

Combustible de Aviación Sostenible (SAF), como alternativa para la reducción de gases de efecto invernadero en el sector aeronáutico en el Perú

Sustainable Aviation Fuel (SAF), as an alternative for the reduction of greenhouse gases in the aeronautical sector in Peru

José Luis Bravo Artica¹

Recibido: 25/10/2023 - Aprobado: 04/12/2023 - Publicado: 08/04/2024

RESUMEN

La industria aérea, responsable del 2,5% de las emisiones globales de CO₂ y otros gases nocivos, busca reducir su impacto ambiental. El aumento en la demanda de vuelos ha llevado al Reino Unido a contemplar un aumento del 10% en los precios de los boletos para gestionar la demanda y reducir vuelos comerciales.

Los biocombustibles, especialmente el Combustible de Aviación Sostenible (SAF), destacan como alternativas prometedoras al ser fabricados con recursos renovables y al utilizarse en algunos aeropuertos. Un estudio evalúa los beneficios del SAF en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, comparándolos con combustibles fósiles en términos de costos y rendimiento.

En 2019, en Perú, el uso de SAF demostró una reducción del 28% en emisiones. La investigación se centra en la viabilidad de los biocombustibles, especialmente el SAF, para disminuir emisiones en la industria de la aviación.

La metodología implicó comparar las emisiones de combustibles fósiles con SAF al 30%, elaborado con aceite usado de cocina, logrando una reducción del 28% en las emisiones de gases de efecto invernadero. A pesar de las ventajas del SAF, se destacan desafíos como el alto costo y el rendimiento comparativo con combustibles convencionales, subrayando la necesidad de abordar aspectos económicos para una implementación efectiva.

Palabras claves: Aviación civil, aceite usado, biodiésel, Combustible de Aviación Sostenible (SAF), factor de emisión.

ABSTRACT

The airline industry, responsible for 2.5% of global emissions of CO₂ and other harmful gases, seeks to reduce its environmental impact. The increase in demand for flights has led the UK to consider a 10% increase in ticket prices to manage demand and reduce commercial flights.

Biofuels, especially Sustainable Aviation Fuel (SAF), stand out as promising alternatives as they are manufactured with renewable resources and are used in some airports. A study evaluates the benefits of SAF in reducing greenhouse gas emissions, comparing them to fossil fuels in terms of costs and performance.

In 2019, in Peru, the use of SAF demonstrated a 28% reduction in emissions. The research focuses on the viability of biofuels, especially SAF, to reduce emissions in the aviation industry.

The methodology involved comparing fossil fuel emissions with 30% SAF, made with used cooking oil, achieving a 28% reduction in greenhouse gas emissions. Despite the advantages of SAF, challenges such as high cost and comparative performance with conventional fuels are highlighted, underlining the need to address economic aspects for effective implementation.

Keywords: Spectral signatures, Spectral Angle Mapper, metadata, interoperability, remote sensing.

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Lima, Perú.

E-mail: joseluis.bravo@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9450-0193>

I. INTRODUCCIÓN

La industria de la aviación es uno de los principales contribuyentes al cambio climático, ya que emite el 2.5% de las emisiones de dióxido de carbono del mundo. Sin embargo, el CO₂ representa solo un tercio del impacto climático total de la aviación. Los dos tercios restantes provienen de emisiones que no son de CO₂, como óxidos de nitrógeno y marcas de hielo del vapor de agua de los aviones. Estas emisiones son aún más dañinas para la atmósfera que el dióxido de carbono y tienen un gran impacto en la calidad del aire local y la salud pública (NCYT, 2022).

La industria de la aviación es una de las que más ha crecido en las últimas décadas y, por lo tanto, su impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero también se ha incrementado.

Una alternativa de solución es la propuesta por un estudio del Reino Unido de 2006 "Predict and Decide: Aviation, climate change and UK policy", el cual señala que un aumento del 10 % en los precios de los boletos aéreos podría reducir la demanda entre un 5 % y un 15 % y recomendó que el gobierno del Reino Unido administre la demanda en lugar de ralentizarla (Cairns et al, 2006).

Los biocombustibles representan otra alternativa para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector aeronáutico. El SAF (Sustainable aviation fuel o Combustible de Aviación Sostenible por sus siglas en inglés) es un ejemplo de este tipo de iniciativas que se vienen implementando en algunos aeropuertos del mundo.

Este estudio evalúa la utilización de dicho biocombustible en contraste con los combustibles convencionales empleados en la industria de la aviación, reflejado en una estimación de la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero. Asimismo, aborda las limitaciones que surgen en su aplicación, debido a su alto costo y rendimiento comparado con el de los combustibles fósiles.

1.1 Sector aviación

En los últimos años, la aviación ha sido uno de los sectores que ha incrementado su dinamismo debido a su alta demanda. Según el Organismo de Aviación Civil Internacional (OACI), en el año 2018 se registró un incremento global del 6.4% en el transporte aéreo de personas, siendo Sudamérica la tercera región con mayor incremento, con un total del 6.6% respecto al año anterior (OACI, 2018).

Esta situación ha generado un total de 918 millones de toneladas de CO₂ emitidas a la atmósfera en el año 2018, equivalente al 2.4% de las 37.9 gigatoneladas de CO₂ estimadas para todo el mundo, producto del consumo de combustibles fósiles de ese año (Brandon et al., 2019).

En el Perú, para el año 2019, el subsector de la aviación (nacional e internacional) generó un total de 3,401.55 GgCO₂eq, lo que representa el 13.3% del total de emisiones registradas en el Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero – Sector Energía 2019, como se muestra en las Figuras 1 y 2.

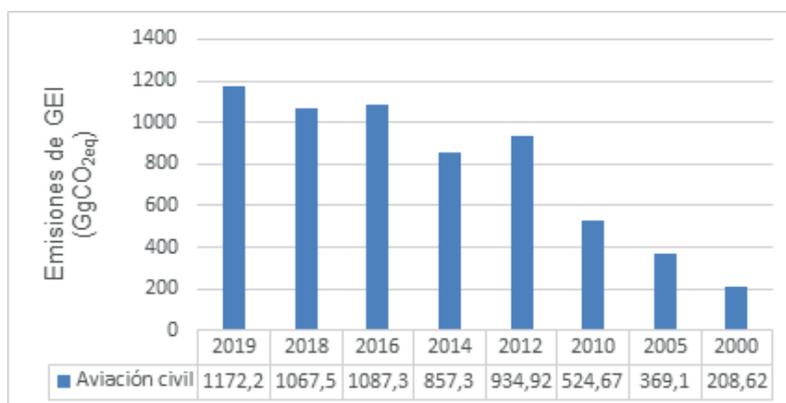
1.2 Combustible de Aviación Sostenible (SAF)

Los Combustibles de Aviación Sostenible o SAF (por sus siglas en inglés) presentan una composición química similar a la de un combustible de aviación convencional, pero que son fabricados a partir de recursos renovables, generando una reducción en las emisiones (Gonzalez-Garay et al, 2022).

Existen instituciones que certifican el uso de un determinado SAF, considerando tres dimensiones principales: social, económica y ambiental. Un SAF deberá cumplir los criterios de sostenibilidad, centrándose en la materia prima del mismo.

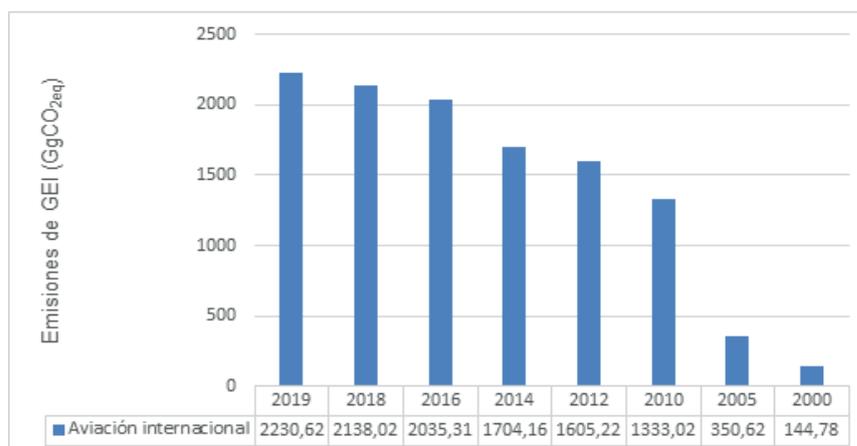
La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) ha aprobado a las siguientes organizaciones de certificación para considerar a un combustible como SAF: International Sustainability and Carbon Certification (ISCC) y Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB).

Figura 1
Emisiones de GEI – Aviación Civil periodo 2000-2019



Nota: Ministerio del Ambiente (MINAM)

Figura 2
Emisiones de GEI – Aviación internacional periodo 2000-2019



Nota: Ministerio del Ambiente (MINAM)

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

La investigación se centrará en comparar las emisiones producidas por el tráfico aéreo nacional en el año 2019, utilizando tanto combustibles fósiles convencionales como Combustible de Aviación Sostenible (SAF). Es importante destacar que los datos sobre las emisiones derivadas de los combustibles fósiles se basan en cálculos realizados por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) y la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). Estos cálculos se fundamentan en el consumo de combustible relacionado con las salidas y llegadas de vuelos nacionales e internacionales en Perú, utilizando la información recopilada por dichas entidades reguladoras.

2.2. Materiales

- Datos de consumo de combustible en vuelos de origen y destino por tipo de aeronave (Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Aviación Civil)
- Datos de consumo de combustible para vuelos nacionales en el año 2019. (Ministerio de Energía y Minas)
- Datos de consumo nacional de combustible según categoría en el año 2019. (OSINERGMIN)
- Demanda de combustible de aviación para vuelos internacionales en el año 2019. (Ministerio de Energía y Minas)
- Reporte de Emisiones generadas por la aviación civil nacional e internacional en el año 2019. (Ministerio del Ambiente)
- Cálculo de las emisiones generadas por la aviación civil nacional e internacional en el año 2019, a partir de un SAF.
- Directrices IPCC 2006.

2.3. Método

$$\text{Emisiones} = \text{Consumo de combustible} * \text{Factor de emisión}$$

Se considerará el registro de las emisiones generadas por la aviación civil nacional e internacional para el año 2019 (que incluye todos los vuelos que salieron e ingresaron a territorio peruano en dicho año) a partir del consumo de gasolina y queroseno.

Para el comparativo de emisiones de GEI, se considerará el registro de estimación de consumo de combustible para el año 2019, tanto para la aviación civil como internacional, proporcionado por el OSINERGMIN y el Ministerio de Energía y Minas. A partir de estos datos, se realizará la estimación de las emisiones de GEI utilizando un SAF elaborado a partir de aceite de cocina usado.

El cálculo de emisiones a partir de combustible convencional y un SAF seguirá las Directrices del IPCC, que relacionan el consumo de combustible y los factores de emisión.

Emisiones: en unidades de TCO_{2eq}

Consumo de combustible: convertido a unidades energéticas (TJ)

Factor de emisión: correspondiente al tipo de combustible (kg/TJ).

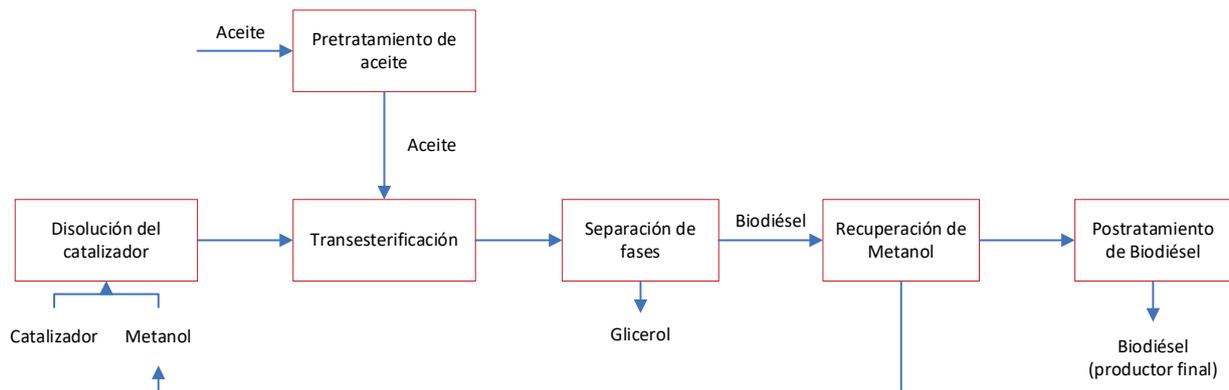
Las emisiones totales consideran la sumatoria de los valores obtenidos a partir del CO₂, CH₄ y N₂O, lo cual daría las emisiones totales de un combustible en específico.

Producción de biodiesel a partir de aceite usado

Como se muestra en la Figura 3, el proceso de obtención de combustible sostenible a partir de aceite de cocina usado implica la producción de biodiesel. Este proceso de conversión comprende las siguientes etapas:

Figura 3

Proceso de producción de biodiesel a partir de aceite usados.



Nota: (Barriga, 2011).

El biocombustible producido se mezcla con el combustible de aviación convencional (queroseno de aviación, Jet A) en proporciones específicas para cumplir con los estándares de calidad y rendimiento de la industria.

El porcentaje de biocombustible de aviación sostenible (SAF) que se mezcla con queroseno convencional en vuelos comerciales puede variar, y no existe un único estándar universal establecido por todas las autoridades aeronáuticas. Sin embargo, generalmente se utilizan mezclas que contienen SAF en proporciones que van desde alrededor del 10% hasta un 50% en volumen, dependiendo de varios factores, como la disponibilidad del biocombustible, los requisitos de rendimiento y las regulaciones locales.

Algunas aerolíneas y operadores han optado por mezclar SAF en una proporción de alrededor del 30% (SAF) y 70% (queroseno convencional), lo que se conoce como "nivel de mezcla del 30%". Esto es considerado una mezcla estándar en la industria y suele cumplir con las especificaciones de rendimiento y seguridad requeridas para el uso en aviones comerciales. Para el presente estudio, se considerará el uso de SAF al 30% de biodiésel para el tráfico aéreo nacional del año 2019.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para llevar a cabo la comparación de las emisiones originadas en el sector aeronáutico nacional, se utilizará como punto de referencia el consumo de combustible convencional registrado en el año 2019. Este registro abarca el empleo de Gasolina 100 LL y Queroseno o Turbo A-1; posteriormente se efectuarán los cálculos respectivos al reemplazar estos combustibles convencionales con biodiésel fabricado a partir de aceite de cocina.

La fuente de información respecto a los vuelos que considera tipo de aeronave, ruta y distancia, se obtuvo a partir de la base de datos del MTC y la DGAC. En la

Tabla 1 se muestran los resultados de las emisiones de GEI obtenidas a partir del consumo de Gasolina 100 LL y Turbo A-1. Se puede observar que la demanda debido al tráfico internacional en el cielo peruano fue mayor que la nacional.

De la Tabla 1 podemos observar que las emisiones totales de GEI del sector aeronáutico civil, ascendieron a un total de 3,401.55 GgCO₂eq en el año 2019.

El comparativo se realizará sustituyendo el consumo de queroseno y turbo realizado para el año 2019, por biodiesel elaborado a partir de aceite usado de cocina. El cálculo incluirá la sumatoria de las emisiones a partir del biocombustible y la fracción de combustible convencional, considerando un SAF al 30%.

Para efectos de cálculo y considerando que el proceso general de producción de biodiesel a partir de otras materias primas es similar a la producción industrial, el factor de emisión usado será de 70,800 kg/TJ.

En la Tabla 2 se muestra la estimación de emisiones de la aviación civil (nacional e internacional) para el año 2019, a partir del consumo de SAF al 30% de aceite usado de cocina:

Según los cálculos mostrados en la Tabla 2, la emisión total de GEI, a partir del consumo de SAF (30%) elaborado de aceite usado de cocina, es de **2,436.11 GgCO₂eq**, originando una reducción del 28%.

Este análisis evidencia el potencial de los biocombustibles, especialmente el SAF, para mitigar las emisiones de GEI en la aviación. A pesar de los desafíos asociados con el alto costo y rendimiento comparativo, la implementación de SAF elaborado con aceite usado de cocina se presenta como una opción viable y sostenible para la reducción de impactos ambientales en la industria aeronáutica.

Tabla 1

Estimación de CO₂, CH₄ y N₂O, procedentes de la aviación CIVIL

Tipo de transporte*	Tipos de Combustibles - Clasificación Nacional*	Tipo de combustible - IPCC	Unidad	Consumo de energía			CO ₂		CH ₄		N ₂ O		Emisiones GEI* Gg CO ₂ eq
				A Consumo (Masa, volumen o unidad de energía)	B Factor de conversión** (TJ / unidad)	C consumo (TJ)	D Factor de Emisión de CO ₂ (Kg CO ₂ /TJ)	E Emisiones de CO ₂ (Gg CO ₂)	F Factor de Emisión de CH ₄ (Kg CH ₄ /TJ)	G Emisiones de CH ₄ (Gg CH ₄)	H Factor de emisión de N ₂ O (Kg N ₂ O / TJ)	I Emisiones de N ₂ O (Gg N ₂ O)	
				C=A*B			E*C*D/10 ⁶		G=C*F/10 ⁶		I=C*H/10 ⁶		
Combustibles líquidos													
Aviación nacional	Gasolina Motor	Gasolina para aviación	gal	634,200	1.17E-04	74.15	70,000	5.19	0.50	0.00004	2.00	0.0001	5.23
	Turbo	Queroseno para motor reacción	gal	114,720,690	1.32E-04	15,106.77		1,099.05	0.50	0.008	2.00	0.0302	1,107.27
	Turbo	Queroseno para motor reacción	gal	6,197,310	1.32E-04	816.08	71,500	58.35	0.50	0.0004	2.00	0.0016	58.79
	Total			121,552,200		15,997.00		1,162.59		0.01		0.03	1,171.29
Combustibles líquidos													
Aviación internacional	Turbo	Queroseno para motor reacción	gal	235,086,600	1.32E-04	30,956.92	71,500	2,213.42	0.50	0.02	2.00	0.06	2,230.26
	Total			235,086,600		30,956.92		2,213.42		0.02		0.06	2,230.26

Nota: Ministerio del Ambiente - INFOCARBONO

Tabla 2*Estimación de CO₂, CH₄ y N₂O, procedentes de la aviación Civil, a partir del uso de SAF producido de aceite usado de cocina*

Tipo de transporte*	Tipos de Combustibles - Clasificación Nacional*	Tipo de combustible - IPCC	Unidad	Consumo de energía			CO ₂		CH ₄		N ₂ O		J Emisiones GEI* Gg CO ₂ eq	
				Consumo (Masa, volumen o unidad de energía)	A Consumo de fracción fósil (70%)	B Factor de conversión** (TJ / unidad)	C consumo (TJ)	D Factor de Emisión de CO ₂ (Kg CO ₂ / TJ)	E Emisiones de CO ₂ (Gg CO ₂)	F Factor de Emisión de CH ₄ (Kg CH ₄ / TJ)	G Emisiones de CH ₄ (Gg CH ₄)	H Factor de emisión de N ₂ O (Kg N ₂ O / TJ)		I Emisiones de N ₂ O (Gg N ₂ O)
				C=A*B			E*C*D/106		G=C*F/106		I=C*H/106		J=E+(G*28)+(I*365)	
Combustibles líquidos														
Aviación nacional	Biocombustible (aceite usado cocina)	SAF al 30%	gal	634,200	443,940	1.17E-04	51.90	70,800	3.67	0.50	0.00003	2.00	0.0001	3.70
	Biocombustible (aceite usado cocina)	SAF al 30%	gal	80,304,483	56,213,138	1.32E-04	7,402.32		841.61	0.50	0.004	2.00	0.0148	845.64
	Biocombustible (aceite usado cocina)	SAF al 30%	gal	6,197,310	4,338,117	1.32E-04	571.26	70,800	40.44	0.50	0.0003	2.00	0.0011	40.76
Total				87,135,993			8,025.48		885.73		0.00		0.02	890.10
Combustibles líquidos														
Aviación internacional	Biocombustible (aceite usado cocina)	SAF al 30%	gal	235,086,600	164,560,620	1.32E-04	21,669.84	70,800	1,534.22	0.50	0.01	2.00	0.04	1,546.01
Total				235,086,600			21,669.84		1,534.22		0.01		0.04	1,546.01

IV. CONCLUSIONES

El reemplazo de combustible fósil convencional usado en el sector aeronáutico, por un Combustible de Aviación Sostenible (SAF), genera una reducción estimada del 28% en las emisiones totales de GEI.

La emisión de gases de efecto invernadero (GEI) a partir de un combustible de aviación sostenible (SAF) puede variar según varios factores, como la materia prima utilizada, el proceso de producción y las tecnologías involucradas en la cadena de suministro.

Los biocombustibles, como el SAF, representan una alternativa prometedora para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la industria de la aviación. Estos combustibles sostenibles pueden reducir significativamente las emisiones en comparación con los combustibles fósiles. Sin embargo, enfrentan desafíos como su alto costo y su rendimiento en comparación con los combustibles convencionales.

V. REFERENCIAS

- Barriga, E. (2011, Noviembre). *Diseño de módulo de transesterificación de una planta piloto para producción de biodiesel a partir de aceites usados de cocina* [Tesis de grado]. Universidad Católica del Perú. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/1021>
- Graver, B., Zhang, K., & Rutherford, D. (2019). Emisiones de CO₂ de la aviación comercial 2018. *The International Council on Clean Transportation*, v. 16. https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_CO2-commercial-aviation-2018_20190918.pdf
- Cairns, S. & Carey, N. (2006). Predict and decide. Aviation, climate change and UK policy. *Environmental Change Institute*, p. 96. https://www.researchgate.net/publication/260584763_Predict_and_Decide_-_Aviation_Climate_Change_and_UK_Policy
- Emisiones de aviones y barcos: datos y cifras (infografía). <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20191129STO67756/emisiones-de-aviones-y-barcos-datos-y-cifras-infografia>, accedido el 8 de abril 2023.
- Gonzalez-Garay, A., Heuberger-Austin, C., Fu, X., Klokkenburg, M., Zhang, D., van der Made, A., & Shah, N. (2022). Unravelling the potential of sustainable aviation fuels to decarbonise the aviation sector. *Energy & Environmental Science*, 15(8), 3291–3309. <https://doi.org/10.1039/D1EE03437E>
- Noticias de Ciencia y Tecnología (2022). *Impacto de la aviación en el medio ambiente*. <https://www.tiempo.com/ram/impacto-de-la-aviacion-en-el-medio-ambiente.html>
- Organización de Aviación Civil Internacional (2018). *Sólido crecimiento del tráfico de pasajeros y moderación de la demanda de carga aérea en 2018*. <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/Solid-passenger-traffic-growth-and-moderate-air-cargo-demand-in-2018.aspx>, accedido el 16 de julio 2023.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). *Reportes Sectoriales*. <https://infocarbono.minam.gob.pe/reportes-sectoriales/energia-2019/>, accedido el 23 de julio del 2023

Conflictos de intereses

El autor declara no tener conflictos de intereses