



AERONÁUTICA CIVIL  
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL

# >> CIELOS LIMPIOS <<



## **Economía y Aviación para la vida:**

**Hoja de Ruta de los Combustibles  
Sostenibles de aviación en Colombia**

Gobierno del cambio

*Cielos limpios, Economía y Aviación para la vida: Hoja de Ruta de los Combustibles Sostenibles de Aviación en Colombia*

*Modificaciones al documento*

| Versión<br>Número   | Origen de la<br>modificación  | Resumen de la modificación  | Área que propone la<br>modificación y fecha<br>de aceptación   |
|---------------------|---|---|--|
| Edición<br>original | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bases del Plan Nacional de Desarrollo</li> <li>- Ley 2099 de 2021 (ley de transición energética)</li> <li>- Ley 2169 de 2021 (ley de acción climática)</li> <li>- Insumos de Ecosistema SAF</li> </ul> | Se formula el documento “Cielos limpios, Economía y Aviación para la vida: Hoja de Ruta de los Combustibles Sostenibles de Aviación en Colombia” el cual contiene lineamientos y acciones sobre para habilitar la producción, distribución e implementación de los combustibles sostenibles de aviación – SAF en Colombia adopta y se incorpora a los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia. | <p><b>Solicitado por:</b><br/>Oficina de Analítica</p> <p><b>Aprobada el:</b><br/>XX/XX/XXXX</p> <p><b>Aprobada por:</b><br/>Consejo directivo de la UAEAC</p> |

## Tabla de Contenido

|   |    |
|---|----|
| Resumen ejecutivo .....   | 5  |
| 1. Introducción.....  | 8  |
| 2. Contexto técnico sobre los Combustibles Sostenibles de Aviación (SAF) .....  | 9  |
| 2.1. ¿Qué son los SAF? .....  | 9  |
| 2.2. Procesos de conversión y materias primas.....  | 10 |
| 2.3. Especificaciones de calidad .....  | 14 |
| 2.4. Criterios de sostenibilidad de los SAF .....   | 15 |
| 2.5. Contexto global en la reducción de emisiones GEI .....   | 17 |
| 2.5.1 Ejemplos relevantes del contexto internacional .....  | 18 |
| 3. Los combustibles sostenibles de aviación en Colombia.....  | 20 |
| 3.1. Panorama del sector aéreo en Colombia .....  | 20 |
| 3.2. Panorama de materias primas en Colombia .....  | 22 |
| 3.3. Panorama de Colombia en biocombustibles y futuro desarrollo de SAF..   | 24 |
| 3.4. Regulación actual aplicable al SAF en Colombia.....  | 25 |
| 3.5. Metodología de creación de la hoja de ruta: “Cielos limpios: aviación para la vida” .....  | 26 |
| 3.5.1. Mesas de trabajo .....   | 26 |
| 3.5.2. Análisis de Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas. ....  | 28 |
| a. Principales Debilidades:.....  | 29 |
| b. Principales Oportunidades .....  | 29 |
| c. Principales Fortalezas:.....   | 30 |
| d. Principales Amenazas.....  | 31 |
| 3.6. Estudios previos en Colombia.....  | 32 |
| a. “Decarbonizing Aviation in Latin America in a Sustainable way” (2024) realizado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés) con el apoyo de LATAM Airlines y Airbus..... | 32 |
| b. “Assessing the feasibility of SAF as a green market opportunity for oil palm in the Orinoquia” (2023) realizado por la empresa de consultoría ‘Ricardo’ y el Banco Mundial .....                           | 33 |
| 4. Hoja de Ruta de los SAF en Colombia.....   | 35 |
| 4.1. Aspiración 2035 y 2050.....  | 35 |
| 4.2. Pilares de la Hoja de Ruta.....  | 36 |
| Hoja de Ruta de los Combustibles Sostenibles de Aviación en Colombia   3  |    |

|      |  |    |
|------|--|----|
| a.   | Descarbonización del Sector Aeronáutico .....  | 37 |
| b.   | Desarrollo de una Industria Productiva y Sostenible.....   | 38 |
| c.   | Transformación e inclusión social .....  | 38 |
| 4.3. | Ejes y mapa de actuación .....   | 39 |
| a.   | Eje de actuación 1: Habilitadores jurídicos y regulatorios .....   | 42 |
| b.   | Eje de actuación 2: Instrumentos y señales de desarrollo y consolidación de la oferta nacional y demanda nacional e internacional de SAF ..... | 44 |
| c.   | Eje de actuación 3: Apoyo al despliegue de la cadena de suministro de SAF .....  | 45 |
| d.   | Eje de actuación 4: Impulso al desarrollo tecnológico, educativo e industrial.....   | 46 |
| e.   | Eje de actuación 5: Financiamiento e inversiones .....   | 47 |
| 4.4  | Gobernanza .....   | 47 |
| a.   | Estructura de gobernanza.....  | 47 |
| b.   | Funciones del Comité de Seguimiento: .....   | 48 |
| c.   | Indicadores de seguimiento: .....  | 48 |
| 5.   | Conclusiones.....  | 50 |
|      | Definiciones.....  | 52 |
|      | Siglas .....   | 55 |

## Resumen ejecutivo

La crisis climática actual, resultado de décadas de desarrollo basado en combustibles fósiles, demanda un cambio de paradigma hacia una economía más sostenible y socialmente justa. La descarbonización es esencial para evitar que algunos países se vean forzados a incrementar su deuda externa para enfrentar los efectos del cambio climático. En este contexto, los combustibles sostenibles de aviación (SAF) surgen como una herramienta clave para reducir las emisiones en el sector aéreo mediante el uso de recursos agrícolas y agroindustriales. En Colombia, el desarrollo del SAF fortalecería la agricultura, generaría empleo y apoyaría una economía basada en servicios ambientales. Este enfoque prioriza la seguridad alimentaria y la sostenibilidad, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. La hoja de ruta para el SAF ofrece un camino para reducir la huella de carbono del transporte aéreo, mientras se promueve el desarrollo económico y la equidad ambiental en el país.

Colombia ha avanzado en su política de transición energética hacia la diversificación de fuentes renovables para reducir emisiones en sectores clave como transporte, energía y manufactura. Sin embargo, aún enfrenta desafíos tecnológicos y de implementación en sectores como el aéreo. Por tal motivo el Gobierno Nacional, en las bases de su Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 *“Colombia Potencia Mundial de la Vida”* reconoce la necesidad de usar combustibles sostenibles de aviación (SAF, por sus siglas en inglés) como medida indispensable para sustituir combustibles fósiles y lograr los objetivos de cero emisiones netas a 2050 que se han propuesto desde La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), contribuyendo además a la reducción de Gases de Efecto Invernadero y a la descarbonización del transporte aéreo.

La descarbonización del sector aéreo es un esfuerzo originado por el Gobierno Nacional en cabeza de la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (Aerocivil), quien en este contexto ha promovido la producción e implementación de SAF, bajo la creación del programa Cielos limpios: Aviación para la vida. En el marco de este programa hemos reunido diferentes entidades gubernamentales quienes, en conjunto con Ecopetrol, empresas privadas, y agremiaciones de la industria de combustibles, aviación y materias primas, hacen parte del Ecosistema SAF. Con este ecosistema hemos desarrollado mesas de trabajo y talleres que han construido el insumo para la formulación de esta Hoja de Ruta, trabajando juntos para construir un camino hacia un futuro más limpio, más verde y sostenible en la aviación.

El presente documento surge como resultado del desarrollo de cinco (5) mesas técnicas y tres (3) talleres con actores claves de la cadena de combustibles líquidos que recogen la visión del SAF en Colombia basada en tres pilares: (1) Descarbonización del sector aeronáutico, (2) Desarrollo de una industria productiva

y sostenible y, (3) La transformación e inclusión social. Considerando estos pilares como bases de la integración del papel del SAF desde la promoción agroindustrial, la seguridad energética y el distintivo social en la integración de su cadena de valor.

En este marco global, se identificaron cinco ejes de actuación dirigidos a definir la implementación y promoción de la cadena de valor del SAF en Colombia, que serán desarrollados más adelante en este documento:

1. Habilitación regulatoria y jurídica
2. Instrumentos y señales de desarrollo y consolidación de la oferta nacional y la demanda nacional e internacional de SAF
3. Apoyo al despliegue de la cadena de suministro de SAF
4. Impulso al desarrollo tecnológico, educativo e industrial
5. Financiamiento e inversiones.

A partir de estos ejes, se establecen más de 30 acciones clave que conforman el mapa de actuación para un desarrollo dinámico y organizado del SAF en el país.

Estos esfuerzos, fueron complementados con dos estudios técnicos que han sido fuente de información esencial en la construcción de esta Hoja de Ruta, fueron socializados durante las mesas de trabajo y son listados a continuación:

- a. “Decarbonizing Aviation in Latin America in a Sustainable way” (2024) realizado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés) con apoyo de LATAM airlines y Airbus
- b. “Assessing the feasibility of SAF as a green market opportunity for oil palm in the Orinoquia” (2023) realizado por la firma consultora Ricardo Plc con apoyo del Banco Mundial.

En este sentido, y teniendo en cuenta las condiciones potenciales de Colombia para la producción de SAF, el Ecosistema ha determinado que la aspiración del país para 2035 es alcanzar una producción de al menos 100 millones de galones de combustibles sostenibles de aviación (SAF), y 450 millones de galones para 2050. Producción que se logrará utilizando una diversidad de materias primas y procesos tecnológicos, priorizando en las primeras etapas el coprocesamiento, el proceso HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) y el proceso ATJ (Alcohol-to-Jet) y evaluando el uso de otras tecnologías que puedan surgir.

Con estos esfuerzos, se busca consolidar la industria aeronáutica Colombiana como referente regional en materia de descarbonización del sector y de cumplimiento de los objetivos globales de sostenibilidad.

Finalmente, y en línea con la Hoja de Ruta de Transición Energética Justa que “orienta la transformación social, ecológica, económica y tecnológica que implica el tránsito de sistemas energéticos (...) hacia aquellos con un mayor protagonismo de las energías renovables, a la vez que se transita hacia una economía reindustrializada (...)”, el SAF para nuestro país buscará nuevas formas de

colaboración entre comunidades rurales y apoyará el desarrollo agroindustrial, para que la materia prima que será usada para la producción nacional de SAF sea fuente de cambio y nos lleve hacia una nueva realidad en nuestros territorios más apartados y vulnerables, al mismo tiempo aportando a las metas de descarbonización del sector aeronáutico.

BORRADOR

## 1. Introducción

El sector de la aviación es responsable del 2% de las emisiones globales de gases efecto invernadero (GEI)<sup>1</sup>, debido principalmente a su dependencia de combustibles fósiles. Para reducir su huella de carbono y enfrentar la crisis climática, la industria aérea cuenta con una canasta de medidas que incluye<sup>2</sup>:

- **Combustibles sostenibles de aviación (SAF):** reemplazar combustibles fósiles por combustibles renovables, de baja huella de carbono, y alineado con criterios de sostenibilidad” (ver definición completa en capítulo “Definiciones”).
- **Avances tecnológicos:** Aeronaves más eficientes y nuevas tecnologías como aviones eléctricos, híbridos, y propulsados por hidrógeno.
- **Operaciones e infraestructuras más eficientes:** optimización del tráfico aéreo y procedimientos operativos en aeronaves y aeropuertos.
- **Esquemas de compensación:** bonos de carbono o de captura y almacenamiento de carbono.

Entre estas alternativas, de acuerdo con expertos internacionales y diversos estudios y evaluaciones, el SAF tiene el mayor potencial de descarbonización, con la capacidad de reducir las emisiones de carbono hasta en un 80% a lo largo de su ciclo de vida en comparación con los combustibles fósiles tradicionales. Sin embargo, su producción a nivel mundial es limitada, alcanzando aproximadamente 300 millones de litros en 2022, lo que representa tan sólo una fracción del consumo total de combustibles de aviación. La implementación actual del SAF ocurre en una etapa temprana; sin embargo, se estima que experimentará un crecimiento exponencial, alcanzando aproximadamente 450 mil millones de litros para 2050.

El desarrollo de combustibles sostenibles de aviación en Colombia se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), priorizando la seguridad alimentaria y una producción equilibrada. Este enfoque promueve la democratización de la producción de energías limpias en el sector aéreo. La hoja de ruta propuesta busca establecer la infraestructura necesaria para que Colombia y otros países puedan avanzar hacia un transporte aéreo descarbonizado, ofreciendo una alternativa para reducir la deuda ambiental y contribuir a la mitigación del cambio climático global.

Este documento basa su información en los avances regulatorios, políticas de investigación y desarrollo, y creación de nuevas cadenas de valor para escalar la producción de SAF a nivel mundial. En el caso de Colombia, con más de 15 años de experiencia en la producción y uso de biocombustibles y un gran potencial agrícola, el Gobierno Nacional reconoce en esta oportunidad, una apuesta hacia la diversificación de la matriz energética, incorporando alternativas de movilidad sostenible, incluyente, resiliente y energéticamente eficiente a medida que

<sup>1</sup> IEA (2020). Tracking Aviation. Disponible en <https://www.iea.org/energy-system/transport/aviation>

<sup>2</sup> IATA (2024). Aviation Net-Zero CO<sub>2</sub> Transition Pathways. Comparative Review.

desarrolla una industria productiva y genera transformación e inclusión social, posicionándose como un líder regional en la adopción de combustibles sostenibles en la aviación.

En este contexto, el Ministerio de Transporte, a través de la Aerocivil y bajo el mandato del Señor Presidente de la República, y en disposición de la Ley 2169 de 2021 de Acción Climática, presenta esta Hoja de Ruta de los Combustibles Sostenibles de Aviación en Colombia. El documento presenta en primera instancia el contexto teórico sobre los aspectos técnicos de los SAF. Luego se aborda el desarrollo de esta industria en Colombia describiendo el sector aéreo y la metodología aplicada. Seguidamente, se presenta el análisis y la aspiración de la producción nacional de SAF. Finalmente se establecen los lineamientos para el desarrollo de la industria de SAF estructurados en tres pilares que a su vez se desarrollan a través de un mapa de actuación con cinco ejes estratégicos, buscando posicionar a Colombia como un actor destacado en el mercado global del SAF.

## 2. Contexto técnico sobre los Combustibles Sostenibles de Aviación (SAF)

### 2.1. ¿Qué son los SAF?

Los SAF se definen en el marco de CORSIA como combustibles aeronáuticos renovables o derivados de residuos que cumplen los criterios de sostenibilidad (ver sección 2.4.), establecidos por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)<sup>3</sup>. Según la Asociación de Transporte Aéreo Internacional<sup>4</sup> (IATA por sus siglas en inglés), los SAF se caracterizan por tres elementos claves: 1) cumplen criterios de sostenibilidad incluyendo la reducción de gases efecto invernadero (GEI), 2) utilizan materias primas alternativas al petróleo, 3) cumplen los requisitos técnicos y de certificación para su uso en aviones.

Las características químicas y físicas del SAF le permiten ser fungible o ‘drop in’<sup>5</sup> con los combustibles de aviación convencional (CAF por sus siglas en inglés). En consecuencia, pueden distribuirse a través de los sistemas existentes y ser utilizados en las aeronaves y motores certificados que actualmente operan con combustibles tipo Jet. La capacidad de integración de SAF 100% en los motores continúa en estudio y se estima que esta tecnología estará disponible en la próxima década.

---

<sup>3</sup> OACI (2023). Anexo 16. Plan de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA), Volumen IV. Consulta en línea: <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/SARPs-Annex-16-Volume-IV.aspx>

<sup>4</sup> IATA (2021). What is SAF?

<sup>5</sup> Una mezcla de combustible drop-in es un sustituto del combustible de aviación convencional, que es completamente intercambiable y compatible con el combustible de aviación convencional cuando se mezcla con éste. No requiere la adaptación del sistema de combustible de la aeronave/motor ni de la red de distribución de combustible. Consulta en línea en: ICAO (2018). Sustainable Aviation Fuels Guide. Versión 2.

## 2.2. Procesos de conversión y materias primas

Los combustibles SAF se pueden producir mediante diversas vías tecnológicas (o 'pathway') que son la combinación de un proceso y materia prima específicos para su fabricación. Estas vías han sido certificadas y aprobadas por ASTM International.

La OACI ha determinado que, para cumplir con sus criterios de sostenibilidad, el SAF debe representar una reducción en emisiones de CO<sub>2</sub> frente al CAF. Para tal fin, la OACI utiliza la metodología de análisis de ciclo de vida, metodología que en el documento '*CORSIA Default Life Cycle Emissions Values for CORSIA Eligible Fuels*'<sup>6</sup> define las materias primas elegibles para la producción de SAF en el mundo la cuales se listan en la Tabla 1.

A la fecha se han aprobado 11 vías de producción que están incluidas en la norma ASTM D7566. Otras vías tecnológicas están en desarrollo y pueden ser incluidas en esta norma en el futuro. Para el caso de coprocesamiento, se aplica la ASTM D1655. Las especificaciones de estas vías de producción se resumen en la Tabla 1, que presenta detalles sobre las materias primas utilizadas, el porcentaje máximo de mezcla entre SAF y CAF certificado por ASTM y la madurez tecnológica (numero de 1 a 9, el cual describe el estado de desarrollo o madurez de la tecnología, siendo 9 una tecnología madura).

---

<sup>6</sup> OACI (2024). CORSIA Default Life Cycle Emissions Values for CORSIA Eligible Fuels, 5ta edición

Tabla 1. Resumen de las vías tecnológicas aprobadas para SAF.

| Referencia ASTM     | Vía tecnológica  | Porcentaje de mezcla | Materias primas   | Madurez tecnológica (TRL) <sup>7</sup> |
|---------------------|--|----------------------|---|--|
| ASTM D7566 Anexo A1 | Fischer-Tropsch (FT)   | 50%                  | Residuos sólidos municipales, residuos agrícolas y forestales, cultivos energéticos     | 7-8                                    |
| ASTM D7566 Anexo A2 | Hydroprocessed esters and fatty acids (HEFA)   | 50%                  | Aceites vegetales, grasas animales, residuos de lípidos y aceites usados - UCO          | 8-9                                    |
| ASTM D7566 Anexo A3 | Synthesized iso-paraffins from hydroprocessed fermented sugars (SIP)   | 10%                  | Biomasa usada para la producción de azúcar  | 7-8 o 5 <sup>8</sup>                   |
| ASTM D7566 Anexo A4 | Synthesized kerosene with aromatics derived by alkylation of light aromatics from non-petroleum sources (FT-SKA) | 50%                  | Residuos sólidos municipales, residuos agrícolas y forestales, cultivos energéticos     | 6-7                                    |
| ASTM D7566 Anexo A5 | Alcohol to jet (ATJ)   | 50%                  | Etanol. Residuos agrícolas y forestales, residuos sólidos urbanos, cultivos energéticos | 7-8                                    |

<sup>7</sup> European Aviation Environmental Report (2024). What are Sustainable Aviation Fuels? Consulta en línea: <https://www.easa.europa.eu/eco/eaer/topics/sustainable-aviation-fuels/what-are-sustainable-aviation-fuels#drop-in-saf-production-pathways>

<sup>8</sup> TRL 7-8 para materia prima de azúcar convencional; TRL 5 para materia prima de azúcar lignocelulósica.

| Referencia ASTM        | Vía tecnológica  | Porcentaje de mezcla | Materias primas   | Madurez tecnológica (TRL) <sup>7</sup> |
|------------------------|--|----------------------|---|--|
| ASTM D7566<br>Anexo A6 | Catalytic hydrothermolysis jet fuel (CHJ)  | 50%                  | Aceites vegetales, grasas animales, aceites de cocina usados.   | 6                                      |
| ASTM D7566<br>Anexo 7  | Synthesized paraffinic kerosene from hydrocarbon - hydroprocessed esters and fatty acids (HC-HEFA) | 10%                  | Algas   | 5                                      |
| ASTM D7566<br>Anexo A8 | Synthetic paraffinic kerosene with aromatics (ATJ-SKA)   | 50%                  | Alcoholes C2-C5 de biomasa  | -                                      |
| ASTM D1655<br>Anexo A1 | Cohidroprocesamiento de ésteres y ácidos grasos en una refinería de petróleo convencional          | 5%                   | Aceites vegetales, grasas animales, aceites de cocina usados procedentes de biomasa procesada con petróleo. | -                                      |
| ASTM D1655<br>Anexo A1 | Cohidroprocesamiento FT  | 5%                   | Aceites vegetales, grasas animales, residuos de lípidos y aceites usados - UCO                              | -                                      |
| ASTM D1655<br>Anexo A1 | Coprocesamiento HEFA   | 10%                  | Ésteres/ácidos grasos hidroprocesados de biomasa  | -                                      |

Según la IATA (2024)<sup>9</sup>, para la producción de SAF se han definido tres grandes generaciones de materias primas, como se ilustra en la Figura 1 y que se describen a continuación:

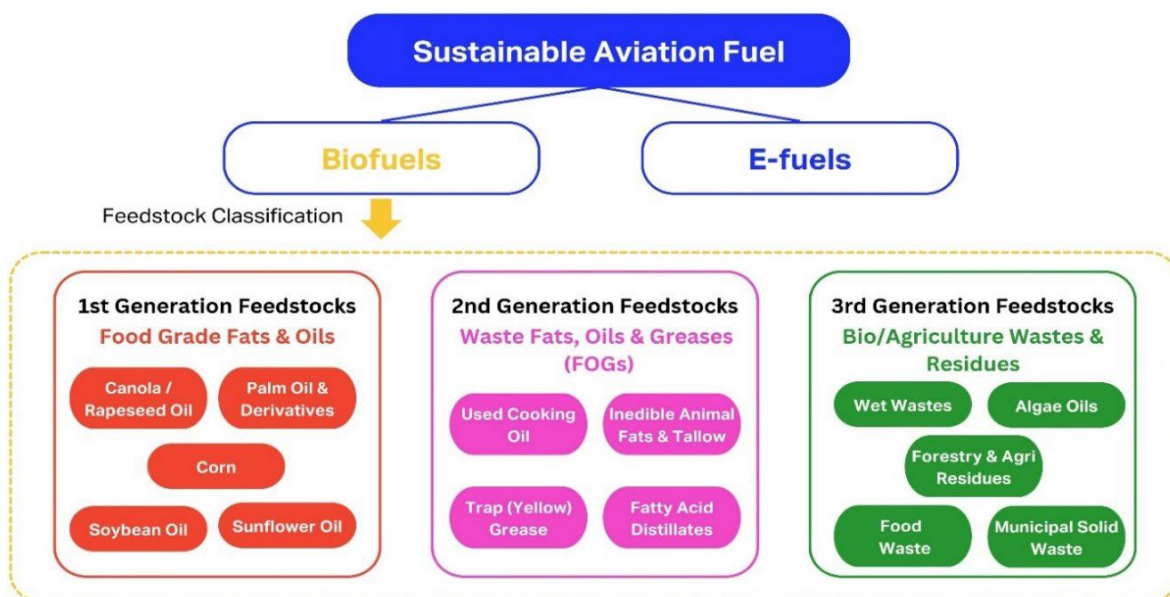


Figura 1. Clasificación de materias primas por generación. Tomado de: IATA (2024)<sup>9</sup>

**Materias primas de primera generación:** cultivos agrícolas usados para la producción de biocombustibles, entre ellos se encuentran la colza, la canola, la palma y sus derivados, el maíz, la soya y la caña de azúcar, entre otros.

**Materias primas de segunda generación:** grasas, aceites y grasas residuales no comestibles (FOG), como aceite de cocina usado, grasas animales no comestibles y sebo, así como grasas residuales industriales, biomasa y cultivos energéticos como la miscanthus, switchgrass, entre otras especies, que se cultivan específicamente con el fin de producir biocombustibles, bioenergía u otras formas de energía renovable, en tierras degradadas o marginales, no aptas para cultivos tradicionales<sup>10</sup>.

**Materias primas de tercera generación:** Residuos biológicos/agrícolas y cultivos energéticos de tierras degradadas como residuos sólidos urbanos, residuos forestales, biomasa leñosa, residuos agrícolas de ciclos de cosecha, aceites de algas, residuos húmedos, así como cultivos energéticos cultivados específicamente en tierras degradadas o marginales.

<sup>9</sup> IATA (2024) SAF Handbook.

<sup>10</sup> BIKE Briefing Note #8; "Low ILUC-risk crops and Annex IX". Pag2.

### 2.3. Especificaciones de calidad

Además de la diversidad de materias primas y gran potencial de Colombia para la producción de SAF, el sector deberá cumplir con normatividad que permitan establecer estándares y la comercialización abierta entre naciones. A nivel internacional, las normas técnicas han establecido los parámetros, límites y métodos de ensayo para definir a los combustibles de aviación convencionales y sostenibles. En el caso de los combustibles de aviación de origen fósil (CAF) deben cumplir los estándares internacionales de calidad establecidos en la norma ASTM D1655. A nivel global, estos combustibles también cumplen otros estándares como la norma DEF 91-91 (norma británica) y la CAN/CGSB-3-23 (norma canadiense).

Por su parte, los componentes sintéticos de mezcla (SBC) y en general los SAF deben cumplir con las especificaciones y porcentaje de mezcla establecido en los anexos de la norma ASTM D7566, según el tipo de vía tecnológica de producción. La mezcla de CAF y SAF, denominada SSJF, debe certificar el cumplimiento de los parámetros y límites establecidos en la Tabla 1 de la norma ASTM D7566 y podrá liberarse como CAF de acuerdo con el estándar ASTM D1655. En el caso de los SAF coprocesados, estos deben cumplir las especificaciones del Anexo 1 de la norma ASTM D1655.

Las prácticas de control y manipulación de combustibles convencionales y no convencionales deben seguir los estándares de la industria aérea proporcionados por otras organizaciones que desarrollan normas de suministro de combustible de aviación en toda la cadena de suministro desde la refinería o producción hasta la aeronave como lo son el Instituto de Energía (EI) y el Grupo de Inspección Conjunta (JIG) con normas como la norma EI/JIG 1530 y el complemento dado en la EI/JIG 1533.

La Figura 2 resume los estándares de calidad para CAF, SAF y los combustibles de aviación semisintéticos (SSJF).

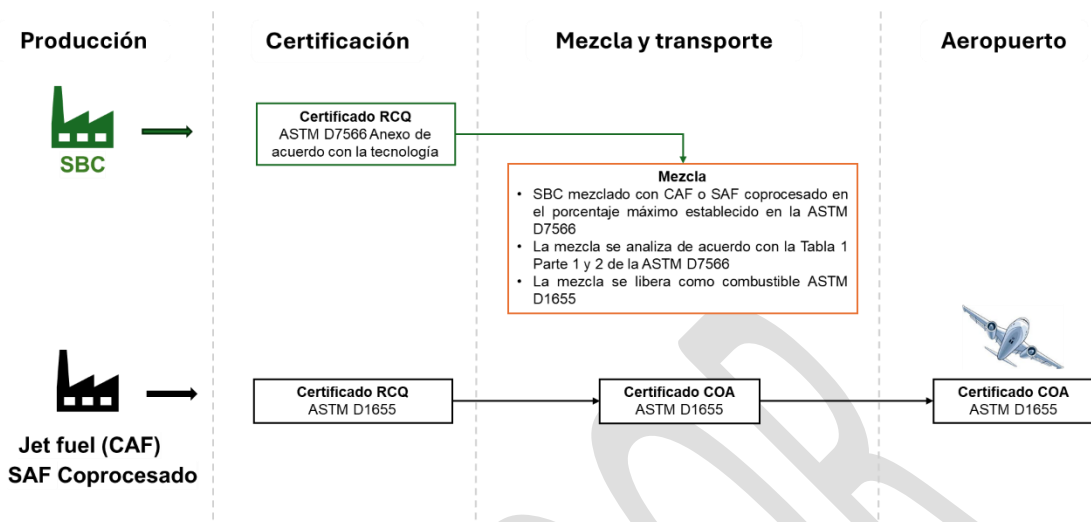


Figura 2. Especificaciones de calidad en la cadena de suministro. RCQ: Refinery Certificate of Quality; COA: Certificate of Analysis. Adaptado de: IATA (2024). Handbook SAF

## 2.4. Criterios de sostenibilidad de los SAF

Más allá de cumplir con la normatividad técnica altamente regulada a nivel internacional, los criterios de sostenibilidad son la piedra angular que definen los tipos de SAF y su aporte a la reducción de GEI. De esta forma, el Comité de Aviación de la Protección Ambiental (CAEP), de la OACI definió 14 criterios para garantizar que los combustibles que sean utilizados en el marco de CORSIA cumplan con estándares de sostenibilidad ambiental, social y económica (Tabla 2), de los cuales 13 de ellos aplican directamente a SAF y el criterio nueve (9) aplica para los Combustibles de aviación de bajas emisiones de carbono (LCAF por sus siglas en inglés). El cumplimiento de los criterios de sostenibilidad debe ser certificado a través de un Esquema de Certificación (SCS por sus siglas en inglés) siguiendo los parámetros establecidos en el marco de CORSIA, y aprobado para el mismo.

Tabla 2. Criterios de sostenibilidad de CORSIA aplicables a los Combustible de Aviación Sostenible (tabla simplificada)<sup>11</sup>.

| TEMA                              | PRINCIPIO   |
|-----------------------------------|---|
| Reducción de emisiones de Carbono | 1. Gases de Efecto Invernadero - GEI<br>El combustible SAF debe cumplir con una reducción de al menos 10% de emisiones. |
|                                   | 2. Reservas de carbono<br>El combustible SAF no debe obtenerse de biomasa con un alto contenido de carbono              |

<sup>11</sup> OACI (2022). Chapter 2: Corsia Sustainability Criteria Applicable for Batches of Corsia Sustainable Aviation Fuel Produced by a Certified Fuel Producer on or after 1 January 2024. CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels. 3ra edición.

| TEMA            |  | PRINCIPIO   |
|-----------------|--|---|
|                 | 3. Permanencia de la reducción de emisiones de GEI | La reducción de emisiones atribuidas al SAF debe ser permanente.  |
| Ambientales     | 4. Agua  | Se debe garantizar la disponibilidad y calidad del agua.  |
|                 | 5. Suelo   | La producción debe mantener o mejorar la salud del suelo.   |
|                 | 6. Aire  | Debe minimizar los efectos negativos sobre la calidad del aire.   |
|                 | 7. Conservación                                    | Debe mantener la biodiversidad, el valor de conservación y los servicios ecosistémicos.                             |
|                 | 8. Residuos químicos                               | Debe promover la gestión responsable de los residuos y el uso de productos químicos.                                |
|                 | 9. Sísmico e impactos vibratorios                  | Aplica para LCAF.   |
| Socioeconómicos | 10. Derechos humanos y laborales                   | Se debe garantizar y respetar los derechos laborales y humanos  |
|                 | 11. Derechos de uso de la tierra y el suelo        | Se debe respetar los derechos sobre la tierra y los derechos de uso de la tierra, incluidos los derechos indígenas. |
|                 | 12. Derechos del uso del agua                      | Se debe respetar los derechos de uso del agua.  |
|                 | 13. Desarrollo local y social                      | Debe contribuir al desarrollo social y económico en regiones de pobreza.  |
|                 | 14. Seguridad alimentaria                          | Debe promover la seguridad alimentaria  |

Esta certificación de sostenibilidad se emite mediante una prueba de sostenibilidad o POS (“Proof of Sustainability”, por sus siglas en inglés) que confirma que un lote determinado de SAF cumple con los requisitos de sostenibilidad bajo un determinado esquema o regulación. De acuerdo con la IATA (2024)<sup>12</sup>, “(...) *cualquier*

<sup>12</sup> IATA (2024). Understanding SAF Sustainability Certification. Guidance document on requirements and criteria for sustainability certification.

operador a lo largo de la cadena de suministro que realice cambios en el SAF (cambio químico o cambio en el factor de emisión de GEI) o asuma la propiedad legal de la materia prima del SAF o del SAF, debe estar certificado individualmente”. Para ello, la IATA ilustra el siguiente esquema de cadena de suministro hipotética (Figura 3):

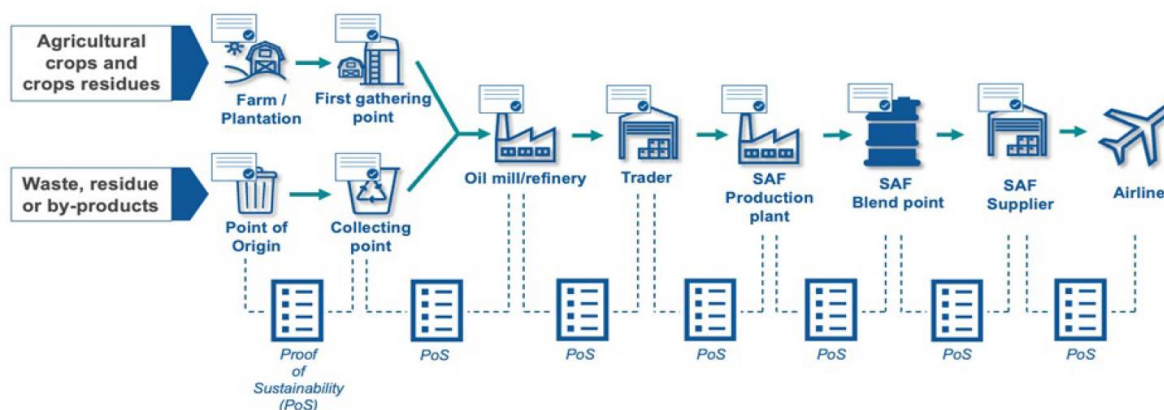


Figura 3. Cadena de suministro hipotética. Fuente: IATA (2024)<sup>11</sup>.

En el caso de cadena de suministro en Colombia, en el mapa de actuación de esta hoja de ruta (sección 4.3) se plantea la acción correspondiente a definir y regular la materia de certificaciones de sostenibilidad para SAF.

## 2.5. Contexto global en la reducción de emisiones GEI

Entendiendo el significado de SAF, los diferentes procesos de producción y transformación de la materia prima y la importancia de la normatividad técnica, de calidad y los criterios de sostenibilidad, el Gobierno Colombiano busca que este sector se desarrolle como método para la reindustrialización del país, el desarrollo rural y alcanzar una Colombia más justa y equitativa, pero sobre todo que permitan al país alcanzar las metas de descarbonización y lleve a una reducción del impacto en el cambio climático.

En 2015, durante la 21ª Conferencia de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) se establecieron compromisos con el fin de abordar el cambio climático mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y limitar el calentamiento global que quedaron acordados mediante el Acuerdo de París<sup>13</sup>.

En el caso específico del sector aéreo, durante la 39ª OACI en 2016 se estableció el Esquema de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA) que aborda las medidas para contribuir a la mitigación del cambio climático al reducir el impacto ambiental de la aviación internacional.

<sup>13</sup> El Acuerdo de París establece como uno de los objetivos limitar el aumento de la temperatura global a 1.5°C a 2030.

Posteriormente, en la 41ª Asamblea de la OACI en 2021, los estados miembros de la OACI adoptaron el Objetivo Aspiracional a Largo Plazo (LTAG, por sus siglas en inglés "Long-Term Aspirational Goal"), el cual propone alcanzar emisiones netas de carbono cero para la aviación internacional para el año 2050.

En esta misma línea, en noviembre del 2023 durante la conferencia CAAF/3 (Conferencia sobre la Aviación y el Medio Ambiente, por sus siglas en inglés "Conference on Aviation and Alternative Fuels"), se acordó un marco mundial para lograr la transición energética limpia en el sector aéreo internacional, el cual a su vez plantea reducir 5% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la aviación internacional al 2030, respecto a un escenario de uso nulo de energías limpias.

Dentro de los métodos para alcanzar estos objetivos, se propone el despliegue de la producción de SAF como mecanismo más certero y con mayor impacto en la consecución de los objetivos de descarbonización del sector.

Estas ambiciosas metas requieren un amplio marco de medidas y acciones, por ejemplo, contar con un sistema de monitoreo, reporte y verificación (MRV) en el cual todos los operadores con emisiones anuales superiores a 10.000 toneladas de CO<sub>2</sub> están obligados a declarar un reporte, con seguimiento a partir del 1 de enero de 2019, que deben remitir a la autoridad nacional<sup>14</sup>. Estos sistemas buscan asegurar la transparencia en las emisiones y absorciones de GEI, así como en los esfuerzos para la gestión del cambio climático.

### 2.5.1 Ejemplos relevantes del contexto internacional

La búsqueda de alternativas sostenibles en la aviación ha llevado al desarrollo de los SAF a nivel internacional. Desde el Gobierno Nacional, es de suma importancia impulsar una industria de SAF inclusiva a todos los sectores de la cadena, y que brinde a Colombia la posibilidad de participar de este naciente mercado internacional alcanzando las metas de descarbonización y compromisos del país frente al Cambio Climático. Esto debe reflejarse en una política de Estado que brinde estabilidad y continuidad a las partes interesadas. El entender los marcos regulatorios de otros países hace parte de la construcción de una política justa y duradera de SAF en Colombia. De esta manera, se ha observado como varios países han implementado diversos planes y estrategias para incentivar la producción y uso de SAF alineados con las recomendaciones y metas de OACI para el transporte aéreo internacional.

A nivel global, cada país ha venido estableciendo objetivos específicos respecto a la reducción de emisiones y de carbono neutralidad en el sector aéreo dentro de un plazo determinado. Estos objetivos han venido acompañados de políticas de incentivos que fomentan la investigación, desarrollo y producción de SAF. Para guiar estos esfuerzos, muchos países han publicado 'Hojas de ruta', como una herramienta pública para señalar las oportunidades y acciones a los sectores

<sup>14</sup> IATA (2024). CORSIA Handbook.

interesados. Estas políticas a su vez buscan facilitar los proyectos en términos de inversiones, la creación de mercados y la coordinación de esfuerzos entre diversas industrias para impulsar la producción de SAF. Algunas de estas políticas internacionales se detallan en la Tabla 3.

*Tabla 3. Resumen de las políticas públicas a nivel mundial. Elaboración propia<sup>15</sup>*

|   |  |   |
|---|--|---|
| <b>Canadá</b><br><br>Hoja de Ruta C-SAF:<br><br>El SAF debe representar el 10% del uso de combustible de aviación del país, en 2030.<br><br>Producir 1.000 millones de litros de SAF. | <b>Estados Unidos</b><br><br>Ley de reducción de la Inflación (IRA) – Incentivos.<br><br>SAF Grand Challenge: Producir 11.356 millones de litros para 2030. Reducir en 50% las emisiones del ciclo de vida de los SAF. | <b>Brasil</b><br><br>Ley “Combustibles del Futuro”: Reducción de emisiones de la aviación de 1% en 2027 aumentando progresivamente hasta 10% en 2037, por el uso de SAF.                                      |
| <b>Chile</b><br><br>Hoja de Ruta vuelo limpio: 50% de SAF para 2050   | <b>Reino Unido</b><br><br>Jet Zero Strategy: Mandato de mínimo 10% a 2030. Cero emisiones netas en vuelos domésticos a 2040.<br><br>Cero emisiones netas en aviación a 2050  | <b>Unión Europea</b><br><br>Mandato obligatorio de mezcla de 2% en 2025, 6% en 2030, 34% en 2040 y 70% en 2050.<br><br>Mandato de SAF con combustibles sintéticos de 1,2% en 2030, 10% en 2040 y 35% en 2050. |
| <b>España</b><br><br>Ley de cambio climático: Mandato de 2% en 2025   | <b>Alemania</b><br><br>Mezcla de e-SAF de 2% para 2030.  | <b>Indonesia</b><br><br>Mandato de 5% de SAF en 2050  |
| <b>Finlandia</b><br><br>Mezcla de 2% en 2030  | <b>Japón</b><br><br>Mandato de 10% en 2030.  | <b>China</b><br><br>50.000 ton de SAF en 2025.  |
| <b>Emiratos Árabes Unidos</b><br><br>Producir 700 millones de litros de SAF en 2030.  | <b>Suecia</b><br><br>Mandato de 1% en 2030 y de 30% en 2030.<br>Vuelos domésticos sin uso de combustibles fósiles para 2030.   | <b>Noruega</b><br><br>Mandato de 0,5% a 2020. Mandato del 30% en 2030.  |

<sup>15</sup> Tomado de las referencias consultadas en línea <https://airport-world.com/game-changer/> y <https://aireg.de/economy-and-production/>

Colombia deberá buscar inspiración en lo que otros países en el mundo hacen para la producción de SAF sin querer recrear a la medida leyes o acuerdos que no necesariamente se ajustan a la realidad de nuestro país. Para el Estado Colombiano, el marco regulatorio y de política pública deberá buscar una adaptación a la realidad de las comunidades rurales, de los pequeños y medianos agricultores, que provea a los productores de biocombustibles los incentivos y las garantías necesarias para sumergirse en riesgos controlados y que no vayan a afectar su viabilidad económica y financiera. Al mismo tiempo, el marco regulatorio deberá buscar la protección del sector aéreo como un servicio público esencial, de acuerdo con lo estipulado en el artículo 68 de la Ley 336 de 1996, y en general procurar el beneficio de todos los participantes de la cadena, incluido al pasajero, todo esto buscando una descarbonización controlada del sector.

### 3. Los combustibles sostenibles de aviación en Colombia

#### 3.1. Panorama del sector aéreo en Colombia

De acuerdo con el informe de la Aerocivil<sup>16</sup>, el sector aéreo en Colombia ha experimentado un crecimiento notable durante el periodo comprendido entre enero y septiembre de 2024. Según datos consolidados por la Oficina de Analítica, se movilizaron cerca de 41.687.000 pasajeros a través de las terminales aéreas del país, lo que representa un incremento del 15,85% en comparación con el mismo periodo de 2023. En particular, los vuelos domésticos registraron un crecimiento del 12,9%, mientras que la movilización de pasajeros internacionales creció un 20,3%.

En los últimos doce meses (octubre de 2023 a septiembre de 2024) se movizaron 55 millones 167 mil pasajeros, con una tasa de crecimiento del 13,9%, con relación al periodo anual anterior.

Este crecimiento en el transporte aéreo de pasajeros muestra una estabilización con una tasa de crecimiento de dos dígitos, como resultado de una gestión de conectividad objetiva tanto a nivel doméstico como internacional, acercándonos a nuestra misión de movilizar 100 millones de pasajeros en el 2030.

Se destaca que<sup>17</sup> en 2023 las rutas aéreas internacionales más frecuentadas conectan a Colombia con España, Panamá, Estados Unidos, México, Perú, Chile y Ecuador. En este contexto, IATA (2024) también señala que el número de vuelos internacionales durante el periodo enero-julio de 2024 creció un 10,5% con respecto al mismo periodo del año anterior. Esto refleja un impulso significativo a la conectividad y el dinamismo económico del país, demostrando como el transporte

---

<sup>16</sup> Aerocivil (2024). Consulta en línea: [https://www.aerocivil.gov.co/analitica/Informes/28-10-2024%20Informe%20de%20Movilizacio%CC%81n%20de%20Pasajeros%20\(Enero%20-%20Septiembre\).pdf](https://www.aerocivil.gov.co/analitica/Informes/28-10-2024%20Informe%20de%20Movilizacio%CC%81n%20de%20Pasajeros%20(Enero%20-%20Septiembre).pdf)

<sup>17</sup> Consulta en línea: <https://www.aerocivil.gov.co/prensa/noticias/Pages/La-Aeronautica-Civil-presenta-el-balance-de-las-rutas-aereas-nacionales-e-internacionales-mas-frecuentadas-en-2023.aspx>

aéreo continúa fortaleciendo las regiones al potenciar el turismo y otros sectores clave de la economía.

En este sentido, se anticipa un crecimiento sostenido en la movilización de pasajeros, que demuestra el gran potencial de Colombia para afianzarse como el HUB estratégico de conectividad en la región, facilitando el intercambio comercial y turístico tanto a nivel nacional como internacional y que se alinea con la visión estratégica del Plan Estratégico Aeronáutico 2030<sup>18</sup>, publicado por la Aerocivil de movilizar 100 millones de pasajeros y 1.8 millones de kg de carga al 2030.

Respecto al Plan Estratégico Aeronáutico, se trazan las líneas estratégicas para varios ejes temáticos<sup>19</sup>, entre los cuales, para el caso del eje de sostenibilidad ambiental, establece dos compromisos alineados con CORSIA y con los SAF:

- i. Promover la transición hacia tecnologías limpias que aceleren el aporte a la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> en el Sector Aéreo, a través del desarrollo de proyectos de movilidad eléctrica, energías alternativas y certificaciones ambientales.
- ii. Implementación del Plan de Compensación y Mitigación de CO<sub>2</sub> para la Aviación Civil Internacional CORSIA generando la cuantificación de la línea base de CO<sub>2</sub> Colombia y promoviendo el desarrollo de SAF como medidas de compensación y mitigación.

En el caso de los Escenarios Nacionales de Transición Energética (TEJ), publicados en la página web del Ministerio de Minas y Energía<sup>20</sup>, de TEJ, se establecen hitos para el sector aeronáutico desde 2023 hasta 2050, como se describen en la Tabla 3 “Principales supuestos e hitos considerados para el sector transporte en el Escenario TEJ”, de dicho documento. Estas acciones buscan establecer metas claras de descarbonización para el sector aeronáutico, lideradas por la Aeronáutica Civil (Aerocivil), quien es la entidad responsable de la vigilancia de las emisiones de la aviación internacional para lo cual ya cuenta con procesos de monitoreo, reporte y verificación, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento Aeronáutico de Colombia RAC-216.

El Gobierno Nacional en su visión futura para el sector aéreo en Colombia busca fortalecer el crecimiento de la conectividad, así como su impacto positivo en la economía y el turismo. En línea con estos objetivos, se promueve la producción de SAF como una pieza clave dentro de la Transición Energética Justa en Colombia, lo que no solo contribuirá a reducir las emisiones, sino también a impulsar una transformación hacia una economía más diversificada y resiliente. Este enfoque reafirma el compromiso del país y del Gobierno Nacional con el desarrollo sostenible

<sup>18</sup> Aerocivil (2022). Plan Estratégico Aeronáutico 2030.

<sup>19</sup> Institucionalidad, conectividad, competitividad, infraestructura y sostenibilidad ambiental, industria y cadena de suministro, seguridad operacional y de la aviación civil y, por último, desarrollo del talento humano para el sector.

<sup>20</sup> <https://www.minenergia.gov.co/es/micrositios/transicion-energetica-justa/>

y con la creación de oportunidades en sectores emergentes, consolidando a Colombia como un referente regional en innovación energética.

### 3.2. Panorama de materias primas en Colombia

Las materias primas juegan un papel crucial en el desarrollo de combustibles sostenibles para la aviación, ya que son fundamentales para determinar tanto la viabilidad como la sostenibilidad de esta industria emergente. La diversidad y disponibilidad de recursos son la clave para garantizar una producción eficiente y sostenible de SAF en el largo plazo. En el caso de Colombia, el país cuenta con una cantidad importante de materias primas para esta producción, incluyendo un amplio potencial en el aprovechamiento de residuos agrícolas, forestales y residuos sólidos municipales.

La identificación de la frontera agrícola<sup>21</sup> por parte de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA<sup>22</sup>) ofrece a Colombia una base sólida de evaluación del potencial agrícola para diferentes usos bajo prácticas sostenibles, dentro de los cuales se contempla el crecimiento en cultivos energéticos y agroindustriales. Este mapeo determina una disponibilidad de aproximadamente 42,9 millones de hectáreas, que representa el 37,6% del territorio continental nacional, como potencial de crecimiento agrícola sin afectar bosques ni áreas de alto valor de conservación.

En relación con potenciales materias primas y biomasa residual en Colombia, resumimos los siguientes tres estudios clave que aportan información relevante al desarrollo de la cadena de valor de la producción de SAF en el país:

En primer lugar, el “Atlas del potencial energético de la Biomasa residual en Colombia” publicado por la UPME (2009)<sup>23</sup> recopila y consolida información sobre residuos de cultivos agrícolas permanentes como el banano, café, caña de azúcar, caña panelera, palma de aceite, plátano y cultivos transitorios como el maíz y arroz. Esta información se ilustra en varios mapas que muestran la localización, oferta y potencial energético, para el caso del sector agrícola considera los residuos agrícolas de cosecha y residuos agroindustriales. La siguiente Figura 4 describe los mapas correspondientes a la localización y el potencial energético para los cultivos mencionados anteriormente, publicados por la UPME.

<sup>21</sup> La frontera agrícola nacional es el límite del suelo rural que separa las áreas donde se pueden desarrollar actividades agropecuarias, de las demás áreas en las que las actividades agropecuarias están prohibidas por mandato de ley o norma.

<sup>22</sup> La Unidad de Planeación Rural Agropecuaria (UPRA) ha dispuesto el Sistema de Información para la Planificación Rural Agropecuaria (Sipra) que es visor geográfico oficial del sector agropecuario en Colombia. Consulta en línea: <https://sipra.upra.gov.co/nacional>

<sup>23</sup> [https://www1.upme.gov.co/siame/Documents/Atlas-Biomasa/1\\_Indice\\_Generalidades.pdf](https://www1.upme.gov.co/siame/Documents/Atlas-Biomasa/1_Indice_Generalidades.pdf)

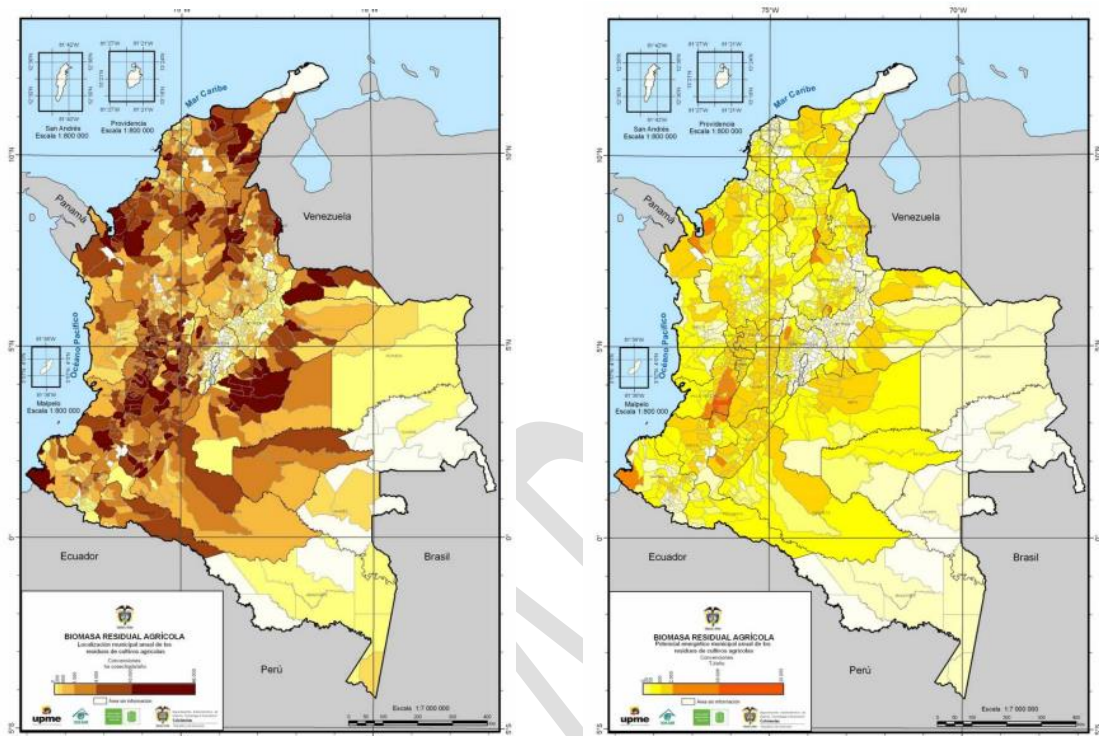


Figura 4. Biomasa residual a) Localización municipal anual de los residuos de cultivos agrícolas; b) Potencial energético municipal anual de cultivos energéticos. Fuente: UPME (2009)<sup>24</sup>

Por otra parte, de acuerdo con el “Estudio técnico integral para caracterizar las tecnologías de biocombustibles de segunda y tercera generación” del Consorcio Biocombustibles de Colombia<sup>25</sup> presentado a la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Colombia cuenta con numerosas opciones de biomasa residual lignocelulósica que pueden ser aprovechadas para la producción de SAF. Entre estos tipos destaca hojas de cultivos, bagazo, cascarilla.

Otro aspecto para destacar es el gran potencial del país en cuanto a la disponibilidad y variedad de especies herbáceas y forrajes, que son especies con potencial agro energético denominados cultivos energéticos. De acuerdo con el estudio “Evaluación del potencial energético de la biomasa lignocelulósica proveniente de especies de rápido crecimiento en Colombia”<sup>26</sup> hay diferentes familias y especies con potenciales energéticos en los diferentes departamentos de Colombia, algunos ejemplos de estos son la Acacia dealbata y el Eucalyptus, entre otras. Estas especies se cultivan específicamente con el fin de producir biocombustibles,

<sup>24</sup> UPME (2009). Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. Capítulo 1: Sector agrícola.

<sup>25</sup> Consorcio Biocombustibles de Colombia (2023). Estudio técnico integral para caracterizar las tecnologías de biocombustibles de segunda y tercera generación con análisis B/C y los requerimientos técnico-económicos para la instalación de una biorrefinería: Producto 2.

<sup>26</sup> Universidad Santo Tomas. "Evaluación del Potencial Energético de la Biomasa Lignocelulósica Proveniente de Especies de Rápido Crecimiento en Colombia".2016

bioenergía u otras formas de energía renovable, y además presentan varias ventajas entre ellas la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, seguridad energética y el desarrollo rural. Adicionalmente, en un estudio realizado por Cardona et al, (2012)<sup>27</sup> concluyen que entre los cultivos energéticos potenciales en Colombia se destacan especies como los pastos elefante y king como los más apropiados para su exploración en procesos de producción de biocombustibles, con altos rendimientos por hectárea y aprovechamiento en diferentes zonas del país.

Por otra parte, de acuerdo con el estudio “Sustainable Aviation Fuel Production in Colombia: Opportunities and Challenges” realizado por la Washington State University (WSU) y ASCENT (Aviation Sustainable Center)<sup>28</sup>, destaca las materias primas agroindustriales que ya son usadas para la producción de biocombustibles.

En síntesis, basados en los estudios previamente mencionados, es posible afirmar que Colombia cuenta con un gran potencial de materias primas que podrían ser utilizadas de manera sostenible en la producción del SAF. Es importante destacar entonces la necesidad de desarrollar la mayor cantidad de materias primas posible para evitar generar dependencias de alguna materia prima en particular, practica que puede volverse insostenible con el tiempo. Con una planificación adecuada, Colombia puede optimizar el uso de recursos agrícolas y agroindustriales para consolidar una industria de SAF competitiva y alineada con los objetivos de descarbonización global.

### 3.3. Panorama de Colombia en biocombustibles y futuro desarrollo de SAF

Colombia, gracias a su diversidad geográfica, se ha posicionado como un territorio con ventajas comparativas para el desarrollo de energías alternativas, lo que contribuye a una matriz energética más limpia y sostenible. El país ha avanzado significativamente en proyectos enfocados en fuentes no convencionales de energía como la eólica, solar, geotérmica y la producción de hidrógeno, complementados por la amplia experiencia en biocombustibles de primera generación, como el etanol proveniente de la caña de azúcar y el biodiésel a partir de la palma de aceite.

Además de su potencial en energías alternativas, Colombia cuenta con una infraestructura robusta en el sector de refinación e hidrocarburos, lo que le permite destacarse en la producción y procesamiento de combustibles. Esto otorga una ventaja competitiva frente a otros países de la región, posicionando al país como un actor clave en la transición energética global. La capacidad de adaptación de esta infraestructura será esencial para integrar la producción SAF a escala industrial, aprovechando las sinergias entre las energías convencionales y renovables.

---

<sup>27</sup> Cardona et al (2012) Disponibilidad de Variedades de Pastos y Forrajes como Potenciales Materiales Lignocelulósicos para la Producción de Bioetanol en Colombia

<sup>28</sup> WSU, ASCENT (2024). Sustainable Aviation Fuel Production in Colombia: Opportunities and Challenges.

Colombia tiene el potencial de ser competitivo tanto a nivel regional como mundial en la producción de SAF considerando la diversidad de materias primas de origen agrícola incluyendo cultivos como la caña de azúcar, la palma de aceite, el maíz y el sorgo, y residuos agroindustriales además de residuos sólidos municipales, entre otros. Estas materias primas no solo agregarán valor a la agricultura nacional, sino que también harán que el proceso sea más eficiente y sostenible. Adicionalmente, el desarrollo de SAF impulsará la producción de hidrógeno como vector energético e insumo clave en los procesos de conversión de estos combustibles.

A pesar de este potencial, el desarrollo de SAF en Colombia enfrenta retos importantes en términos de infraestructura, cadenas logísticas, disponibilidad de materias primas y costos de inversión. Estos desafíos, que se abordan en detalle en los ejes de actuación del capítulo 4, serán claves para garantizar que el país pueda consolidarse como un líder en la producción de combustibles sostenibles para la aviación y contribuir al objetivo global de un transporte aéreo más limpio y sostenible.

En este sentido, Colombia puede convertirse en un productor competitivo, integrando la capacidad agrícola y de residuos con el desarrollo rural y la innovación tecnológica que le apunten hacia una economía baja en carbono. La producción de SAF en el país podría estar destinada tanto al mercado local como internacional, cumpliendo con los más altos estándares de sostenibilidad y alineándose con las metas de descarbonización del sector aeronáutico a nivel global.

#### 3.4. Regulación actual aplicable al SAF en Colombia

Colombia ha avanzado en la construcción del marco normativo sobre energías renovables y se han adelantado algunos instrumentos regulatorios en torno al SAF que han abierto el camino a desarrollar esta Hoja de Ruta y las mesas de trabajo del Ecosistema SAF (ver sección 3.5).

En este sentido, se destacan las siguientes leyes y documentos que hacen parte de la política pública energética:

En primer lugar, mediante la **Ley 2099 de 2021** (ley de transición energética) se incluyeron disposiciones sobre fuentes no convencionales de energía incluyendo aquellos energéticos alternativos que provengan de fuentes de origen orgánico y/o renovable. El artículo 20 de dicha Ley establece la competencia al Ministerio de Minas y Energía en expedir la regulación que incluya las disposiciones para el incentivo, fomento e inclusión de estos energéticos en la matriz energética nacional.

Por su parte, a través de la **Ley 2169 de 2021** (ley de acción climática) se establecieron las medidas de mitigación a 2030 a nivel nacional que incluye la reducción del 51% de emisiones de GEI y alcanzar la carbono neutralidad a 2050, entre otras. Sobre estas metas se definieron acciones en varios frentes que involucran al SAF:

En específico, como medida del sector transporte se dispone que “a través de los Ministerios de Minas y Energía y Transporte, impulsarán el desarrollo y uso de combustibles sostenibles de aviación (...)”. Por su parte, como medida del sector de desarrollo rural se proponen acciones para aumentar las absorciones de GEI mediante la promoción de cultivos agro-energéticos y aprovechamiento de biomasa para la producción de biocombustibles y bioenergía. Finalmente, respecto al sector Comercio, Industria y Turismo se busca la optimización de uso de los energéticos, sustitución de combustibles bajos en emisiones y cambios tecnológicos con acciones que impulsen la gestión y eficiencia energética en la industria.

En esta misma línea, el **CONPES 4075 de 2021**<sup>29</sup> dispone que, con el propósito de avanzar en la identificación de energías alternativas, el Ministerio de Minas y Energía establecerá la Hoja de Ruta sectorial para la consolidación del uso de biocombustibles de primera generación y para adelantar proyectos de biocombustibles de última generación entre los que incluye el SAF.

A su vez, como parte de la política de reindustrialización, el **CONPES 4129 de 2023** hace referencia a que Colombia carece de un marco regulatorio que lleve a consolidar las metas del sector privado y del sector público en la disminución de las emisiones de carbono. El Gobierno Nacional quiere alinear los diferentes instrumentos legislativos ya en aplicación y crear un marco regulatorio que permita el desarrollo e innovación de la propuesta de SAF.

De esta forma en el documento “**Escenarios nacionales Transición Energética Justa**” publicado por el Gobierno Nacional<sup>30</sup>, reconoce el impulso al desarrollo de la industria de combustible de aviación sostenible (SAF) como una de las acciones para acelerar la transición del sector transporte.

Por último, la **resolución 02301 de 2024** de la Unidad Administrativa especial de Aeronáutica Civil “*Por la cual se adicionan unas definiciones a la normativa RAC 216 y un Apéndice 10 de la normativa RAC 216 de los Reglamentos aeronáuticos de Colombia*” Incorpora definiciones técnicas y parámetros de calidad a los RAC para habilitar el uso de combustibles sostenibles de aviación SAF en operaciones aéreas en el territorio nacional.

### 3.5. Metodología de creación de la hoja de ruta: “Cielos limpios: aviación para la vida”

#### 3.5.1. Mesas de trabajo

Desde septiembre de 2023, con la estrategia “**Cielos limpios: aviación para la vida**”, la Aerocivil en cooperación con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) lideró 5 mesas de trabajo y talleres en los que participaron empresas y

<sup>29</sup> CONPES (Consejo Nacional de Política Económica y Social): Máxima autoridad nacional de planeación en Colombia para definir las políticas públicas en materia económica y social. Consulta en línea: <https://www.dnp.gov.co/atencion-al-ciudadano/Paginas/que-es-el-conpes.aspx>

<sup>30</sup> Consulta en línea: <https://www.minenergia.gov.co/es/micrositios/transicion-energetica-justa/>  
Hoja de Ruta de los Combustibles Sostenibles de Aviación en Colombia |26

agregaciones de los sectores energético y aeronáutico, entidades gubernamentales, academia y ONG que integran el denominado ‘Ecosistema SAF’ (Figura 5).

Los temas que se discutieron en estas mesas técnicas fueron:

- i. Materias primas y producción de SAF
- ii. Cadena de suministro de combustibles de aviación
- iii. Operadores aéreos y fabricantes
- iv. Aspectos ambientales y certificación de sostenibilidad
- v. Marco institucional

Las relatorías de cada una de las mesas de trabajo se encuentran publicadas en la página oficial de la Aerocivil<sup>31</sup>.



Figura 5. Actores involucrados y participantes de las mesas de trabajo para la construcción de la Hoja de Ruta. Fuente: Elaboración propia

El trabajo mancomunado de los diferentes actores de la cadena le ha permitido al Gobierno Nacional consolidar un trabajo propositivo y solidario, en donde agremiaciones, empresas públicas y privadas, y la academia han mantenido un espíritu de cooperación y de deseo de ver una industria naciente de SAF en Colombia. El Gobierno reconoce este como un “Proyecto País”, al involucrar a tan diversas cadenas de valor, tanto como los productores de materia prima, los transformadores y productores de biocombustibles, los distribuidores y las aerolíneas, entre otros. Al mismo tiempo, el aporte al crecimiento económico y a la reindustrialización junto con la inclusión de comunidades apartadas y la

<sup>31</sup><https://www.aerocivil.gov.co/atencion/informacion/Acuerdos-internacionales/Paginas/Mesas-tecnicas.aspx>

conectividad del campo, hacen de este un proyecto de alto valor y contribución al desarrollo económico multisectorial y social de Colombia.

### 3.5.2. Análisis de Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas.

Como parte de los esfuerzos mancomunados del sector privado, el Gobierno Nacional usó diferentes estudios y análisis con el objetivo de entender los retos que Colombia enfrentará en el desarrollo de su mercado de SAF. En línea con las mesas de trabajo organizadas por la Aerocivil en conjunto con el BID, se realizó el Análisis DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas) en primer lugar, usando el reporte resultante del taller Riesgos y Oportunidades del SAF para Colombia, organizado en marzo de 2024 por la Aerocivil y apoyado conjuntamente por Deloitte y Airbus<sup>32</sup>. El objetivo del ejercicio fue la identificación de oportunidades y amenazas sobre el desarrollo del ecosistema SAF basados en 5 clústeres de riesgo: Materias primas y Cadena de Suministro, Tecnología e Industria, Mercado, Financiamiento e Inversión y, Regulación y Política.

En segundo lugar, y teniendo en cuenta la invaluable contribución del sector académico en este proyecto, el análisis de fortalezas y debilidades se basó en el estudio de la industria de SAF en Colombia publicado por ASCENT (Aviation Sustainable Center) en cooperación con la Universidad Estatal de Washington (WSU)<sup>33</sup>. Los dos reportes están disponibles en la página web de la Aeronáutica Civil. El resumen del modelo DOFA se encuentra enseguida en la Figura 6.

Para entender mejor las conclusiones llegadas en esos dos reportes, el Gobierno Nacional presenta a continuación las principales oportunidades, amenazas, fortalezas y debilidades extraídas de manera textual de los documentos previamente mencionados:

---

<sup>32</sup> Riesgos Y Oportunidades Para El Desarrollo Del Combustible Sostenible De Aviación (SAF) En Colombia. Publicado en 2024.

<sup>33</sup> ASCENT, WSU (2024). Reporte “Sustainable Aviation Fuel Production in Colombia: Opportunities and Challenges”.

| Debilidades   | Oportunidades   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>•Baja percepción de sostenibilidad del aceite de palma</li> <li>•Escasa infraestructura logística en las zonas de mayor disponibilidad de tierras de cultivo</li> <li>•Escasa investigación</li> <li>•Falta de un marco normativo de incentivos para la promoción e incentivos</li> <li>•Bajo valor del crédito fiscal y baja disponibilidad de fondos gubernamentales</li> <li>•Mayor costo del SAF en relación con el combustible convencional.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Crear una nueva industria de SAF en Colombia.</li> <li>•Atraer inversión extranjera</li> <li>•Impulsar la visión gubernamental por la transición energética movilizand recursos públicos y extendiendo las zonas francas.</li> <li>•Aprovechar la amplia gama de materias primas y extender la frontera agrícola.</li> <li>•Establecer a Colombia como un HUB de SAF en la región.</li> <li>•Aprovechar la exitosa experiencia de desarrollo de biocombustibles en Colombia.</li> </ul> |
| Fortalezas  | Amenazas  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>•Crecimiento de la demanda de combustibles líquidos, ligado al crecimiento del sector aeronáutico.</li> <li>•Disponibilidad de tierras de cultivo para nuevas materias primas.</li> <li>•Experiencia en el desarrollo de marco regulatorio, cadenas de suministro agroindustrial y producción de biocombustibles de primera generación.</li> <li>•Disponibilidad de mano de obra calificada.</li> <li>•Marco global de SAF.</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Competencias intersectoriales en torno al SAF</li> <li>•Falta de claridad, consistencia y celeridad en la política pública y regulación en materia de SAF.</li> <li>•Creación de un mercado de SAF desarticulado.</li> <li>•Falta de suministro de materias primas y escasez de hidrógeno.</li> <li>•Baja movilización de capital privado e inversión extranjera.</li> </ul>  |

*Figura 6. Matriz DOFA de los combustibles SAF en Colombia.*

#### a. Principales Debilidades:

Las principales debilidades identificadas para el desarrollo del ecosistema SAF en Colombia son:

- Baja percepción de sostenibilidad del aceite de palma debido a que actualmente no hay valores por defecto de aceite de palma colombiano ni de otras posibles materias primas autóctonas en CORSIA
- Escasa infraestructura logística en las zonas con mayor disponibilidad de tierras de cultivo adecuadas. Además, en el caso del transporte, hay importantes limitaciones de accesibilidad entre las zonas probables de producción de SAF y los aeropuertos.
- Escasa investigación sobre la cartera de materias primas tropicales para la producción de SAF.
- Falta de un marco normativo y de política pública para la promoción e incentivos de la producción nacional de SAF.
- Bajo valor del crédito fiscal colombiano y baja disponibilidad de fondos gubernamentales para generar incentivos adecuados
- Mayor costo del SAF en relación con el combustible convencional para aviación.

#### b. Principales Oportunidades

Las principales oportunidades identificadas para el desarrollo de la producción de SAF nacional son las siguientes:

- i. Crear una nueva industria en Colombia en torno a la producción y comercialización del SAF fortaleciendo así la economía local a lo largo de la cadena de valor. Esta nueva industria puede ponerse en marcha de manera relativamente rápida a través de la adopción de la ruta HEFA, para la cual empresas colombianas tienen la experiencia, infraestructura y materias primas necesarias. La nueva industria de SAF en Colombia también será la oportunidad de atraer inversión extranjera, particularmente si las condiciones regulatorias lo favorecen.
- ii. Impulsar la visión gubernamental por la transición energética para acelerar el desarrollo de la industria SAF, lo cual permitiría establecer las políticas y el marco regulatorio favorable al mismo tiempo que se movilizan recursos públicos y extienden las zonas francas para impulsar el lanzamiento de la industria. Esta visión gubernamental positiva por la transición energética y la posibilidad de desarrollar el mercado SAF en el país, pueden ser también catalizadores para que Colombia alcance las metas nacionales de descarbonización de su economía y apoyar a la descarbonización de otros mercados.
- iii. Aprovechar la amplia gama de materias primas existentes en Colombia para producir SAF mediante diferentes tecnologías, junto con la posibilidad de acelerar la producción de biomasas al extender la utilización de la frontera agrícola. Esta oportunidad se puede combinar al hecho de que Colombia tiene una posición geoestratégica única, proporcionando una ventaja para establecerse como un HUB de SAF en la región.
- iv. Aprovechar la experiencia exitosa de desarrollo de los biocombustibles en el país, otorgando la credibilidad y la maestría necesarias para que Colombia desarrolle con rapidez y eficacia el mercado de SAF. Esta experiencia será particularmente útil en términos de construir la regulación e incentivos para el ecosistema SAF basados en las lecciones aprendidas en biocombustibles, y para acelerar la certificación de las materias primas usadas para el bioetanol.

#### c. Principales Fortalezas:

Las principales fortalezas identificadas para el desarrollo del ecosistema SAF en Colombia son:

- i. El crecimiento de la demanda de combustibles líquidos, especialmente del combustible de aviación tipo Jet fuel, ligado al crecimiento del sector aeronáutico nacional en operaciones y pasajeros.
- ii. Disponibilidad de tierras de cultivo adecuadas para nuevas materias primas, así como la consolidación de la palma aceitera, la caña de azúcar y los residuos sólidos urbanos como fuentes potenciales de materias primas a corto y medio plazo.

- iii. Experiencia en el desarrollo de marcos regulatorios, cadenas de suministro agroindustriales y producción de biocombustibles de primera generación.
- iv. Disponibilidad de mano de obra cualificada y técnica.
- v. Marco global de SAF con disposiciones técnicas y de sostenibilidad, así como los avances en los niveles de tecnologías comerciales y semicomerciales.

#### d. Principales Amenazas

Las principales amenazas identificadas para el desarrollo del ecosistema SAF en Colombia son:

- i. Competencias intersectoriales en torno al SAF ambiguas, lo cual significaría también una necesidad de definir una coordinación del Estado que apoye y fomente el desarrollo sostenible del SAF.
- i. Falta de claridad, consistencia y celeridad en reglamentación, al mismo tiempo que exista una desarticulación interinstitucional dentro del gobierno provocando una regulación débil o incluso inexistente.
- ii. Creación de un mercado de SAF desorganizado en el país en términos de información, regulación, certificación, tecnologías, inversión, entre otros, lo cual iría de la mano con un retraso en el desarrollo de la industria y con la demora en la participación de Colombia en el mercado regional y global de SAF.
- iii. Posible falta de suministro de materias primas en cantidad y calidad suficiente, altos costos en los procesos de pretratamientos necesarios para materias primas sumado a una potencial escasez de hidrógeno para la producción de SAF que sea certificable por CORSIA.
- iv. Baja movilización de capital privado e inversión extranjera, y la dificultad o pérdida de oportunidades de financiamiento de parte de actores como la banca multilateral, la banca privada, o instituciones internacionales.

El éxito de un marco regulatorio efectivo de SAF en Colombia dependerá de la capacidad del Estado Colombiano en garantizar que gran parte, sino la totalidad, de los puntos mencionados anteriormente sean abordados en el articulado de la ley que se espera vaya en línea con la presente Hoja de Ruta. El Gobierno Nacional buscará el desarrollo de este marco regulatorio de manera holística, respetando los lineamientos dados por la OACI en materia normativa y de sostenibilidad, garantizado acceso a las materias primas a las biorefinerías, fomentando la inversión privada, y buscará crear mecanismos fiscales y tributario, similares a los ya existentes en las diferentes leyes de biocombustibles, que permita el fomento de esta industria, el desarrollo de comunidades rurales y la protección del medio ambiente y lucha contra el cambio climático.

### 3.6. Estudios previos en Colombia

El Ecosistema SAF recibió apoyo durante la elaboración de esta hoja de ruta por parte de diferentes actores a través de estudios que analizaron las proyecciones de demanda de combustibles de aviación convencional y estimaron el potencial de producción nacional de SAF hasta 2050. Estos estudios son parte fundamental del análisis necesario para lograr construir una aspiración nacional y se detallan a continuación:

- a. “Decarbonizing Aviation in Latin America in a Sustainable way” (2024) realizado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés) con el apoyo de LATAM Airlines y Airbus

Este estudio realizó un análisis de los escenarios para el despliegue de SAF hasta 2050 en varios países de América Latina incluyendo a Colombia. Los resultados proyectan un consumo de combustible de aviación convencional promedio en el país de más de 2.600 millones de litros/año (686 millones de galones/año) en 2035 y 3.200 millones de litros/año (845 millones de galones/año) en 2050. En cuanto a la producción de SAF, el estudio concluye que para 2035 Colombia puede llegar a tener una producción de 400 millones de litros de SAF (aproximadamente 100 millones de galones/año) que podría crecer hasta 1.700 millones de litros (cerca de 450 millones de galones/año) en 2050. Estos datos se encuentran representados en la Figura 7.

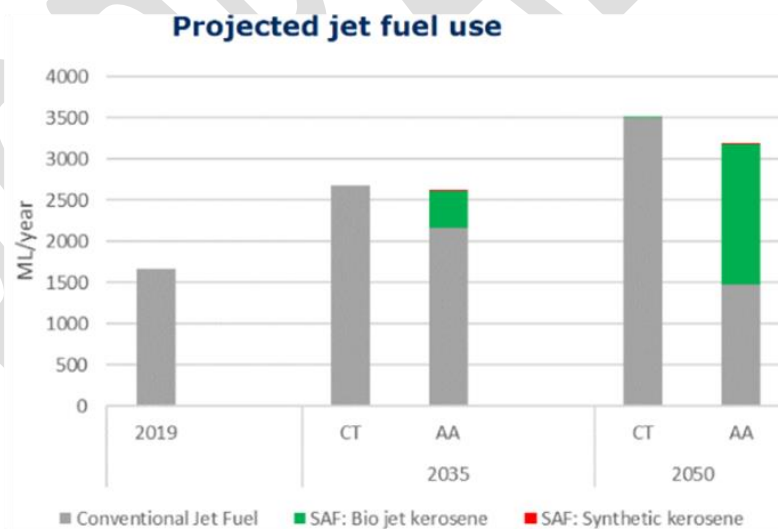


Figura 7. Uso proyectado de jet fuel de acuerdo con el estudio MIT (2024).

Estos valores representan que en 2035 el 15% del combustible de aviación sería SAF y para 2050, el 53%.

El estudio también examinó diferentes materias primas como maíz, caña de azúcar, sorgo, soya, aceite de palma y canola junto con tecnologías de producción como HEFA y ATJ. MIT concluye que, para Colombia las rutas tecnológicas más eficientes

son ATJ a partir de caña de azúcar y HEFA usando aceite de palma, conforme se demuestra en la Figura 8.

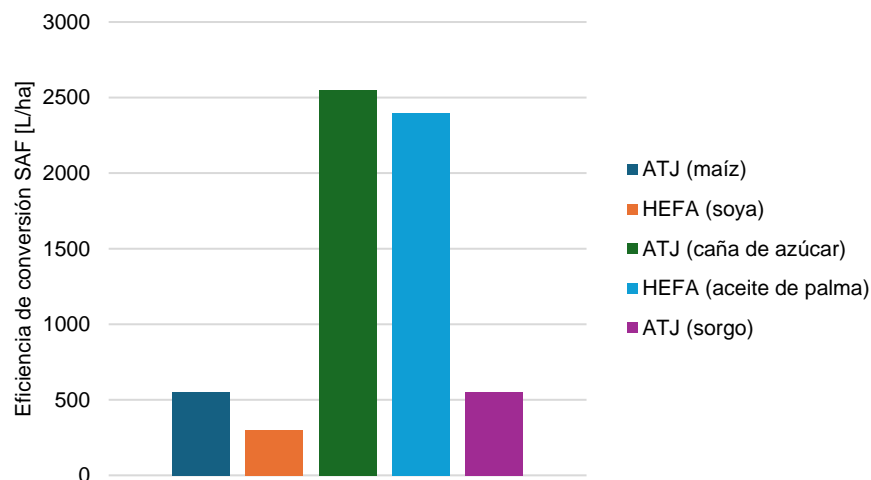


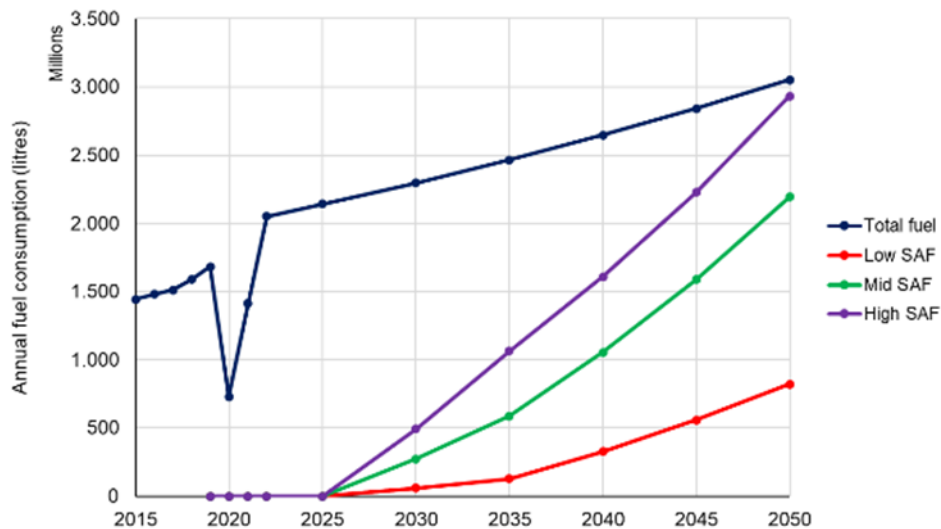
Figura 8. Eficiencia de conversión de SAF por materia prima de acuerdo con MIT (2024)

b. “Assessing the feasibility of SAF as a green market opportunity for oil palm in the Orinoquia” (2023) realizado por la empresa de consultoría ‘Ricardo’ y el Banco Mundial

Este estudio se centró en la producción de SAF a partir de aceite crudo de palma y residuos (racimos de fruta vacíos, fibras y cáscaras) de la región de la Orinoquía colombiana considerando las tecnologías HEFA y GFT. Teniendo en cuenta la demanda actual y los históricos de Jet A-1 así como las proyecciones de crecimiento de la demanda para Sudamérica de la OACI, el estudio proyectó que la demanda para 2050 en Colombia será de aproximadamente 3.000 millones de litros/año (aproximadamente 800 millones de galones/año).

Basado en los escenarios de descarbonización del Objetivo Aspiracional a Largo Plazo (LTAG) de la OACI se analizaron tres escenarios de producción de SAF: bajo, medio y alto. En el escenario medio, se plantea una producción de 510 millones de litros/año (134 millones de galones/año) para 2035, con un aumento hasta 2.150 millones de litros/años (cerca de 568 millones de galones/año) en 2050. Estos datos se encuentran detallados en la Figura 9.

Projection of annual aviation fuel consumption at Colombian airports and projected SAF demand



| Estudio Ricardo (2023)            | Unidades | 2035   | 2050   |
|-----------------------------------|----------|--------|--------|
| Consumo de jet fuel               | MI/año   | 2.500  | 3.000  |
|                                   | Mgal/año | 661,   | 793,6  |
| Producción de SAF Escenario bajo  | MI/año   | 120    | 800    |
|                                   | Mgal/año | 31,7   | 211,6  |
| Producción de SAF Escenario medio | MI/año   | 510    | 2.150  |
|                                   | Mgal/año | 134,9  | 568,7  |
| Producción de SAF Escenario alto  | MI/año   | 1.005  | 2.950  |
|                                   | Mgal/año | 265.,8 | 780, 4 |

Figura 9. Proyección del consumo anual de combustibles de aviación fósiles y proyección de demanda de SAF en Colombia. Fuente: Estudio Ricardo (2023)

En el escenario medio, estos valores representan que en 2035 el 20% del combustible de aviación sería SAF y para 2050, el 72%.

Con este capítulo finaliza la descripción técnica y de la metodología de trabajo en la cual se cimienta los capítulos siguientes en los cuales se presenta el qué y cómo estratégico para hacer del SAF una realidad en el país.

#### 4. Hoja de Ruta de los SAF en Colombia

La presente Hoja de Ruta de los Combustibles Sostenibles de Aviación en Colombia es un documento de política pública que busca consolidar una señal clara de confianza en el sector aéreo y energético del país y direccionar al sector del transporte aéreo colombiano, liderado por el Gobierno Nacional, en la construcción de un marco regulatorio basado en las normas descritas por OACI, agnóstico, de alto impacto económico y de respeto al medio ambiente con alto sentido social.

En este orden de ideas, la Hoja de Ruta está basada en tres pilares esenciales y cinco ejes de actuación estratégicos, desarrollados en un mapa de acción diseñado para guiar los esfuerzos hacia el cumplimiento de las aspiraciones nacionales de los próximos años. Estos ejes no sólo definen un camino claro para el desarrollo sostenible de los combustibles en la aviación colombiana, sino que también promueven una mayor competitividad del país en el contexto internacional.

La aspiración de Colombia para **2035** es alcanzar una producción de al menos **100 millones de galones** de combustibles sostenibles de aviación (SAF), y **450 millones de galones para 2050.**

##### 4.1. Aspiración 2035 y 2050

En coherencia con el compromiso de la descarbonización del sector aéreo, Colombia se plantea un escenario aspiracional a 2035 y posteriormente a 2050 de producción nacional de Combustibles Sostenibles de Aviación. Para ello, se ha partido de tres puntos clave:

- i. la premisa que define la Hoja de Ruta de transición energética justa, que plantea una producción anual de 100 millones de galones de SAF a 2050;
- ii. los resultados del estudio realizado por el MIT (2024);
- iii. los aportes de potenciales productores participantes en el Ecosistema SAF.

Esta aspiración representa una señal clara, alcanzable y ambiciosa con base en un entorno cambiante y dinámico en el que el sector productivo y los actores de la cadena de suministro necesitan trabajar mancomunadamente impulsando la inversión y la planificación a largo plazo en la industria del SAF, al tiempo que contribuyen al cumplimiento de los compromisos internacionales de descarbonización del sector aéreo.

Para ello, se identifican tres vías de mayor potencial para la producción de SAF en Colombia:

### **1. Coprocesamiento:**

Este proceso tiene la ventaja de aprovechar la infraestructura de refinación existente en Colombia. Además, permite el uso de una amplia gama de materias primas, lo que hace que el proceso sea flexible y adaptable a las condiciones del mercado. Esta vía ofrece una solución de corto plazo para aumentar la producción de SAF de manera competitiva y sostenible.

### **2. HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids):**

Considerando HEFA como una de una de las rutas más maduras y comercialmente viables para la producción de SAF, en Colombia esta vía podría ofrecer varias ventajas clave en cuanto a costos, diversidad de materias primas y sostenibilidad. En este caso, se cuenta con opciones flexibles de materias primas como aceite usado de cocina y aceites vegetales, que pueden ofrecer condiciones competitivas.

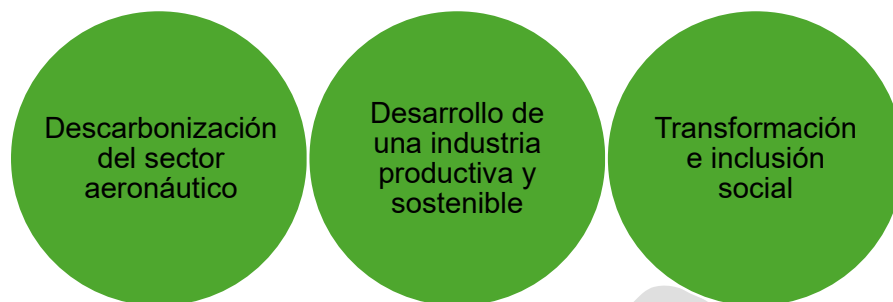
### **3. ATJ (Alcohol-to-Jet):**

La implementación de la tecnología de ATJ en Colombia podría impulsar el aprovechamiento de residuos de cultivos, agrícolas y forestales, el uso de cultivos energéticos y el uso de etanol que hoy ya se produce en el país. Además, este desarrollo podría impulsar proyectos de etanol de segunda generación a partir de cultivos energéticos y otros residuos.

Se espera que los proyectos que implementen esta tecnología se desarrollen de manera gradual. Las fechas de entrada en operación dependerán de varios factores, como las condiciones del mercado, el financiamiento e incentivos, la evolución de las normativas internacionales y el desarrollo de capacidades técnicas en el país para la producción sostenible de materias primas elegibles por OACI. Este enfoque permitirá un despliegue progresivo que se ajustará a las demandas del mercado y a los avances en la adopción tecnológica.

#### **4.2. Pilares de la Hoja de Ruta**

La Aerocivil ha identificado 3 pilares fundamentales (ver Figura 10 ) en los cuales Colombia desde el ecosistema SAF deberá articular y actuar de manera transversal durante los próximos años: la descarbonización del sector aeronáutico, el desarrollo de la industria productiva y sostenible y la transformación e inclusión social. Es el propósito del Gobierno Nacional, encaminar sus esfuerzos para alcanzar de manera efectiva estos pilares, mediante el completo desarrollo de la meta aspiracional y actividades planteadas en esta hoja de ruta.



*Figura 10. Pilares de la Hoja de Ruta de SAF en Colombia*

Con la intención de alinear de una manera lógica las acciones mediante las cuales se busca proyectar a Colombia como pionero en el desarrollo de los 3 pilares identificados, se han definido 5 Ejes de Actuación cada uno compuesto por un grupo de las acciones identificadas por el Ecosistema SAF. Esta metodología permitirá medir el impacto directo e indirecto que cada acción tiene sobre los pilares, y de una manera sincrónica analizar la relación que tiene cada acción con dos o más pilares.

El desarrollo en conjunto de las actividades planteadas en la hoja de ruta conllevará a el desarrollo de los tres pilares mencionados.

En conjunto, estos pilares son la base general sobre la cual se construye esta Hoja de Ruta, buscando establecer una estructura sólida que involucre a todos los eslabones de la cadena de valor acelerando el desarrollo económico y social del país y posicionando a Colombia como un referente en la producción de combustibles sostenibles para la aviación.

#### **a. Descarbonización del Sector Aeronáutico**

En Colombia, los biocombustibles se han consolidado como una industria clave, integrando toda la cadena de valor del sector agrícola y energético para la producción de energías líquidas renovables. Esto ha permitido desarrollar toda una industria en torno a la producción de biodiesel y etanol a partir de materias primas renovables como aceite de palma y caña de azúcar, respectivamente.

Según la Federación Nacional de Biocombustibles (Fedebiocombustibles), en 2023, el uso de biocombustibles contribuyó a reducir más de 3,2 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> y 800 toneladas de material particulado, lo que posiciona este sector como una alternativa costo-eficiente para la movilidad sostenible<sup>34</sup>. Estos avances han creado una base regulatoria y experiencia sólida en la cadena de valor que puede servir de plataforma para el desarrollo de la emergente industria del SAF.

<sup>34</sup> Federación Nacional de Biocombustibles (2024). Colombia y la industria de biocombustibles: Una alianza para la sostenibilidad. Consulta en línea en: <https://fedebiocombustibles.com/2024/07/23/colombia-y-la-industria-de-biocombustibles-una-alianza-para-la-sostenibilidad/>

La producción del SAF en Colombia no sólo busca reducir la huella de carbono y contribuir a la transición climática, sino que también representa seguridad energética al diversificar la matriz de combustibles para el transporte aéreo. En términos logísticos SAF presenta ventajas importantes, ya que puede integrarse a la cadena de suministro utilizando la infraestructura aeronáutica existente.

Además, el desarrollo del SAF impulsará la demanda de hidrógeno limpio, acelerando proyectos de bajas emisiones. Este recurso es esencial tanto para la producción de SAF como para el uso de tecnologías emergentes lo que lo convierte en un recurso fundamental para esta industria.

Es importante destacar que en las principales tecnologías de producción de SAF también se pueden generar otros subproductos energéticos como el diésel renovable (también denominado HVO por sus siglas en inglés), nafta verde y bioGLP, entre otros, que son alternativas de bajas emisiones y contribuyen a diversificar la matriz energética nacional.

#### b. Desarrollo de una Industria Productiva y Sostenible

Como bien ya se ha expuesto, el desarrollo integral de la producción nacional de SAF requiere impulsar la creación de una industria productiva y sostenible que abarque toda la cadena de valor y que represente el crecimiento económico del país. Este proceso implica la diversificación de materias primas, el aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales, el fortalecimiento de los procesos logísticos y la adopción de nuevas tecnologías para la producción de energéticos alternativos. Al consolidar esta cadena de valor, se abrirán oportunidades para la industrialización del sector energético, lo que atraerá inversiones tanto nacionales como internacionales, y permitirá que Colombia aproveche sectores que históricamente no han sido explotados a su máximo potencial.

La expansión de esta industria posicionará a Colombia como un productor estratégico de SAF a nivel regional y global, generando un atractivo para capital extranjero interesado en tecnologías limpias y sostenibles. Este diferenciador competitivo acelerará el crecimiento del sector aeronáutico transformando al país como un hub de producción de combustible de aviación sostenible.

Consecuentemente, el desarrollo de la industria del SAF creará nuevas oportunidades de empleo y fomentará el crecimiento industrial en distintas regiones y sectores económicos. Las comunidades agrícolas se beneficiarán al integrarse más activamente en la cadena de valor, con un enfoque en la economía circular y de alto valor agregado.

#### c. Transformación e inclusión social

La producción del SAF en Colombia representa un importante motor de transformación social, especialmente en el sector agroindustrial y en las comunidades rurales vinculadas a su cadena de valor. Colombia, reconocida

regionalmente por su potencial agrícola, cuenta con vastos recursos en materias primas renovables y residuos agrícolas, lo que posiciona al país como un actor clave en la producción de SAF. Este potencial permitirá atraer inversiones al campo, fomentar la educación y la innovación en esta industria naciente, y promover la cooperación y la competitividad en los clústeres agroindustriales.

Actualmente, los biocombustibles ya contribuyen de manera significativa generando aproximadamente 470.000 empleos directos e indirectos en la agroindustria de la palma de aceite y la caña de azúcar, y 90.000 empleos en la producción de estos biocombustibles. Este sector, que aporta un 2,8% al PIB manufacturero del país como lo indica el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), ha demostrado su capacidad de generar oportunidades económicas y desarrollo social.<sup>35</sup>

En el caso del SAF, se espera que el impacto en la empleabilidad sea aún mayor, al integrar una amplia variedad de materias primas provenientes de diferentes sectores agroindustriales, así como el aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales. Esto impulsará un desarrollo inclusivo, creando más y mejores empleos en las comunidades rurales, mientras fortalece la sostenibilidad económica del país. La consolidación de esta industria también contribuirá al fortalecimiento de las capacidades locales, fomentando la formación técnica y el desarrollo de competencias que apoyen la transición hacia una economía más justa.

#### 4.3. Ejes y mapa de actuación

Esta Hoja de Ruta busca garantizar la alineación de las acciones del Gobierno Nacional, la industria y las políticas gubernamentales para lograr el cumplimiento del objetivo aspiracional del país a 2035 y 2050. Para ello, se han establecido 5 ejes de actuación sobre los cuales se han definido una serie de acciones orientadas a garantizar el correcto desarrollo e implementación de las medidas que conlleven a Colombia como un actor sobresaliente en el mercado global del SAF en línea con los pilares definidos en la sección anterior.

Resultado de las mesas técnicas lideradas por la Aerocivil y con participación de los integrantes del ecosistema SAF, se definieron 32 acciones que constituyen un mapa de actuación para el desarrollo del SAF en Colombia. Así las cosas, la Figura 11 muestra un resumen que agrupa las acciones para cada eje de actuación y la Tabla 4 presenta la descripción detallada del total de las acciones propuestas.

Posterior a la publicación de la presente hoja de ruta, la Aerocivil en los tres (3) meses siguientes a la fecha de publicación elaborará en conjunto con los actores del Ecosistema SAF, un documento que contemple responsables y fechas de

---

<sup>35</sup> Federación Nacional de Biocombustibles (2024). Colombia y la industria de biocombustibles: Una alianza para la sostenibilidad. Consulta en línea en: <https://fedebiocombustibles.com/colombia-y-la-industria-de-biocombustibles-una-alianza-para-la-sostenibilidad/>

cumplimiento de las acciones propuestas en este capítulo con el fin de realizar seguimiento a las mismas.

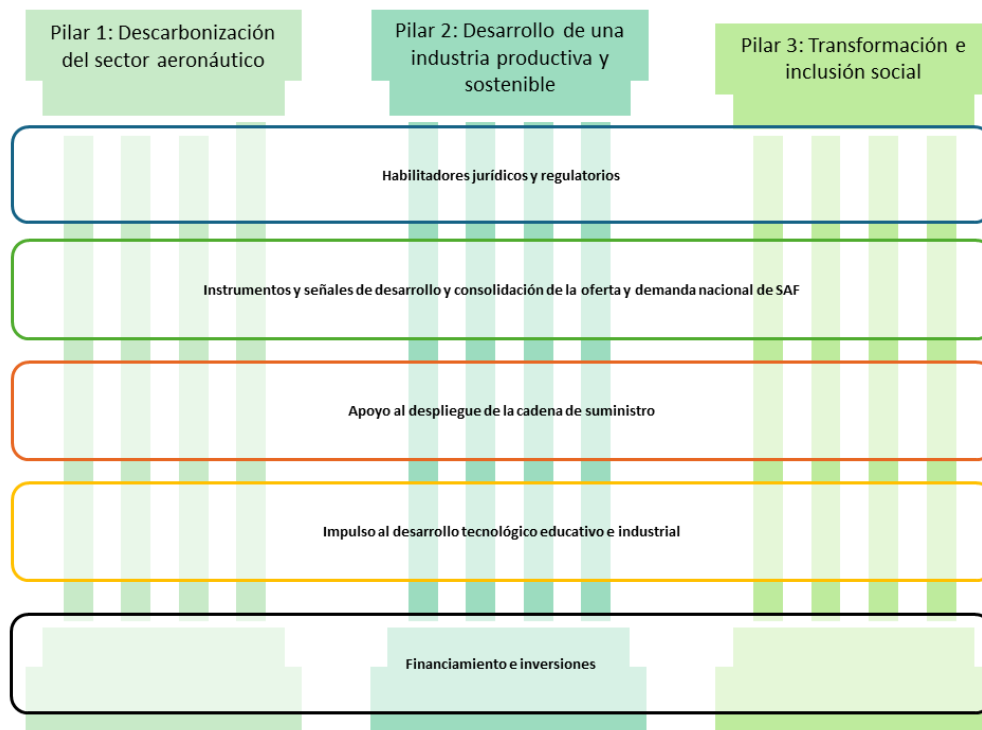


Figura 11. Resumen del mapa de actuación: pilares y ejes para la Hoja de Ruta de SAF en Colombia

Tabla 4. Mapa de actuación de la Hoja de Ruta de SAF en Colombia

| Eje de actuación 1:<br>Habilitadores jurídicos y regulatorios   | Eje de actuación 2:<br>Instrumentos y señales de desarrollo y consolidación de la oferta nacional y demanda nacional e internacional de SAF   | Eje de actuación 3:<br>Apoyo al despliegue de la cadena de suministro de SAF  | Eje de actuación 4:<br>Impulso al desarrollo tecnológico, educativo e industrial   | Eje de actuación 5:<br>Financiamiento e inversiones  |
|---|---|---|--|--|
| 1. Realizar Mesas técnicas regulatorias y jurídicas periódicas  | 11. Implementar el sistema de reclamo de emisiones estipulado en el RAC-216   | 17. Identificar y evaluar las materias primas nacionales para la producción de SAF  | 23. Promover la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en SAF  | 30. Establecer mecanismos de financiación para proyectos de SAF a través de la formulación de acuerdos, nacionales e internacionales.  |
| 2. Articular las acciones de esta Hoja de Ruta con otros instrumentos existentes de política pública  |   | 18. Analizar los requerimientos y la disponibilidad de los recursos críticos necesarios como hidrógeno, energía eléctrica, agua y disponibilidad de tierras | 24. Desarrollar herramientas de gestión de conocimiento en innovación de la cadena de valor de SAF en Colombia a través de un ecosistema que centralice diversos actores |  |
| 3. Crear una estructura de gobernanza que monitoree el desarrollo del SAF en Colombia   |   | 12. Promover espacios de diálogo entre el Ecosistema SAF, las entidades y actores clave   | 19. Integrar el desarrollo del SAF con el desarrollo de la industria de hidrógeno de bajas emisiones en el país  |  |
| 4. Reglamentar un mecanismo de contabilidad y registro de emisiones   | 13. Integrar el desarrollo de la industria nacional de SAF con la planificación de una transición energética escalonada   | 26. Fortalecer la educación y talento humano a través del intercambio de conocimientos con los países de la región  |  | 31. Trabajar en instrumentos de apoyo a la inversión privada que aporten recursos a largo plazo con incentivos financieros y fiscales, subsidios, zonas francas, garantía de precios entre otros |
| 5. Reglamentar un Mecanismo de registro del aporte en la reducción de emisiones por la adquisición de SAF operados por aerolíneas en rutas nacionales | 14. Definir acciones y metas concretas que impulsen a Colombia como un actor relevante en términos de exportación   | 27. Impulsar el desarrollo de planes de transferencia tecnológica y de conocimiento con universidades y empresas nacionales e internacionales.              |  |  |
| 6. Emitir la reglamentación técnica de productor y nuevos agentes de combustibles.  | 15. Establecer una regulación de garantías mediante acuerdos a largo plazo entre los productores de SAF y los proveedores de materias primas, así como con los agentes que adquieran el SAF | 21. Articular la integración con elementos de logística, infraestructura y otros  | 28. Articular la implementación de programas de capacitación e iniciativas de innovación   |  |
| 7. Emitir la reglamentación de calidad para productores y nuevos agentes de combustibles  |   |   |  |  |
| 8. Mantener la normatividad Nacional alineada con el marco normativo de CORSIA  |   |   |  |  |
| 9. Adoptar incentivos enfocados a promover las materias primas, la producción, compra y mezcla de SAF, tales como los detallados en las FNCER         | 16. Desarrollar marcos de colaboración y establecer acuerdos formales que faciliten la cooperación entre empresas del sector privado y entidades gubernamentales                            | 22. Planear y monitorear el desarrollo de infraestructura para el SAF y para los recursos críticos  | 29. Participar en los grupos de trabajo internacionales en materia de SAF  |  |
| 10. Incentivar el desarrollo y uso de nuevas materias primas y el aprovechamiento de residuos orgánicos   |   |   |  |  |

a. Eje de actuación 1: Habilitadores jurídicos y regulatorios

El SAF como industria emergente en el sector energético requiere de la articulación institucional, jurídica y regulatoria de los Ministerios de Transporte, Minas y Energía, Ambiente y Desarrollo Sostenible, Agricultura y Desarrollo Rural, Hacienda y Crédito Público, Ministerio de Vivienda, ciudad y territorio, Ministerio de Ciencia tecnología e innovación y Ministerio de Comercio, Industria y turismo junto a entidades y agencias de gobierno tales como Agencia Nacional de Hidrocarburos, Departamento de Nacional de Planeación, Unidad de Planeación Minero Energética, Agencia Nacional de Infraestructuras y Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. Del mismo modo se espera que el sector empresarial público y privado, encabezado por Ecopetrol, introduzca actividades para la implementación del SAF en Colombia. La Hoja de Ruta establece las siguientes acciones:

1. Mantener mesas de trabajo periódicas para identificar y hacer seguimiento a las competencias institucionales entre los distintos ministerios y entidades, teniendo en cuenta el amplio rango de materias primas, tecnologías de producción y la incorporación de mecanismos de contabilidad de carbono.
2. Articular las acciones de esta Hoja de Ruta con otros instrumentos existentes de política pública respecto al cambio climático que permita alinear la visión del sector aéreo a las medidas, plazos y procesos que se aplican a las Fuentes No Convencionales de Energías Renovables (FNCER) y a los Planes Integrales de Gestión de Cambio Climático Sectoriales y Territoriales (PIGCCs) del sector Minero-Energético y de otros sectores afines. Vigilar la política nacional relacionada con la diversificación de la matriz energética, la contribución al desarrollo bajo en carbono y en los demás lineamientos que permitan coordinar la Hoja de Ruta con las estrategias de carbono neutralidad y descarbonización de la economía.
3. Con el objetivo de asegurar el correcto despliegue, seguimiento y evaluación de esta Hoja de Ruta, se considera necesario crear una estructura de gobernanza que monitoree el desarrollo del SAF en Colombia. Este órgano deberá ser integrado por competencias conjuntas de otros ministerios y entidades que cumplan funciones específicas para el desarrollo, implementación y monitoreo del SAF, así como de otros biocombustibles y energéticos renovables.
4. Emitir la reglamentación en relación con un mecanismo de contabilidad y registro de emisiones, que garantice el reporte y monitoreo de la producción, compra y mezcla de SAF. Además, que permita rastrear y reclamar el beneficio ambiental de la compra y mezcla de SAF. Este mecanismo deberá garantizar la aplicabilidad de un método de custodia que permita desvincular los atributos específicos del producto físico de

sus atributos ambientales y transferirlos por separado a través de un registro dedicado. Para ello, la Aeronáutica Civil será la entidad encargada de reglamentar y/o dirigir este proceso para vuelos en el territorio nacional siguiendo los lineamientos del esquema CORSIA definido por la OACI.

5. Para el caso de los vuelos nacionales, la Aerocivil, establecerá un mecanismo de registro del aporte en la reducción de emisiones por la adquisición de SAF operados por aerolíneas en rutas nacionales, el cual deberá estar alineado al mecanismo de contabilidad y registro de emisiones desarrollados en la actividad número a4. Esta medición será reportada al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
6. Reglamentación técnica de productor y nuevos agentes de combustibles: Se buscará regular a los nuevos actores de la cadena definiendo los requisitos para su registro ante el Ministerio de Minas y Energía y habilitación en el Sistema de Información de Combustibles – SICOM. En este sentido, el Ministerio de Minas y Energía será el encargado de expedir un reglamento técnico que establezca estas disposiciones y viabilice las actividades del productor, importador y mezclador de SAF en la cadena de suministro de combustibles del país.
7. Reglamentar las especificaciones de calidad que deben cumplir los SAF, adoptando en la reglamentación nacional y en los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC) los parámetros, límites y métodos de ensayo establecidos en las normas técnicas internacionales. Entre otras, de acuerdo con estándares internacionales como ASTM International normas ISO (Organización Internacional de Normalización), IE/JIG y las Normas Técnicas Colombianas (NTC) establecidas por el ICONTEC, que estén adoptadas o en proceso de adopción.
8. La Aerocivil en conjunto con el ecosistema SAF se encargará de mantener la normatividad Nacional alineada con el marco normativo de CORSIA para la actualización, seguimiento de nueva reglamentación sobre el SAF que asegure su viabilidad comercial y de uso.
9. Los Ministerios de Minas y Energía, Agricultura y Desarrollo Rural, Transporte y Comercio, adoptarán incentivos enfocados a promover las materias primas, la producción, compra y mezcla de SAF, tales como los detallados en las Fuentes no Convencionales de Energía Renovable, o cualquier otro tipo de beneficio o incentivo adicional relacionados con el desarrollo de las energías renovables y la profundización de la transición energética en Colombia.
10. Incentivar el desarrollo y uso de nuevas materias primas y el aprovechamiento de residuos orgánicos (tales como biomasa) definiendo

su potencial para la producción de combustibles sostenibles con la participación conjunta del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

b. Eje de actuación 2: Instrumentos y señales de desarrollo y consolidación de la oferta nacional y demanda nacional e internacional de SAF

La relevancia de los instrumentos y las señales de mercado es fundamental para el desarrollo y consolidación de la oferta y demanda de combustibles sostenibles para la aviación (SAF). La aplicación de acciones, como las mencionadas a continuación, puede posicionar a la industria nacional competitivamente como un actor clave en el mercado energético global en la producción, uso y exportación de SAF:

1. La Aerocivil aplicará el mecanismo para el reclamo de reducción de emisiones por el uso de combustibles admisibles en el marco del CORSIA estipulado en el RAC-216. Este mecanismo garantizará el reporte y monitoreo de la producción y adquisición de SAF y la aplicabilidad de un mecanismo de custodia, bajo las obligaciones que demanda la industria aérea internacional para que las aerolíneas que adquieran el beneficio de reducción de emisiones del SAF puedan disfrutarlo sin necesidad de recibir el combustible físicamente.
2. Promover espacios de diálogo entre el Ecosistema SAF, las entidades y actores clave para el desarrollo de la industria nacional de SAF y para facilitar la construcción de mecanismos de comercialización.
3. Integrar el desarrollo de la industria Nacional de SAF con la planificación de las metas de descarbonización y el plan indicativo de combustibles líquidos tradicionales, en línea con las metas establecidas por el Gobierno Nacional a través de las entidades públicas adscritas y ministerios, garantizando la seguridad energética para el sector de aviación.
4. Definir acciones y metas concretas que impulsen a Colombia como un actor relevante en términos de exportación de SAF para la región, que promuevan excedentes en la producción y consumo nacional.
5. Establecer una regulación de garantías mediante acuerdos a largo plazo entre los productores de SAF y los proveedores de materias primas, así como con los agentes que adquieran el SAF, con el fin de estabilizar costos y permitir un mercado organizado con inventarios y proyecciones que tengan en cuenta las garantías en el cumplimiento de las condiciones en la cadena de suministro, lo cual deberá ser regulado por el Ministerio de Minas y Energía competente en la materia.
6. Desarrollar marcos de colaboración y establecer acuerdos formales que faciliten la cooperación entre empresas del sector privado y entidades gubernamentales, así como con actores internacionales clave. Estos acuerdos deben enfocarse en asegurar la disponibilidad y eficiencia de la

cadena de suministro y en alianzas estratégicas que fortalezcan la infraestructura y competitividad en el mercado global.

c. Eje de actuación 3: Apoyo al despliegue de la cadena de suministro de SAF

Cada eslabón de esta cadena de suministro de los SAF es crucial en el desarrollo de esta industria, por tanto, el apoyo al despliegue de una infraestructura robusta, de una logística en materias primas y alianzas estratégicas entre todos los actores, esta cadena comprende desde la producción y recolección de materias primas y residuos, la producción de SAF, su distribución en aeropuertos para su uso directo y puertos marítimos para su exportación. Siguiendo acciones como las propuestas a continuación:

1. Identificar y evaluar las materias primas nacionales para la producción de SAF, impulsando la diversificación de nuevas materias primas que sean elegibles ante CORSIA y que en cumplimiento de los criterios de sostenibilidad puedan ser utilizadas para la producción de combustibles sostenibles.
2. Analizar los requerimientos y la disponibilidad de los recursos críticos necesarios como hidrógeno, energía eléctrica, agua y disponibilidad de tierras, entre otros principales que puedan limitar la capacidad de producción de los combustibles SAF en el país.
3. Integrar el desarrollo del SAF con el desarrollo de la industria de hidrógeno de bajas emisiones en el país, considerado como insumo esencial para diferentes tecnologías de producción de SAF, así como una potencial alternativa al combustible en futuros modelos de aviones que se espera implementar en el largo plazo. Lo anterior, articulando al sector con las entidades líderes en la implementación de la Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia.
4. Integración con mercados de la transición energética: El mercado del SAF involucra el desarrollo y la integración con otros mercados de energías renovables de bajas emisiones, como lo son HVO, bioGLP o nafta verde.
5. Integración con elementos de logística, infraestructura y otros: Determinar y evaluar, en términos de costos e inversiones, los requerimientos en los ajustes y/o construcción de infraestructura, así como en la planeación conjunta de adaptaciones de instalaciones que sean necesarias para el desarrollo de la industria de SAF y su cadena de valor.
6. Planear y monitorear el desarrollo de infraestructura para el SAF y para los recursos críticos considerando la construcción de las plantas de producción, así como la instalación de la infraestructura logística y operativa requerida y las adecuaciones de almacenamiento, capacidades de generación y transmisión de energía eléctrica, entre otros. Por tanto,

se propone hacer una detección de las necesidades para definir la planeación y monitoreo en la ejecución de estos puntos.

#### d. Eje de actuación 4: Impulso al desarrollo tecnológico, educativo e industrial

Este eje busca establecer acciones que involucren a los actores de la academia, de centros de innovación y a la industria aeronáutica en el fortalecimiento de las capacidades y la generación de sinergias que conlleven a posicionar a Colombia como líder en el desarrollo y producción nacional de SAF.

1. Promover la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en SAF.
2. Desarrollar herramientas de gestión de conocimiento en innovación de la cadena de valor de SAF en Colombia a través de un ecosistema que centralice diversos actores como empresas privadas, asociaciones, universidades y organismos multilaterales. Lo anterior, con participación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y del Ministerio de Educación.
3. Identificar e impulsar programas de I+D+i para el desarrollo de tecnologías de pretratamiento de materias primas, incluyendo nuevas alternativas y residuos, que mejoren las condiciones de acopio, logística y rendimiento, así como otras aplicaciones de innovación que impulsen mejoras en la productividad de SAF en Colombia. De igual manera, realizar la evaluación de los impactos en las emisiones asociadas a la calidad del aire en los aeropuertos por el uso de SAF.
4. Fortalecimiento en educación y talento humano a través del intercambio de conocimientos con los países de la región conectando a empresas, inversores y expertos en la industria de SAF.
5. Impulsar el desarrollo de planes de transferencia tecnológica y de conocimiento con universidades y empresas nacionales e internacionales, así como programas de financiación para la cualificación del talento humano en el sector.
6. Articular la implementación de programas de capacitación nuevos e incentivar la actualización de programas de formación existentes como los programas del SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje) y centros de investigación como el Instituto Colombiano del Petróleo y Energías de la Transición – ICPET, grupos de investigación de diferentes universidades públicas y privadas, así como iniciativas de innovación como ECONOVA o cualquier otro tipo de acción, programa o mecanismo que contribuya con el desarrollo e implementación de la industria nacional de SAF.
7. Participar en los grupos de trabajo internacionales en materia de SAF tales como el CAEP Felús Task Group el Foro Económico Mundial, entre otros.

#### e. Eje de actuación 5: Financiamiento e inversiones

Las acciones de financiamiento e inversiones para SAF buscan fomentar inversiones públicas y privadas que promuevan la creación de la cadena de valor del SAF en Colombia, a través de cooperación multilateral e internacional, créditos verdes y alianzas estratégicas. Encaminándose hacia una aviación sostenible, a la vez que asegura beneficios económicos y ambientales que refuerzan su competitividad en los mercados globales.

1. Establecer mecanismos de financiación para proyectos de SAF a través de la formulación de acuerdos, nacionales e internacionales, con el objetivo de facilitar la financiación de proyectos. Los proyectos de refinación y producción del SAF requieren altos costos de inversión, por lo que, establecer mecanismos de financiación es fundamental para viabilizar la construcción de las plantas e instalaciones y para el desarrollo de los recursos y materias primas.
2. El Ministerio de Comercio, Industria y Turismo buscará trabajar en instrumentos de apoyo a la inversión privada que aporten recursos a largo plazo con incentivos financieros y fiscales, subsidios, zonas francas, garantía de precios, incluyendo un plan de reducción del riesgo a la inversión, el cual debería de ser desarrollado junto con los potenciales inversores y los actores de la cadena.
3. Atracción de inversión internacional de mecanismos de cooperación e inversión privada: Explorar acuerdos internacionales de colaboración en torno al SAF con otros países con el objetivo de buscar e integrar esfuerzos con otros países pioneros en transición energética con tanto de carácter bilateral como multilateral, que tendrán por objetivo crear alianzas de cooperación en la materia explorando posibles codesarrollos y co-inversiones en proyectos de consumo local así como la participación en programas como el ACT- SAF y demás mecanismos de apoyo de la OACI.

#### 4.4. Gobernanza

En línea con los capítulos anteriores y considerando el mapa de actuación que se plantea en esta Hoja de Ruta, la Aerocivil crea la siguiente estructura de gobernanza que asegurará y monitoreará el desarrollo y la implementación de las acciones y lineamientos para el despliegue de la industria del SAF en Colombia.

##### a. Estructura de gobernanza

Se creará un Comité de Seguimiento conformado por la Aerocivil, Ecopetrol, las entidades ministeriales, las empresas con proyectos registrados, los productores, los agentes e involucrados en la cadena de suministro de SAF, y con participación

de aquellos actores del sector aeronáutico interesados en el consumo y adquisición de este combustible, tanto públicos como privados.

Siguiendo el mandato de la Ley 2169 de 2021 “Por medio de la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono del país mediante el establecimiento de metas y medidas mínimas en materia de carbono neutralidad y resiliencia climática y se dictan otras disposiciones” en su Artículo 12, §11, los Ministerios de Minas y Energía y Transporte coliderarán el Comité de Seguimiento como impulsores del desarrollo y uso de los combustibles sostenibles de aviación (SAF) en Colombia. La Aerocivil y Ecopetrol seguirán llevando este liderazgo de acuerdo con el Plan de Desarrollo 2022 - 2026.

#### b. Funciones del Comité de Seguimiento:

- Definir la metodología del Comité, los participantes y la periodicidad de reuniones.
- Monitorear los avances, el cumplimiento y ejecución de las medidas indicadas en los ejes de actuación de esta Hoja de Ruta.
- Proponer y promover la adopción de un proyecto de ley en el Congreso de la República que regule la producción, comercialización y uso de SAF en Colombia, al mismo tiempo dando garantías jurídicas e incentivos a la cadena de suministro para su desarrollo y crecimiento.
- Apoyar activamente a los distintos ministerios en la implementación de las acciones del mapa de actuación, teniendo en cuenta las competencias propias.
- Hacer seguimiento a las demás regulaciones que involucran al SAF y la habilitación jurídica del desarrollo del SAF en Colombia.
- Revisar periódicamente la Hoja de Ruta para su actualización que considere los cambios, proyecciones y tendencias del mercado, teniendo en cuenta los avances en la ejecución de los proyectos en Colombia
- Promover estudios técnicos especializados sobre tecnologías, proyecciones, análisis de mercados y económico del SAF y otras temáticas que se requieran.
- Realizar un informe anual de los avances en la industria del SAF y el análisis correspondiente para Colombia, y socializar con las entidades, agentes y actores involucrados en la cadena de suministro de SAF y demás interesados.

#### c. Indicadores de seguimiento:

A continuación, se definen los indicadores de seguimiento con los que la Aerocivil, mediante la Oficina de Analítica y junto con los actores del ecosistema SAF, medirá el cumplimiento de esta Hoja de Ruta y sus correspondientes tasas de cumplimiento enmarcados en los siguientes frentes:

### 1) Frente a la implementación del mapa de actuación:

La implementación de las acciones planteadas en el mapa de actuación depende de diferentes factores y entidades, por tanto, se requiere realizar un seguimiento frecuente y dinámico del comité con cada uno de los competentes en estos procesos. Para ello, se plantea:

| Indicador  | Periodicidad | Fuente  |
|--|--------------|---|
| Cumplimiento de las acciones del mapa de actuación (Sección Ejes y mapa de actuación). | Semestral    | Reporte de las entidades responsables en cada una de las acciones a la Aerocivil – Oficina de Analítica |

### 2) Frente a la oferta nacional de SAF en Colombia:

Para el seguimiento de la producción nacional de SAF es necesario conocer los avances en los proyectos registrados y la puesta en marcha de las plantas de productores autorizados considerando el número de proyectos, las empresas involucradas, la capacidad de producción, la tecnología utilizada, huella estimada y la ubicación. Para ello, se plantea:

| Indicador   | Periodicidad  | Fuente   |
|---|---|--|
| Volumen de producción (galones de SAF)  | Anual a partir de 2025 hasta 2028.<br>Semestral a partir de 2028. | Reporte de los productores a la Aerocivil – Oficina de Analítica |
| Huella del SAF producido (gCO <sub>2</sub> /MJ) vs línea base (89 gCO <sub>2</sub> /MJ) | Anual a partir de 2025  | Reporte de los productores a la Aerocivil – Oficina de Analítica |

### 3) Frente a las metas de reducción de emisiones

Para el seguimiento del cumplimiento de las metas de reducción de emisiones en el transporte aéreo doméstico e internacional que atribuye la adquisición de SAF producido en Colombia, se requiere el monitoreo en un sistema de registro que contenga la información y trazabilidad de estos a lo largo de la cadena de suministro de SAF. Para ello, se plantea:

| Indicador  | Periodicidad     | Fuente  |
|--|------------------|---|
| Reducción de emisiones por la adquisición de SAF en vuelos internacionales | Anual desde 2028 | Reporte de Aerolíneas a la Aerocivil – Oficina de Analítica |

## 5. Conclusiones

Construir una alternativa de descarbonización para este sector es una prioridad para Colombia. Esta Hoja de Ruta es fundamental para alinear al país e impulsar su industria hacia la consecución de las aspiraciones de reducción de emisiones tanto a nivel nacional como internacional, apoyándose en marcos regulatorios sólidos y en la cooperación de los actores involucrados en la cadena de valor. Por este motivo, la Aerocivil reconoce la importancia de crear una aspiración ambiciosa y alcanzable en un entorno dinámico con el propósito de trazar un norte hacia la consolidación de una industria más sostenible.

Como bien se demostró, entre los actores interesados en esta cadena se encuentran desde los generadores de materias primas hasta los productores y otros participantes clave que han sido parte integral de la elaboración de esta Hoja de Ruta. Su compromiso y participación son fundamentales para la implementación exitosa y el crecimiento sostenible de esta nueva industria en el país.

Este documento no solo establece objetivos relacionados con la producción de SAF, sino que también impulsa el desarrollo de capacidades tecnológicas, incentiva la innovación, fomenta un entorno favorable para la inversión en proyectos sostenibles y que aportan a la seguridad energética del sector.

En adición, no solo se establecen objetivos relacionados con la producción de SAF, sino que también impulsa el desarrollo de capacidades tecnológicas, fomenta la innovación y crea un entorno propicio para la inversión en proyectos sostenibles. La combinación de esfuerzos entre el sector público y privado tiene como objetivo generar un impacto positivo en el crecimiento económico, promover la creación de empleo, y beneficiar a las regiones involucradas en la cadena de suministro del SAF.

El presente documento se encuentra en línea con la Hoja de Ruta de Transición Energética Justa, en el documento de Escenarios Nacionales, “rutas que nos preparan para el futuro”, avanza y propone los hitos 2023- 2050. Con esto, el Gobierno Nacional establece un primer paso que busca trazar un marco de actuación integral para impulsar la producción y uso de SAF, potencializando a Colombia como un hub de combustible sostenible de aviación internacional. La Hoja de Ruta SAF es el resultado de un proceso iterativo, colaborativo y dinámico. A medida que se implementen las acciones y el mercado global de SAF crezca, se realizarán actualizaciones para fortalecer el desarrollo de esta industria nacional, en sintonía con los objetivos de descarbonización del transporte aéreo.

A partir de esta Hoja de Ruta y teniendo en cuenta las potenciales vías de producción, se requiere realizar un análisis detallado de la capacidad y disponibilidad de materias primas, así como de otros factores como los insumos críticos relacionados con factibilidad de energía eléctrica e hidrógeno y finalmente determinar los aportes socioeconómicos a la generación de empleos, educación e impacto económico, para lo cual se recomienda realizar un estudio técnico especializado.

Finalmente, es necesario que el Ecosistema SAF se fortalezca mediante la estructuración de un plan de trabajo con los habilitadores propuestos, de modo que se logre aumentar la probabilidad de éxito de esta industria en el país dentro del periodo establecido.

BORRADOR

## Definiciones

**Combustible de aviación semisintéticos – Semi Synthetic Jet Fuel – SSJF:** Los combustibles de aviación semisintéticos son la mezcla en diferentes niveles entre un componente sintético de mezcla (SBC) con combustible de aviación para motores tipo turbina (CAF). Los límites de mezcla varían dependiendo de la ruta tecnológica aprobada por la ASTM D7566. Éste combustible puede ser obtenido por mezcla del SBC producido en planta dedicada con CAF (denominado SSJF mezclado) o por coprocesamiento (denominado SSJF coprocesado).

**Combustibles de aviación para motores tipo turbina – CAF:** Se refiere a los combustibles de aviación derivados del petróleo para motores tipo turbina que atiende las especificaciones técnicas y de calidad establecidas en el estándar ASTM D1655 y en la NTC 1899, así como en el reglamento técnico vigente expedido por el Ministerio de Minas y Energía.

**Combustibles de aviación de bajas emisiones de carbono – LCAF:** Los combustibles de aviación con bajas emisiones de carbono (LCAF, por sus siglas en inglés ‘Lower carbon aviation fuels’) son combustibles de aviación derivados del petróleo cuyas emisiones de CO<sub>2</sub> se reducen mediante tecnologías y procesos, tales como:

- Medidas de conservación de la energía (plantas energéticamente eficientes, aumento de la eficiencia de la producción, mejora del control de la eficiencia).
- Reducción de gases de proceso (gestión de antorchas, control de venteo, eliminación de emisiones fugitivas).
- Uso de electricidad, gas e hidrógeno renovables/bajos en carbono.
- Uso de captura y almacenamiento de carbono (CAC).

**Combustibles Sostenibles de Aviación – SAF:** Se define a los combustibles sintéticos de mezcla obtenidos a partir de materias primas renovables o derivado de residuos que cumplen con los criterios de sostenibilidad definidos por CORSIA, reduciendo como mínimo un 10% de las emisiones de GEI con respecto al combustible de aviación de origen fósil (CAF).

Los SAF se componen de una molécula física y un atributo de sostenibilidad. La parte física, también denominada neat SAF, se define como un componente de mezcla sintética (SBC, por siglas en inglés ‘synthetic blend component’) son hidrocarburos sintetizados a partir de fuentes diferentes al petróleo que cumplen con los requisitos definidos en los anexos del estándar ASTM D7566, o coprocesados definidos en el anexo 1 del estándar ASTM D1655, y que pueden emplearse como combustible de aviación al mezclarse y cumplir con las definiciones y normas de calidad establecidas para los combustibles de aviación convencionales.

**Coprocesamiento:** método de producción en el que se utiliza refinerías e infraestructura existente para combinar corrientes de petróleo crudo o sus derivados) con una materia prima biogénica (lípidos vegetales o animales, aceite de cocina usado, aceite de pirólisis, gas de síntesis de material lignocelulósico) para producir combustibles semisintéticos de aviación – SSJF que deberá cumplir las especificaciones de calidad dispuestas en la norma ASTM D1655 y NTC 1899.

**CORSIA:** Es el esquema de compensación y reducción de carbono para la aviación internacional (CORSIA por sus siglas en inglés de ‘Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation’) de la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI). El esquema fue establecido en 2016 como una medida de reducción de emisiones basada en el mercado global de la aviación sobre una base de referencia en las emisiones de CO2 por encima de los niveles de 2020.

**Esquema de certificación (SCS):** para CORSIA, un esquema de certificación (SCS por sus siglas en inglés ‘Sustainability Certification Schemes’) son organizaciones que certifican a los productores de combustible según sus criterios de sostenibilidad y garantizan el cálculo de las emisiones del ciclo de vida (si no se aplican los valores predeterminados) utilizando la metodología acordada. Desde 2020 hasta la fecha, los esquemas de certificación aprobados son la Certificación Internacional de Sostenibilidad y Carbono (ISCC) y la Mesa Redonda sobre Biomateriales Sostenibles (RSB). SCS define los requisitos de certificación de sostenibilidad, establece requisitos para los organismos de certificación, auditores y organismos de acreditación, y monitorea la efectividad del sistema de aseguramiento.

**E-fuels o power-to-liquid (PtL):** combustibles producidos a partir de dióxido de carbono e hidrógeno verde. El dióxido de carbono puede provenir de gases residuales industriales o carbono capturado directamente de la atmósfera.

**Importador de combustibles semisintéticos (SSJF) y componentes de mezcla sintéticos (SBC):** Toda persona natural o jurídica que ejerce la actividad de importación de combustibles semisintéticos (SSJF) y/o componentes de mezcla sintéticos (SBC) para ser mezclado con combustible de aviación de origen fósil y que esté autorizado por el Ministerio de Minas y Energía para realizar tal actividad.

**Instalación de mezcla:** Instalación del productor, refinador, transportador o distribuidor mayorista, aprobada por la Dirección de Hidrocarburos del Ministerio de Minas y Energía, para mezclar componentes de mezcla sintéticos (SBC) y/o combustibles semisintéticos (SSJF), con combustibles de aviación para motores tipo turbina (CAF), obteniendo SSJF mezclado que cumple con las especificaciones técnicas establecidas en los estándares internacionales de calidad.

**Lote de producción de referencia del SBC o SSJF:** Es la cantidad de combustibles semisintéticos, coprocesados o de componentes sintéticos para mezcla (SBC) producidos con características homogéneas, que es almacenado en

tanque y al cual se le efectúan las Pruebas Completas de Calidad para ser certificado como producto y que se destine para el despacho.

**Mezclador de SBC:** Quien realice la actividad de mezcla del componente sintético SBC o coprocesado con el combustible de aviación para motores tipo turbina – CAF, cuente con una instalación de mezcla y este autorizado por el Ministerio de Minas y Energía para realizar tal actividad.

**Productor de combustibles semisintéticos (SSJF) y componentes de mezcla sintéticos (SBC) para uso en motores tipo turbina:** Toda persona natural o jurídica que ejerce la actividad de producción de combustibles de aviación semisintéticos (mezclados o coprocesados) y componentes de mezcla sintéticos (SBC) que este autorizado por el Ministerio de Minas y Energía para realizar tal actividad.

**Registro y Reclamo o Book and Claim (B&C):** método de cadena de custodia en el que el flujo de registros administrativos no coincide con el flujo físico de material o producto a lo largo de la cadena de suministro. Este método permite desvincular atributos específicos del producto físico y transferirlos por separado a través de un registro dedicado.

**Sistema de Contabilización de Emisiones basado en cadenas de custodia:** Método por el cual se desvinculan los atributos ambientales del producto físico a lo largo de la cadena de custodia. El sistema permite el registro y reclamo de unidades de emisiones, evitando la doble reclamación de una misma unidad.

**Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (Aerocivil): Entidad que de acuerdo con** el Libro 5 del Código de Comercio y el decreto 1294 de 2021 es la designada como Autoridad Aeronáutica en todo el Territorio Nacional. Por otra parte, de acuerdo con la ley 2294 de 2023 es la entidad del estado que debe liderar el desarrollo del SAF en Colombia

**Vías de producción:** también conocida como vía tecnológica o ‘pathway’ se refiere a una materia prima y proceso tecnológico específico utilizado para producir componentes sintéticos de mezcla. Las rutas tecnológicas certificadas mediante la ASTM D4054 y establecidas en los estándares ASTM D7566 y NTC 6546 para facilidades dedicadas; o en el estándar ASTM D1655-Anexo 1, para coprocesamiento, en su versión vigente.

## Siglas

Aerocivil: Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil

ACV: Análisis de ciclo de vida (LCA por sus siglas en inglés)

ATJ: Alcohol-To-Jet

ASTM: ASTM International (anteriormente 'American Society for Testing and Materials')

B&C: Sistema de Registro y Reclamo por sus siglas en inglés de "Book and Claim".

CAF: Combustibles convencionales de aviación por sus siglas en inglés 'Conventional Aviation Fuels'

CCUS: Captura, Almacenamiento y Uso del Carbono, por sus siglas en inglés de "Carbon Capture, Use and Storage".

CONPES: Consejo Nacional de Política Económica y Social

CORSIA: Esquema de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional' por sus siglas en inglés de 'Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation' '.

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística

GEI: Gases Efecto Invernadero

HEFA: Esteres hidroprocesados y ácidos grasos por sus siglas en inglés 'Hydroprocessed Esters and Fatty Acids'

IATA: Asociación Internacional de Transporte Aéreo por sus siglas en inglés 'International Air Transport Association'

ILUC: Cambio indirecto del uso de la tierra por sus siglas en inglés de Indirect Land Use Change

ISCC: Certificación Internacional de Sostenibilidad y Carbono por sus siglas en inglés de International Sustainability and Carbon Certification

LCAF: Combustibles de aviación de bajas emisiones de carbono por sus siglas en inglés 'Lower Carbon Aviation Fuels'

MME: Ministerio de Minas y Energía

MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

MADR: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

MHCP: Ministerio de Hacienda y Crédito Público

NDC: Contribución Determinada a nivel Nacional de las siglas en inglés de 'Nationally Determined Contributions'

OACI: Organización de Aviación Civil Internacional o ICAO por sus siglas en inglés de International Civil Aviation Organization.

POS: Prueba de sostenibilidad por sus siglas en inglés 'Proof Of Sustainability'

RAC: Reglamentos Aeronáuticos de Colombia

RSB: Mesa Redonda sobre Biomateriales Sostenibles por sus siglas en inglés de Roundtable on Sustainable Biomaterials

SBC: Componente sintético de mezcla por sus siglas en inglés de 'Synthetic Blending Component'

SCS: Esquema de certificación por sus siglas en inglés 'Sustainability Certification Schemes'

SENA: Servicio Nacional de Aprendizaje

SSJF: Combustible de aviación semisintéticos por sus siglas en inglés de 'Semi Synthetic Jet Fuel'.

TEJ: Transición Energética Justa

TRL: Nivel de Madurez Tecnológica por sus siglas en inglés de 'Technological Readiness Level'