



**NOTA DE ESTUDIO**

**CONFERENCIA SOBRE LA AVIACIÓN  
Y LOS COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS**

**Ciudad de México, México, 11-13 de octubre de 2017**

**Cuestión 4 del día: Definición de la visión de la OACI sobre los combustibles de aviación alternativos y los objetivos futuros**

**TENDENCIAS Y ESCENARIOS SOBRE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS**

(Nota presentada por la Secretaría de la OACI)

**RESUMEN**

En esta nota se presentan las tendencias ambientales validadas por el 39° período de sesiones de la Asamblea de la OACI, así como otros detalles acerca de la función que desempeñan los combustibles sostenibles para la aviación (SAF), para apoyar las deliberaciones en torno a la visión de la OACI respecto a los combustibles alternativos para la aviación.

Las medidas propuestas a la Conferencia figuran en el párrafo 4.

**1. INTRODUCCIÓN**

1.1 En la Resolución A38-17 de la Asamblea se pedía al Consejo de la OACI que evaluara periódicamente las repercusiones actuales y futuras de las emisiones de los motores de las aeronaves. En respuesta a dicha resolución, se presentaron al 39° período de sesiones de la Asamblea<sup>1</sup> las tendencias ambientales actualizadas, las cuales fueron validadas por la Asamblea de la OACI para que sirvan de base en el proceso de toma de decisiones en materia ambiental.

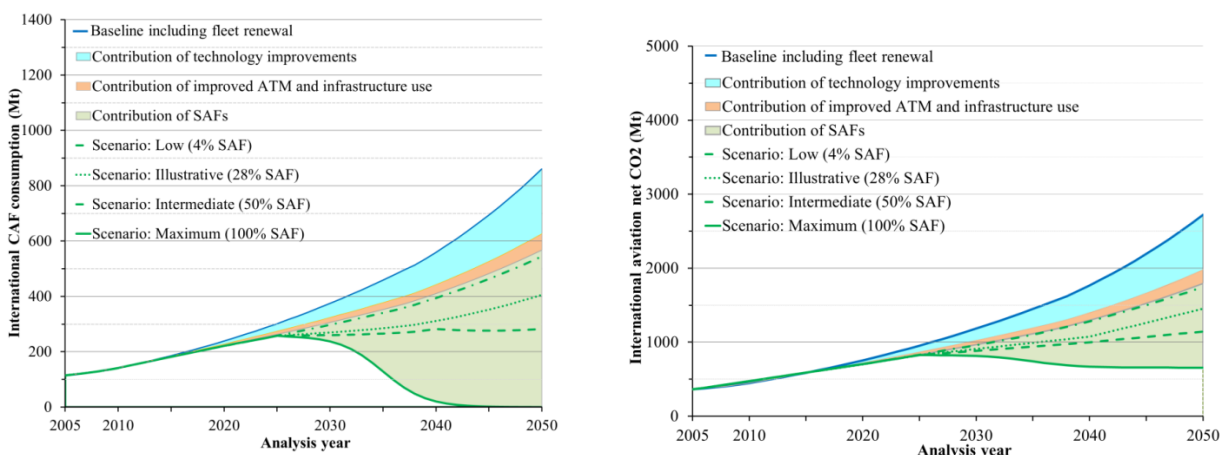
1.2 Las tendencias incluyen la posible contribución de cuatro elementos del conjunto de medidas para resolver el problema de las emisiones de CO<sub>2</sub> y lograr el objetivo de crecimiento neutro en carbono en la aviación internacional a partir de 2020. Estos cuatro elementos son: mejoras tecnológicas, mejoras en el uso de la gestión del tránsito aéreo (ATM) y de la infraestructura, combustibles sostenibles para la aviación (SAF) y una medida mundial basada en el mercado y el Plan de compensación y reducción de carbono para la aviación internacional (CORSIA). El Comité sobre la protección del medio ambiente y la aviación (CAEP) de la OACI evaluó escenarios específicos para el uso de SAF. Las tendencias ambientales y los escenarios sobre los SAF se encuentran bien documentados en el *Informe de la Décima reunión del Comité sobre la protección del medio ambiente y la aviación* (Doc 10069). La cantidad de SAF y la reducción conexa de las emisiones de gases de efecto invernadero

<sup>1</sup> [https://www.icao.int/Meetings/a39/Documents/WP/wp\\_055\\_en.pdf](https://www.icao.int/Meetings/a39/Documents/WP/wp_055_en.pdf)

(GEI) se atribuyeron proporcionalmente al uso internacional y nacional con base en la respectiva demanda de combustible proyectada. En esta nota se hace un resumen de los escenarios sobre los SAF evaluados para la capacidad mundial de producción de SAF, centrándose en la aviación internacional.

## 2. TENDENCIAS Y ESCENARIOS SOBRE CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES DE CO<sub>2</sub> PROCEDENTES DE LA AVIACIÓN INTERNACIONAL

2.1 En la Figura 1 se ilustran las tendencias del consumo de combustible convencional de aviación (CAF) en la aviación internacional hasta 2050 y las emisiones de CO<sub>2</sub> conexas, incluidos escenarios específicos con la contribución de los elementos que integran el conjunto de medidas.



**Figura 1. Consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la aviación internacional previstos, teniendo en cuenta la tecnología de aeronaves, las mejoras en el uso de la ATM y de la infraestructura y la posible sustitución con SAF (2005 – 2050)**

2.2 De la Figura 1 se desprende que la aviación internacional consumió aproximadamente 142 millones de toneladas métricas (Mt) de CAF en 2010. Para 2050, el consumo de CAF se calcula que llegará a las 860 Mt, teniendo en cuenta sólo la demanda de viajes aéreos y la renovación natural de la flota aérea. Incluyendo la posible contribución de la tecnología y de las mejoras en el uso de la ATM y de la infraestructura, este consumo de combustible estimado para 2050 puede reducirse a 570 Mt, lo que representaría un 71% de la cantidad mundial prevista, es decir, la parte internacional más la nacional del consumo de combustible de aviación. El análisis que sigue se basa en esta demanda prevista para 2050 de 570 Mt de combustibles para la aviación internacional.

2.3 La incertidumbre es significativa al predecir la contribución de los SAF en el largo plazo. Por lo tanto, el CAEP evaluó 120 escenarios de uso de SAF para 2050. Para cada escenario, se calcula la disponibilidad mundial de recursos, las condiciones económicas, las inversiones financieras y las decisiones en materia de políticas que son necesarias para alcanzar los niveles apropiados de producción mundial de SAF y las reducciones consiguientes de emisiones de CO<sub>2</sub>.

2.4 Con base en los escenarios evaluados por el CAEP, es posible que en 2050 se satisfaga hasta el 100% de la demanda de CAF de la aviación internacional utilizando SAF. Esta posibilidad se ilustra en el escenario etiquetado como máximo (“Maximum”) que aparece en la Figura 1. Sin embargo, la sustitución completa de CAF por SAF exigirá la construcción de alrededor de 170 biorrefinerías nuevas anuales de 2020 a 2050 a un costo aproximado de \$15 000 millones - \$60 000 millones/año de producirse un crecimiento lineal. Si la inversión y el crecimiento inician lentamente y aumentan con el

tiempo, tendrían que construirse más de 500 biorrefinerías nuevas cada año a finales de 2040 y se necesitarían en 2050 casi 1000 biorrefinerías nuevas, lo que requeriría inversiones de capital de \$1 000 millones - \$3 000 millones/año en 2025 y de \$80 000 millones - \$340 000 millones/año en 2050.

2.5 Para fines comparativos, en los últimos años la producción mundial de biocombustibles hizo que aumentara el número de biorrefinerías en aproximadamente 70 al año, gracias a incentivos puestos en la producción o el consumo en diferentes regiones del mundo. Sin embargo, la creación de biorrefinerías y el costo asociado corresponden sólo a un aspecto de la cadena de suministro de SAF. Se requeriría desarrollar suficientemente los aspectos de la cadena de suministro relativos a la producción de materias primas y logística del transporte. Del análisis del CAEP no queda claro cuáles de estos aspectos pueden limitar la adopción de SAF para 2050.

2.6 Asimismo, para fines comparativos, la inversión inicial mundial dada a conocer para petróleo y gas, entre las empresas que representan ~39% de la producción fuera de la OPEP, representó un promedio de más de \$600 000 millones anuales de 2010 a 2013<sup>2</sup>. Si bien corresponde a inversiones en la cadena completa de suministro de petróleo y gas para todos los sectores de la industria y no sólo a la construcción de refinerías destinadas a la producción de combustibles para la aviación, esta cifra muestra que el capital estimado que se requiere para la construcción de biorrefinerías en los escenarios de uso de SAF se encuentra perfectamente dentro del espectro de las inversiones actuales de la industria energética.

2.7 El escenario de sustitución etiquetado como bajo (“Low”), mediante el cual se logra un 4% de la demanda de CAF para la aviación internacional, requeriría una producción de SAF de unas 20 Mt/año en 2050. Además de los escenarios etiquetados como máximo y bajo, en la Figura 1 se representa un escenario ilustrativo (“Illustrative”) que evaluó el CAEP, en que el 28% del consumo de CAF de la aviación internacional se reemplaza por SAF. Además, a título informativo se muestra un escenario intermedio (“Intermediate”), con 50% de sustitución. Estos escenarios presuponen mejoras en la eficiencia de la producción de combustibles y una alta disponibilidad de materias primas de bioenergía, cuya producción se incentiva significativamente gracias a mercados favorables o a mecanismos de políticas favorables.

2.8 En las emisiones de CO<sub>2</sub> estimadas de la Figura 1 para los escenarios de reemplazo de SAF se considera el factor de emisiones de la evaluación del ciclo de vida (LCA) que es específico de los tipos SAF que contribuyen a los volúmenes de combustible de cada escenario del CAEP. Las emisiones del ciclo de vida procedentes del cambio directo del uso de los terrenos también se toman en consideración.

2.9 Con base en estas premisas, si fuera posible producir suficientes SAF en 2050 para reemplazar completamente los CAF (escenario máximo), las emisiones de CO<sub>2</sub> netas podrían reducirse en un 63% aproximadamente. Lograr este nivel de reducción de emisiones requeriría la concretización de los aumentos más altos supuestos para la productividad agrícola, la mayor disponibilidad de tierras para el cultivo de materias primas, las tasas más elevadas de eliminación de residuos, las mayores mejoras en eficiencia de conversión, las mayores reducciones de emisiones de GEI de los servicios y un fuerte énfasis del mercado y las políticas en la bioenergía en general y en los SAF en particular. Esto implica que una gran parte de los recursos de bioenergía disponibles a escala mundial se dedicarían a la producción de combustible para la aviación y no a otros usos.

---

<sup>2</sup> <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=16011>

### 3. AUMENTO DE LA PRODUCCIÓN EN 2050

3.1 El CAEP no especificó una función para conectar las estimaciones de producción de SAF de 2020 y 2050. Sin embargo, el crecimiento de una nueva industria, como la dedicada a los SAF, a menudo sigue una trayectoria en “S”. No queda claro cuándo la inversión y, por lo tanto, el crecimiento en capacidad de producción de la industria aumentarán. Se prevé que el aumento de la producción de SAF en 2050 corresponda a un crecimiento entre lineal y exponencial, es decir, el extremo inferior de la curva en forma de “S” y con el extremo superior de esa curva en alguna fecha posterior, por ejemplo, en 2100 aproximadamente. Por lo tanto, los valores proporcionados en el Apéndice para 2040 y 2050 para los escenarios SAF deberían considerarse para fines ilustrativos únicamente.

3.2 Para los valores de corto plazo correspondientes a 2025, todos los escenarios se presentan con una producción de 5 Mt/año de SAF para la aviación internacional. Como referencia, los actuales contratos de explotación suman hasta cerca de 0,9 Mt/año (véase la CAAF/2-WP/10). Además, en los requisitos en materia de políticas del análisis del CAEP no se tuvieron en cuenta las posibles políticas disruptivas similares a las decisiones recientemente anunciadas por Francia<sup>3</sup>, India, Noruega y el RU<sup>4</sup>, cuyo propósito es poner fin a la venta de automóviles de gasolina y diésel para 2040 o antes. Esta clase de políticas podría dirigir hacia la aviación grandes cantidades de diésel HEFA (“diésel verde”) designadas para el transporte terrestre, siempre que se tenga la certificación ASTM prevista. La actual capacidad mundial de las instalaciones de diésel HEFA alcanza alrededor de 4 300 millones de litros (3,45 Mt/año)<sup>5</sup>.

3.3 En la evaluación de tendencias, los cálculos del número de biorrefinerías y de la inversión de capital necesarios presuponen que este crecimiento se produce construyendo nuevos desarrollos, en las así llamadas “zonas verdes”. Sin embargo, como se describe en la CAAF/2-WP/08, utilizando instalaciones “desafectadas”, es decir, infraestructura existente que no se está utilizando o que se está subutilizando, puede representar requisitos de capital considerablemente menores. Además, al electrificarse el transporte terrestre, disminuirá la demanda de combustibles derivados del petróleo para dicho transporte y la actual capacidad de refinación de petróleo quedará disponible para utilizarse en procesar los combustibles de origen vegetal. Dicho procesamiento combinado o dicha integración de la refinería de la futura capacidad de refinación subutilizada puede ofrecer una oportunidad para aumentar la producción de SAF con requisitos de inversión de capital mucho menores. Sin embargo, también podría haber dificultades si las actuales refinerías de petróleo se encuentran lejos del lugar de producción de materias primas para los SAF.

3.4 También se destacó que en el análisis sólo se consideraron tecnologías que están demostradas en el laboratorio o a escala piloto y que pueden estar próximas a su desarrollo comercial. Sin embargo, la introducción de una tecnología disruptiva de producción de combustibles podría también aumentar drásticamente la posibilidad de que los SAF reduzcan las emisiones de CO<sub>2</sub> de la aviación. Por ejemplo, es posible que una tecnología completamente nueva, como la así llamada *Power-to-Liquid (PtL)*, pueda surgir y aumente la capacidad de los SAF para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de la aviación.

3.5 Teniendo en mente estas salvedades, en el Apéndice se presentan posibles requisitos que facilitarían concretizar los escenarios de uso de SAF, así como algunas hipótesis que se utilizaron, con la intención de dar cierta información a la Conferencia sobre posibles iniciativas en materia de inversión, tecnología y definición de políticas para lograr los escenarios descritos.

<sup>3</sup> <https://www.nytimes.com/2017/07/06/business/energy-environment/france-cars-ban-gas-diesel.html>

<sup>4</sup> <https://www.nytimes.com/2017/07/26/world/europe/uk-diesel-petrol-emissions.html>

<sup>5</sup> IRENA (2017), *Biofuels for aviation: Technology brief*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

4. **MEDIDAS PROPUESTAS A LA CAAF/2**

4.1 Se invita a la CAAF/2 a:

- a) considerar la información sobre las posibles iniciativas en materia de inversión, tecnología y definición de políticas para lograr los cuatro escenarios descritos para el uso de SAF, al analizar la visión de la OACI sobre la aviación y los combustibles alternativos;
- b) convenir en que una producción de 5 Mt/año de SAF para la aviación internacional es una hipótesis razonable para el uso de SAF en el corto plazo (2025); y
- c) considerar los cuatro escenarios para el uso de SAF (4%, 28%, 50% y 100%) y las hipótesis conexas presentadas en esta nota al analizar la visión de la OACI sobre la aviación y los combustibles alternativos.

-----

APPENDIX

POSSIBLE FACILITATION CONDITIONS FOR FOUR SAF DEPLOYMENT SCENARIOS

**Assumptions:**

- average production facility size of 5000 barrels per day (bpd) with a 50% SAF output share and 365 production days per year; and
- annual capital investment lower bound of \$175 million U.S. Dollars per facility, corresponding to a petroleum refinery<sup>6</sup>, and an upper bound of \$700 million U.S. Dollars per facility based on techno-economic studies of biorefineries in literature.

Analysis year	Key indicators on 4% SAF replacement (Scenario: Low)				Potential facilitation conditions			
	International aviation CAF consumption (Mt/year)	International aviation SAF availability (Mt/year)	Substitution of CAF	CO <sub>2</sub> reduction from SAF use	Total number of biorefineries	Cumulative CapEx investment in biorefineries (in billion 2015 USD)	Technology requirements	Policy requirements
2025	270	5	2.0%	0.9%	45	\$5 to \$15		
2040	400	11	2.8%	1.3%	100	\$10 to \$35		
2050	570	20	4.0%	2.0%	200	\$20 to \$70		

Analysis year	Key indicators on 28% SAF replacement (Scenario: Illustrative)				Potential facilitation conditions			
	International aviation CAF consumption (Mt/year)	International aviation SAF availability (Mt/year)	Substitution of CAF	CO <sub>2</sub> reduction from SAF use	Total number of biorefineries	Cumulative CapEx investment in biorefineries (in billion 2015 USD)	Technology requirements	Policy requirements
2025	270	5	2.0%	0.9%	45	\$5 to \$15	- Improvements in fuel production efficiencies	- Bioenergy production incentivized by policies
2040	400	89	22%	15%	800	\$70 to \$280		- Bioenergy resource allocation to all end-usages in proportion to share in final energy demands
2050	570	160	28%	19%	1400	\$100 to \$500		

<sup>6</sup> Gary, J.H., Handwerk, G.E. & Kaiser, M.J. 2007. *Petroleum Refining: Technology and Economics*, 5th edn. (Taylor & Francis, Basel, Switzerland).

Analysis year	Key indicators on 50% SAF replacement (Scenario: Intermediate)				Potential facilitation conditions			
	International aviation CAF consumption (Mt/year)	International aviation SAF availability (Mt/year)	Substitution of CAF	CO <sub>2</sub> reduction from SAF use	Total number of biorefineries	Cumulative CapEx investment in biorefineries (in billion 2015 USD)	Technology requirements	Policy requirements
2025	270	5	2.0%	0.9%	45	\$5 to \$15	- Improvements in fuel production efficiencies	- Bioenergy production strongly incentivized by policies
2040	400	128	32%	12%	1100	\$100 to \$400	- Increased agricultural yields and arable land availability	- Bioenergy resource allocation to all end-uses in proportion to share of final energy demands
2050	570	285	50%	33%	2400	\$200 to \$850	- Significant agricultural and forestry residue removal	

Analysis year	Key indicators on 100% SAF replacement (Scenario: Maximum)				Potential facilitation conditions			
	International aviation CAF consumption (Mt/year)	International aviation SAF availability (Mt/year)	Substitution of CAF	CO <sub>2</sub> reduction from SAF use	Total number of biorefineries	Cumulative CapEx investment in biorefineries (in billion 2015 USD)	Technology requirements	Policy requirements
2025	270	5	2.0%	0.9%	45	\$5 to \$15	- Highest agricultural yield growth rates and highest land availability	- Bioenergy production strongly incentivized by policies
2040	400	342	86%	49%	2900	\$250 to \$1000	- Highest agricultural and forestry residue removal rates	- Alternative jet fuel production prioritized over all other uses of bioenergy
2050	570	>570	100%	63%	5200	\$450 to \$1800	- Improvements in fuel production efficiencies	