyo caso se le aplicarían las normas sobre transporte de sustancias peligrosas, requiriendo de un etiquetado y segregación especial.

En tanto, a lo que refiere a la importación de SAF proveniente de países externos a la UE, no se advierte una restricción normativa general que prohíba la importación de SAF. Sin embargo, se deberá tener en consideración que el SAF importado deberá cumplir con los criterios de sostenibilidad y de reducción de emisiones establecidos en normativas como la Directiva (UE) 2018/2001 (RED II) y las disposiciones derivadas del paquete “Fit for 55”. Esto significa que, para ser reconocidos como combustibles renovables y para acceder a incentivos o contabilizaciones en los objetivos de energías renovables, deben demostrar que su ciclo de vida cumple con los requisitos de reducción de emisiones de GEI.

9.1.8. Normativa y certificación de sostenibilidad.

La normativa de sostenibilidad de la UE se presentó en el numeral 7.2 del presente informe. Los esquemas de Certificación de Sostenibilidad que se aplican en la Unión Europea son varios, donde los esquemas de certificación de sostenibilidad⁴⁰ más utilizados son los realizados por la International Sustainability and Carbon Certification (ISCC) y el Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB)⁴¹ según se explicaron en el numeral 8.3.

⁴⁰ CORSIA Approved Sustainability Certification Schemes. ICAO document. Oct 2024.

⁴¹ https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/voluntary-schemes_en

9.2 Regulación de Brasil para el SAF

Para el caso de Brasil, este país tiene un importante potencial para el desarrollo de SAF en la industria aeronáutica, debido principalmente a que tiene una amplia experiencia en producción de biocombustibles y además es el principal productor y consumidor de etanol a nivel mundial como combustible automotriz y una amplia disponibilidad de materias primas, por lo que este puede ser una potencial materia prima para producir SAF.

9.2.1 Regulación General de los Combustibles.

En términos generales las principales leyes que regulan la explotación, producción, comercialización y distribución de combustibles en Brasil son:

La Constitución de Brasil, publicada en 1988, determinaba que la responsabilidad sobre la actividad de distribución de gas natural pertenecía a los Estados (provincias), y que la misma debería ser ejercida por empresa estatal. La Enmienda Constitucional N°09/95, la cual permitió la entrada de agentes privados en las actividades de producción, refinado y transporte de hidrocarburos (pues la Constitución determinaba que esas actividades eran monopolio de Petrobras). El marco principal de la reforma fue la publicación, dos años después, de la ley N°9.478/97, conocida como Ley del Petróleo. Esa ley creó la Agencia Nacional do Petróleo (ANP), que es el regulador de la industrias de petróleo y gas de Brasil. A partir de la creación de ANP, este ente pasó a ser responsable por la reglamentación de la ley, por lo tanto, desde el año 1998, cuando fue instituida, ANP pasó a publicar normas (reglamentos), sobre distintos temas de la industria.

La Ley del Petróleo también estableció los objetivos para la política energética nacional, los cuales deberían ser definidos por el gobierno y seguidos por los agentes (incluso ANP) y creó el Consejo Nacional de Política Energética (Consejo Nacional de política Energética - CNPE), con el objetivo de proponer al presidente de la república las políticas nacionales para el sector de energía. La Ley de Petróleo determina que ANP, a través de la regulación, contratación y fiscalización de las actividades económicas de la industria del petróleo, del gas natural y de los biocombustibles, debe implementar las políticas nacionales relativas a dichas industrias, con énfasis en la garantía del suministro y en la protección de los intereses de los consumidores respecto a precios, calidad y oferta de los productos.

El Decreto N°96.044 del 18 de mayo del 1988 regula el transporte de productos peligrosos en las distintas provincias de Brasil y la resolución 5497 que actualiza este reglamento y la Norma Brasileira NBR-7502 establece cuales son los productos peligrosos sujetos al decreto.

9.2.2 Definición de SAF por Brasil.

En Brasil el desarrollo del SAF se encuentra bajo el amparo del programa ProVioQAB establecido por la Ley 14.248/2021, Programa Nacional de BiojetFuel, que es el combustible de aviación que tiene como objetivo la reducción de los GEI, y establece como meta un plan de reducciones que comienza el 2027 con un 1% volumen de emisiones de origen doméstico en operaciones realizadas por la aerolínea en el año correspondiente, asumiendo el uso de combustibles fósiles. Determinado mediante el análisis del ciclo de vida (LCA) para cada ruta tecnológica de producción definida y autorizada de SAF.

El SAF en Brasil puede ser incorporado gracias a la Resolución ANP N°856, del 22 de octubre del 2021, que define el combustible de aviación alternativo, que es el combustible renovable que puede ser producido de fuentes alternativas no fósiles y define el queroseno de aviación C (JET C), que es el combustible de aviación que puede ser utilizado en las turbinas de avión comercial y que permiten mezclas de querosene alternativo y jet fuel A o Jet fuel A1.

9.2.3. Materias Primas para SAF.

Las materias primas potenciales más prometedoras para el biocombustible para aviación son las plantas que contienen azúcares, almidón y aceite, así como residuos como lignocelulosa, desechos sólidos urbanos y residuos industriales.

Brasil es el mayor productor mundial de caña de azúcar, el segundo de soja y tiene el menor costo de producción de eucalipto; por lo tanto, puede producir de manera competitiva todas las clases de materia prima mencionadas anteriormente. En esta etapa, estos tres cultivos pueden considerarse el candidato natural.

Existen materias primas para iniciar una industria de biocombustibles para aviones en Brasil, dependiendo del proceso de conversión seleccionado. Una política adecuada debería garantizar que las materias primas para el biocombustible de aviones no comprometan la producción de alimentos. Además, se pueden producir caña de azúcar y eucalipto con una reducción muy significativa de las emisiones de CO2 durante su ciclo de vida.

Se necesitarán mejoras a la logística para la mayoría de los cultivos, porque la infraestructura de transporte en Brasil es deficiente y la mayoría de las materias primas son materiales voluminosos o tienen un valor unitario bajo. Esto se aplica tanto a los cultivos anuales como a los productos forestales. Sin embargo, la logística puede ser más desafiante para la palma, que crece bien en áreas tropicales húmedas que están lejos de los lugares de uso final. La abundante oferta de residuos de cultivos como paja, bagazo de caña de azúcar y subproductos forestales (tanto del campo como de la industria) también hacen de esta clase de materia prima una buena alternativa. Para estos, los costos de recolección y transporte, y las cuestiones de preservación del suelo son las principales barreras que deben superarse.

La disponibilidad de materias primas para biocombustibles de aviación, tanto en términos de cantidades de producción como de diversas fuentes, no es una preocupación importante en Brasil.

Este país tiene una larga experiencia en biocombustibles de origen agrícola, con el programa de etanol de caña de azúcar. Alrededor del 50% de la caña de azúcar producida se utiliza para etanol. Más recientemente, Brasil implementó el programa de mezclas de biodiesel, que ahora utiliza alrededor del 26% de la producción de aceite de soja. A diferencia de algunas regiones y países del mundo que están adoptando biocombustibles basados en productos agrícolas, según muestra la evidencia en Brasil que el sector agrícola ha sido capaz de satisfacer la creciente demanda tanto de alimentos como de energía.

Es posible que se requiera una regulación adecuada para cumplir con las recomendaciones internacionales, aplicando restricciones de manera de garantizar que la materia prima que se utiliza para producir el biocombustible de aviación no comprometa la producción de alimentos, aunque en Brasil históricamente la producción de alimentos y biocombustibles ha aumentado de manera constante y en paralelo⁴². Además, se pueden producir caña de azúcar y eucalipto con una reducción muy significativa del ciclo de vida de emisiones de CO₂; Los cultivos oleaginosos pueden generar mayores preocupaciones en relación al uso para alimentos. Es importante reconocer que incluso para los cultivos más establecidos hay margen de mejora para reducir aún más los costos, y mejorar el desempeño ambiental. El pino también es una planta forestal ampliamente cultivada que puede utilizarse además del eucalipto.

⁴² flightpath to aviation biofuel, action plan, 2013

El Código Forestal de Brasil es la principal legislación que regula la conservación, explotación y uso sostenible de los bosques y la vegetación nativa en el país. La versión vigente es la Ley N°12.651/2012, promulgada el 25 de mayo de 2012. El Código Forestal es una pieza clave en la regulación ambiental de Brasil, que incluye un equilibrio entre la producción agropecuaria y la preservación de los ecosistemas, que incluye área de protección permanente, reserva legal de mantener un % de vegetación nativa, con el programa de regularización ambiental del bosque y explotación sostenible de este. El Código Forestal brasileño se encuentra entre las leyes más restrictivas en materia de uso de la tierra⁴³.

El Plan de Acción para la implementación de biocombustibles de aviación en Brasil debe enfatizar firmemente que empresas, instituciones o agricultores que reciben algún incentivo o se benefician de políticas públicas que involucren fondos públicos, acatar las leyes relacionadas con la sostenibilidad de los procesos en toda la cadena de producción. La prueba de cumplimiento debe estar vinculada a la recepción de cualquier beneficio⁴⁴.

Es importante destacar que la Resolución N°758, del 23 de noviembre de 2018 establece en el Art. 24 que para la emisión de la Nota de Eficiencia Energética Ambiental se considerará únicamente la energía biomasa utilizada por la unidad productora, provenientes de un área donde no ha habido supresión de vegetación nativa a la fecha de vigencia de esta Resolución. Esto es necesario para poder producir el biocombustible en Brasil. Los criterios establecidos se aplican a la biomasa energética producida en el territorio nacional o en el extranjero y no se aplican a biomasa procedente de residuos. Además, en esta resolución existen otras limitaciones al productor nacional de biomasa energética el que deberá cumplir con los siguientes requisitos, para que su producción sea incluida en el cálculo de la fracción volumétrica de biocombustible elegible:

I.- Para la caña de azúcar: la producción debe estar ubicada en un municipio con área apta para la producción. cultivo de caña de azúcar, según lo previsto en la Zonificación Agroecológica de la Caña de Azúcar (ZAE Cana), de conformidad con el Decreto N°6.961, de 17 de septiembre de 2009, y modificaciones previstas en las Instrucciones Normativas N°57, de 25 de noviembre de 2009, y N°22, de 21 de julio de 2010, del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento, así como en otras legislaciones posteriores aplicable al tema;

⁴³ flightpath to aviation biofuel, action plan, 2013

⁴⁴ flightpath to aviation biofuel, action plan, 2013

II.- Para palma aceitera: la producción debe estar ubicada en un municipio con área apta para la expansión de la palma aceitera, según lo previsto en la Zonificación Agroecológica para el Cultivo de Palma Aceitera (ZAE Palma de Óleo), de conformidad con el Decreto N°7.172, de 7 de mayo de 2010, y demás legislación posterior aplicable al tema.

Los requisitos establecidos en los puntos I y II no se aplican, respectivamente, a las superficies ya ocupadas por caña de azúcar el 17 septiembre de 2009 o ya ocupada por palma aceitera el 7 de mayo de 2010. A los efectos del cumplimiento de lo dispuesto en este artículo, se considerará toda el área dedicada a la producción de biomasa energética dentro de las propiedades rurales que participan en el proceso de certificación

9.2.4. Regulación de Producción de SAF.

Considerando al SAF como un biocombustible, en Brasil se incorpora las regulaciones relacionadas a los biocombustibles con:

La Ley N°11.097/2005 que regula la introducción del biodiésel en la matriz energética y define los porcentajes mínimos de mezcla obligatoria en el diésel.

La Ley N°13.576/2017 (RenovaBio) introdujo el programa nacional de biocombustibles, que promueve el uso de biocombustibles sostenibles y establece los Créditos de Descarbonización (CBIOS).

Estas regulaciones están motivadas para:

- ✓ Contribuir al cumplimiento de los compromisos del País en virtud del Acuerdo de París en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático;
- ✓ Contribuir para una adecuada relación de eficiencia energética y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en la producción, comercialización y uso de biocombustibles, incluyendo mecanismos de evaluación del ciclo de vida;
- ✓ Promover la adecuada expansión de la producción y utilización de biocombustibles en matriz energética nacional, con énfasis en el suministro regular de combustibles;
- ✓ Contribuir con previsibilidad a la participación competitiva de los distintos biocombustibles en el mercado nacional de combustibles.

En esta normativa se establece la Certificación de Biocombustibles que es un conjunto de procedimientos y criterios en un proceso, en el cual la firma inspectora evalúa la conformidad de la medición de aspectos relativos a la producción o importación de biocombustibles, con base en la eficiencia energética y emisiones de gases de efecto invernadero, sobre la base de una evaluación del ciclo de vida.

Como complemento a la Ley 13.576, se promulga la Resolución N°758, del 23 de noviembre de 2018 que regula la certificación de producción eficiente o importación de biocombustibles a que se refiere el art. 18 de la Ley N°13.576, de 26 de diciembre de 2017, y la acreditación de empresas de inspección.

Los aspectos que incluye esta resolución son los siguientes:

En el Capítulo III de esta resolución, se establecen las RUTAS DE PRODUCCIÓN, Sección I; Rutas de Producción Adecuadas Art. 4. Las rutas de producción de biocombustibles susceptibles de obtener un Certificado de Producción Eficiente de Biocombustibles son:

- Biodiesel;
- Biometano;
- Combustibles alternativos sintetizados por ácidos grasos y ésteres hidro procesados (HEFA);
- Etanol combustible de primera generación producido a partir de caña de azúcar;
- Etanol combustible de primera y segunda generación producido en planta integrada;
- Etanol combustible de segunda generación;
- Etanol combustible de primera generación producido a partir de caña de azúcar y maíz en planta integrada;
- Etanol combustible de primera generación producido a partir de maíz; y
- Etanol combustible importado de primera generación producido a partir de maíz.

Esta normativa también permite solicitar a la ANP incorporar nuevas rutas de producción.

9.2.5. Normativa especificación de calidad para el SAF.

En términos específicos para la producción de combustible de aviación, la Resolución ANP N°856, DE 22 de octubre del 2021, establece que las especificaciones que deben

cumplir el queroseno de aviación JET A y JET A1, el queroseno de aviación alternativo y el queroseno de aviación C (JET C), así como las obligaciones en materia de control de calidad que deben cumplir los agentes económicos que comercializan estos productos en el territorio nacional.

La definición de los distintos combustibles de aviación que se hacen en esta resolución son los siguientes:

- El queroseno de aviación alternativo (jet alternativo): combustible derivado de fuentes alternativas como biomasa, aceites vegetales, grasas animales, gases residuales, desechos sólidos, carbón y gas natural, producidos por los procesos que se establecen en esta resolución.
- El queroseno de aviación C (JET C): combustible destinado exclusivamente al consumo en turbinas de aeronaves, compuesto por un solo tipo de jet alternativo mezclado con JET A o JET A1 en las proporciones definidas en esta Resolución; En esta resolución se establecen las especificaciones que deben cumplir los combustibles de aviación.

Para el caso de los querosenos de aviación alternativos cubiertos por esta Resolución son:

- Queroseno parafínico hidro procesado y sintetizado por Fischer-Tropsch (SPK-FT);
- Queroseno parafínico sintetizado por ácidos grasos y ésteres hidro procesados (SPK-HEFA);
- Queroseno parafínico sintetizado con aromáticos (SPK/A);
- Queroseno parafínico sintetizado por alcohol (SPK-ATJ);
- Iso-parafinas sintetizadas a partir de azúcares fermentados e hidro procesados (SIP);
- Queroseno por hidrotermólisis catalítica (CHJ); y
- Queroseno parafínico sintetizado por hidrocarburos, ácidos grasos y ésteres bio-derivados hidro procesado (SPK-HC-HEFA).

Las normas ASTM D1655 y ASTM D7566 son mencionadas en esta resolución en los artículos 23 y 24, indicando que los aditivos y antioxidantes a utilizar en los combustibles de aviación deben ser los permitidos en las normas ASTM D1655 y ASTM D7566.

La Resolución ANP N°935, DEL 5 de octubre de 2023, regula la autorización para realizar actividades de distribución de combustible de aviación.

Finalmente está en discusión un proyecto de ley que prevé la promoción de la movilidad sostenible baja en carbono, el Programa Nacional de Combustibles Sostenibles de Aviación, el Programa Nacional de Diésel Verde y el marco legal para la captura y almacenamiento geológico de dióxido de carbono. Este Proyecto de ley N°4.516/2023, denominado PL del Combustible del Futuro, que instaura, entre otras iniciativas, el Programa Nacional de Combustible Sostenible de Aviación (ProBioQAV). La iniciativa también contempla la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero para el sector aéreo, que se cumplirá mediante la utilización de combustibles sostenibles de aviación (SAF).

9.2.6. logística y Distribución de SAF

La Resolución ANP N°856, DE 22 de octubre del 2021, también establece condiciones para los distribuidores de combustibles de aviación , definiendo la figura del distribuidor que es la persona jurídica autorizada para realizar actividades de distribución de combustible de aviación, consideradas de utilidad pública, que incluyen la adquisición, almacenamiento, transporte, comercialización, control de calidad, asistencia técnica y suministro de aeronaves; además es responsable de la calidad del combustible de aviación a suministrar.

La resolución ANP N°960, del 5 de octubre del 2023 que reglamenta la autorización para operar instalaciones de almacenamiento de combustibles líquidos automotrices, combustibles de aviación, solventes, aceites lubricantes básicos y terminados, gas licuado de petróleo, fuel oil, queroseno para alumbrado y asfalto, y la aprobación de contratos de transferencia de espacio o carga vial, además en otras, establece las obligaciones de mantener la seguridad de las instalaciones.

9.2.7. Normativa de Importación.

Las importaciones de materias primas para producir biocombustibles se aplican las mismas regulaciones que a la materia prima producida en el país y no existen limitaciones para su importación. En el caso de la biomasa energética producida fuera del territorio nacional sólo podrá contabilizarse para efectos de la emisión del Puntaje de Eficiencia, Energético Ambiental, si procede de una finca rústica que cumple con la legislación ambiental vigente en el país de origen. En Brasil se permite la importación de biocombustibles según se indicó en los puntos anteriores.

9.2.8. Normativa y certificación Criterios de sostenibilidad

La Ley N°12.187/2009 (Política Nacional sobre Cambio Climático), tiene como objetivo compatibilizar el desarrollo económico y social con la protección del sistema climático, promoviendo la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de diversas fuentes y fortaleciendo la captura de estos gases a través de sumideros en el territorio nacional. También busca implementar medidas de adaptación al cambio climático en todos los niveles de la Federación, con la colaboración de actores económicos y sociales, especialmente aquellos más vulnerables. Asimismo, se enfoca en la preservación, conservación y restauración de los recursos ambientales, con especial atención a los biomas considerados Patrimonio Nacional, consolidando áreas protegidas y fomentando la reforestación en zonas degradadas. Además, promueve el desarrollo del Mercado Brasileño de Reducción de Emisiones (MBRE), todo ello alineado con el desarrollo sostenible para impulsar el crecimiento económico, erradicar la pobreza y reducir desigualdades sociales.

No toda la bioenergía es energía sostenible. Los combustibles deben desarrollarse utilizando criterios sólidos de sostenibilidad y verificación para satisfacer las necesidades de la industria de la aviación. La evaluación de Biocombustibles de Aviación Sostenible para Brasil sobre los criterios de sostenibilidad para la producción de materias primas en Brasil se realizó de acuerdo con los principios y criterios de los estándares internacionales de sostenibilidad actualmente disponibles y más conocidos para la producción de biocombustibles, como Bonsucro⁴⁵, es una organización que tiene como objetivo reducir los impactos ambientales y sociales de la industria azucarera, además certifica la producción de caña de azúcar en Brasil y otros países, que permite la certificación de caña de azúcar sostenible y la trazabilidad física o la Mesa Redonda sobre Biomateriales Sostenibles (RSB). La certificación de sostenibilidad se convertirá cada vez más en un requisito para acceder a los mercados, y dado que los estándares y procesos de certificación son complejos y requieren adaptaciones de la cadena de suministro. También es fundamental garantizar que los requisitos de sostenibilidad se cumplan en la práctica, mediante certificación y verificación y mediante la aplicación adecuada de las leyes aplicables.

⁴⁵ <http://bonsucro.com/>

9.3 Regulación en Estados Unidos del SAF

Estados Unidos se caracteriza por ser el principal consumidor de energía y combustibles del mundo, con regulaciones principalmente orientadas a la seguridad de las instalaciones, regulación de las emisiones y de protección del medio ambiente en materia de combustibles.

9.3.1. Regulación General de los Combustibles.

Las principales leyes relacionadas con los combustibles en general son:

- Clean Air Act (CAA) – Regula las emisiones de contaminantes del aire y establece estándares para la calidad de los combustibles.
- Energy Policy Act (EPA) de 1992 y 2005 – Promueve el uso de combustibles alternativos y la eficiencia energética.
- Renewable Fuel Standard (RFS) – Programa que exige la mezcla de biocombustibles en la gasolina y el diésel.
- Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA) Regulations que Regulan el transporte de combustibles importados

Dentro de las principales agencias que controlan las distintas actividades de los combustibles están:

- Environmental Protection Agency (EPA) – Regula las emisiones, los estándares de calidad del aire y el contenido de biocombustibles en los combustibles.
- Department of Transportation (DOT) – Regula el transporte de combustibles peligrosos a través de la Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA).
- Department of Energy (DOE) – Supervisa la seguridad energética y promueve combustibles alternativos.
- Federal Trade Commission (FTC) – Regula la publicidad y etiquetado de combustibles.

Además, existen una serie de regulaciones a nivel federal, como la regulación de Estados Unidos para efectos de almacenamiento y transporte de mercancías, a través de la clasificación de sustancias peligrosas. Esta clasificación está definida por la norma 29 CFR 1910.106 – Flammable and Combustible Liquids, la que se complementa con 49 CFR Part 195 Transportation of Hazardous Liquids by Pipeline y 49 CFR Part 171-180 – Hazardous Materials Regulations (HMR).

Según lo anterior el jet fuel A1 y el SAF por su punto de inflamación en la norma 29 CFR 1910.10 sería clasificado como sustancia inflamable o combustible. Estas

regulaciones también aplicarían a las materias primas para producir SAF en caso de ser consideradas como sustancias peligrosas⁴⁶.

Para el transporte de combustibles líquidos también se aplica **Código de Regulaciones Federales (CFR) Título 49** que regula el transporte doméstico y la seguridad del transporte. Este título incluye las leyes y regulaciones federales que se aplican a todos los medios de transporte, como el ferrocarril, la carretera, el aire y el mar, incluyendo las sustancias peligrosas y está controlado por el **Departamento de Transporte (DOT)** y la **Administración de Seguridad de Materiales Peligrosos (PHMSA)**.

9.3.2. Definición de SAF para EE.UU.

El SAF se define como un combustible *drop in* a partir de desechos, materiales renovables y fuentes gaseosas de carbono para lograr una reducción mínima del 50% en las emisiones de GEI del ciclo de vida en comparación con el combustible convencional⁴⁷. Además, en comparación con las políticas de SAF de otros países desarrollados, en EE.UU. la política de SAF es mucho más adaptable a los combustibles basados en biomasa (en particular, los SAF derivados de cultivos derivados del maíz o la caña de azúcar) que no están permitidos por la legislación ambiental en la UE o el Reino Unido.

El desarrollo del SAF en Estados Unidos a través del programa *Fuel Grand Challenge* como se indica en la Figura N°9, que promueve la producción de combustible en 6 grandes áreas de acción, materia prima, tecnología de producción, cadena de suministro, políticas y evaluación, uso final y difusión⁴⁸.

Cabe hacer presente en este punto que, el ordenamiento jurídico de Estados Unidos, a partir de la Energy Policy Act de 1992, sección 301 considera la existencia de combustibles alternativos, donde se puede clasificar al SAF.

⁴⁶ <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.106>.

⁴⁷ <https://biomassboard.gov/sustainable-aviation-fuel-grand-challenge-roadmap>

⁴⁸ <https://biomassboard.gov/sustainable-aviation-fuel-grand-challenge-roadmap>

9.3.3. Materias Primas utilizadas para producir SAF y Logística.

Hasta el año 2025, el jet fuel producido en Estados Unidos como *renewable fuel* y *advance fuel*, han sido utilizando materias primas denominadas FOG, (Fat Oil and Grass).

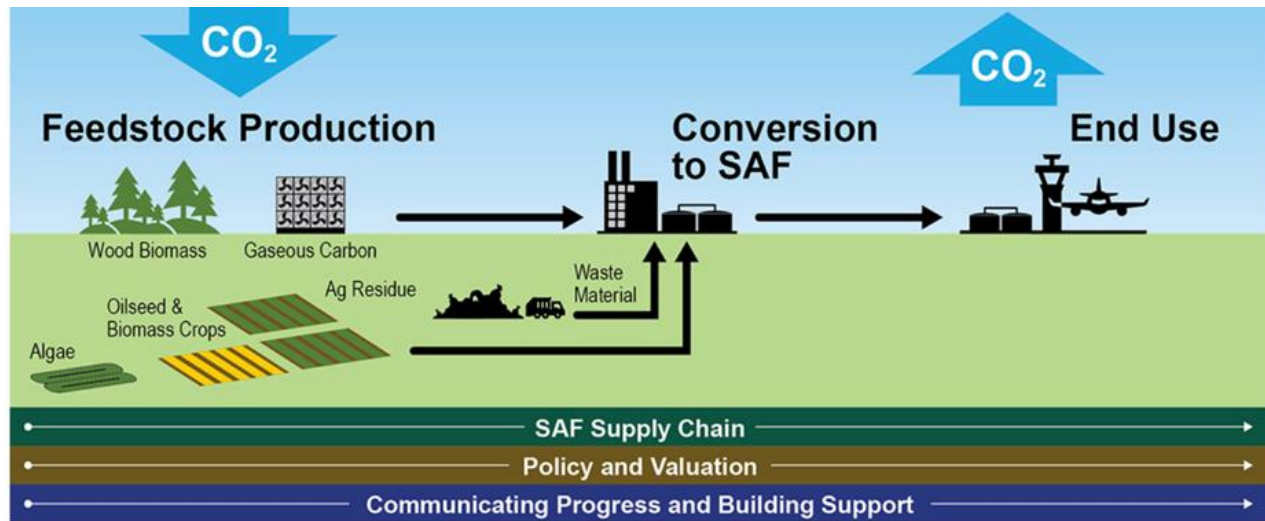


Figura N°9. Esquema de producción de SAF.

Las materias primas que Estados Unidos quieren promover para utilizar en la producción de SAF son las siguientes:

Materias primas para 2030⁴⁹.

Los lípidos son considerados la principal materia prima para producir SAF a través de la vía HEFA y constituirán la gran mayoría de la materia prima para cumplir con el objetivo de EE. UU. de 3 mil millones de gal/año para 2030 (~90% según el análisis de los proyectos anunciados que podrían entrar en operación para 2030). Sin embargo, las materias primas a base de almidón y azúcar están surgiendo como posibles materias primas a corto plazo para los SAF a través de las vías Alcohol To Jet (ATJ). Uno de los objetivos que tiene el programa SFGC (Sustainable Fuel Grand Challenge) es que la industria existente en el país de etanol a partir de maíz y que tiene un tremendo potencial, sea en el corto plazo la principal materia prima para aumentar los volúmenes de producción de SAF a través de la vía del proceso ATJ. Para poder transformar al maíz como una fuente sustentable es necesario reducir la intensidad de

⁴⁹ hoja de ruta del gran desafío 2022, <https://biomassboard.gov/sustainable-aviation-fuel-grand-challenge-roadmap>

carbono y aumentar la eficiencia del carbono en la producción del etanol de maíz, ya que estas son las barreras clave para hacer realidad este potencial.

La utilización de materias primas lignocelulósicas procedentes de RSU, biomasa leñosa, residuos de operaciones forestales, desechos de aserraderos y residuos agrícolas tiene el potencial de agregarse marginalmente al conjunto de materias primas del 2030 a través de las vías de conversión de SAF de gasificación y pirólisis. En la Tabla N°12 se indican las cantidades potencial de materia prima a utilizar de SAF:

Feedstock	Potential (million dry tons/year)
Biomass based on 2021 ethanol and biodiesel production capacity ^a	
Seed oils	9
Corn grain	148
Biomass based on 2016 Billion-Ton Report ^b	
Forestry resources and woody wastes	133
Woody energy crops	71
MSW	55
Agricultural residues	176
Herbaceous energy crops	340
Algae input based on 2017 Algae Harmonization Study ^c	
Algae	235
Biomass based on 2017 Biofuels and Bioproducts from Wet and Gaseous Wastes ^d	
Fats, oils, and greases (FOG)	7
Wet wastes (animal waste, food waste, wastewater solids)	78
TOTAL	1,252

Tabla N°12. Materias primas propuestas para producir SAF.

Para poder cumplir los objetivos de largo plazo en Estados Unidos (2050), a las materias primas antes mencionadas se unirán los cultivos de biomasa herbáceas y leñosas (por ejemplo, pasto varilla, miscanthus y álamos híbridos), residuos agrícolas (por ejemplo, rastrojos de maíz, cultivos de cobertura y estiércol de ganado), especies invasoras (obtenidas a través de proyectos de restauración del paisaje), micro y macroalgas, desechos húmedos (por ejemplo, desechos de alimentos, lodos de aguas residuales municipales y animales). estiércol), gas natural renovable e hidrógeno renovable, y gases que contienen carbono provenientes de desechos y otras fuentes (por ejemplo, CO₂, monóxido de carbono y metano de vertederos) y captura directa de aire.

Es importante destacar que varias materias primas que se están considerando para producir SAF no están actualmente normadas o incluidas en la norma ASTM D7566, por ello el programa también considera el apoyar a las distintas organizaciones para la incorporación de nuevas materias primas y procesos en la norma mediante la utilización de la norma ASTM D4054, explicada en el punto 6.4 del presente informe.

La descripción de las materias primas potenciales para producir SAF se encuentran en el Anexo 1 de este informe.

9.3.4. Regulación de la producción de SAF.

Para efectos de producción de SAF, este puede ser considerado como un combustible renovable. Los combustibles renovables en Estados Unidos son regulados por el programa *Renewable Fuel Standard* (RFS) y el Código Federal de Regulación (CFR) 40 CFR *Protection of the Environment, Part 80: Regulation of Fuels and Fuel Additives, Subparts K and M*. Las disposiciones de esta Subparte M se aplicarán a todo el combustible renovable producido a partir del 1 de julio de 2010, a todos los RIN generados a partir del 1 de julio de 2010 y a todas las obligaciones de volumen renovable y períodos de cumplimiento que comiencen a partir del 1 de enero de 2010. Este programa establece requisitos de mezcla de combustibles renovables que son las siguientes:

- Las refinerías, importadores y mezcladores de combustibles deben incluir una cantidad mínima de combustibles renovables en el mercado.
- Se establecen metas anuales para la cantidad de combustibles renovables que deben mezclarse con gasolina y diésel.

Los RIN (*Renewable Identification Number*) son un número de identificación que se utiliza en el programa de estándares de combustibles renovables (RFS) de los Estados Unidos. Los RIN son créditos que se utilizan para cumplir con el RFS. El objetivo del RFS es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir la dependencia del petróleo importado. El sistema RIN funciona de la siguiente manera:

- Los productores de combustibles renovables generan RIN.
- Los participantes del mercado intercambian RIN.
- Las partes obligadas obtienen y retiran RIN para cumplir con el RFS.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos es la encargada de hacer seguimiento del cumplimiento del RFS mediante el sistema RIN.

El desarrollo de los combustibles renovables bajo el código 40 CFR incluye tres componentes críticos: (1) Materia prima, (2) Proceso de producción y (3) Tipo de

combustible. Cada combinación de los tres componentes es una ruta de combustible separada. A las rutas de combustible que califican se les asigna uno o más códigos D que representan el tipo de Número de Identificación Renovable (RIN) (es decir, combustible renovable, biocombustible avanzado, diésel basado en biomasa, biocombustible celulósico o diésel celulósico) que son elegibles para generar.

Para clasificar y autorizar al combustible renovable se identifican los siguientes aspectos:

a.-Materia prima

Un tipo de biomasa renovable que se convierte en un combustible renovable. Cuando se combinan varias materias primas y se convierten juntas en combustible renovable (aunque cada una podría procesarse independientemente para producir el mismo tipo de combustible, por ejemplo, almidón de maíz y almidón de sorgo procesados al mismo tiempo para producir etanol), la EPA (Environment Protection Agency), evalúa estas materias primas por separado al calcular las emisiones de gases de efecto invernadero del ciclo de vida de una ruta de combustible.

b.- Proceso de Producción

El tipo de tecnología utilizada para convertir biomasa renovable en combustible renovable, se debe informar de los análisis de emisiones de gases de efecto invernadero en todo el ciclo de vida y la EPA lo incluye en la evaluación de toda la energía y los materiales del proceso utilizados en un proceso de producción (es decir, las emisiones provenientes del almacenamiento y la manipulación de la materia prima, así como la producción, el almacenamiento y la manipulación del combustible y los coproductos). La EPA puede restringir el proceso de producción en función de los tipos de energía de proceso que utiliza.

c.-Tipo de combustible

Los combustibles renovables incluyen combustibles líquidos, gaseosos y electricidad derivada de fuentes de energía de biomasa renovable. Para calificar para el programa RFS, el combustible debe estar destinado a ser utilizado como combustible para transporte, combustible para calefacción o combustible para aviones. Los análisis de gases de efecto invernadero del ciclo de vida de la EPA incluyen la evaluación de toda la energía y los materiales del proceso utilizados en un proceso de producción (es decir, las emisiones provenientes del almacenamiento y la manipulación de la materia prima, así como la producción, el almacenamiento y la manipulación del combustible y los coproductos). La EPA evalúa las emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida de los combustibles terminados que no requieren más

alteraciones químicas para ser utilizados para su propósito final. Un tipo de combustible puede considerarse combustible terminado si se mezcla con otro combustible pero no se altera químicamente. Por ejemplo, la EPA evalúa el etanol no desnaturalizado como un tipo de combustible, aunque se mezcle con desnaturalizante y gasolina antes de usarlo como combustible para el transporte.

9.3.5. Normativa de Especificaciones de calidad de SAF

La producción de combustible renovable está definida por la EPA donde se define un código RIN para cada tipo de combustibles renovables.

Número de identificación renovable (RIN) Categoría de combustible renovable (código D)⁵⁰.

Tal como lo hemos comentado la asignación de RIN y su categorización permite la identificación, el transporte y la comercialización en el mercado de EEUU de los biocombustibles.

Por estatuto, el programa RFS incluye cuatro categorías de combustible renovable, cada una con requisitos específicos de ruta de combustible y códigos D de RIN:

- Avanzado Biocombustible (código D- 5)
- Se puede fabricar a partir de cualquier tipo de biomasa renovable, excepto etanol de almidón de maíz.
- Debe reducir las emisiones de gases de efecto invernadero durante su ciclo de vida al menos en un 50%; en comparación con la línea de base del petróleo.
- Diesel a base de biomasa (código D 4)
- Los ejemplos incluyen el biodiésel y el diésel renovable.
- Debe reducir las emisiones de gases de efecto invernadero durante su ciclo de vida al menos en un 50%; en comparación con la línea de base del diésel.
- Celulósico Biocombustible (Código D 3 o Código D 7)
- Combustible renovable producido a partir de celulosa, hemicelulosa o lignina.
- Para ser elegible para los RIN del Código D 7, el combustible debe ser diésel celulósico.
- Debe reducir las emisiones de gases de efecto invernadero durante su ciclo de vida al menos en un 60%; en comparación con la línea de base del petróleo.
- Combustible renovable (Código D 6)

⁵⁰ <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/what-fuel-pathway>

- Incluye etanol derivado del almidón de maíz o cualquier otro combustible renovable calificado.
- El combustible producido en nuevas instalaciones o nuevas ampliaciones de capacidad (cuya construcción comenzó después del 19 de diciembre de 2007) debe reducir las emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida en al menos un 20%; en comparación con el promedio de referencia del 2005.

	Fuel type	Feedstock	Production process requirements	D-Code
F	Biodiesel, renewable diesel, jet fuel and heating oil	Aceite de soja; aceite de cultivos de cobertura anuales; aceite de algas cultivadas mediante fotosíntesis; aceites/grasas/grasas biogénicas de desecho; aceite de camelina sativa; destilerías de aceite de maíz; aceite de sorgo de destilería; Destilerías mezcladas de aceite de maíz y aceite de sorgo.	Uno de los siguientes: Transesterificación con o sin pretratamiento de esterificación o hidrotratamiento; excluye los procesos que coprocesan biomasa renovable y petróleo.	4: Biomass-based diesel
G	Biodiesel, renewable diesel, jet fuel and heating oil	Canola/ Aceite de colza	Uno de los siguientes: Transesterificación utilizando gas natural o biomasa para energía de proceso, o hidrotratamiento; Excluye procesos que coprocesan biomasa renovable y petróleo.	4: Biomass-based diesel
H	Biodiesel, renewable diesel, jet fuel and heating oil	Aceite de soja; aceite de cultivos de cobertura anuales; aceite de algas cultivadas mediante fotosíntesis; aceites/grasas/grasas biogénicas de desecho; aceite de camelina sativa; destilerías de aceite de maíz; aceite de sorgo de destilería; mezcla de aceite de maíz y aceite de sorgo de destilería; aceite de canola/colza	Uno de los siguientes: Transesterificación con o sin pretratamiento de esterificación o hidrotratamiento; Incluye sólo procesos que coprocesan biomasa renovable y petróleo.	5:Advanced
L	Cellulosic diesel, jet fuel and heating oil	Residuos de cultivos, tala, raleos precomerciales y residuos de árboles, pasto varilla, miscanthus, caña energética, arundo donax, pennisetum purpureum y desechos de jardín separados; componentes biogénicos de RSU separados; componentes celulósicos de residuos de alimentos separados; y componentes celulósicos de cultivos de cobertura anuales.	Cualquier proceso que convierta biomasa celulósica en combustible.	7:Cellulosic biofuel or biomass-based diesel
M	Renewable gasoline and renewable gasoline blendstock; co-processed cellulosic diesel, jet fuel and heating oil	Residuos de cultivos, talas, raleos precomerciales, residuos de árboles y desechos de jardín separados; componentes biogénicos de RSU separados; componentes celulósicos de residuos de alimentos separados; y componentes celulósicos de cultivos de cobertura anuales.	Pirólisis y mejora catalítica, gasificación y mejora, hidrodesoxigenación y mejora termocatalítica, conversión biológica directa, conversión biológica y mejora utilizando gas natural, biogás y/o biomasa como únicas fuentes de energía de proceso, siempre que el proceso utilizado convierta la biomasa celulósica en combustible; Cualquier proceso que utilice biogás y/o biomasa como única fuente de energía de proceso que convierte la biomasa celulósica en combustible.	3: Cellulosic biofuel
P	Ethanol, renewable diesel, jet fuel, heating oil and naphtha	Las porciones no celulósicas de los desechos de alimentos separados y los componentes no celulósicos de los cultivos de cobertura anuales.	cualquiera	5:Advanced

Tabla N° 13. Tabla de códigos de combustibles renovable.

Según la Tabla N° 13 precedente, obtenida de 80.1426—*Applicable D Codes for Each Fuel Pathway for Use in Generating RINs*, el Jet Fuel Renewable o SAF aplicaría en los códigos F, G y H. Por lo anterior se puede concluir que el SAF sería posible de comercializar en Estados Unidos bajo el programa RFS pero no tiene las obligaciones de mezcla que existen sobre gasolina y diésel actualmente. Sin embargo a lo anterior para el combustibles SAF, el 9 de septiembre de 2021, se promulgó el programa Gran Desafío de SAF, (*Sustainable Aviation Fuel Grand Challenge*) que es el resultado del trabajo conjunto del Departamento de Energía de los EE. UU. (DOE), el Departamento de Transporte (DOT), Departamento de Agricultura (USDA) y otras agencias Federales. Ver Anexo n°1 principales líneas de programa Programa Gran DesafíoDesafío SAF (*Sustainable Aviation Fuel Grand Challenge*)

La *Federal Aviation Act de 1958*, crea la *Federal Aviation Agency* (FAA), que tiene como funciones, “regular y promover la aviación civil de la manera que mejor fomente su desarrollo y seguridad y velar por el uso seguro y eficiente del espacio aéreo tanto por aeronaves civiles como militares y para otros fines⁵¹”. En el Título VI, *Safety Regulation of civil aeronautic, sección 601*, se indican Normas y reglamentos razonables que rigen el suministro de reserva de aeronaves, motores de aeronaves, hélices, aparatos y combustible y aceite de aeronaves, necesarios en aras de la seguridad, incluido el suministro de reserva de combustible y aceite de aeronaves que se transportarán en vuelo.”.

En la Circular **AC2024D, Approval of Propulsion Fuels, del 6/30/14 AC No: 20-24D Additives, and Lubricating Oils de la FAA**, se proporciona la orientación aplicable a la adición de combustibles y aceites como limitaciones operativas de motores, aeronaves o unidades de potencia auxiliares (APU). También proporciona orientación sobre especificaciones y normas de combustibles y aceites lubricantes, y sobre planes de certificación de combustibles y/o aceites lubricantes para propulsión. En la sección 8 de esta circular se reconoce la norma ASTM D1655 que es aceptada para ser utilizada en motores de aviación ,también este documento reconoce los combustibles sintéticos indicadas en las últimas modificaciones de la ASTMD1655, reconociendo la ASTM D4054 para aprobación de nuevos combustibles y la ASTMD7566, de combustibles para turbinas de aviación que contienen hidrocarburos sintetizados, además en este documento se reconocen otras normas internacionales de combustibles como DEF STAN 91-091 de UK, CAN-CGSb323 Canadiense, GOST 10227 de Rusia y GB6537 N°3 de China.

⁵¹ <https://libraryonline.erau.edu/online-full-text/books/online/Aviationlawpt1.pdf>

9.3.6. Logística y distribución de SAF.

En relación a las instalaciones en los aeropuertos, la *Transportation Security Administration* (TSA) imparte directivas para la seguridad de las instalaciones e instalaciones críticas. El título 49 CFR, partes 1540 y parte 1542 establecen disposiciones de seguridad de instalaciones y condiciones operativas de estas instalaciones. También estas instalaciones de almacenamiento de combustibles en el aeropuerto están reguladas por la FAA con en el título 14 CFR parte 139 y 139.321.

9.3.7. Normativa de Importación.

Las importaciones de materia prima para producir combustibles renovables en USA y las importaciones de combustible renovable se rigen por las mismas normas existentes en el país.

9.3.8. Normativa y Certificación de Sostenibilidad.

La Ley de Independencia y Seguridad Energética de 2007 (EISA), específicamente en el Título II—Seguridad Energética a través del Aumento de la Producción de Biocombustibles, establece dentro de este título, la Sección 202 crea el programa Estándar de Combustibles Renovables (RFS) y define las categorías de biocombustibles, junto con los umbrales de reducción de GEI que deben cumplir. Bajo esta regulación se establecen los criterios de sostenibilidad que deben cumplir los combustibles.

Según la ley, cada biocombustible debe cumplir con una reducción mínima de GEI en comparación con el combustible fósil correspondiente, comparado con la línea base definida para el año 2005 según se indica:

- ✓ Biocombustibles renovables (ej. etanol de maíz): $\geq 20\%$ de reducción.
- ✓ Biocombustibles avanzados (ej. etanol de celulosa, biodiésel): $\geq 50\%$ de reducción.
- ✓ Diésel de biomasa (ej. biodiésel, diésel renovable): $\geq 50\%$ de reducción.
- ✓ Biocombustibles de celulosa (ej. etanol celulósico): $\geq 60\%$ de reducción.

Bajo el programa RFS, la EPA creó cinco tipos diferentes de RIN para asignar a cada biocombustible a comercializar en el país.

La *Inflation Reduction Act of 2022*, (La Ley de Reducción de la Inflación de 2022), promulgada por el presidente Biden el 16 de agosto, incluye un crédito fiscal de dos

años para quienes combinen SAF; un crédito fiscal posterior de tres años para quienes produzcan SAF; y un programa de subvenciones de 290 millones de dólares durante cuatro años para llevar a cabo proyectos que produzcan, transporten, combinen o almacenen SAF, o desarrollen, demuestren o apliquen tecnologías de aviación de bajas emisiones. Para ser elegible, el SAF debe lograr, en general, al menos una mejora del 50% en el rendimiento de las emisiones de GEI durante el ciclo de vida en comparación con el combustible para aviones convencional. El crédito fiscal, que comienza en \$1,25/galón de SAF puro, aumenta con cada punto porcentual de mejora en el desempeño de las emisiones durante el ciclo de vida hasta \$1,75/galón.

9.4. Regulación del SAF Singapur.

Según la Junta de Desarrollo Económico de Singapur, este país está explorando activamente oportunidades para promover el crecimiento sostenible de la industria energética. La atención se ha centrado en el desarrollo de capacidades tecnológicas de próxima generación para fortalecer las energías renovables, en particular la energía solar.

9.4.1. Regulación general de los combustibles y combustibles de aviación.

La ley principal que regula el manejo de combustibles líquidos y materiales inflamables en Singapur es la denominada “*Petroleum and Flammable Materials Act*” (PFMA)

Esta Ley establece los requisitos para la importación, almacenamiento, transporte y venta de combustibles líquidos.

Requiere que las instalaciones y los transportistas obtengan licencias específicas de la Singapore Civil Defence Force (SCDF).

Define las medidas de seguridad y los estándares técnicos para evitar accidentes relacionados con combustibles inflamables.

Por otra parte la *Fire Safety Act*, se ocupa de regular las normas de seguridad contra incendios en las instalaciones que manejan combustibles líquidos.

La Singapore Civil Defence Force (SCDF) aprueba los sistemas de almacenamiento y seguridad de las instalaciones.

Establece la necesidad de realizar inspecciones periódicas y mantener equipos de seguridad adecuados.

En cuanto a los combustibles de aviación la regulación en Singapur está contenida en los siguientes instrumentos:

❖ **Air Navigation Act (Chapter 6)**

Ley marco principal para la regulación de la aviación civil en Singapur. Cubre principios generales relacionados con la seguridad, las operaciones aeronáuticas, y el cumplimiento de las normas internacionales de la OACI. Regula el transporte, almacenamiento y manejo de combustible de aviación en el contexto de la seguridad y protección de las operaciones aeronáuticas.

❖ **Air Navigation Order (Chapter 6, Section 3)**

Reglamento detallado derivado de la *Air Navigation Act*, que especifica normas y procedimientos técnicos para operaciones aeronáuticas. Proporciona normas específicas para el manejo, transporte y abastecimiento de combustible en aeropuertos y aeronaves. Integra las recomendaciones de la OACI y los estándares técnicos internacionales. La calidad de combustible de aviación queda entregada a los estándares internacionalmente aceptados y adoptados por la OACI.

9.4.2. Definición de SAF en Singapur.

Singapur no define directamente lo que se entiende por SAF, sino que utiliza la definición que realiza la OACI en el Anexo XVI Volumen IV del Convenio sobre Aviación Civil Internacional, que lo define como “**Combustible Aeronáutico renovable o derivado de residuos que cumple con los criterios de sostenibilidad del CORSIA.**” Énfasis agregado.

9.4.3. Materias Primas para producir SAF en Singapur.

Singapur no posee disponibilidad de materias primas para la producción de SAF que aseguren un nivel de producción suficiente para cumplir con las metas impuestas. Dada su cercanía geográfica con productores de petróleo y su gran industria petrolera y petroquímica, se está impulsando los co-procesados que representarían la mayor disponibilidad.

En la Tabla N°14 a continuación se presenta la disponibilidad de materias primas en Singapur y países vecinos en Mt/año, en masa seco.

	Indonesia	Thailand	Vietnam	Malaysia	The Philippines	Myanmar	Cambodia	Lao PDR	Singapore	Brunei Darussalam	Timor Leste	Total feedstock	Feedstock contribution (%)
Palm oil (CPO)	9.5	1.2	-	1.0	-	-	-	-	-	-	-	11.6	3.1
Sugarcane (for ethanol)	-	5.7	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	5.8	1.5
Corn (for ethanol)	-	3.7	2.6	-	-	-	-	-	-	-	-	6.3	1.7
Coconut oil	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	0.2	0.1
Cassava roots and starch	20.5	9.5	5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	35.0	9.3
Palm oil residues (PKS, EFB, ⁵² old trunk)	27.6	6.5	-	10.1	-	-	-	-	-	-	-	44.2	11.8
Palm oil mill effluent	2.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.8	0.7
Rice husks, rice straw	46.0	23.0	34.5	2.1	10.8	17.4	3.4	1.4	-	0.0	-	138.6	36.9
Sugarcane bagasse, tops and leaves	2.8	14.9	3.0	0.1	2.1	0.8	-	0.0	-	-	-	23.9	6.4
Sugarcane molasses	1.2	4.0	0.6	-	1.0	0.2	-	-	-	-	-	7.0	1.9
Cassava residues (pulp, stem)	5.3	4.5	2.2	-	-	-	0.1	0.0	-	-	-	12.2	3.2
Maize cob/husk/stover/straw	-	3.5	10.6	-	0.8	-	0.1	0.1	-	0.0	-	12.2	4.0
Coconut shell, front, husk, empty bunches	-	-	0.7	0.9	5.4	-	-	-	-	0.0	-	15.1	1.9
Coffee husk	-	-	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	7.1	0.2
Peanut (groundnut) shell, husk	-	-	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	0.2
Forest and wood industry residues	13.1	3.7	5.3	8.2	-	1.3	-	-	-	-	-	31.5	8.4
UCO	0.2	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	0.3	0.1
MSW ⁵⁴	13.5	5.6	6.5	2.2	2.9	0.4	-	0.0	1.2	-	-	32.3	8.6
Total per country	142.5	85.8	72.4	24.8	23.4	20.0	3.6	1.5	1.2	0.0	-	375.3	
Country contribution (%)	38.0	22.9	19.3	6.6	6.2	5.3	1.0	0.4	0.3	0.0	-		

Tabla N°14. Disponibilidad de materias primas en Singapur y países vecinos en Mt/año⁵².

⁵² Sustainable feedstock assessment for Sustainable Aviation Fuel Production in Southeast Asia. Sept. 2024. RSB.

9.4.4. Regulación de la Producción de SAF.

Singapur dado su condición específica de no contar con materia prima suficiente para realizar producción propia de SAF, toma la decisión de realizar la importación tanto de materias primas como de SAF.

En el mes de febrero de 2024 la Autoridad de Aviación Civil de Singapur (CAAS, por sus siglas en inglés) dictó su hoja de ruta para el SAF, denominada **“Singapore Sustainable Air Hub Blue Print”**, que impone medidas concretas a los operadores de aviación comercial la utilización de SAF que comienza con una cuota del 1% para 2026, y tiene una progresión de hasta un 5% al 2030, pero sujeto a la evolución mundial y disponibilidad de SAF como se indica en la Tabla N°15.

2026	2026-2030	Sujeto a la evolución mundial y de la mayor disponibilidad y adopción de SAF
1%	3-5%	

Tabla N°15. Porcentage de cuotas a aplicar de SAF en Singapur.

Con el objeto de gestionar los costos de las materias primas, que además son en extremo escasas en el país⁵³, Singapur propone un poder de compra centralizado, para agregar demanda y aprovechar economías de escala.

Este poder de compra centralizado gestionará la demanda necesaria para cumplir con los objetivos propuestos, pero también se podrá agregar demanda de manera voluntaria por parte de empresas y organizaciones que deseen adquirir SAF para reducir su huella de carbono en el transporte aéreo.

Asimismo, se considera la introducción de una tasa o impuesto a los pasajeros, para la compra de SAF y así alcanzar el objetivo de utilización de SAF. Dado que el mercado de SAF es aún incipiente y su precio puede ser volátil, se adoptará una tasa o costo fijo para garantizar la seguridad a las compañías aéreas. La tasa se determinará en una cantidad fija basada en el objetivo y el precio previsto de los SAF en ese momento. Por ejemplo, la cuantía del gravamen SAF en 2026 se fijará en función del volumen de SAF necesario para alcanzar un objetivo de SAF del 1% en 2026. La cantidad recaudada

⁵³ Sustainable feedstock assessment for Sustainable Aviation Fuel Production in Southeast Asia. Sept. 2024. RSB

mediante el impuesto sobre los SAF se utilizará para comprar SAF en función del precio real de este en 2026.

La tasa de embarque variará en función de factores como la distancia recorrida y la clase de viaje. Se estima que la tasa para apoyar un aumento del 1% del SAF en 2026 para un pasajero de clase turista en un vuelo directo desde Singapur a Bangkok, Tokio y Londres sería de 3, 6 y 16 dólares respectivamente. Los pasajeros premium pagarán tasas de embarque más elevadas.

9.4.5. Normativa de especificación de calidad para el SAF.

En Singapur no se advierte una ley o reglamento independiente que mencione expresamente el estándar ASTM D1655 o Def Stan 91-091. Sin embargo, la calidad del combustible de aviación, típicamente Jet Fuel A-1, está regulada por la *Civil Aviation Authority of Singapore* (CAAS), que exige que el combustible cumpla con especificaciones internacionales reconocidas, entre las que se encuentra el ASTM D1655.

La autoridad para imponer estos requisitos se fundamenta en el *Civil Aviation Authority of Singapore Act*, el cual faculta a la CAAS para establecer, supervisar y hacer cumplir las normas de seguridad y calidad en la aviación. En la práctica, la CAAS incorpora en sus directrices y certificaciones los estándares internacionales pertinentes, garantizando así que el combustible de aviación utilizado en Singapur cumpla con las especificaciones definidas en el ASTM D1655.

9.4.6. Logística y Distribución del SAF.

El almacenamiento de combustible está regulado por la *Singapore Civil Defence Force* (SCDF) bajo estrictas normas de seguridad para materiales inflamables. Las instalaciones deben cumplir con las normas y estándares de diseño y operación segura. Solo las empresas autorizadas pueden manejar y distribuir combustible de aviación.

9.4.7. Normativa de Importación

No se advierten restricciones aduaneras para la importación de SAF. El importador debe presentar una declaración completa a la aduana a través del sistema electrónico TradeNet donde los documentos requeridos son: Facturas, certificados de origen, análisis de calidad del combustible y licencias pertinentes.

9.4.8. Normativa y Certificación de Sostenibilidad.

Singapur no define estándares de sostenibilidad particulares, adhiriendo en este caso a los estándares de sostenibilidad de CORSIA que se detallan en el capítulo 7.1 del presente informe⁵⁴.

9.5. Cuadro Comparativo de la Normativa de los Países Estudiados.

En la siguiente Tabla N°16, se realiza se muestra un cuadro comparativo de la normativa analizada para cada uno de los países en estudio para toda la cadena de valor de producción del SAF

⁵⁴ Civil Aviation Authority of Singapore (CASS) Singapore Sustainable Air Hub Blueprint.2024

Cadena de Valor	Brasil	Estados Unidos	EU	Singapore
Definición de SAF	Se considera un combustible de aviación que tiene como objetivo la reducción de GEI, con una meta de reducción de emisiones a partir de 2027 (1% del volumen total). Se evalúa el ciclo de vida según cada ruta de producción aprobada. (Programa ProVioQAB).	Se define como un combustible "drop-in" derivado de desechos, materiales renovables y fuentes gaseosas de carbono, con una reducción mínima del 50% en las emisiones de GEI en comparación con el combustible convencional. (Hoja de ruta del Gran Desafío SAF)	Se consideran combustibles de aviación sostenibles los siguientes: i) Combustibles de aviación; ii) Biocombustibles de aviación; iii) Combustibles de aviación de carbono reciclado. Art. 3 N°7 Directiva EU RED II	No cuenta con una definición propia de SAF, pero adopta la definición de la ICAO, esto es, " <i>Combustible Aeronáutico renovable o derivado de residuos que cumple con los criterios de sostenibilidad del CORSIA.</i> "
Materias Primas y su Normativa	Se incluyen caña de azúcar, eucalipto, soja, residuos lignocelulósicos, residuos sólidos urbanos e industriales. Regulación: - Código Forestal de Brasil (Ley N° 12.651/2012) - Resolución ANP N°758/2018 (criterios para certificación de biomasa) - Zonificación agroecológica (ZAE Cana y ZAE Palma de Óleo)	Se considera que la principal materia prima sean aceites y grasas (HEFA), pero también son posibles biomasa lignocelulósica, residuos sólidos urbanos, almidón y azúcar (ATJ), gases industriales, cultivos energéticos y algas. Regulación: - Renewable Fuel Standard (RFS) - 40 CFR Part 80 (Regulación de biocombustibles) creación de los RIN para clasificación de biocombustibles según tipo de materia prima, proceso y producto - Sustainable Aviation Fuel Grand Challenge. Respecto a materia prima No existen limitaciones para los cultivos respecto al uso de suelo alimenticio, solo que se espera mejorar aspecto de sostenibilidad como reducir huella hídrica y huella GEI de los cultivos.	Anexo IX de la Directiva RED II en sus partes A y B, define los materiales que se pueden utilizar para la producción de SAF. Estro otros a) algas cultivadas en estanques terrestres o fotobiorreactores; b) fracción de biomasa de residuos municipales mezclados; c) fracción de biomasa de residuos industriales no apta para su uso en la cadena alimentaria humana o animal, incluido material procedente de la venta al detalle o al por mayor y de la industria agroalimentaria o de la pesca y la acuicultura; d) paja; e) estiércol animal y lodos de depuración; f) aceite de cocina usado y grasas animales clasificadas en las categorías 1 y 2 con arreglo al Reglamento (CE) N° 1069/2009.	Utiliza lista de materias primas autorizadas por CORSIA tales como Destilado de ácidos grasos de palma; Aceite de maíz técnico; Sebo; Sebo de bovino; Cocos no estándares; Grasa de ave; Manteca de cerdo; Mezcla de grasas animales; Aceite de la semilla de Brassica Carinata; Aceite de la semilla de camelina; Grano de maíz; Aceite de semilla de Jatrophia; Miscanthus (cultivos energéticos herbáceos); Racimos frescos de palma; Álamo (cultivos leñosos de ciclo corto); Aceite de la semilla de colza; Aceite de la semilla de soja; Remolacha azucarera; Caña de azúcar; Switchgrass (cultivos energéticos herbáceos); entre otros.
importacion de MP-SAF	se permite las importaciones de materias primas y de biodomestibles sujetos a la misma normativa de producción local	se permite las importaciones de materias primas y de biodomestibles sujetos a la misma normativa de producción local	Se permite la libre circulación de materias primas para el SAF dentro de la EU. Eventualmente podrían aplicar restricciones para la circulación en caso que una materia prima sea catalogada como sustancia peligrosa en algún país.	sin restricciones para la importación de materias primas para SAF
Normativa de Producción de SAF	Se considera un biocombustible, regulado por: - Ley N° 11.097/2005: Regula el biodiésel. - Ley N° 13.576/2017 (RenovaBio): Programa de certificación y Créditos de Descarbonización (CBIOS). - Resolución ANP N°758/2018: Regula certificación de biocombustibles y eficiencia energética de los cultivos	SAF se regula bajo el programa Renewable Fuel Standard (RFS) y el Código de Regulaciones Federales (40 CFR Part 80, Subpartes K y M) . Se utilizan Renewable Identification Numbers (RINs) para definir biocombustible y su seguimiento de cumplimiento. Promoción del SAF a través de Programa Sustainable Aviation Fuel Grand Challenge.	Reglamento (UE) 2023/2405 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a la garantía de unas condiciones de competencia equitativas para un transporte aéreo sostenible, denominado también "ReFuelEU Aviation".	"Singapore Sustainable Air Hub Blue Print"
Especificaciones del Combustible SAF	Resolución ANP N°856/2021: Define las especificaciones del JET A, JET A-1 y JET C. (mezcla Jet A con combustible de aviación alternativo SAF) - Reconoce las normas ASTM D1655 y ASTM D7566 solo para aditivos utilizados en combustible de aviación	Federal Aviation Act de 1958: Regula la seguridad del suministro de combustibles. - y deben cumplir las normas ASTM D1655 y ASTM D7566 donde se Establecen los criterios de calidad del SAF	Cada Estado miembro define su propio estándar de calidad de combustible de aviación adoptando uno de ASTM D1655 y/o Def Stan 91-091. Para producción de SAF se adopta el estándar ASTM D7566	adopta el estándar internacional ASTM D1655 y para producción de SAF se adopta el estándar ASTM D7566
logística de distribución SAF	La Resolución ANP N°856, DE 22 de octubre del 2021, también establece condiciones para los distribuidores de combustibles de aviación (incluido Jetc C), definiendo la figura del distribuidor que es la persona jurídica autorizada para realizar actividades de distribución de combustible de aviación, consideradas de utilidad pública, que incluyen la adquisición, almacenamiento, transporte, comercialización, control de calidad, asistencia técnica y suministro de aeronaves. En general existe normativa específica para combustible de aviación incluyendo JetC	El título 49 CFR, partes 1540 y parte 1542 establecen disposiciones de seguridad de instalaciones de los aeropuertos y condiciones operativas de estas instalaciones. También estas instalaciones de almacenamiento de combustibles en el aeropuerto están reguladas por la FAA con en el título 14 CFR parte 139 y 139.321. Estas normativas no hacen diferencia respecto al origen del combustible solo que cumpla ser combustible de aviación.	Para efectos de su etiquetado, el Reglamento CE n° 1272/200 Relativo a la clasificación, etiquetado y envasado de sustancias peligrosas, considera al combustible de aviación como una sustancia inflamable, haciéndole aplicable sus disposiciones. El Reglamento ADR (Acuerdo Europeo sobre el Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera), regula el transporte de combustible por las carreteras de los estados miembros de la comunidad.	No se advierten restricciones aduaneras para la importación de combustible de aviación sustentable. El importador debe presentar una declaración completa a la aduana a través del sistema electrónico TradeNet. Documentos requeridos: Facturas, certificados de origen, análisis de calidad del combustible y licencias pertinentes. El almacenamiento de combustible está regulado por la Singapore Civil Defence Force (SCDF) bajo estrictas normas de seguridad para materiales inflamables. Las instalaciones deben cumplir con las normas de diseño y operación segura. Solo las empresas autorizadas pueden manejar y distribuir combustible de aviación.
Criterios de Sostenibilidad	Ley N° 12.187/2009 (Política Nacional sobre Cambio Climático): Busca reducir GEI y promover sumideros de carbono. - RenovaBio: Establece certificación de sostenibilidad y CBIOS. - Certificación bajo estándares internacionales como Bonsucro y RSB	Ley de Independencia y Seguridad Energética (EISA 2007): Define estándares de reducción de emisiones según tipo de biocombustible. - Inflation Reduction Act 2022: Ofrece incentivos fiscales para SAF con una reducción de al menos 50% en GEI. - Uso de RINs para trazabilidad	Definidos en el artículo 29 de la Directiva RED II	Criterios de sostenibilidad de CORSIA

Tabla N°16 Cuadro Comparativo de la normativa de los países analizados en este informe.

Adicionalmente, se presenta un cuadro comparativo de los criterios de sostenibilidad que están considerando los países analizados en este estudio con los criterios que recomienda CORSIA en la Tabla N°17.

Comparación criterios de Sostenibilidad para SAF				
Criterios	CORSIA	UE RED II (art.29)	RFS+IRA (EEUU)	RenovaBio (Brasil)
Objetivo Principal	Reducir emisiones de CO ₂ en aviación internacional con SAF	Asegurar que los biocombustibles sean sostenibles y reduzcan emisiones de GEI.	Reducir dependencia de combustibles fósiles y fomentar SAF con incentivos fiscales	Reducir emisiones de carbono con créditos CBIOS para biocombustibles
Reducción mínima de GEI	≥10% en comparación con el combustible fósil (con incremento progresivo).	≥65% para nuevas instalaciones a partir de 2021	Varía según la ruta de producción, mínimo del 50% para biocombustibles avanzados	Se calcula con el modelo RenovaCalc basado en ciclo de vida del combustible
Materias Primas Permitidas	*Residuos agrícolas y forestales *Grasas animales (cat. 1 y 2) *Aceites usados *Cultivos no alimentarios *CO₂ capturado con energía renovable *Residuos industriales	*Residuos agrícolas y forestales *Grasas animales (cat. 1, 2 y 3) *Aceites usados *Cultivos no alimentarios *Lodos de depuradora	*Residuos agrícolas y forestales *Grasas animales *Aceites usados *Cultivos energéticos (soja, maíz, camelina, etc.) *Azúcares y almidones	*Residuos agrícolas y forestales *Grasas animales *Aceites usados *Cultivos energéticos *Azúcares y almidones

Tabla N°17 Comparación de criterios de sostenibilidad para SAF

10. NORMATIVA VIGENTE EN CHILE PARA COMBUSTIBLES Y COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN.

La regulación chilena para el combustible de aviación se rige por las siguientes normas y decretos.

10.1. Normas Generales para los Combustibles.

10.1.1. Producción, Almacenamiento y Transporte.

Regulado en el Decreto 160 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción del año 2008, que establece requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir las instalaciones de **combustibles líquidos derivados del petróleo y biocombustibles**, en adelante e indistintamente CL, y las operaciones asociadas a la producción, refinación, transporte, almacenamiento, distribución y abastecimiento de CL que se realicen en tales instalaciones, así como las obligaciones de las personas naturales y jurídicas que intervienen en dichas operaciones, a objeto de desarrollar dichas actividades en forma segura, controlando el riesgo de manera tal que no constituyan peligro para las personas y/o cosas. Según lo anterior el kerosene de aviación estaría regulado en su producción, transporte, almacenamiento y distribución por este decreto

Este reglamento excluye de manera expresa de su competencia el “*suministro directo de aeronave*”, cuestión que se regula en el Documento Aeronáutico DAR 06 de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), que puede ser encontrado también bajo el nombre de “*Manual de Abastecimiento de Combustible para Aeronaves*” y que en su capítulo 2 numeral 2.15 regula el aprovisionamiento de combustibles a la aeronave.

En cuanto al registro de instalaciones, en la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) regulado por el DL N°1 de 1979, este igual lo circunscribe a las instalaciones que sirvan para producción, importación, exportación, refinación, transporte, distribución, almacenamiento, abastecimiento, regasificación o comercialicen **combustibles derivados del petróleo, biocombustibles líquidos**, hidrógeno y combustibles a partir de hidrógeno, gases licuados combustibles y todo fluido gaseoso combustible, como gas natural, gas de red y biogás.

10.1.2. Combustible de Aviación.

El Decreto 132 del Ministerio de Minería del año 1979 establece Normas Técnicas de Calidad y de Procedimiento de control aplicables al **Petróleo Crudo, y a los combustibles derivados de este**, reconoce al kerosene de aviación como derivado del petróleo y establece que la clasificación, características y especificaciones de estos productos, de origen nacional o importado, deberán someterse a las normas OFICIALES, actualmente vigentes, que han sido aprobadas por resolución del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción; a aquellas que en el futuro se oficialicen en la misma forma y a las disposiciones del presente decreto.

En tanto el Decreto Exento N°135 del año 2000, del Ministerio de Economía; Fomento y Reconstrucción declara oficiales a las normas chilenas que indica, y en lo que aquí interesa, declara oficial a la norma chilena NCH 1937.Of2000 Kerosene de aviación.

10.1.3. Norma Chilena de kerosene de aviación.

La norma de calidad de combustible de aviación en Chile, es la Norma Chilena 1937.Of2000 Kerosene de aviación.

Los requisitos de esta norma se aplican a los tipos específicos de combustibles denominados kerosene de aviación para uso civil, que se incluyen en esta norma.

Se trata de una homologación de la norma ASTM D 1655-98b “*Standard Specification for Aviation Turbine Fuels*”, con grado idéntica, la que debe aplicarse en forma completa teniendo presente que el uso de estos combustibles en Chile debe ajustarse a las especificaciones mundiales que se aplican según la norma ASTM citada, en su más reciente edición.

La norma chilena, es expresa en indicar que debe utilizarse la más reciente edición de la norma ASTM D1655, por su parte, la más reciente edición de la norma ASTM D1655-24b de diciembre de 2024, reconoce de manera expresa que, los combustibles para turbinas de aviación con componentes sintéticos producidos de conformidad con la Especificación ASTM D7566 cumplen los requisitos de la Especificación D1655.

Sin embargo, y por principio de legalidad, al encontrarse circunscrito el combustible de aviación a los derivados del petróleo según el Decreto 132, únicamente es posible considerar aquellos combustibles derivados del petróleo que se reconozcan en la

norma ASTM D1655, despreciando todos aquellos que tengan un origen renovable o sintético.

10.1.4. Importación de combustibles de aviación.

La importación de combustible de aviación a Chile se regula principalmente bajo normas aduaneras, tributarias y sectoriales específicas. En términos de código arancelario, el combustible de aviación se clasifica en la Partida Arancelaria 27.10 del Arancel Aduanero de Chile⁵⁵, correspondiente a aceites de petróleo o de mineral bituminoso.

Para el combustible de aviación (Jet A1 o Avgas), los códigos más comunes son:

2710.1910. – Gasolina de aviación

2710.19.22. – Querosenos para turbinas de aviación (Jet Fuel)

10.1.5. Consideraciones ambientales del combustible de aviación.

Conforme dispone el artículo 10 letra ñ) de la Ley N°19.300 sobre Bases del Medio Ambiente, los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, que deberán someterse al sistema de evaluación de impacto ambiental, “ñ) *Producción, almacenamiento, transporte, disposición o reutilización habituales de sustancias tóxicas, explosivas, radioactivas, inflamables, corrosivas o reactivas;*”

Por su parte, el artículo tercero del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental indica los proyectos o actividades, que deberán someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y en su letra ñ.3 indica la producción, disposición o reutilización de sustancias inflamables que se realice durante un semestre o más, y con una periodicidad mensual o mayor, en una cantidad igual o superior a ochenta mil kilogramos diarios (80.000 kg/día). Capacidad de almacenamiento de sustancias inflamables en una cantidad igual o superior a ochenta mil kilogramos (80.000 kg). Para este reglamento se entenderá por sustancias inflamables en general, aquellas señaladas en la Clase 2, División 2.1, 3 y 4 de la NCh 382. Of 2004, o aquella que la reemplace.

De esta forma, la producción de SAF es una actividad que debe ser evaluada ambientalmente, sea a través de una Declaración de Impacto Ambiente (DIA) o una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), dependiendo de las particularidades propias

⁵⁵ <https://www.aduana.cl/arancel-aduanero-vigente/aduana/2016-12-30/090118.html>

de cada proyecto y su emplazamiento. Deberá cumplir con los demás permisos sectoriales necesarios y ubicarse un área donde el instrumento de planificación territorial permita la actividad.

10.1.6. Régimen tributario del Combustible de aviación.

El combustible de aviación en Chile no se encuentra afecto al impuesto específico a los combustibles, establecido en la Ley N°18.502, toda vez que ésta, en su artículo 6°, grava en beneficio fiscal a las gasolinas automotrices y el petróleo diésel.

Consecuentemente, el combustible de aviación no es considerado parte del Mecanismos de estabilización de precios de los combustibles creado por la Ley 20.765.

11. BRECHAS NORMATIVAS PARA LA INDUSTRIA DEL SAF EN CHILE.

11.1. Definición de combustible y combustible de aviación renovable, sea de origen biológico o no biológico.

La principal brecha normativa que se observa en la regulación nacional para albergar al SAF, es que, tanto la regulación de los combustibles líquidos y biocombustibles, como la regulación del combustible de aviación, se circunscriben a productos derivados del petróleo, y en el caso de los biocombustibles, circunscrito solo a biodiesel y bioetanol⁵⁶.

En efecto, el Reglamento de seguridad para las instalaciones y operaciones de producción y refinación, transporte, almacenamiento, distribución y abastecimiento de combustibles líquidos (Decreto 160), es claro en su tenor literal, **estableciendo los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir las instalaciones de combustibles líquidos derivados del petróleo y biocombustibles**. Énfasis agregado.

Bajo el referido Decreto 160, los combustibles líquidos derivados del petróleo son una mezcla de hidrocarburos, mientras que para los biocombustibles considera únicamente al biodiesel y bioetanol producidos a partir de la biomasa.

⁵⁶ Art. 2° Decreto 160.

En tanto, el **Decreto 132 reconoce al kerosene de aviación como un combustible derivado del petróleo** circunscribiendo éste a esa tipología, excluyendo en consecuencia el combustible de aviación de otro origen que no sea derivado del petróleo.

En consecuencia, nuestro ordenamiento jurídico, no considera de manera expresa la posibilidad que exista un combustible líquido sea de origen biológico o no biológico, que pueda ser utilizado en la industria de la aviación.

Si bien el SAF producido con hidrógeno verde, a través de la vía FT si pudiera estar considerado como un combustible, incluso así no sería considerado un combustible de aviación, mucho menos aquel producido por la vía PtL a través de metanol, que aún no se encuentra aprobada, según se explica en el numeral 6.4.1. de este trabajo.

Es importante destacar que los Países como Estados Unidos, Brasil y la Unión Europea, al momento de adoptar las metas de reducción de GEI de la OACI a través del uso del SAF, ya contaban en sus ordenamientos jurídicos con la definición de combustibles alternativos, o combustibles renovables de origen biológico u origen no biológico, lo cual finalmente permite al SAF en una condición *drop-in* contar con un marco normativo para su producción y uso.

11.2. Criterios de sostenibilidad.

Asimismo, para avanzar en la implementación de la producción y uso de SAF en Chile se deben definir claramente los criterios de sostenibilidad que aplicarán a la materia prima utilizada en su elaboración, los cuales debería tender a una homogeneidad con el plano internacional y CORSIA de modo de garantizar el comercio y uso internacional del SAF.

11.3. Recursos económicos.

Otra brecha que es posible detectar respecto de los países en estudio, son los recursos que éstos han destinado para la investigación y desarrollo de la industria del SAF, cuestión que escapa a la realidad económica de Chile y sus prioridades.

12. CONCLUSIONES.

De la revisión normativa internacional para la producción y uso del SAF y se contraste con la regulación nacional sobre combustibles líquidos o combustibles de aviación, es posible concluir lo siguiente:

I. Las normas de calidad de combustibles de aviación es una materia eminentemente técnica, regulada por estándares internacionalmente aceptados por la OACI principalmente por aspectos de seguridad de la aviación, a los cuales los países adscriben, sin espacio para este respecto a que innoven y determinen sus propios estándares de calidad de combustible de aviación, fuera de los estándares internacionales antes mencionados. Lo anterior cobra relevancia si se quiere garantizar de forma internacional la seguridad en la aviación. Es necesario que todos los países involucrados tengan la misma comprensión y requerimientos de calidad que garanticen los vuelos de naturaleza internacional.

II. En materia de SAF, las vías de producción están expresamente definidos en la norma ASTM D7566, en sus Anexos 1 al 8, así como también los co-procesados a los que refiere la norma ASTM D1655, mientras que las materias primas utilizadas también están definidas en estas normas, como se indica en la Tabla N°2 de este informe. No solo aspectos técnicos y de calidad definen un SAF, sino también los criterios de sostenibilidad de las materias primas sean estos aquellos determinados por CORSIA o adoptados por cada país, lo cual en todo caso siguen un esquema homogéneo. Sobre lo vinculante o no de los criterios de sostenibilidad CORSIA, estos no son vinculantes para los países, pero el adoptarlos o la adopción de criterios homogéneos a CORSIA garantiza la posibilidad de contabilizar el su uso del SAF en el esquema de reducción de emisiones de GEI de CORSIA, así como favorece su comercio internacional.

III. Actualmente la norma ASTM D7566 define 8 métodos de producción, mientras que la norma ASTM D1655 considera 3 métodos para co-procesados, sin embargo en opinión del consultor se incorporaran gradualmente nuevos métodos de producción autorizados, debido a que existe una norma ASTM D4054 la cual establece el procedimiento para incorporar nuevas métodos de producción y se han desarrollado nuevas tecnologías más eficientes para producir SAF que actualmente no están autorizadas, y que permitirán cumplir la meta de producir SAF en forma competitiva.

IV. Los combustibles de aviación elaborados y certificados en base a la norma ASTM D7566, pueden ser redefinidos como combustibles de aviación Jet A o Jet

A-1 bajo las normas ASTM D1655 y Def Stan 91-091, sin que sea necesaria una doble certificación.

V. El ordenamiento jurídico chileno no considera la existencia de combustible de aviación de origen renovable, ya que los circunscribe sólo a los derivados del petróleo.

VI. El único atributo en la utilización de SAF, a pesar de que puede llegar a ser hasta 3 veces más costoso, se justifica por su capacidad de contabilizar la reducción de GEI en la industria de la aviación, motivo por el cual los criterios de sostenibilidad y reducción de emisiones que cada país defina para la materia prima deben ser estrictamente certificados por instituciones acreditadas.

VII. El desarrollo del SAF en los países analizados ha dependido fuertemente de las políticas, incentivos económicos y programas de financiamiento de los gobiernos, lo que puede ser una barrera para el desarrollo del SAF en Chile, debido a que nuestro país tiene recursos limitados generados por nuestra economía, en vías de desarrollo, y tienen otras prioridades más urgentes de inversión.

VIII. Los estados deben crear los incentivos e imperativos regulatorios que permitan el desarrollo de la industria del SAF y su uso en la aviación.

IX. Del análisis normativo de los países, hemos encontrado que todos ellos definen SAF, incorporando criterios de calidad establecidos por normas internacionales y criterios de sostenibilidad basados en los criterios de CORSIA, por ello podemos concluir que en Chile es necesario definir el SAF, que incluya los criterios de calidad internacionalmente aceptados, y criterios que adopta CORSIA para los combustibles elegibles que engloben a los combustibles renovables de origen biológico y no biológicos. Esto es relevante si se quiere lograr la coherencia y reconocimiento en el plano internacional. Se debe considerar que uno de los Pilares de una Buena Regulación⁵⁷ es el pilar de la “Coherencia” bajo el cual es necesario evaluar la nueva regulación según su interrelación al marco normativo nacional vigente y estándares internacionales, evitando duplicidades y Contradicciones.

X. No existe espacio para que los países definan normas de calidad del SAF debido a que estos están definidos por requerimientos internacionales a diferencia de los criterios de sostenibilidad que pueden llegar a ser definidos por cada país. Esto tiene su lógica en la naturaleza internacional de la aviación comercial, en que los vuelos despegan de un país cargados de combustible, aterrizan en otro país y vuelven

⁵⁷ Guía Chilena para una Buena regulación. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. 2019

a despegar. Es necesario en consecuencia que en todos esos países se entienda lo mismo por calidad del combustible de aviación.

XI. En los países analizados el desarrollo del SAF ha cumplido requerimientos técnicos, pero además aspectos de sostenibilidad al menos los relativos a reducciones de CO₂ y uso sostenible de recursos.

XII. Una vez certificado el SAF por las normas internacionales de aviación en el punto de almacenamiento de producción, las actividades posteriores de transporte, distribución y almacenamiento serán las normas que rigen los combustibles fósiles del respectivo país.

Para la revisión de normativa USA

I. La producción de biocombustibles en USA tiene una regulación flexible que permite incorporar tanto nuevas materias primas como procesos de producción de biocombustibles sujetos a la aprobación de la EPA. asignándole una estandarización a códigos previamente definidos en base a materias primas, proceso y reducción de GEI.

II. La especificación del combustible de aviación está referida en las normas internacionales de aviación como ASTM 1655 y ASTM 7566, lo que permite que modificaciones posteriores de estas normas modifican automáticamente las especificaciones del país.

III. El SAF es considerado sustancia peligrosa lo que permite aplicar las normativas generales de los combustibles fósiles para la logística, almacenamiento y distribución.

IV. Las materias primas posibles de utilizar para producir biocombustibles no están limitadas por criterios de uso de suelo para cultivo de alimentos a diferencia de otros países como la UE los cuales tienen una mayor exigencia para uso del suelo.

Para la revisión de normativa de BRASIL

I. La norma de la especificación técnica del combustible de aviación incorporó el combustible de aviación alternativo denominado Jet C, que incluye 7 biocombustibles equivalentes a las especificaciones establecidas en la norma ASTM 7566, lo que limita nuevas rutas de producción de biocombustible de aviación y proporción en las mezclas en Brasil.

- II. Se establece normativa para definir las materias primas elegibles para la producción de biocombustibles.

Para la revisión de la normativa en la UE.

- I. Existen normas que reconocen la existencia de combustibles renovables de origen biológico como no biológico (RED II) lo que ha permitido la introducción del SAF sin requerir de modificaciones legales que lo reconozcan.
- II. Existe una fuerte preocupación por el uso del suelo, y es por ello que los criterios de sostenibilidad adoptados por la UE son muy restrictivos para el uso de biomasa o cultivos agrícolas que compitan con cultivos alimenticios.
- III. Los estándares de calidad utilizados por los estados miembros de la Comunidad Europea para el combustible de aviación comercial y SAF varían de ASTM1655, ASTM7566 y Def Stan sin perjuicio de cual ambos estándares se reconocen el uno al otro no siendo necesaria una doble certificación.

Para la revisión de la normativa en Singapur

- I. Singapur adopta todas las definiciones del ámbito internacional aceptados por la OACI y CORSIA en toda la cadena de valor de producción de SAF.
- II. Sus políticas están orientadas en importar materia prima y SAF para lograr sus metas de incorporación de combustible sustentable.

13. RECOMENDACIONES.

I. En base a la facultad de interpretación normativa entregada a la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) en la Ley N°18.410, artículo tercero N°34 se recomienda partir por realizar una consulta de interpretación normativa a la SEC, para que esta interprete el alcance del concepto “derivados del petróleo” al que se refiere tanto el Decreto 160 como el Decreto 132, para que esta interprete el concepto “derivados del petróleo”, y si aplicado a un lote particular este debe ser un derivado del petróleo total o parcialmente y hasta cuando se podría aceptar ser un derivado parcial del petróleo, sin perder esta condición.

II. En caso de que la interpretación de la SEC sobre la consulta referida en el número anterior sea que la totalidad del combustible debe ser un derivado del petróleo entonces se recomienda analizar la modificación del Decreto 132 del Ministerio de Minería del año 1979, en su artículo primero, para introducir en él posibilidad que existan combustibles de aviación con un origen distinto del petróleo, tales como combustibles de aviación de origen sintético, sea biológico o no biológico.

III. Modificar el Decreto 160/2009 sobre combustibles líquidos para permitir combustibles líquidos renovables, de origen biológico o no biológico. Se deberá modificar su artículo primero para hacer aplicable sus disposiciones a combustibles líquidos que no sean derivados del petróleo, como aquellos combustibles sintéticos de origen renovable, sean biológicos o no biológicos. También se debería modificar su artículo segundo, para considerar como biocombustibles otros distintos del biodiesel y bioetanol.

IV. Modificar el Decreto Ley N°2.224/1978, que crea las competencias en el sector energía, para incorporar en su artículo tercero, combustibles líquidos renovables sean de origen biológico o no biológico. También en este punto se podría solicitar la interpretación formal y vinculante a la SEC, para que ésta defina si en el concepto “demás fuentes energéticas” que considera el citado artículo, se comprende el SAF u otros combustibles renovables.

V. Modificar el Decreto con Fuerza de Ley N°1/1979. Ministerio de Minería, para en su artículo segundo incorporar los combustibles renovables de origen biológico o no biológico.

VI. Definir con Ministerio de Medio Ambiente los criterios de sostenibilidad y reducción de GEI para las materias primas utilizadas en la producción de SAF. Si bien

como se explicó anteriormente, cada país puede definir sus criterios de sostenibilidad, conforme se puede apreciar en el cuadro comparativo de la Tabla N° 17, tanto los criterios de sostenibilidad como las materias primas autorizadas, tienden a ser homogéneos en todos ellos, bajo la lógica de calificar en esquemas internacionales de contabilidad de reducción de GEI. En este orden de ideas, parece aconsejable adoptar derechamente los criterios de sostenibilidad de CORSIA, salvo que alguno particular de ellos presente oposición con los objetivos y necesidades del país.

VII. Adoptar como norma oficial, a través del INN la norma ASTM D7566 para la producción de SAF, en su versión más actualizada. En consideración a los bajos niveles de producción local de combustible de aviación fósil en comparación a la producción mundial, no se justifica la elaboración de una normativa técnica detallada, por ello es recomendable asumir la totalidad de la norma propuesta.

VIII. No se advierte necesario modificar la forma como está construida la norma Chilena, NCH 1937.Of 2000, Kerosene de aviación, ya que considera la última modificación de la ASTM D1655, que en su versión más actualizada reconoce la norma ASTM D7566.

14. BIBLIOGRAFÍA.

A continuación, se enumeran los textos y antecedentes revisados en el presente trabajo, que soportan lo expuesto y fundamentan las conclusiones y recomendaciones.

Asimismo, con el objeto de dotar al lector y mandante de este trabajo de materiales de trabajo y análisis, se acompaña para cada fuente el link de descarga.

1. ReFuelEU Aviation Handbook. September 2024. Version 1. International Air Transport Association
<https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/refuel-eu-aviation-handbook.pdf>
2. Understanding SAF Sustainability Certification. Guidance document on requirements and criteria for sustainability certification. June 2024. IATA.
https://www.iata.org/contentassets/0bf212bfc0548f2b6ad4c1e229f7e94/guidance-document-on-saf-sustainability-certification-v0.41_rm-indepth.pdf
4. ICAO Document. CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels. International Civil Aviation Organization. November 2022.
https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA_Eligible_Fuels/ICAO%20document%2005%20-%20Sustainability%20Criteria%20-%20November%202022.pdf
5. ICAO Document CORSIA Approved Sustainability Certification Schemes. International Civil Aviation Organization. October 2024.
https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA_Eligible_Fuels/ICAO%20document%2004%20-%20Approved%20SCSs%20-%20October%202024.pdf
6. Fact Sheet 2. Sustainable Aviation Fuel: Technical Certification. IATA.
<https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-technical-certifications.pdf>
7. Fact Sheet 5 Sustainable Aviation Fuels. SAF – Sustainability Considerations. IATA.
<https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-and-sustainability.pdf>

8. Understanding SAF Sustainability Certification. Guidance document on requirements and criteria for sustainability certification. June 2024. IATA. https://www.iata.org/contentassets/0bf212bfc0548f2b6ad4c1e229f7e94/guidance-document-on-saf-sustainability-certification-v0.41_rm-indepth.pdf
9. IATA Sustainable Alternative Fuel—Advocacy. First edition. IATA <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/safa-1st-edition-2015.pdf>
10. Policy SAF Deployment. IATA. <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-policy-2023.pdf>
11. ReFuelEU Aviation Handbook. September 2024. Version 1. IATA. <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/refuel-eu-aviation-handbook.pdf>
12. Fact Sheet: EU and US policy approaches to advance SAF production. IATA. <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/fact-sheet---us-and-eu-saf-policies.pdf>
13. Singapore Sustainable Air Hub Blueprint. CAAS. Febrero 2024. <https://www.caas.gov.sg/docs/default-source/docs---so/singapore-sustainable-air-hub-blueprint.pdf>
14. Third Conference on aviation and alternative fuels (CAAF/3). Dubai. United Arab Emirates, 20 to 24 november 2023. International Civil Aviation Organization. <https://www.icao.int/Meetings/CAAF3/Documents/CAAF.3.WP.026.2.en.pdf>
15. Marco Mundial OACI para SAF, LCAF y otras energías más limpias para la aviación (Adoptado por la CAAF/3 el 24 de noviembre de 2023). https://www.icao.int/Meetings/CAAF3/Documents/ICAO%20Global%20Framework%20on%20Aviation%20Cleaner%20Energies_24Nov2023_SP.pdf
16. Resoluciones adoptadas por la asamblea. Edición provisional octubre de 2022. Asamblea 41º Periodo de sesiones. Montreal, 27 de septiembre – 7 de octubre de 2022. ICAO. https://www.icao.int/Meetings/a41/Documents/Resolutions/a41_res_prov_es.pdf
17. ICAO Guidance on Policy Measures for Sustainable Aviation Fuels (SAF) Development and deployment. ICAO Committee on Aviation Environmental Protection.

October 2024. <https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/SAF/Guidance%20on%20SAF%20policies%20-%20Version%203.pdf>

18. Orden TMA/692/2020, de 15 de julio, por la que se aprueban normas técnicas aplicables al suministro de combustible a aeronaves de aviación civil. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. España 02/01/2021. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2020-8554>

19. Sustainable Aviation Fuel (SAF) Background on SAF. Annex 2. CAAS. <https://www.caas.gov.sg/docs/default-source/default-document-library/annex-2---saf-factsheet.pdf>

20. Sustainable Aviation Fuel Blending and Logistics. September 2024. National Renewable Energy Laboratory. <https://www.nrel.gov/docs/fy24osti/90979.pdf>

21. ICAO Assistance, Capacity Building and Training on SAF. ACT SAF #4. Helping Countries take action on the development and deployment of sustainable aviation fuels. Policies for SAF and cleaner energies. <https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ACT-SAF/ACT%20SAF%20series%204%20-%20SAF%20policies.pdf>

22. Sustainable Feedstock assessment for Sustainable Aviation Fuel Production in Southeast Asia. August 2024. Roundtable on Sustainable Biomaterial. https://rsb.org/wp-content/uploads/2024/09/rsb-sustainable-feedstock-assessment-saf-in-southeast-asia_executive-summary-1.pdf

23. SAF Grand Challenge Roadmap. Flight Plan for Sustainable Aviation Fuel. US Department of Energy. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-09/beto-saf-gc-roadmap-report-sept-2022.pdf>

24. Sustainable Aviation Fuels Guide. Versión 2. December 2018. ICAO. https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Sustainable%20Aviation%20Fuels%20Guide_100519.pdf

25. Availability of biomass feedstocks in the European Union to meet the 2035 ReFuelEU Aviation SAF target. Jane O ´malley and Chelsea Baldino. August 2024. https://theicct.org/wp-content/uploads/2024/08/ID-185-%E2%80%93Biomass-SAF_final.pdf

26. ECAC GUIDANCE on Sustainable Aviation Fuels (SAF). February 2023. European Civil Aviation Conference.

https://www.ecacceac.org/images/activities/environment/ECAC_Guidance_on_SAF_DGs_endorsed_HighRes.pdf

27. Guidance on potencial policies and coordinated approaches for the deployment os sustainable aviation fuel. ICAO Committee on aviation environmental protection. June 2022. <https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/SAF/Guidance%20on%20SAF%20policies%20-%20Version%201.pdf>

28. INFORME MEDIOAMBIENTAL DE LA AVIACIÓN EUROPEA 2025. EASA. https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/eaer-downloads/EASA_EAER_2025_BROCHURE_WEB_es_v2.pdf

29. Estándares globalmente aceptados. Taller sobre Difusión de Medidas de Protección del Ambiente en la Aviación Civil Internacional. Armenia, Edo de Quindo, Colombia. 05.05.2024. EASA. https://www.icao.int/SAM/Documents/2024-ENV-PROTECT-MEASURES/08%2020240402_EASA_EU-LAC-APP%20II%20_4aSAF_estandares.pdf

30. Fueling the Future. Sustainable Aviation Fuel Guide. Editio 2. 2020. Ibac. <https://ibac.org/assets/saf-guide-2020.pdf>

31. Estudio de Disponibilidad de Materia Prima y Fcatibilidad Técnica para la Producción de SAF en Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Mecánico. Fabián David Olave Pèrez. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Mecánica. Santiago 2023. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/198138/Estudio-de-disponibilidad-de-materia-prima-y-factibilidad-tecnica-para-la-produccion-de-SAF-en-Chile.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

32. Nota de Estudio CAAF/2-WP/17. Conferencia sobre la aviación y los combustibles alternativos. Ciudad de Mexico del 11 al 13 de octubre de 2017. <https://www.icao.int/Meetings/CAAF2/Documents/CAAF.2.WP.017.1.es.pdf>

33. New Sustainable Aviation Fuels (SAF) technology pathways under development By Steve Csonka (CAAFI1), Kristin C. Lewis (USA Volpe Center), Mark Rumizen (USA FAA). https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2022/ENVReport2022_Art49.pdf

34. Resolución Exenta N° 337/2024 CDL Licitación Santiago 26/08/2024.- información recopilada de documento “ Hoja de Ruta 2050 “

35. Annex16 - Environmental Protection, Volume IV, CORSIA.
<https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/SARPs-Annex-16-Volume-IV.aspx>.
36. Pagina Empresa Compañía Airbus.
<https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2021-07-power-to-liquids-explained>.
37. ETICC: 2da Sesión Taxonomía de Actividades Económicas Medioambientalmente Sostenibles para Chile, Autor Maria Paz Gutierrez , Agosto 2024.
<https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2024/09/2024-08-29-Presentacion-Taxonomias-verdes.pdf>.
38. Empresa Nacional del petróleo ENAP. <https://www.enap.cl/relaciones-comerciales/productos/kerosene-de-aviacion>.
39. Pagina European Commission Energy.
https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/voluntary-schemes_en.
40. Document “flightpath to aviation biofuel action plan 2013” an initiative of Boeing/Embraer/ FAPESP and UNICAMP.
<https://agroicone.com.br/uploads/2015/02/flightpath-to-aviation-biofuels-brazil-action-plan.pdf>.
41. Pagina web Bonsucro is the global sustainability platform for sugarcane.
<https://bonsucro.com/>.
42. Pagina Web EPA, United States Environmental Protection Agency
<https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/what-fuel-pathway>
43. Pagina Web: BRD Biomass Research & Development, Sustainable Aviation Fuel Grand Challenge Roadmap. <https://biomassboard.gov/sustainable-aviation-fuel-grand-challenge-roadmap>

Anexo N°1 Programa Grand Desafío SAF (Sustainable Aviation Fuel Grand Challenge)

Departamento de Transporte de los EE. UU. (DOT), el Departamento de Agricultura de los EE. UU. (USDA) y otras agencias del gobierno federal para desarrollar una estrategia integral para ampliar nuevas tecnologías para producir combustibles de aviación sostenibles (SAF) a escala comercial.

El Gran Desafío SAF guiará las acciones federales para apoyar a la industria a reducir el costo, mejorar la sostenibilidad y expandir la producción y el uso de SAF para cumplir los siguientes objetivos:

Una reducción mínima del 50% en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) durante el ciclo de vida en comparación con el combustible convencional.

3 mil millones de galones por año de producción nacional de SAF para 2030.

Al menos 35 mil millones de galones por año de producción nacional de SAF para satisfacer el 100% de la demanda interna en 2050.

Desde que se anunció el Gran Desafío SAF, la producción nacional y las importaciones anuales de SAF han crecido de 5 millones de galones en 2021 a 93 millones de galones hasta septiembre de 2024.

Según una base de datos de proyectos activos, se estima que para 2030 se producirán entre 2600 y 4900 millones de galones de SAF por año, lo que creará un camino claro para lograr el objetivo a corto plazo del Gran Desafío de SAF. A continuación, se incluye más información sobre la producción de SAF en EE. UU., las reducciones anuales de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivadas de SAF y el potencial de producción de SAF.

Según los valores del Número de Identificación Renovable (RIN) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), la producción nacional anual y las importaciones de SAF crecieron de 5 millones de galones en 2021 a 26 millones de galones en 2023; se han producido e importado 93 millones de galones hasta septiembre de 2024 .

Hasta septiembre de 2024, SAF se basa predominantemente en la conversión de materias primas de grasas, aceites y grasas a través del proceso de ésteres y ácidos grasos hidroprocesados (HEFA).

Según informes públicos, los principales productores comerciales en este período incluyen World Energy, Montana Renewables, Sinclair y Neste Oil.

Con base en suposiciones sobre las materias primas de grasa, aceite y sebo utilizadas para generar RIN SAF históricos, las reducciones de GEI del ciclo de vida varían entre el 50% y el 80% en comparación con el combustible para aviones convencional .

Para 2023, esto corresponde a reducciones en las emisiones de GEI de aproximadamente 200.000 toneladas métricas de CO₂e (CO₂e) .

Se han logrado reducciones de emisiones de GEI de más de 300.000 toneladas métricas de CO₂e hasta septiembre de 2024.

Según una base de datos de proyectos activos, se podrían producir entre 2.600 y 4.900 millones de galones de SAF por año para 2030, lo que crea un camino claro para alcanzar el objetivo a corto plazo del Gran Desafío SAF.⁵⁸

Este volumen es predominantemente capacidad de diésel renovable (RD) que podría trasladarse a SAF en condiciones políticas y de mercado favorables.

Históricamente, muy poca producción de combustibles alternativos se ha trasladado a la producción de combustibles de aviación comercial. La Iniciativa de Combustibles Alternativos para la Aviación Comercial (CAAFI), una iniciativa conjunta entre la Administración Federal de Aviación del DOT y la industria de la aviación comercial, está haciendo un seguimiento de la intención de producir más de 2 mil millones de galones por año de combustibles alternativos para aviación comercial para fines de 2028 y está trabajando con 200 productores potenciales de combustibles alternativos para aviación comercial en sus esfuerzos de planificación de comercialización.

Descripción de materias primas a utilizar en el futuro para producir SAF

a.- Lípidos

Se debe estudiar una amplia variedad de lípidos, incluidos, entre otros, los cultivos de semillas oleaginosas (incluidas la soja y la canola), los cultivos de cobertura de semillas oleaginosas, los desechos alimentarios (por ejemplo, aceite de cocina

⁵⁸ <https://biomassboard.gov/sustainable-aviation-fuel-grand-challenge-progress>

usado/grasa marrón), el aceite de maíz de destilería y la grasa/sebo animal.

b.- Residuos sólidos urbanos

Los residuos sólidos urbanos son una materia prima potencialmente importante para los residuos sólidos urbanos desde la perspectiva de la abundancia, los bajos costos y la reducción de otros desafíos ambientales asociados con los métodos de eliminación actuales. Además, los residuos sólidos urbanos son un recurso que no requiere el uso de tierras cultivables o tierras para la producción de alimentos. Se necesita I+D en materia de recolección, clasificación, descontaminación y reducción del costo de eliminación o reciclaje de residuos no biogénicos. Es necesario optimizar las estrategias y tecnologías para aumentar la cantidad y la pureza de los recursos de desechos que se pueden recolectar a un costo reducido y la CI para su uso como materia prima para residuos sólidos urbanos.

c.- Residuos agrícolas

Los residuos agrícolas, como el rastrojo de maíz, son prometedores como materia prima que se puede obtener a una escala que respalde significativamente la expansión de la producción de residuos sólidos urbanos. La I+D necesaria incluye estrategias de recolección mejoradas, tecnologías y demostraciones que reducen los costos, mejoran o no dañan el rendimiento de los cultivos posteriores, mejoran la calidad del suelo y el agua y optimizan la biodiversidad.

d.-Biomasa leñosa, residuos de operaciones forestales y desechos de aserraderos

La biomasa leñosa es una materia prima clave disponible a escala donde la cosecha, el manejo y el almacenamiento se entienden bien. Sin embargo, se necesita I+D en paradigmas de recolección y manejo forestal rentables que permitan el uso de mayores cantidades de aclareos de salud forestal sostenibles,

residuos de operaciones forestales (por ejemplo, corteza y tala) y material de mitigación de incendios forestales. Se deben optimizar las estrategias,

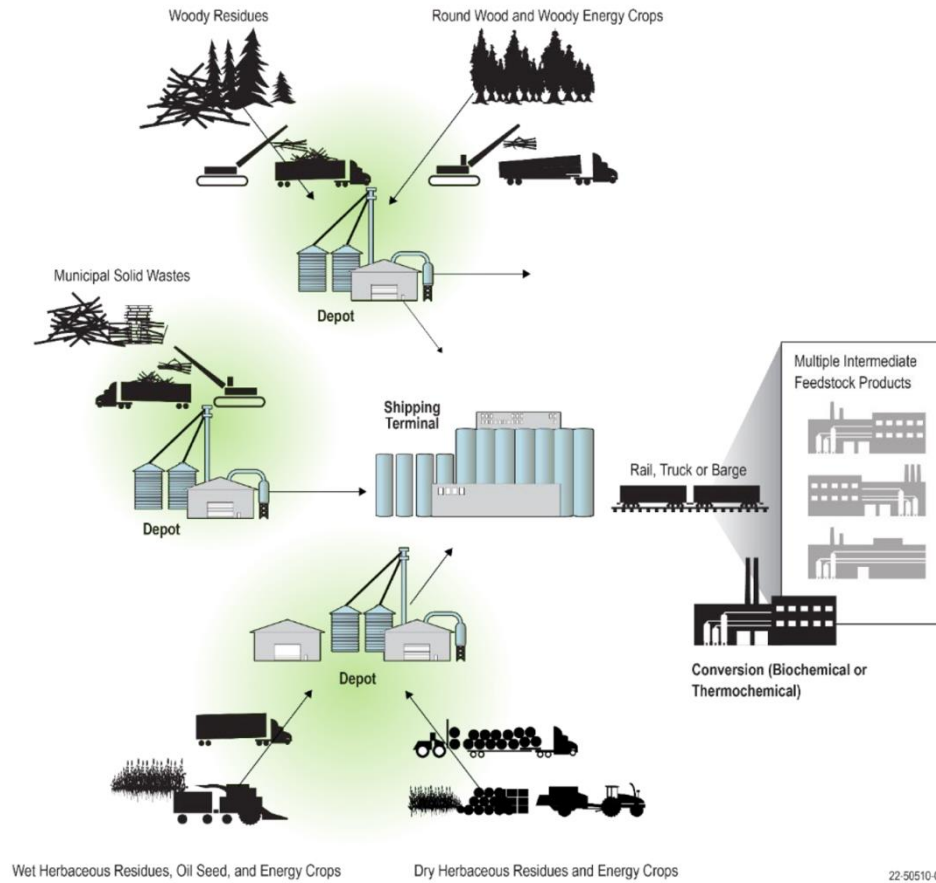
tecnologías y demostraciones que aumenten la cantidad de biomasa leñosa disponible al tiempo que mejoran la salud forestal y reducen el riesgo de incendios forestales. Además, se necesita I+D similar para reducir el costo y mejorar la calidad de la materia prima a base de madera de los desechos de paisaje, construcción y demolición.

e.- Cultivos energéticos dedicados

Se han destinado importantes fondos y recursos a los sistemas que utilizan cultivos energéticos dedicados (por ejemplo, la Asociación Regional de Materias Primas del Departamento de Energía (DOE)²⁶, la Biblioteca de Materias Primas de Bioenergía del Laboratorio Nacional de Idaho²⁷, el Programa de Desarrollo de Materias Primas de Biocombustibles del Laboratorio Nacional de Oak Ridge²⁸, el Centro de Innovación en Bioenergía de la Oficina de Ciencias del DOE²⁹ y los Proyectos Agrícolas Coordinados del Instituto Nacional de Alimentos y Agricultura del USDA³⁰), pero aún se necesitan mejoras genéticas, optimización de la producción y la gestión, así como una mejor logística. Se necesitan ensayos/demostraciones de producción regional a largo plazo para cultivos energéticos dedicados (por ejemplo, pasto varilla, miscanthus, caña de azúcar, álamos híbridos y cultivos de semillas oleaginosas seleccionados). Se necesitan ensayos de producción de microalgas y macroalgas y escenarios de procesamiento rentables para que estas materias primas acuáticas alcancen su potencial como materias primas dedicadas a la biomasa/aceite.

f.- Residuos húmedos, gases industriales y residuales, conversión de energía en líquido (Power to liquid)

Los lodos de aguas residuales municipales, el estiércol de ganado y aves de corral, y los residuos industriales de procesamiento húmedo y de alimentos se pueden procesar para obtener gas natural renovable (metano) que se puede utilizar para la producción de energía, hidrógeno renovable, fertilizantes y producción de SAF y coproductos. Aunque los sistemas de digestión anaeróbica para el estiércol animal no son poco comunes, se necesita I+D para permitir la digestión o co-digestión sostenible y económica de otras materias primas metanogénicas. Es necesario explorar paradigmas logísticos en relación con la integración y la co-ubicación con las instalaciones de procesamiento/recolección existentes. El CO₂ y el monóxido de carbono generados industrialmente también tienen potencial como materias primas de SAF cerca y después de 2030. Más adelante, pero en desarrollo por la industria, está la captura directa del CO₂ atmosférico en el aire. La conversión de energía en líquido (es decir, PtL, e-fuels) también está en desarrollo.



22-50510-02

Anexo 2.- Antecedentes de códigos y estándares de SAF

Una vez el combustible de aviación Jet A o Jet A1 es mezclado con el combustible sintético elaborado con las tecnologías autorizadas, cumpliendo además con los criterios de sostenibilidad y reducción de GEI, en los porcentajes de blending autorizados, se trata de un SAF que esta apto para nuevamente ser mezclado con combustible de aviación y acreditar el cumplimiento de la norma ASTM D1566, similar a la norma Def Stan 91-091.

Al combustible de aviación fruto de la mezcla con SAF le aplican los mismos códigos, estándares y guías que regulan la utilización de combustibles de aviación, consecuencia directa del concepto “drop in” que se les aplica a los combustibles de aviación.

Se entrega en documento Excel el contenido de los códigos y estándares de la industria.