



Fundación e Instituto Torcuato Di Tella – International PtX Hub

El hidrógeno verde y la producción de combustibles sostenibles de aviación (SAF) en Argentina

Noviembre 2024



Fomentado por:



Ministerio Federal
de Economía
y Protección del Clima



Implementado por



en virtud de una decisión
del Bundestag alemán



Desarrollado por Fundación Torcuato Di Tella

Autores:

Luciano Caratori

Micaela Carlino

Hernan Carlino

El International PtX Hub es implementado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en nombre del Ministerio Federal Alemán de Economía y Acción Climática (BMWK) y financiado por la Iniciativa Internacional de Clima (Internationale Klimaschutzinitiative, IKI). Las actividades del PtX Hub en Argentina son implementadas por un consorcio conformado por GIZ, la Secretaría de Energía de Argentina, CEARE (Centro de Estudios de la Actividad Regulatoria Energética), Fundación Torcuato Di Tella, Agora Energiewende y DECHEMA e.V.



Fomentado por:



Ministerio Federal
de Economía
y Protección del Clima



Implementado por



en virtud de una decisión
del Bundestag alemán



Índice de Contenidos

ACRÓNIMOS.....	5
1 OBJETIVOS.....	6
2 SENDEROS DE PRODUCCIÓN: VENTAJAS Y LIMITACIONES.....	7
3 EL DESAFÍO DEL CAMBIO CLIMÁTICO.....	13
4 EL TRANSPORTE AÉREO INTERNACIONAL Y LAS EMISIONES DE GEI.....	18
5 INICIATIVAS MUNDIALES: LA ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE AVIACIÓN CIVIL (OACI) Y EL CARBON REDUCTION OFFSETTING SCHEME FOR INTERNATIONAL AVIATION (CORSA).....	22
5.1 ARGENTINA EN LA AVIACIÓN INTERNACIONAL Y PARTICIPACIÓN EN CORSIA.....	27
6 LOS BIOCOMBUSTIBLES EN ARGENTINA.....	29
7 EL POTENCIAL DEL SAF PARA DESCARBONIZAR EL TRANSPORTE AÉREO.....	32
8 BIBLIOGRAFÍA.....	34





Índice de tablas

Tabla 1: Procesos de conversión aprobados..... 26

Índice de figuras

Figura 1: Senderos de producción comercialmente más avanzados..... 8

Figura 2: Mecanismos de comercialización créditos de carbono bajo el Art. 6 15

Figura 3: Emisiones antropogénicas netas mundiales de GEI por regiones (1990-2019) 18

Figura 4: Emisiones antropogénicas netas mundiales de GEI por sector (1990-2019) 19

Figura 5: Evolución de las emisiones regionales de GEI por sector (1990-2019).. 20

Figura 6: Evolución global de las emisiones de GEI del transporte por subsectores 21

Figura 7: Producción de biodiésel en Argentina (izq.) y Ventas al mercado interno y exportaciones de biodiésel (der.) 30



Acrónimos

a.a.	interanual
AFOLU	Agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra
ANAC	Administración Nacional de Aviación Civil
AP	Acuerdo de París
CER	Certificados de reducción de emisiones
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
COP	Conferencia de las Partes
CORSIA	<i>Carbon Reduction Offsetting Scheme for International Aviation</i>
GEI	Gases de efecto invernadero
HAS	<i>Hard to abate sectors</i>
HEFA	Ésteres de sacarosa y ácidos grasos hidrotratados
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
Ktoe	Miles de toneladas equivalentes de petróleo
NDC	Contribución Nacionalmente Determinada
OACI	Organización Internacional de Aviación Civil
PRCD	Principio de responsabilidades comunes, pero diferenciadas (o CBDR por sus siglas en inglés)
RTK	<i>Revenue-ton km</i>
SAF	<i>Sustainable Aviation Fuels</i>
SARPs	<i>Standards and Recommended Practices</i> de OACI





1 Objetivos

El presente documento se ha desarrollado con el propósito de explorar factores clave del contexto que justifican la producción y comercialización de combustibles sostenibles de aviación (SAF) con bajas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en Argentina, con el fin de ser comercializado a aerolíneas para los vuelos internacionales a la vez que se identifican las ventajas competitivas que resultan tanto de las circunstancias nacionales, incluyendo su dotación de factores, como de las capacidades y escala de algunas de las cadenas de valor agropecuarias que podrían estar involucradas en el desarrollo de combustibles sostenibles de aviación en el país..

La producción de combustible sostenible de aviación SAF es crucial para reducir la huella de carbono de la industria aeronáutica, que es responsable de una parte de las emisiones globales de CO₂.

El desarrollo de proyectos de producción de SAF mediante la utilización de biocombustibles e hidrógeno verde (H2V) permitiría abastecer un mercado virtualmente cautivo destinado a vuelos internacionales que parten de Argentina, a la vez que se podría contar con acceso preferencial al financiamiento y otros instrumentos de mitigación de riesgos en el marco de los procesos de adquisición de productos derivados del hidrógeno por parte de la Unión Europea y de otras iniciativas internacionales (FTDT, 2024)¹.

Esta nota se enfoca en la consideración de la tecnología HEFA para la producción de SAF, que es actualmente la tecnología más madura, existiendo ya instalaciones a escala en diversas regiones del mundo, arrojando hasta el momento, según los datos disponibles, los menores costos de producción respecto de sus alternativas.

La transición de combustibles fósiles a biocombustibles es un requisito para reducir emisiones en el sector de la aviación. Los biocombustibles para jet son combustibles alternativos con una composición química y desempeño similar al de los combustibles fósiles para jet. En este contexto, el proceso de *Hydroprocessing of Esters and Fatty Acids* (HEFA) presenta el sendero mas consolidado para la producción de biocombustibles jet (Monteiro et al., 2022)

¹ Bases para el Financiamiento de Proyectos de Hidrógeno Verde y Derivados. https://ftdt.cc/wp-content/uploads/2024/07/2024-06-11-PtX-Hub_Modelos-de-Financiamiento-vf-1.pdf





2 Senderos de producción: ventajas y limitaciones

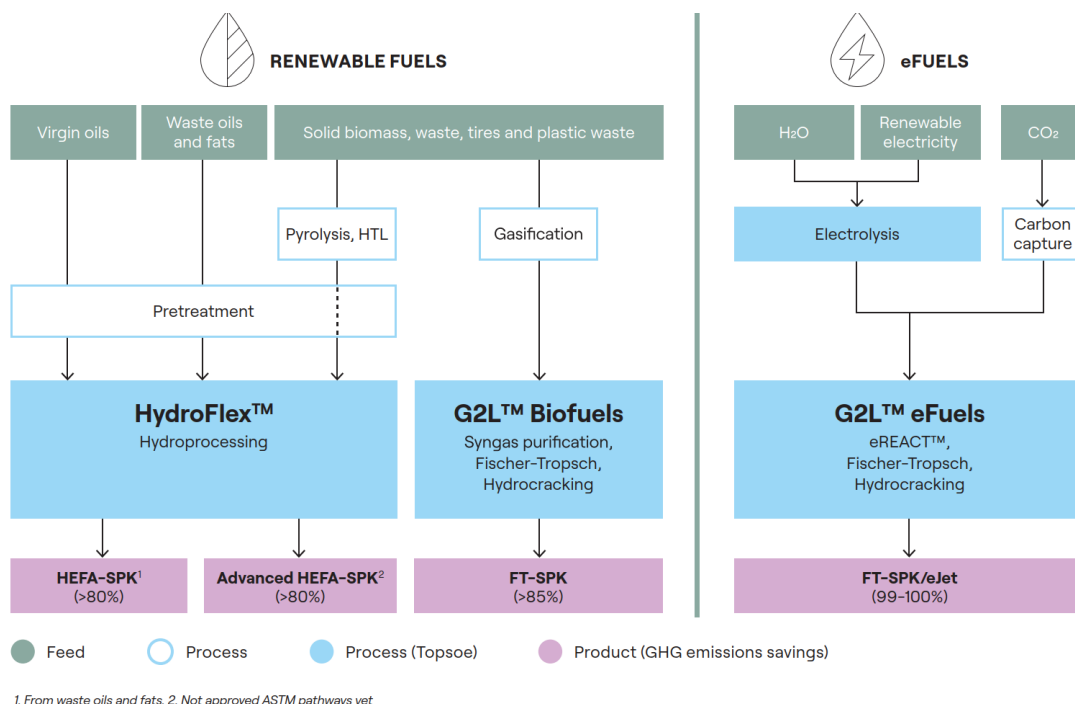
Existen varias rutas tecnológicas para producir SAF, destacándose entre estas dos vías principales: (i) a partir de biocombustibles, y (ii) a través de Power-to-Liquid (PtL) o electrocombustibles.

- (i) Respecto a la producción a partir de biocombustibles, actualmente se destacan:
 - a. la ruta tecnológica HEFA (siglas en inglés de ésteres de sacarosa y ácidos grasos hidrotratados) que utiliza como materia prima aceites vegetales (por ejemplo aceite de soja) y grasas animales, que se combinan con hidrógeno a altas presiones y temperaturas en un reactor especializado; y
 - b. (i.ii) la ruta ATJ (alcohol to jet) que utiliza azúcares y almidones (por ejemplo, de la caña de azúcar y del maíz) como principales materias primas.
- (ii) El Power-to-Liquid es una tecnología que utiliza fuentes de energía renovable para producir hidrógeno a través de la electrólisis del agua. El hidrógeno se puede combinar con CO₂ capturado para producir combustibles sintéticos mediante la síntesis de Fischer-Tropsch.

De todos modos, debe destacarse que el hidrogeno es un insumo clave en los procesos asociados a los diferentes senderos de producción de SAF. A continuación, se presenta una gráfica sobre los senderos de producción identificados como comercialmente más avanzados.



Figura 1: Senderos de producción comercialmente más avanzados



Fuente: TOPSOE (acceso en 2025)

Por contraste con las observaciones que se formulan respecto a que el foco en los procesos HEFA en la Argentina no estarían estrictamente vinculados con el desarrollo del hidrogeno verde en el país, cabe señalar que, por el contrario, una de las desventajas que se identifican en la literatura científico-técnica internacional es precisamente que el proceso HEFA tiene requerimientos sustantivos de H₂ cuando se despliega a gran escala. En la medida en que la producción de hidrogeno verde aun es relativamente menor respecto de la potencial demanda global, esa limitación podría convertirse en una barrera para la adopción del proceso HEFA en la Argentina, al menos en el corto a mediano plazo.

En particular, el proceso de hidródeoxigenación (HDO, por sus siglas en inglés) requiere volúmenes sustantivos de hidrogeno. En efecto, según los cálculos entre 300 y 420 m³ de H₂ son necesarios para el hidrot ratamiento de un m³ de aceite para remover el oxígeno como H₂ (Kubicka, 2008). Alternativamente, el oxígeno puede ser removido como CO/CO₂, que luego debe ser secuestrado en un paso adicional vía hidródeoxigenación catalítica (Monteiro et al., 2022), con el consiguiente incremento de costos de capital y operativos. Esto implica que por



La producción de SAF en Argentina

cada 10 unidades de energía en el producto final (HEFA SAF) una es aportada por el hidrógeno (en términos energéticos).

En este contexto de desempeño técnico económico y de condiciones estructurales cabe señalar que:

- i. El proceso HEFA es una tecnología madura y competitiva por costos;
- ii. Sus eventualmente elevados requerimientos de H₂ pueden ser satisfechos mediante una oferta de hidrogeno potencialmente alta en el país;
- iii. La Argentina es altamente competitiva en materia de energías renovables, en particular en términos de costos operativos, y puede expandir su oferta de esa energía sustantivamente;
- iv. La Argentina es un jugador mundial en la producción de aceites vegetales;
- v. El país tiene capacidad instalada suficiente para expandir su producción de aceite de soja, y mejorar por esa vía los costos de proceso en el crushing, pues hoy trabaja con un nivel considerable de capacidad ociosa en la industria;
- vi. Argentina puede por esta vía generar empleo, diversificar y expandir sus exportaciones y reducir costos domésticos; y
- vii. El país esta en condiciones de desarrollar este núcleo productivo con una adecuada gestión de los impactos ambientales de los procesos involucrados.

En otro orden, ha habido numerosos intercambios de opiniones y de perspectivas a nivel global, y en particular en el marco de la iniciativa CORSIA (*Carbon Reduction Offsetting Scheme for International Aviation*) de la OACI (Organización Internacional de Aviación Civil), sobre la sostenibilidad de las diversas fuentes que podrían ser utilizadas como materias primas e insumos para la obtención de SAF, encontrándose entre ellas el aceite de soja, así como el aceite de palma.

La materia prima de origen biogénico para la producción de SAF constituye, según diversos estudios, el mayor componente de costos del proceso. En algunos casos se ha argumentado que su eventual escasez relativa en el largo plazo constituye uno de los mayores desafíos para la producción a escala de SAF utilizando el proceso HEFA.

En este sentido, debe recordarse que Argentina es el principal exportador a nivel global de aceite de soja, alcanzando un promedio en los últimos 5 años de 4,87 millones de toneladas (BCR, 2024; Our World in Data, 2023) y es el cuarto mayor



exportador a nivel global de biodiésel, materia prima clave para la obtención de SAF vía HEFA.

Asimismo, debe notarse que el país tiene una capacidad instalada para el *crushing* de poroto de soja que hace años opera muy por debajo de su capacidad, habiendo alcanzado un nivel de 50,5% de capacidad ociosa a inicios del 2024 (CIARA, 2024).

El mercado potencial de combustible para *bunkering*² de aviación para Argentina representa actualmente 466 ktoe/año³, mientras la demanda de vuelos domésticos es de 560 ktoe/año (Secretaría de Energía, 2023); conforme los requisitos potenciales de H2 en los niveles actuales (es decir para sustituir la demanda actual de combustible de aviación para vuelos internacionales partiendo de Argentina) la demanda sería equivalente a 42 kt H2/año para SAF. Esta demanda constituye un mercado relevante que debería aumentar en un contexto de crecimiento de la actividad económica y del turismo.

Asimismo, Argentina puede ser altamente competitiva también en la producción de hidrógeno verde, siendo un factor clave para la obtención de precios competitivos el factor de planta de las fuentes de energía renovable disponibles en el país. En el caso de la generación de energía eólica en la Patagonia argentina, el factor de planta se encuentra en torno al 56% (Secretaría de Energía, 2023), lo que la ubica entre las mejores localizaciones costa adentro (on shore) a nivel global.

El desarrollo de proyectos con este propósito podría resultar también sinérgico con la potencial respuesta a las crecientes amenazas a la competitividad de las exportaciones de harina de soja de Argentina, al mejorar la utilización de la capacidad instalada actual de molienda e incrementar la capacidad instalada de molienda de soja y de producción de biodiesel en el contexto de posibles restricciones para arancelarias en los mercados a los que actualmente se exporta (por ejemplo, RED III, la nueva directiva de energías renovables de la Unión Europea y sus iteraciones futuras) y en respuesta a las posibles regulaciones ulteriores para limitar las emisiones de la aviación en el marco de la iniciativa CORSIA, mencionada anteriormente.

² El *bunkering* es un sistema de repostaje que permite rellenar depósitos de combustible para aviones y barcos.

³ ktoe: miles de toneladas equivalentes de petróleo, donde un kg equivalente de petróleo equivale a 10.000 kcal



La producción de SAF en Argentina

Las amenazas a la competitividad de las exportaciones de soja y sus derivados se pueden vincular a la reducción de la productividad física de la producción (debida a distorsiones de mercado, carga fiscal, déficits de infraestructura que inciden sobre las operaciones, etc.), a la fluctuación de los volúmenes de producción por efecto de sequías prolongadas y reiteradas en los últimos años, la caída de los precios internacionales de la soja, así como a la eventual entrada en vigor de restricciones bajo el marco del CBAM, por ejemplo en la Unión Europea.

A su vez, la guerra comercial desatada por las nuevas políticas tarifarias de los Estados Unidos -puestas recientemente en vigor o en ciertos casos solo anunciadas- puede aumentar las fluctuaciones de precios y volúmenes en el comercio internacional y acentuar las incertezas asociadas al nuevo contexto de políticas y sus repercusiones.

En cuanto a las restricciones contenidas en la regulación Refuel el Anexo IX de la Directiva (EU) 2018/2001 (con enmiendas en el 2024) refiere específicamente a la producción en tierras severamente degradadas por lo que convendría explorar cuales son los indicadores para la exclusión que se aplicarían eventualmente en ese caso.

El documento de reciente publicación “Destination 2050”, —la segunda edición del plan integral elaborado por las principales asociaciones de aviación europeas (A4E, ACI EUROPE, ASD, CANSO y ERA) para lograr la neutralidad en carbono en los vuelos dentro y desde la región EU hacia 2050— señala que SAF basado en HEFA muestra un precio de mercado notablemente menor frente a otras vías⁴, y pronostica que hacia dicho año el SAF no sintético cubriría aproximadamente 45% del total [de combustible] en la aviación. De eso, 4,6 Mt corresponde a SAF HEFA otorgándole un papel central para cumplir los mandatos establecidos (Royal NLR – Netherlands Aerospace Centre & SEO Amsterdam Economics, 2025).

Por otra parte, las iniciativas y la consolidación de los mandatos regulatorios, aunque sea posible esperar un potencial *backsliding* en las políticas climáticas a escala global, como consecuencia de los cambios en las prioridades de política en un número no menor de países, incluido en la Unión Europea, los avances en investigación y desarrollo destinados a mejorar la eficiencia en la producción de los propios SAF, conjuntamente con los avances en las tecnologías de los *feedstocks*,

⁴ Hacia 2050 [...] se estima que el HEFA costaría 1.800 €/t, en comparación con 2.400 €/t para combustibles FT y 2.600 €/t para AtJ. El SAF sintético vía Power-to-Liquid se calcula alrededor de 2.300–2.400 €/t.



La producción de SAF en Argentina

podrían de todos modos contribuir a la expansión de este mercado, que según las estimaciones habría alcanzado unos mil millones de dólares en 2023. aunque el crecimiento en el mediano termino se desenvuelva a una velocidad menor que la proyectada anteriormente.





3 El desafío del cambio climático

En el marco del incremento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera que contribuyen al cambio climático, y en particular del continuo aumento de las emisiones antropogénicas (IPCC, 2022), en las últimas décadas se implementaron una serie de acuerdos internacionales para promover una respuesta global contra el cambio climático.

Se entiende que se necesitan compromisos jurídicamente vinculantes claros, en el marco de un proceso acordado multilateralmente, con sólidas características jurídicas e institucionales, para dar a los países confianza en que sus intereses nacionales, en particular los económicos, están siendo tratados de manera justa y equitativa (Flachsland et al 2010), y que los esfuerzos para garantizar una transición justa forman parte de los postulados de dicho acuerdo.

En particular, en 1992, se adoptó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), con el objetivo de lograr la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático y en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático (CMNUCC, 1992). Este fue el uno de los tres resultados mayores de la Cumbre de la Tierra sobre Medio Ambiente y Desarrollo celebrada en Río de Janeiro, Brasil.

En el marco de la CMNUCC, el Protocolo de Kyoto fue aprobado el 11 de diciembre de 1997. Debido a un complejo proceso de ratificación, entró en vigor recién el 16 de febrero de 2005. El Protocolo de Kyoto comprometía a los países industrializados (Anexo I) a limitar y reducir las emisiones de GEI de conformidad con las metas individuales acordadas, en base al principio de las responsabilidades comunes, pero diferenciadas (PRCD o CBDR, por sus siglas en inglés) y las respectivas capacidades. La reducción de emisiones podía ser implementada en su territorio o en países en desarrollo (“No Anexo I”) mediante tres diferentes mecanismos, incluyendo, entre otros, el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), mediante el cual los países desarrollados podían financiar actividades de proyecto en países en desarrollo “a cambio de” certificados de reducción de emisiones (CERs, por sus siglas en inglés) (CMNUCC, 1997).

En la COP21, más adelante, las partes adoptaron el Acuerdo de París (AP), legalmente vinculante, que fue ratificado en 2016, y se encuentra en vigor a partir



del 2020. El AP tiene como objetivo mantener el aumento de temperatura media global "muy por debajo" de los 2°C respecto de los niveles preindustriales (Art. 2).

El AP representa una evolución de la preeminencia de las acciones de mitigación – que constituía el núcleo principal del Protocolo de Kioto – a un enfoque más equilibrado e inclusivo que contempla también la importancia de la adaptación y el financiamiento, y se construye sobre compromisos voluntarios de los países que son partes del Acuerdo, mediante la presentación de contribuciones nacionalmente determinadas (NDC).

El artículo 4, párrafo 2 del AP, exige que cada Parte prepare, comunique y mantenga las sucesivas NDCs que se proponga alcanzar. Las NDC se presentan cada cinco años a la secretaría de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

Poner precio al carbono – con impuestos o mediante el desarrollo de mercados de carbono – es una medida de política muy utilizada para alcanzar el objetivo de emisiones netas cero para 2050. «Los mercados de carbono – tanto los sistemas de comercio de derechos de emisión como los sistemas de línea de base y créditos – son un instrumento político cada vez más común que se está introduciendo para abordar la mitigación del cambio climático» (Betz et al, 2022).

Existen mercados nacionales, subnacionales o internacionales, que pueden ser a su vez:

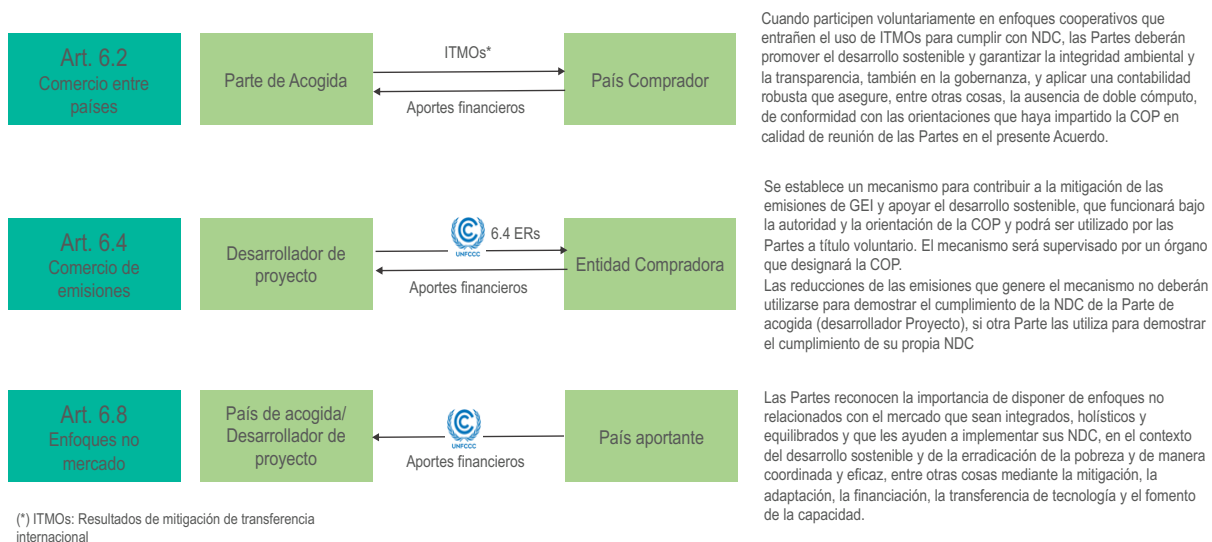
- ▷ Regulados, o de cumplimiento: son regulados por las Naciones Unidas (internacionales), los Estados nacionales o subnacionales. Se instrumentan para regular el nivel de emisiones o de reducción de emisiones de los estados. Se basan en reglamentación específica donde las metas son de cumplimiento obligatorio.
- ▷ Voluntarios: son mercados de compensación voluntaria, articulados mediante sistemas de certificación privados. Son proyectos desarrollados por empresas o entidades privadas con el fin de aportar a la reducción de emisiones para cumplir sus propias metas internas de mitigación. A partir del Artículo 6 del AP, pueden ser utilizados para cumplir compromisos internacionales de los estados firmantes.

El AP plantea en su Artículo 6.1 “Las Partes reconocen que algunas Partes podrán optar por cooperar voluntariamente en la aplicación de sus NDC para lograr una



mayor ambición en sus medidas de mitigación y adaptación y promover el desarrollo sostenible y la integridad ambiental ". A continuación, se detallan los diferentes mecanismos considerados por el Art. 6 del AP.

Figura 2: Mecanismos de comercialización créditos de carbono bajo el Art. 6



Fuente: <https://zerocarbon-analytics.org/archives/food/article-6-of-the-paris-agreement-at-cop28>

Aunque el Acuerdo de París no establece objetivos sectoriales específicos para hacer frente al aumento de la temperatura, en 2016 la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), aprobó un esquema de compensación y reducción de carbono para la aviación internacional, denominado CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation).

En el caso de la aviación, el esfuerzo para abordar las emisiones de GEI del tráfico aéreo internacional, que no entra dentro de ninguna jurisdicción nacional, está bajo la autoridad de la OACI. En octubre de 2022, la Asamblea de la OACI alcanzó un acuerdo histórico sobre un objetivo global al que aspiraba la aviación internacional de «cero emisiones netas de carbono para 2050» en apoyo al objetivo de temperatura del Acuerdo de París.

El CORSIA es un plan mundial de medidas basadas en el mercado para la aviación internacional desarrollado por la OACI. CORSIA está diseñado para ser coherente con el objetivo de temperatura del Acuerdo de París y para contribuir a la consecución de sus objetivos de largo plazo (OACI).



CORSIA pretende abordar cualquier aumento de las emisiones totales de CO₂ de la aviación civil internacional por encima de los niveles de 2020. En virtud de lo establecido por el CORSIA, los operadores de aeronaves deberán comprar y cancelar «unidades de emisión» para compensar el aumento de las emisiones de CO₂ cubiertas por el régimen. CORSIA es la primera medida mundial basada en el mercado que aborda las emisiones de CO₂ de cualquier sector industrial.

Posteriormente el esquema experimentó diferentes enmiendas para su implementación, incluyendo la inclusión de criterios de elegibilidad para la utilización de ciertos combustibles a los fines de reducir sus necesidades de compensación (OACI, 2023).

Abordar el cambio climático no solo se propone compensar el costo de la mitigación climática en un planeta con mayores temperaturas, sino que también ayuda a reducir los riesgos de que aumenten los impactos climáticos.

En este sentido, existen riesgos climáticos principalmente de dos tipos:

- **Riesgos físicos:** riesgos derivados de los efectos físicos (agudos o crónicos) del cambio climático, como huracanes, inundaciones, sequías y elevación del nivel del mar. Los riesgos físicos pueden dañar o interrumpir gravemente las operaciones la cadena de suministro de la organización, y disminuir los ingresos, reduciendo su capacidad para operar de forma rentable y sostenible.
- **Riesgos de transición:** los riesgos asociados con la transición a una economía baja en carbono, como cambios políticos y legales, tecnológicos, de mercado y reputacionales ante el cambio climático.

Tanto los medios de implementación y apoyo internacional como los riesgos emergentes condicionan a los países y a las compañías, y su impacto es heterogéneo para los diferentes sectores. Algunos sectores pueden abordar estos nuevos requisitos de mitigación del cambio climático mediante un conjunto relativamente simple de opciones, como medidas de eficiencia energética, generación en base a fuentes renovables o la electrificación de usos finales, mientras que, en otros sectores, denominados usualmente “difíciles de descarbonizar” (HAS, o Hard to Abate Sectors, por sus siglas en inglés), esas medidas resultan insuficientes o bien técnica o económicamente no factibles. Estos sectores requieren de diferentes soluciones, frecuentemente más costosas que las anteriores, incluyendo la sustitución de combustibles fósiles por combustibles de



La producción de SAF en Argentina

emisiones netas nulas (por ej., la aviación o el transporte marítimo y fluvial) o cambios en sus procesos (como es el caso del acero o el cemento).

En la aviación, entre las vías disponibles para su descarbonización se encuentra el uso de SAF, discutido en el marco de CORSIA, que en el caso de Argentina puede obtenerse a partir de biodiésel proveniente de aceite de soja e hidrógeno verde, como parte de la respuesta global al cambio climático por parte de la OACI.



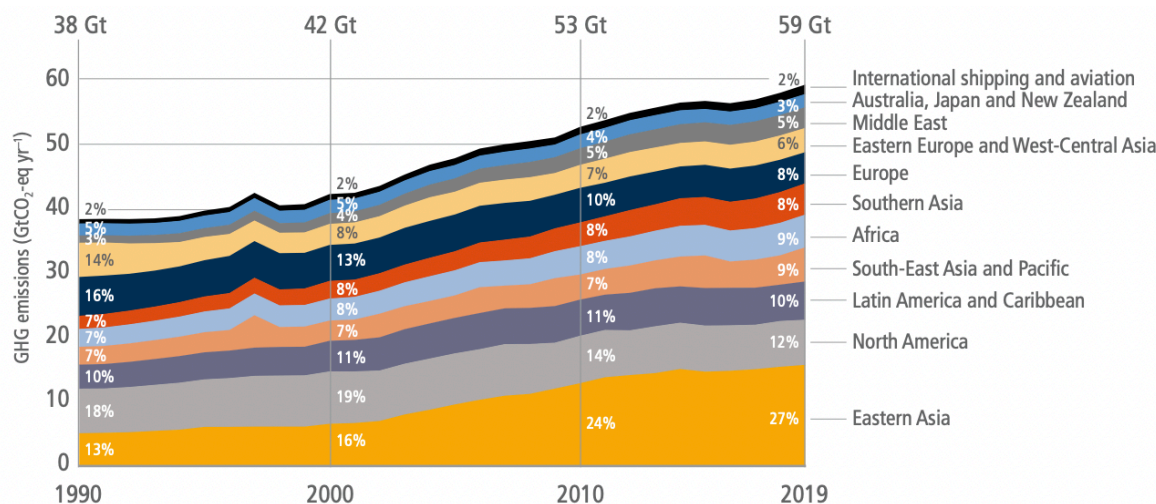


4 El transporte aéreo internacional y las emisiones de GEI

De acuerdo al IPCC en su 6to reporte de evaluación, las emisiones antropogénicas netas mundiales de GEI se han estimado en $59 \pm 6,6$ GtCO₂e en 2019, aproximadamente un 12% (6,5 GtCO₂e) superiores a las de 2010 y un 54% (21 GtCO₂-eq) superiores a las de 1990. La mayor parte y el mayor crecimiento de las emisiones brutas de GEI provienen del CO₂ resultante de la combustión de combustibles fósiles y procesos industriales (CO₂-FFI) seguido del metano, mientras que el mayor crecimiento relativo se produjo en los gases fluorados (gases F), partiendo de niveles bajos en 1990. Las emisiones medias anuales de GEI durante 2010-2019 fueron superiores a las de cualquier década anterior registrada, mientras que la tasa de crecimiento entre 2010 y 2019 (1,3% anual) fue inferior a la registrada entre 2000 y 2009 (2,1% anual).

Las emisiones han aumentado en la mayoría de las regiones, pero se distribuyen de forma desigual, tanto en la actualidad como de forma acumulada desde 1850. Las contribuciones regionales a las emisiones mundiales de GEI han variado desde el inicio de las negociaciones internacionales sobre el clima que se iniciaron en 1990.

Figura 3: Emisiones antropogénicas netas mundiales de GEI por regiones (1990-2019)



Fuente: IPCC AR 6

La mayor parte del crecimiento mundial de emisiones de GEI se produjo en Asia y el Pacífico, que representaron el 77% del aumento neto de 21 GtCO₂e en las



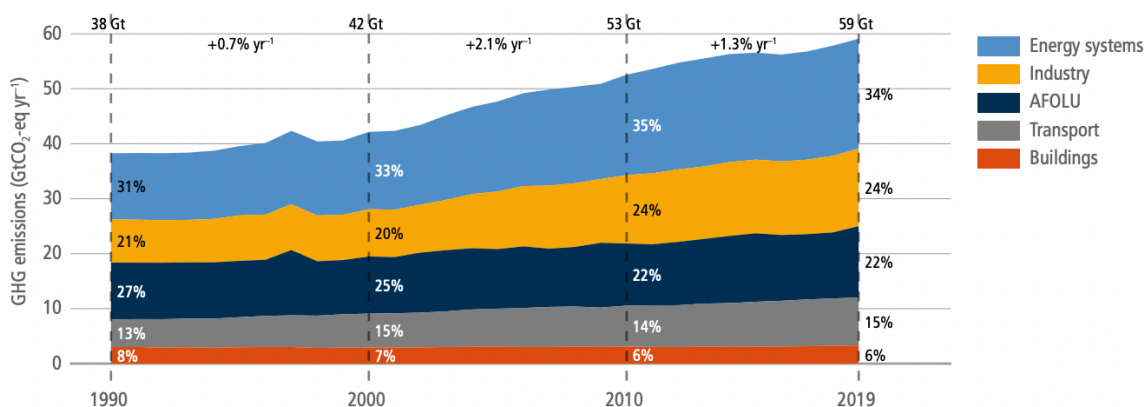
emisiones de GEI desde 1990, y el 83% del aumento neto de 6,5 GtCO₂e desde 2010.

Los países desarrollados (en Norteamérica, Europa, Australia, Japón y Nueva Zelanda) no han conseguido reducir sustancialmente sus emisiones de GEI, que se han mantenido bastante estables en torno a las 15 GtCO₂e anuales entre 1990 y 2010, mientras que los países de Asia y el Pacífico (Asia Oriental, Asia Meridional y Sudeste Asiático y Pacífico) han aumentado rápidamente su participación en las emisiones mundiales de GEI, sobre todo desde la década de 2000.

El crecimiento medio anual de las emisiones de GEI en todas las regiones se ralentizó entre 2010 y 2019 en comparación con 1990-2010, con la excepción de Europa del Este y Asia Centro-Occidental. Diez países contribuyeron conjuntamente a cerca del 75% del aumento neto de 6,5 GtCO₂e en las emisiones de GEI durante 2010-2019, de los cuales dos países contribuyeron con más del 50%: China e India.

El sector energético ha sido históricamente el más relevante en términos de emisiones. En 2019, aproximadamente el 79% de las emisiones mundiales de GEI procedían de los sectores de la energía, la industria, el transporte y los edificios en conjunto, y el 22% de la agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU por sus siglas en inglés).

Figura 4: Emisiones antropogénicas netas mundiales de GEI por sector (1990-2019)



Fuente: IPCC AR 6

En términos de crecimiento, el sector de transporte experimentó la mayor velocidad en la última década (1,8% a.a.), mientras que la industria de la energía mostró la menor (1% a.a.)

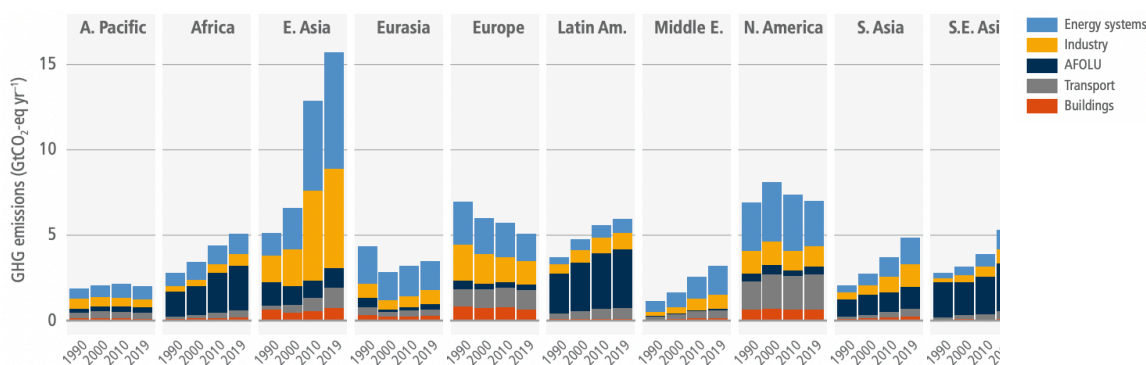


La producción de SAF en Argentina

En términos sectoriales, algunas de las fuentes de emisiones del subsector que más han crecido entre 2010 y 2019 han sido la aviación internacional (+3,4%), la aviación nacional (+3,3%), la navegación interior (+2,9%), los metales (+2,3%), el transporte marítimo internacional (+1,7%) y el transporte por carretera (+1,7%).

En términos regionales, de acuerdo con el IPCC, en Latinoamérica todos los sectores han incrementado sus emisiones y el principal sector emisor es el de AFOLU. Se debe considerar que el tamaño relativo de cada sector depende de la definición exacta de los límites sectoriales.

Figura 5: Evolución de las emisiones regionales de GEI por sector (1990-2019)



Fuente: IPCC AR 6

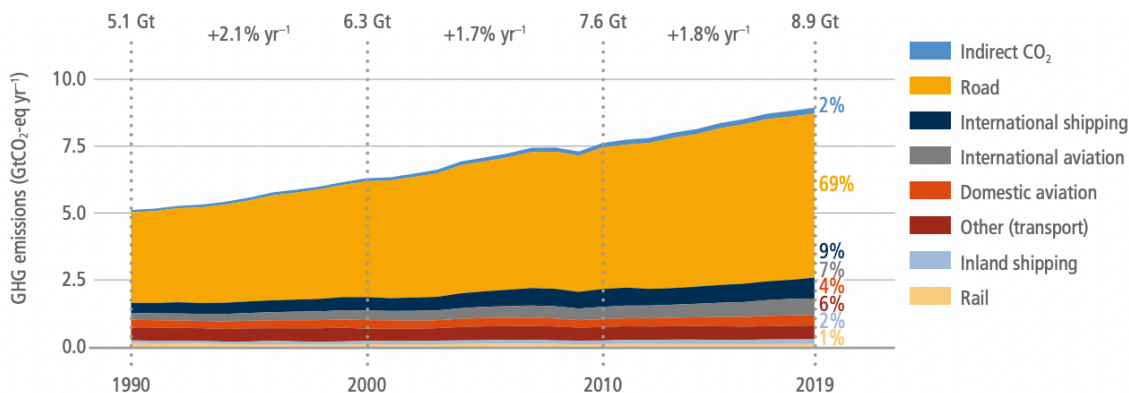
Sin embargo, cabe destacar que excepto en el caso de AFOLU, independientemente del sector al que se atribuyan las emisiones, el mayor porcentaje de estas proviene directa o indirectamente de las industrias de la energía, pues una proporción relevante de estas (aproximadamente tres cuartos) se producen por la quema de combustibles fósiles.

Respecto del sector de transporte, según el IPCC, con un crecimiento anual medio constante del +1,8% anual entre 2010 y 2019, las emisiones mundiales de GEI de este sector alcanzaron las 8,9 GtCO₂e en 2019 y representaron el 15% de todas las emisiones directas e indirectas.

En particular, la aviación internacional -foco de interés para este análisis-, explicaba en 2019 el 7% de las emisiones de GEI del sector transporte, mientras que el transporte marítimo internacional daba cuenta del 9% (IPCC, 2023).



Figura 6: Evolución global de las emisiones de GEI del transporte por subsectores



Fuente: IPCC AR 6

Las mejoras de la eficiencia energética en la aviación fueron considerablemente mayores que en el transporte por carretera, pero se vieron superadas por aumentos aún mayores de los niveles de actividad.



5 Iniciativas mundiales: La Organización Internacional de Aviación Civil (OACI) y el *Carbon Reduction Offsetting Scheme for International Aviation* (CORSA)

El Acuerdo de París no hace referencia explícita a las emisiones de GEI provenientes de la aviación internacional, ni del transporte marítimo internacional. No obstante, tanto la OACI como la OMI establecieron una serie de acuerdos para abordar la reducción de emisiones en ambos sectores, incluyendo diversas iniciativas para el establecimiento de objetivos, reglas, mecanismos e instrumentos, en el marco de sus actividades.

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) es un organismo de las Naciones Unidas, que facilita la cooperación entre 193 países, para gestionar el uso compartido del espacio aéreo. Desde su creación en 1944, la OACI tiene como objetivo apoyar a la creación de una red global de movilidad aérea mediante acuerdos diplomáticos y técnicos, contribuyendo a una conectividad eficiente y al desarrollo socioeconómico en los países miembros.

De acuerdo a la OACI, el *Carbon Reduction Offsetting Scheme for International Aviation* (CORSA) es la primera medida global basada en el mercado y representa un enfoque cooperativo. Propone una forma armonizada de reducir las emisiones de la aviación internacional, minimizando las distorsiones del mercado que pueda provocar y respetando al mismo tiempo las circunstancias especiales y las capacidades respectivas de los Estados miembros de la OACI.

CORSA complementa otras medidas, compensando la cantidad de emisiones de CO₂ que no pueden reducirse mediante el uso de mejoras tecnológicas, mejoras operativas y combustibles de aviación sostenibles, con unidades de emisión del mercado del carbono.

CORSA fue aprobado en 2016 con el objetivo principal de “estabilizar” los niveles de esas emisiones de GEI a partir del año 2020. Adicionalmente, CORSA apunta a mejorar anualmente en un 2% el rendimiento de los combustibles de aviación hasta 2050.

CORSA se aplica en tres fases: una fase piloto (2021-2023), una primera fase (2024-2026) y una segunda fase (2027-2035). En las dos primeras fases (2021-2026), la



participación es voluntaria. A partir de 2027, la participación se determinará en función de los datos correspondientes a RTK (*revenue-ton km*) de 2018⁵. Previo a la implementación hubo una fase de referencia (2019—2020), que incluía la medición, reporte y verificación (MRV) de la línea de base para cada aerolínea.

Al 2024 son 126 Estados los que participan en el CORSIA. Tres Estados más (Comoras, Mauritania y Santa Lucía) han anunciado su intención de participar en CORSIA a partir del 1 de enero de 2025, con lo que el número total de Estados participantes ascendería a 129 (Estados voluntarios, según lo aprobado por el Consejo de la OACI).

Durante las fases iniciales, CORSIA sólo se aplicará a los vuelos internacionales entre Estados que se hayan prestado voluntariamente para participar, lo que significa que los vuelos internacionales con origen o destino en Estados que no se hayan declarado voluntarios estarán exentos.

Durante la fase obligatoria, que comienza en 2027, CORSIA cubrirá todos los vuelos internacionales (incluidos los que viajen a o desde Estados que no se hayan comprometido voluntariamente para las primeras fases). No obstante, habrá algunas pequeñas excepciones:

- ▷ Los países menos desarrollados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo mediterráneos (las Naciones Unidas determinan qué Estados se incluyen en estas definiciones). No obstante, estos Estados pueden ofrecerse como voluntarios si lo desean (y algunos ya lo han hecho).
- ▷ Estados con una cuota muy pequeña de tráfico internacional

Las compañías aéreas y otros operadores aéreos estarán sujetos a requisitos de compensación, que vendrán determinados por el CO₂ que emitan en los vuelos sujetos a compensación.

A partir del 1 de enero de 2019, todos los operadores aéreos con emisiones superiores a 10.000 toneladas de CO₂ debían notificar anualmente sus emisiones a las autoridades nacionales. Para garantizar la exactitud de los datos, los informes

⁵ Participación obligatoria de los Estados que tengan una participación individual en las actividades de aviación internacional en el año 2018 que supere el 0,5% de la actividad total (nótese que Argentina no cumple con esta condición) o cuya participación acumulada alcance el 90% de la actividad total.



La producción de SAF en Argentina

anuales de emisiones deberán ser verificados por un organismo de verificación independiente antes de su presentación.

A continuación, los gobiernos colaborarán con la OACI para informar a las compañías aéreas del número de créditos de compensación que necesitan.

Los requisitos de compensación para las aerolíneas surgen de la siguiente fórmula:

$$Rc_i = E_i \times Fc_i$$

Donde:

- Rc_i es el requisito de compensación para el año i ,
- E_i son las emisiones anuales del operador para el año i , y
- Fc_i es el factor de crecimiento para el año i , que es calculado por la OACI y representa un incremento porcentual de la cantidad de emisiones en un año dado en el futuro respecto de un valor de referencia.

Se debe considerar que entre los años 2021 y 2029 el factor a aplicar es el mismo para todo el sector, mientras que de 2030 en adelante el factor de crecimiento se aplicará gradualmente de manera individual (20% 2030—2032; 70% 2033—2035; 100% de 2036 en adelante).

Una vez calculados los requisitos de compensación para cada operador para cada año, cada operador puede deducir de aquellos requisitos su consumo de SAF (bajo ciertas condiciones). Una vez deducidos se establecen los requisitos ajustados de compensación de cada aerolínea que deberán ser cancelados mediante la adquisición de certificados de reducción de emisiones en el mercado e informados a los Estados, los que notificarán a OACI del cumplimiento.

Para ponderar las ventajas de las opciones posibles (costo incremental de consumir combustible a partir de HEFA vis a vis el costo adicional de adquirir títulos de crédito de carbono) para cumplir con los requerimientos regulatorios, sería útil el análisis de costos comparados, para asistir en la toma de decisiones empresariales. No obstante, en esta instancia solo podría elaborarse sobre la base de estudios de caso, que tengan en cuenta los costos de producción para distintas escalas (y tecnologías) lo que excede el alcance de este documento. Asimismo, debe recordarse que no hay un precio global de carbono ni un mercado global de carbono. Existen diversos mercados cuyos precios se determinan conforme la



arquitectura regulatoria sobre la que se establecen. Así, hay precios de carbono resultantes de la operación del EU ETS en la Unión Europea, de alcance regional, mercados internacionales de cumplimiento (como el que se acaba de poner en movimiento a partir de la COP 29, en particular para el Artículo 6.4), mercados voluntarios de carbono (que han exhibido fluctuaciones considerables en función de cuestiones relacionadas en ciertos casos con su transparencia e integridad), y también los precios de carbono que resultan de mecanismos específicos como el esquema CORSIA, REDD+ y los pagos por resultados. Cabría además considerar la posibilidad de tomar como referencia el costo social del carbono. De modo que es preciso examinar la estructura económica, los costos de capital y de insumos, para determinados tamaños de planta y procesos, lo que requiere análisis técnico-económicos detallados.⁶

Por lo tanto, la utilización de combustibles sostenibles de aviación permite reducir la necesidad de compensación, lo que torna a dicha iniciativa en un factor clave en el desarrollo del negocio de SAF.

En 2018 OACI aprobó la primera edición del Volumen IV del Anexo 16 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional, que incluye las normas y métodos recomendados (SARPs, por sus siglas en inglés) para la correcta aplicación de CORSIA (CORSIA, 2018).

Esas recomendaciones incluyen definiciones y criterios de elegibilidad para la utilización de combustibles sostenibles (CORSIA, 2019):

- ▷ Combustible elegible CORSIA (*CORSIA eligible fuel*): Un combustible Sostenible de Aviación CORSIA o Combustible CORSIA de menores emisiones, que un operador puede utilizar para reducir sus requisitos de compensación.
- ▷ Combustible CORSIA de menores emisiones (*CORSIA lower carbon aviation fuel*): Un combustible fósil de aviación, que cumple con los criterios de sostenibilidad de CORSIA definidos en el propio volumen IV.
- ▷ Combustible Sostenible de Aviación CORSIA (*CORSIA sustainable aviation fuel*): Un combustible renovable o basado en residuos, que cumple con los criterios de sostenibilidad de CORSIA definidos en el propio volumen IV.

⁶ En 2024 se han desarrollado, por ejemplo, estudios de factibilidad en Colombia, y en Irlanda, una hoja de ruta para Australia y el análisis de una tasa en Singapur.



La producción de SAF en Argentina

El mismo documento incluye recomendaciones sobre los procesos de conversión elegibles para SAF, que define como “un tipo de tecnología utilizado para convertir un insumo en combustible de aviación” (OACI, 2023).

La OACI mantiene un listado actualizado de los procesos mencionados. Dichos procesos son evaluados y aprobados por terceros.

Hasta abril de 2023 se habían aprobados 9 procesos, incluyendo sus posibles insumos y máxima mezcla con combustible fósil, mientras que otros 8 se encontraban en evaluación.

A continuación, se presenta la lista de procesos aprobados hasta el momento.

Tabla 1: Procesos de conversión aprobados

Referencia ASTM	Proceso de Conversión	Abreviatura	Posibles materias primas	Proporción máxima de mezcla
ASTM D7566 Anexo A1	Kerosene parafínico sintetizado mediante Fischer- Tropsch hidroprocesado	FT	Carbón, gas natural, biomasa	50%
ASTM D7566 Anexo A2	Kerosene parafínico sintetizado a partir de ésteres y ácidos grasos hidrotratados	HEFA	Aceites vegetales, grasa animal, aceites reciclados	50%
ASTM D7566 Anexo A3	Iso-parafinas sintetizadas a partir de azúcares fermentadas hidroprocesadas	SIP	Biomasa utilizada para producción de azúcar	10%
ASTM D7566 Anexo A4	Kerosene sintetizado con aromáticos derivados por alquilación de aromáticos ligeros de fuentes no petroleras	FT-SKA	Carbón, gas natural, biomasa	50%
ASTM D7566 Anexo A5	Alcohol para queroseno parafínico sintético de jet	ATJ-SPK	Biomasa de etanol, isobutanol o isobutileno	50%
ASTM D7566 Anexo A6	Combustible para aviación de hidrotermólisis catalítica	CHJ	Aceites vegetales, grasa animal, aceites reciclados	50%
ASTM D7566 Anexo A7	Kerosene parafínico sintetizado a partir de hidrocarburos - ésteres y ácidos grasos hidrotratados	HC-HEFA-SPK	Algas	10%
ASTM D7566 Anexo A8	Kerosene parafínico sintetizado a partir de aromáticas	ATJ-SKA	Alcoholes C2-C5 de biomasa	
ASTM D1655 Anexo A1	Co-hidroprocesamiento de ésteres y ácidos grasos en una refinería		Aceites vegetales, grasa animal, aceites reciclados de biomasa	5%



	de petróleo convencional		procesada con petróleo	
ASTM D1655 Anexo A1	Co-hidroprocesamiento de hidrocarburos Fischer-Tropsch en una refinería de petróleo convencional		Hidrocarburos Fischer-Tropsch co-procesados con petróleo	5%
ASTM D1655 Anexo A1	Co-hidroprocesamiento de HEFA	ésteres y ácidos grasos hidrotratados de biomasa		10%

Fuente: OACI

Algunos de los combustibles y procesos aquí listados (FT, HEFA, SIP y ATJ) tienen asignados valores por defecto para el análisis de emisiones de su ciclo de vida, mientras que otros tienen, por su instancia de desarrollo, también valores técnico-económicos de referencia.

5.1 Argentina en la aviación internacional y participación en CORSIA

En el 2018 Argentina alcanzaba sólo el 0,22% de la actividad de aviación internacional medida en RTK, por lo que tiene una participación reducida en el total de la actividad aeronáutica internacional.

Según las estadísticas publicadas por la Empresa Argentina de Navegación Aérea (EANA SE), en 2022 la Argentina acumuló 238.976 movimientos de cabotaje y 62.070 movimientos internacionales, respectivamente; que se ubicaban un 85% por encima de los 128.927 movimientos de cabotaje y un 165% por encima de los 23.409 movimientos internacionales de 2021 (EANA, 2023).

Según la misma fuente, en 2022 se realizaron 277.382 vuelos totales, 54% por encima de los 180.341 vuelos observados en 2021, superando entonces los vuelos del año 2019, que fue el año previo al inicio de la crisis del COVID-19 y de las restricciones impuestas a nivel doméstico y global, que se aplicaron entonces al conjunto de la aviación internacional y local.

En términos de emisiones de GEI, en 2019 los vuelos domésticos en Argentina tuvieron emisiones asociadas por 1,7 MtCO₂e, mientras que los vuelos Internacionales alcanzaron las 1,4 MtCO₂e. Estas emisiones resultaron del consumo de 678.969.347 litros de combustible para vuelos de cabotaje y de 565.583.599 litros de combustible en vuelos internacionales de empresas registradas en



La producción de SAF en Argentina

Argentina, principalmente JET A1 (ANAC, 2021), ya que, históricamente, entre el 85% y el 90% de las aeronaves con movimientos en los aeropuertos argentinos son con motores de tipo jet (EANA, 2023).

En el año 2018 Argentina no alcanzaba a tener una participación individual en las actividades de aviación internacional que superara el 0,5% de la actividad total, si esta se encuentra dentro del 90% superior en términos de RTK (*revenue-ton km*, o tonelada-km pagada).

En consecuencia, la Argentina no tiene obligación de participar en las fases programadas de implementación de CORSIA.

No obstante, el país ha decidido participar del CORSIA aplicando los requisitos de MRV. En este sentido, en 2014 Argentina presentó un plan para la reducción de las emisiones de CO₂ en el sector de aviación, que proponía medidas de mitigación en diferentes ámbitos del sector aéreo.

En 2019 presentó su Plan de Acción para la Reducción de Emisiones de CO₂ en el sistema de transporte aéreo argentino y mediante Resolución 204/2019 aprobó el reglamento para la Implantación del Plan de Vigilancia, Notificación y Verificación en el marco del Plan de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional, alineado en gran medida con OACI y con CORSIA.

Ese plan de acción fue luego actualizado en 2021, mediante la Resolución 366/2021 de ANAC, que incluía 44 medidas para la reducción de emisiones, entre las que se destaca la iniciativa ID M-44: Desarrollo de biocombustibles para la aviación, a ser implementada entre 2021 y 2030 por parte de Aerolíneas Argentinas, ANAC, INTA e INTI.

En la medida en que hay un proceso intenso de desregulación en el país (aun en desarrollo) como resultado de las políticas puestas en vigor a partir de diciembre de 2023, que incluye también las cuestiones referidas al transporte aéreo, es conveniente observar cuidadosamente la cristalización de esas políticas en materia de uso de combustibles en ese medio, las principales tendencias derivadas de su adopción, y los alcances y efectos de la desregulación de las restricciones existentes en esta materia.



6 Los biocombustibles en Argentina

Argentina promovió mediante diversos instrumentos sucesivos el desarrollo de biocombustibles de origen agropecuario a partir de la sanción en 2006 de la Ley 26.093.

El país se convirtió así en uno de los principales exportadores a nivel global de soja, una de las materias primas clave para la obtención de SAF -vía HEFA- y en el principal exportador a nivel global de biodiesel, con aproximadamente 5 millones de toneladas (Our World in Data, 2023), comercio apalancado por su alta eficiencia productiva en materia agropecuaria.

En 2021 el Congreso de la Nación sancionó la Ley 27640, extendiendo hasta 2030 el régimen de promoción, y modificando los cortes obligatorios de etanol y biodiésel para mezcla con naftas (gasolinas) y gasoil para ser utilizados en el mercado doméstico.

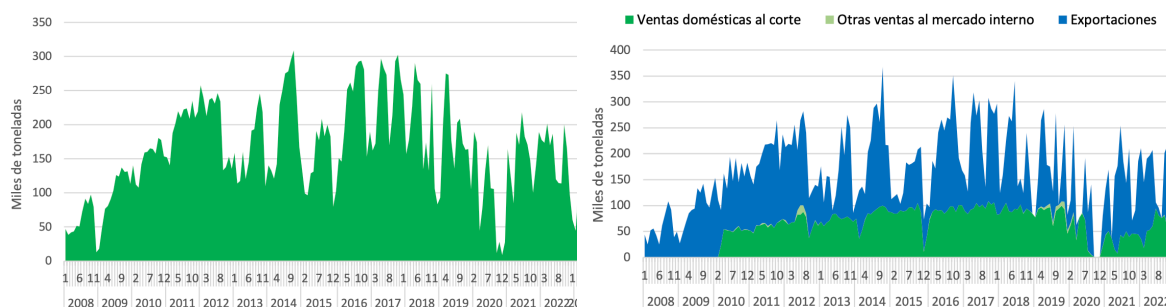
Desde la sanción de la primera ley, los niveles de corte fueron modificados por diferentes resoluciones, definidas actualmente en el 12%, en el caso de etanol en nafta, y del 7,5%, en el caso de biodiesel en gasoil. En efecto, la reglamentación nacional establece tanto los niveles de corte (cuánto), como los cupos de venta (quién), a qué tipos de compañías (a quién) y sus precios (a cuánto).

No obstante, en el marco de las distorsiones enfrentadas por los mercados energéticos y las dificultades macroeconómicas de Argentina durante los últimos años, el cumplimiento del porcentaje de corte establecido por la normativa fue relativamente laxo, tanto en el caso de bioetanol como de biodiésel, utilizándose en gran medida como una variable de ajuste frente a los retrasos de los precios de combustibles en surtidor (Hilbert & Caratori, 2021).

Esta modalidad puede observarse en términos de ventas al mercado interno, en función de la producción de biodiésel en el país, que ha sido altamente volátil.



Figura 7: Producción de biodiésel en Argentina (izq.) y Ventas al mercado interno y exportaciones de biodiésel (der.)



Fuente: Caratori (2024)

A pesar de la situación del mercado doméstico, la exportación de biodiésel puede resultar competitiva a nivel internacional, impulsada principalmente por la Directiva de Energías Renovables de la Unión Europea (RED-UE, actualmente en su versión REDIII), si bien como hemos mencionado anteriormente las restricciones al comercio internacional y la guerra tarifaria en ciernes generan condiciones de incertidumbre en las condiciones para entrar a los mercados de destino.

Los principales destinos de exportación del último quinquenio fueron los Países Bajos (83%), Malta (10%), Bélgica (3%), Canadá (2%) y España (1%) (Secretaría de Energía, 2023).

Argentina tiene una producción total de aceites de soja que oscila entre los 8 y 10 millones de toneladas factibles de ser convertidos en biodiesel (ROFEX, 2021). La actual capacidad instalada para la producción de biodiésel alcanza un valor total de 4,4 millones de toneladas anuales de biodiesel (Molina, 2017), que según los datos de producción presentados para el quinquenio 2018—2022 ubican la utilización de la capacidad instalada (UCI) en menos del 50%.

La producción de biodiésel no volcada al corte obligatorio tiene un potencial relevante para ser utilizada en procesos HEFA para la producción de SAF. En promedio, en el quinquenio 2018—2022 Argentina exportó 1,1 MMt anuales, obteniendo unos 1.105 MMUSD anuales, a un valor promedio de 1.010 USD/t.

Por lo tanto, esta condición permitiría incrementar la producción en el corto plazo sin inversiones de capital adicionales.



La producción de SAF en Argentina

Si se planteara una expansión futura con la construcción de nuevas plantas, se podría alcanzar con la materia prima disponible (aceite de soja), y sin un avance adicional de la frontera agrícola (aspecto crítico en la normativa de la UE sobre sostenibilidad de combustibles) una producción de hasta 8 millones de toneladas (Hilbert & Caratori, 2021).





7 El potencial del SAF para descarbonizar el transporte aéreo

En el contexto de la respuesta global frente al cambio climático surgen riesgos y oportunidades que están asociados con la transición sociotécnica en curso y que impactan de distinto modo en las decisiones de los diferentes actores.

El sector de aviación internacional da cuenta, junto con el de la logística marítima, del 2% de las emisiones globales, y respectivamente del 7% y del 9% de las emisiones del sector transporte.

Estos sectores son a su vez sectores “difíciles de descarbonizar” en los que las medidas tradicionales como la mejora de la eficiencia energética, la electrificación y el incremento de la generación eléctrica a partir de fuentes renovables no resultan suficientes ni económica ni técnicamente viables. Por estas circunstancias, es necesario considerar la introducción de vías alternativas como el uso de los biocombustibles y del hidrógeno, y en este caso particular, su utilización conjunta para la obtención de combustibles bajos en emisiones de GEI a lo largo de su entero ciclo de vida.

Dado que las emisiones del transporte internacional no se encuentran explícitamente incluidas en el Acuerdo de París, la OACI estableció para la aviación internacional, como mencionáramos, la implementación del plan CORSIA, que contempla la compensación de las emisiones sobre los vuelos internacionales por parte de las aerolíneas a la vez que la opción de reducir esas necesidades de compensación mediante la utilización de combustibles sostenibles de aviación (SAF).

Los combustibles de aviación producidos a partir de fuentes distintas del petróleo están recibiendo una atención considerable porque ofrecen la posibilidad de diversificar los suministros de energía al tiempo que mitigan los impactos ambientales de la aviación.

Argentina, dados sus volúmenes actuales de operación, no se encuentra obligada a participar del régimen internacional de CORSIA. No obstante, las aerolíneas registradas en otros países que tienen vuelos regulares hacia y desde la Argentina pueden adquirir dichos combustibles sostenibles en los aeropuertos internacionales del país, de manera de evitar por esa vía los requerimientos de compensación a los que puedan estar sometidas.



La producción de SAF en Argentina

En particular, se considera que el proceso de conversión HEFA a partir del aprovechamiento del biodiésel elaborado a partir de soja, resulta elegible como un combustible renovable para su utilización en el marco del régimen de CORSIA.

Argentina cuenta con una capacidad instalada considerable para la industrialización del aceite de soja y para la producción de biodiésel -utilizando dicho aceite como insumo- de modo de aumentar la eficiencia productiva y económica de la capacidad actualmente instalada y reducir los niveles de capacidad ociosa.

Asimismo, puede incrementar su producción mediante el aprovechamiento de los productos de la cadena de valor y exportadora sojera, sin necesidad de expandir adicionalmente la frontera agrícola, mediante la intensificación agrícola. En esta condición, el país evitaría estar expuesto a eventuales penalidades para-arancelarias, tales como las que están en proceso de entrada en vigor en algunos mercados de destino para los principales transables agroindustriales de la Argentina.

Por lo demás, la Argentina tiene una alta participación en las cadenas de valor globales y, específicamente, en los mercados internacionales de aceite de soja y biodiésel, dando mayor valor agregado a los productos de esta cadena agroindustrial.





8 Bibliografía

ASTM, ASTM, D4054-21a (2021). Standard Practice for Evaluation of New Aviation Turbine Fuels and Fuel Additives, American Society for Testing and Materials, International.

Betz, R., Michaelowa, A., Castro, P., Kotsch, R., Mehling, M., Michaelowa, K., & Baranzini, A. (2022). The Carbon Market Challenge: Preventing Abuse through Effective Governance. Cambridge University Press.

Bolsa de Comercio de Rosario (2023). Informativo Semanal Mercados. El crush argentino pierde terreno en el Mercosur. N° Especial Soja 2022/23. Marzo de 2016.

Bolsa de Comercio de Rosario (2016). Informativo Semanal. Noviembre de 2016.

CIARA 2024. Monitor Agroindustrial. Abril 2024.

CORSIA (2019). CORSIA Supporting Document: CORSIA Eligible Fuels – Life Cycle Assessment Methodology

Cortez LAB, (Ed.) (2014). Roadmap for Sustainable Aviation Biofuels for Brazil: A Flightpath to Aviation Biofuels in Brazil, Blucher

European Union (2024). COMMISSION DELEGATED DIRECTIVE (EU) 2024/1405, amending Annex IX to Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council as regards adding feedstock for the production of biofuels and biogas. 14 March, 2024.

European Commission (2020). ReFuelEU Aviation - Sustainable Aviation Fuels, Ref. Ares(2020)1725215

European Union (2018). DIRECTIVE (EU) 2018/2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, on the promotion of the use of energy from renewable sources. 11 December 2018.

FTDT (2024). Bases para el Financiamiento de Proyectos de Hidrógeno Verde y Derivados. https://ftdt.cc/wp-content/uploads/2024/07/2024-06-11-PtX-Hub_Modelos-de-Financiamiento-vf-1.pdf

HARE, W., STOCKWELL, C., FLACHSLAND, C., & OBERTHÜR, S. (2010). The architecture of the global climate regime: a top-down perspective. Climate Policy, 10(6), 600–614. <https://doi.org/10.3763/cpol.2010.0161>

Hilbert y Caratori (2021). El potencial de los biocombustibles argentinos para contribuir al cumplimiento de las contribuciones de Argentina en el marco del Acuerdo de París. July 2021

IATA (2024). ReFuelEU Aviation Handbook. September 2024.

IATA (2024). Disappointingly Slow Growth in SAF Production. 10 December 2024.



La producción de SAF en Argentina

ICAO (2024). Procesos aprobados. <https://www.icao.int/environmental-protection/SAF/Pages/Conversion-processes.aspx>

ICAO (2024). ICAO guidance on policy measures for SAF development and deployment

ICAO (2023). SAF market outlook and supporting policies.

IRENA (2017). Biofuels for Aviation: Technology Brief

IPCC (2023). AR6. Chapter 2. Acceso en:

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Chapter02.pdf

IPCC (2023). AR6. CLIMATE CHANGE 2023. Synthesis Report. Summary for Policymakers. Acceso en: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf

[Ministerio de Hacienda \(2019\). Informe de Cadenas de Valor. Oleaginosas: Soja. Septiembre de 2019.](#)

[R.R.C. Monteiro, I.A. dos Santos, M.R.A. Arcanjo, C.L. Cavalcante, F.M.T. de Luna, R. Fernandez-Lafuente, R.S. Vieira \(2022\). Production of jet biofuels by catalytic Hydroprocessing of esters and fatty acids: a review. Catalysts, 12 \(2022\)](#)

[Pearlson M, Wollersheim C, Hileman J. A techno-economic review of hydroprocessed renewable esters and fatty acids for jet fuel production. Biofuel Bioprod Biorefin 2013; 7\(1\): 89-96.](#)

Royal NLR – Netherlands Aerospace Centre, & SEO Amsterdam Economics. (2025). *DESTINATION 2050 – Roadmap 2025 (NLR-CR-2024-416)*. Report commissioned by A4E, ACI EUROPE, ASD, CANSO, & ERA. Disponible en: <https://www.destination2050.eu/roadmap/>

[Shahriar, M. F., & Khanal, A. \(2022\). The current techno-economic, environmental, policy status and perspectives of sustainable aviation fuel \(SAF\). Fuel, 325, 124905. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124905](#)

Van Dyk, S and J. Saddler (2021). Progress in Commercialization of Biojet /Sustainable Aviation Fuels (SAF): Technologies, Potential and Challenges

Watson, M.J., Machado, P.G., da Silva, A.V., Saltar, Y., Ribeiro, C.O., Nascimento, C.A.O. y A.W. Dowling (2024). Sustainable aviation fuel technologies, costs, emissions, policies, and markets: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, Volume 449, 2024.