

Universidad Europea De Madrid

Escuela de Sostenibilidad



**Impacto Ambiental de la Aviación Civil en la República Dominicana:
Evaluación de Emisiones de Carbono**

TRABAJO FIN DE MASTER

Marcial Cepeda Santos

Abril 2025

Universidad Europea De Madrid

Escuela de Arquitectura, Ingeniería y Diseño - Madrid

Máster en Sistemas Integrados de Gestión (SIG)

TRABAJO FIN DE MASTER

**Impacto Ambiental de la Aviación Civil en la República Dominicana:
Evaluación de Emisiones de Carbono**

Autor

Marcial Cepeda Santos

Tutora MUSIG Universidad Europea de Madrid:

Carolina Piña Ramírez

Abril 2025

AGRADECIMIENTOS

Antes que todo, dar gracias a **Dios**, fuente de sabiduría y fortaleza, pues sin su luz y bendición, no lo habría podido hacer posible. A **Maritza** mi esposa, mi compañera de vida. Gracias por tu amor, confianza y comprensión pues sin ella no llegaría a la culminación de este Master. A **Maverick, Luis Manuel y Diana** mis hijos, quienes fueron mi mayor motivación pues con su amor y alegría han sido el más potente combustible. Este logro también es para ustedes, con la esperanza de que los motive a seguir siempre sus sueños con determinación, pasión y la entrega que les caracteriza.

A mis **padres**, quienes con amor, sacrificio y ejemplo han sido mi inspiración constante. Aprecio profundamente la enseñanza sobre la importancia de la perseverancia, la perseverancia y la integridad, pilares fundamentales en mi formación académica y personal.

A mis **profesores**, por compartir su sabiduría y exigirme siempre dar lo mejor de mí, Su dedicación y compromiso han sido un ejemplo de excelencia académica y profesionalismo. Las enseñanzas que me han transmitido han sido determinantes en mi formación intelectual y profesional.

Finalmente, quiero hacer una mención especial a **Yuddy J. Gonzales**, Coordinadora De Gestión, del IDAC, quien, con su ejemplo, palabras de aliento e inspiración, influyó significativamente en mi decisión de llevar a cabo este Master en Sistema Integrado de Gestión, Su motivación ha sido un motor fundamental en la realización de este MUSIG.

A **todos ustedes**, mi más sincero agradecimiento. Este logro es el reflejo del esfuerzo conjunto y el apoyo invaluable que me han brindado. **¡Gracias!**

RESUMEN

Las emisiones de CO₂ en la Aviación Civil Dominicana es un tema de creciente relevancia debido a la contribución del sector aéreo a las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI). El documento analiza los principales factores que afectan la huella de carbono, incluyendo el uso de combustibles fósiles, la eficiencia de las aeronaves, las prácticas operacionales y las políticas regulatorias. Además, destaca la importancia del turismo en la economía dominicana y cómo la sostenibilidad del sector aéreo influye en la competitividad del país como destino turístico.

Para reducir la huella de carbono, se presentan diversas estrategias, como el uso de **Combustibles Sostenibles De Aviación (SAF)**, la optimización del diseño de aeronaves, la electrificación parcial del transporte aéreo y la gestión eficiente del tráfico aéreo. Se revisan las regulaciones nacionales e internacionales, como la adhesión de la República Dominicana al **Esquema de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA)** y el desarrollo del **Plan de Acción de Reducción de Emisiones de CO₂ (PARE-CO₂)** por parte del IDAC.

El impacto económico y social de no abordar la huella de carbono en la aviación puede ser significativo, afectando el turismo, la infraestructura aeroportuaria y la salud pública. Para mitigar estos efectos, se proponen soluciones basadas en la implementación de nuevas tecnologías, la modernización de flotas y la adopción de medidas regulatorias más estrictas. El documento concluye con una visión del futuro de la aviación dominicana en el contexto de la sostenibilidad, alineándose con las acciones mundiales para la mitigación de gases contaminantes y la búsqueda de un transporte aéreo más eficiente y menos contaminante.

ABSTRACT

The carbon footprint of civil aviation in the Dominican Republic is a key issue due to its environmental and economic implications. The aviation sector is a major contributor to greenhouse gas (GHG) emissions, particularly CO₂, which impacts climate change. This paper analyses the main factors influencing aviation emissions, such as fuel consumption, aircraft efficiency, operational practices and regulatory frameworks. Given the economic dependence on tourism, reducing aviation emissions is crucial for the country's competitiveness as a sustainable destination.

Various mitigation strategies are explored, including the use of sustainable aviation fuels (SAF), improved aircraft design, hybrid-electric propulsion and optimised air traffic management. The Dominican Republic has adopted international policies such as CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) and has developed its own Plan of Action for CO₂ Reduction (PARE-CO₂) under the Dominican Institute of Civil Aviation (IDAC).

The economic and social impacts of failing to address aviation emissions could be severe, leading to higher operating costs, infrastructure risks and health-related consequences. The document proposes a roadmap towards a more sustainable aviation sector, emphasizing technological innovation, regulatory measures and international cooperation. In line with global decarbonization efforts, the future of aviation in the Dominican Republic depends on its commitment to cleaner technologies and sustainable practices.

1.- INDICE DE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	10
2. JUSTIFICACIÓN	13
3. OBJETIVO	14
3.1 Objetivo general	14
3.2 Objetivo específico.....	15
4. DESARROLLO.....	15
4.1 Introducción a la huella de carbono:	15
4.2 La huella de carbono de la aviación.....	17
4.3 Medición de la huella de carbono.....	21
4.4 Revisión de normativas y estándares	22
5. FACTORES QUE AFECTAN LA HUELLA DE CARBONO EN LA AVIACIÓN.....	24
5.1 Tecnología de las Aeronaves	24
5.2 Combustibles Utilizados	25
5.3 Operaciones de Vuelo.....	25
5.4 Infraestructura Aeroportuaria	25
5.5 Factores Atmosféricos y Operacionales	26
5.6 Políticas y Regulaciones	26
5.7 Comportamiento del Consumidor	26
6. TECNOLOGÍAS Y PRÁCTICAS PARA REDUCIR LA HUELLA DE CARBONO EN LA AVIACIÓN CIVIL.....	27
6.1 Uso de combustibles sostenibles de aviación (SAF):	27
6.2 Optimización del diseño de aeronaves:	28
6.3 Electrificación e híbridos:	28

6.4	Gestión eficiente del tráfico aéreo (ATM):.....	28
6.5	Energías renovables en aeropuertos:.....	28
6.6	Mantenimiento predictivo y digitalización:	29
6.7	Compensación de carbono:	29
6.8	Educación y concienciación:	29
7.	POLÍTICAS Y REGULACIONES.....	29
7.1	Adhesión al Esquema de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA):.....	30
7.2	Plan de Acción de Reducción de Emisiones de Dióxido de Carbono (PARE-CO ₂):	30
7.3	Sistema Ambiental de Aviación (AES):.....	30
7.4	Estudio de Viabilidad del Uso de Combustibles de Aviación Sostenibles:	31
7.5	Compromisos Internacionales:.....	31
8.	IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL.....	33
8.1	Impacto Económico.....	34
7.1.1	Afectación al Turismo, Principal Motor Económico.....	34
7.1.2	Costos por Regulaciones y Sanciones Internacionales	34
7.1.3	Pérdidas en Infraestructura	34
8.2	Impacto Social.....	35
9.	CASOS DE ESTUDIO Y EJEMPLOS PRÁCTICOS	36
9.1	Estudio de Viabilidad del Uso de Combustibles de Aviación Sostenibles en la República Dominicana.....	36
9.2	Implementación del Esquema de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA).....	36
9.3	Plan de Acción para la Reducción de Emisiones de CO ₂ del Instituto Dominicano de Aviación Civil (IDAC).....	37
9.4	Compromiso de Aeropuertos Dominicanos Siglo 21 (AERODOM) con la Reducción de Emisiones	37

9.5	Compromiso del Aeropuerto Internacional de Punta Cana (PUJ) con la Reducción de Emisiones.	38
9.6	Compromiso del Aeropuerto Internacional del Cibao (Santiago), con la Reducción de Emisiones.	39
10.	METODOLOGÍA PARA CALCULAR LA HUELLA DE CARBONO	40
10.1	Guía para el Cálculo de la Huella de Carbono y Plan de Mejora de una Organización	12.3
	41	
10.1.1	Conceptos generales y metodologías	41
10.1.2	Procedimiento para calcular la huella de carbono	42
10.1.3	Plan de mejora y compensación de emisiones	43
11.	EL FUTURO DE LA AVIACIÓN DOMINICANA CON RESPECTO A LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO Y A NIVEL GLOBAL.	45
11.1	Iniciativas en la República Dominicana	45
11.2	Iniciativas Globales	46
11.3	Tabla Resumen para la Metodología y Casos de Estudios Realizados	48
12.	RECOMENDACIONES.....	52
12.1	Fortalecer la regulación ambiental en la aviación.	52
12.2	Incentivar el uso de combustibles sostenibles (SAF):	52
12.3	Mejorar la eficiencia energética en aeropuertos.	52
12.4	Mejorar la eficiencia energética en aeropuertos.	53
12.5	Modernización y renovación de flotas.	53
12.6	Optimización de rutas y tráfico aéreo.	53
12.7	Promover la compensación de carbono.	53
12.8	Fomentar la cultura de sostenibilidad en el sector aéreo.....	54
12.9	Colaboración entre el gobierno, aerolíneas y sector privado.	54
12.10	Monitoreo y auditoría continua de emisiones.	54

12.11	Diversificación del transporte para reducir la demanda aérea.	54
13.	CONCLUSIONES	55
13.1	Conclusiones parciales.....	55
13.1.1	Impacto ambiental de la aviación civil en la República Dominicana	55
13.1.2	Importancia del marco regulador en la reducción de emisiones	56
13.1.3	Factores clave para la reducción de la huella de carbono	56
13.1.4	Repercusión económica y social de la huella de carbono	57
13.1.5	Perspectivas futuras para la aviación sostenible en la República Dominicana	57
13.2	Conclusiones generales.....	58
13.3	Futuras Líneas de Investigación.....	61
13.3.1	Optimización de rutas aéreas y su impacto en la reducción de emisiones	61
13.3.2	Integración de combustibles sostenibles en la aviación comercial dominicana	62
13.3.3	Implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real para la gestión ambiental en aeropuertos	63
13.4	Reflexión Final	64
14.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS CONSULTADAS.....	65

2.- INDICE DE FIGURAS

Figura 1.Emisiones del Transporte	16
Figura 2: Formación de estelas de condensación y óxidos de nitrógeno	18
Figura 3. Aeropuertos En la Republica Dominicana.	19
Figura 4. Compartivas de Motores de Aviones	24
Figura 5. Combustible Sostenible de Aviación (SAF).....	27
Figura 6. Mecanismo CORSIA	32
Figura 7 Impacto Economico en las Operaciones Aereas en la Republica Dominicana.....	33
Figura 8: Certificado ACA Aerodom (JFPG).....	37
Figura 9. Certificado aca Aeropuerto de Punta Cana (PUJ)	38
Figura 10. Certificado ACA al Aeropuerto Internacional del Cibao (AIC)	39
Figura 11.Guía para medir las emisiones de alcance 2 y cumplir con la certificación GHG.....	40

DEFINICIÓN DE SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS

- **OACI** (Organización de Aviación Civil Internacional) / ICAO (International Civil Aviation Organization)
- **GEI** (Gases de Efecto Invernadero)
- **CO₂** (Dióxido de Carbono)
- **CH₄** (Metano)
- **NO_x** (Óxidos de Nitrógeno)
- **SAF** (Sustainable Aviation Fuel / Combustible Sostenible para la Aviación)
- **CORSIA** (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation)
- **ATM** (Air Traffic Management / Gestión del Tráfico Aéreo)
- **IDAC** (Instituto Dominicano de Aviación Civil)
- **PARE-CO₂** (Plan de Acción de Reducción de Emisiones de Dióxido de Carbono)
- **AES** (Sistema Ambiental de Aviación)
- **GHG** (Greenhouse Gas / Gases de Efecto Invernadero)
- **IATA** (International Air Transport Association / Asociación Internacional de Transporte Aéreo)
- **SESAR** (Single European Sky ATM Research / Investigación del Cielo Único Europeo en Gestión del Tráfico Aéreo)
- **IPCC** (Intergovernmental Panel on Climate Change / Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático)
- **WRI** (World Resources Institute / Instituto de Recursos Mundiales)

- **WBCSD** (World Business Council for Sustainable Development / Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible)
- **ISO** (International Organization for Standardization / Organización Internacional de Normalización)
- **ACI** (Airports Council International / Consejo Internacional de Aeropuertos)
- **PUJ** (Aeropuerto Internacional de Punta Cana)
- **AERODOM** (Aeropuertos Dominicanos Siglo XXI)
- **AIC** (Aeropuerto Internacional del Cibao)
- **NDC** (Nationally Determined Contribution / Contribución Nacionalmente Determinada)
- **UNFCCC** (United Nations Framework Convention on Climate Change / Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático)
- **MITECO** (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, España)
- **OECC** (Oficina Española de Cambio Climático)
- **GHG Protocol** (Greenhouse Gas Protocol / Protocolo de Gases de Efecto Invernadero)
- **ADEME** (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie / Agencia Francesa de Medio Ambiente y Energía)
- **Bilan Carbone** (Metodología francesa de evaluación de huella de carbono)

1. INTRODUCCIÓN

La aviación civil juega un papel crucial en la conectividad global, facilitando el transporte de personas y mercancías, impulsando el turismo y fortaleciendo las economías nacionales. En el caso de la República Dominicana, donde el turismo representa una parte significativa del Producto Interno Bruto (PIB), la industria aeronáutica es un pilar fundamental para el desarrollo económico y social del país. (Organización de Aviación Civil Internacional 2. , 2022) Sin embargo, este crecimiento también conlleva desafíos ambientales importantes, siendo la aviación una de las fuentes principales de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), especialmente dióxido de carbono (CO₂). (IPPC, 2021) En un mundo cada vez más comprometido con la sostenibilidad y la reducción del impacto ambiental de las actividades humanas, el análisis de la huella de carbono de la aviación civil se ha convertido en un tema de alta relevancia.

A nivel mundial, la aviación contribuye aproximadamente con un 2 % a 3 % de las emisiones totales de GEI, y su impacto es aún mayor cuando se consideran los efectos de las emisiones en altitud, como la formación de estelas de condensación y óxidos de nitrógeno (NO_x). (IPPC, 2021) Estas emisiones tienen un efecto amplificado en el calentamiento global, lo que ha llevado a organismos internacionales como la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA) a establecer normativas y estrategias para mitigar la huella de carbono del sector, (OACI, 2022) (IATA, 2021). En este contexto, la República Dominicana ha asumido compromisos internacionales para reducir sus emisiones, pero enfrenta el reto de equilibrar la sostenibilidad con el crecimiento económico y la demanda creciente de vuelos.

El sector aéreo dominicano es clave para la conectividad del país, con aeropuertos que reciben millones de turistas cada año, principalmente de América del Norte y Europa. (IDAC, 2021) Sin embargo, la dependencia del turismo aéreo genera una presión adicional en el medio ambiente, ya que cada vuelo internacional representa una fuente considerable de emisiones de CO₂. Además, la infraestructura aeroportuaria, las operaciones terrestres y el consumo energético en aeropuertos contribuyen a la huella de carbono del sector. (IDAC, 2021) En este sentido, el Instituto Dominicano de Aviación Civil (IDAC) y otras entidades han desarrollado iniciativas para medir y mitigar las emisiones, incluyendo la adhesión al Esquema de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA) y la implementación del Plan de Acción de Reducción de Emisiones de CO₂ (PARE-CO₂). (OACI, 2022)

Para abordar estos desafíos, es necesario implementar estrategias sostenibles que incluyan el uso de combustibles de aviación sostenibles (SAF), la modernización de flotas con aeronaves más eficientes, la optimización de rutas y tráfico aéreo, y la electrificación de equipos aeroportuarios. (IATA, 2021). Asimismo, la educación y concienciación sobre la importancia de reducir la huella de carbono en la aviación pueden contribuir a una transición más rápida hacia un modelo más sostenible. (IPPC, 2021) La cooperación entre el gobierno, aerolíneas, aeropuertos y el sector privado será fundamental para lograr una aviación con menores emisiones y alineada con las metas de descarbonización global.

Este documento tiene como objetivo analizar la huella de carbono de la aviación civil en la República Dominicana, identificando sus principales fuentes, los factores que la afectan y las estrategias implementadas para su reducción. Se evaluarán las normativas nacionales e internacionales, así como las tecnologías emergentes y mejores prácticas en el sector. (OACI, 2022), (IDAC., 2021).

Finalmente, se presentarán recomendaciones para fortalecer la sostenibilidad del transporte aéreo en el país, asegurando que su crecimiento económico no comprometa los esfuerzos globales de lucha contra el cambio climático. Estas recomendaciones incluirán la necesidad de fortalecer la regulación ambiental en la aviación, promoviendo políticas más estrictas y alineadas con estándares internacionales como la ISO 14064 y el Acuerdo de París. (Organización Internacional de Normalización (ISO), 2018); (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2015) Asimismo, se enfatizará la importancia de incentivar el uso de combustibles sostenibles de aviación (SAF), ofreciendo incentivos económicos y regulaciones que fomenten su adopción. Además, se explorarán estrategias para mejorar la eficiencia energética en aeropuertos mediante la implementación de energías renovables y la modernización de infraestructuras aeroportuarias.

Otro aspecto clave será la optimización del tráfico aéreo, buscando reducir el consumo de combustible a través de una planificación de rutas más eficiente y la integración de tecnologías avanzadas de navegación aérea. Se analizará la importancia de fomentar la compensación de carbono, incentivando a aerolíneas y aeropuertos a invertir en proyectos de reforestación y mitigación de emisiones (IDAC, 2021). También se destacará el papel fundamental de la educación y concienciación, promoviendo una cultura de sostenibilidad en el sector aéreo que involucre tanto a los operadores como a los pasajeros. (IATA, 2021)

Por último, se hará énfasis en la necesidad de establecer una cooperación más estrecha entre el gobierno, las aerolíneas y el sector privado, con el objetivo de desarrollar un plan integral de reducción de emisiones que contemple inversiones en investigación y desarrollo de tecnologías limpias. (OACI, 2022) La implementación de sistemas de monitoreo y auditoría continua de emisiones será crucial para evaluar el impacto de las estrategias adoptadas y ajustarlas según sea necesario. A través de un enfoque integral

y coordinado, la República Dominicana podrá avanzar hacia una aviación más sostenible, asegurando su competitividad en el mercado global sin comprometer el equilibrio ambiental del país ni su atractivo como destino turístico.

2. JUSTIFICACIÓN

La aviación es fundamental para la conectividad global, pero su creciente contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero representa un desafío crítico para la República Dominicana. El aumento del tráfico aéreo ha incrementado la huella de carbono del país, lo que conlleva riesgos ambientales, económicos y regulatorios. Los impactos del cambio climático, como el aumento de eventos meteorológicos extremos y la afectación de ecosistemas frágiles, pueden generar costos elevados para la nación. Además, el incumplimiento de estándares internacionales podría traducirse en restricciones comerciales y pérdida de competitividad en sectores clave como el turismo. Este documento es crucial para evaluar el impacto ambiental de la aviación, identificar los factores que impulsan las emisiones y analizar el papel del regulador local en la mitigación de estos efectos. Comprender la huella de carbono permitirá diseñar estrategias efectivas para reducirla, alineando las acciones nacionales con compromisos globales y garantizando un desarrollo sostenible para el sector y el país.

Más allá de generar conciencia, este documento busca impulsar la adopción de tecnologías y prácticas sostenibles en la industria aérea dominicana. Se explorarán innovaciones como los combustibles sostenibles, la gestión eficiente del tráfico aéreo y el desarrollo de aeronaves más eficientes, con el fin de potenciar el crecimiento del sector sin comprometer el medio ambiente. También se analizarán casos de éxito de aerolíneas y aeropuertos que han implementado estrategias efectivas de

reducción de emisiones, con el objetivo de adaptar estas experiencias al contexto dominicano. La transición hacia una aviación más ecológica no solo es una necesidad ambiental, sino también una oportunidad para fortalecer la competitividad del país y atraer inversión. Finalmente, se presentarán recomendaciones dirigidas a reguladores, operadores aéreos y consumidores, promoviendo una estrategia integral de sostenibilidad que garantice un equilibrio entre desarrollo económico y responsabilidad ambiental.

3. OBJETIVO

3.1 Objetivo general

El objetivo de este estudio es evaluar de manera detallada la huella de carbono de la aviación civil en la República Dominicana, analizando las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y su impacto en el medio ambiente y la economía del país. Para ello, se examinarán los factores que contribuyen al aumento de las emisiones, como el consumo de combustibles fósiles, la eficiencia de las aeronaves, la gestión del tráfico aéreo y la infraestructura aeroportuaria. También se abordará el papel del regulador local, el Instituto Dominicano de Aviación Civil (IDAC), en la supervisión y aplicación de políticas ambientales para mitigar el impacto de la aviación en el cambio climático. Además, se revisarán las iniciativas internacionales, como el Esquema de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA), y su implementación en el país. La investigación considerará el marco regulador vigente y su alineación con normas y estándares globales, como la ISO 14064 y los compromisos del Acuerdo de París. A través de un enfoque integral, se evaluará el nivel de cumplimiento y efectividad de estas estrategias para reducir la huella de carbono en el sector aeronáutico dominicano.

Asimismo, este estudio busca proponer soluciones y recomendaciones basadas en estándares internacionales y mejores prácticas para optimizar la sostenibilidad del sector aéreo en el país. Se explorarán medidas como la adopción de combustibles sostenibles de aviación (SAF), la modernización de flotas, la mejora en la eficiencia operativa y el desarrollo de infraestructura aeroportuaria más sostenible. Finalmente, se enfatizará la necesidad de colaboración entre el gobierno, el sector privado y las aerolíneas para implementar estrategias que permitan reducir las emisiones sin afectar el crecimiento económico y la competitividad del turismo dominicano.

3.2 Objetivo específico

- ✓ Medir la huella de carbono actual de la aviación civil.
- ✓ Identificar las normativas y estándares aplicados por el regulador.
- ✓ Proponer mejoras basadas en normas ISO.
- ✓ Analizar el impacto económico y social de la huella de carbono en la aviación civil.
- ✓ Evaluar la viabilidad de una transición sostenible en la aviación civil.

4. DESARROLLO

4.1 Introducción a la huella de carbono:

La huella de carbono es una métrica que mide el impacto de las actividades humanas en el medio ambiente, expresada en términos de la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero (GEI) emitidos directa o indirectamente. Este indicador es clave para evaluar el efecto que tiene el desarrollo económico en el cambio climático, especialmente en sectores con altas emisiones,

como la aviación civil. Como se muestra en la figura 1, la huella de carbono se convierte en un reflejo de cómo las acciones individuales y colectivas influyen en la sostenibilidad global.

Según el IPCC (2019) A nivel mundial, la aviación contribuye aproximadamente entre el 2 % y el 3 % de las emisiones de GEI. Aunque esta cifra puede parecer modesta en comparación con otros sectores como el transporte terrestre o la generación de energía, su impacto es significativo debido a las emisiones en la estratosfera, donde tienen efectos amplificados en el calentamiento global. ((IPCC), 2019)

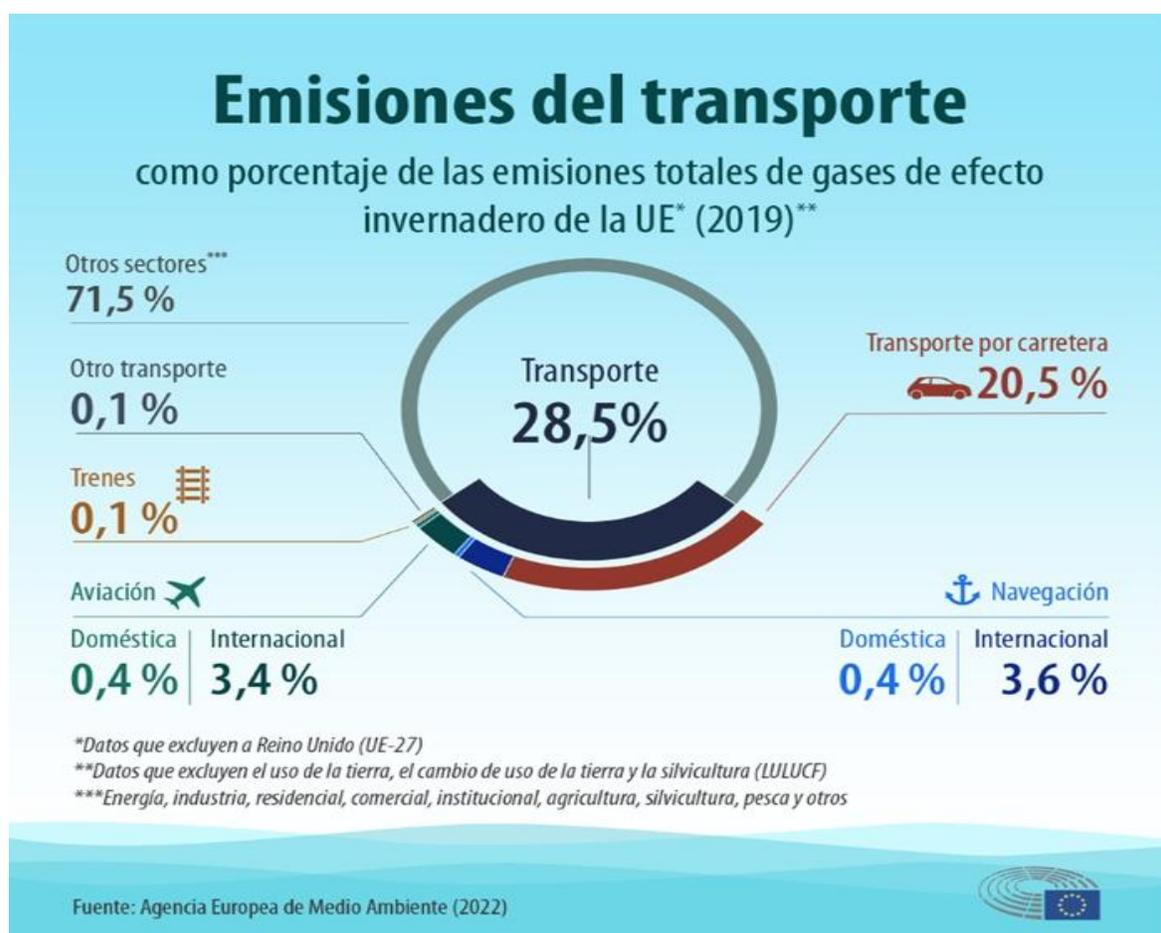


Figura 1. Emisiones del Transporte
Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente (2022)

Estas emisiones son especialmente preocupantes en economías dependientes del turismo aéreo, como la República Dominicana.

La creciente demanda de transporte aéreo plantea un desafío para reducir la huella de carbono sin comprometer la conectividad y el desarrollo económico. Esto exige un equilibrio entre la mejora de la eficiencia operativa, la adopción de nuevas tecnologías y la implementación de políticas ambientales más estrictas. En este sentido, es fundamental comprender cómo se genera la huella de carbono y qué estrategias se pueden emplear para mitigar su impacto.

La medición de la huella de carbono implica evaluar tanto las emisiones directas, como las que provienen de la combustión de combustibles fósiles, como las indirectas, relacionadas con actividades complementarias en aeropuertos y la cadena de suministro. Este análisis no solo ayuda a identificar las fuentes principales de emisiones, sino que también proporciona una base para diseñar estrategias efectivas de reducción.

En el caso de la República Dominicana, el transporte aéreo desempeña un papel esencial para su economía turística, pero también presenta un riesgo ambiental significativo. La integración de criterios de sostenibilidad en este sector no solo es una necesidad ambiental, sino también una oportunidad para posicionar al país como un líder en turismo responsable y amigable con el medio ambiente.

4.2 La huella de carbono de la aviación

La aviación civil es una de las industrias más intensivas en consumo de energía debido al uso de combustibles fósiles como el queroseno en los motores de los aviones. Cada vuelo contribuye a las

emisiones de CO₂ y otros GEI, con una huella de carbono que varía según factores como la distancia recorrida, el tamaño de la aeronave, la ocupación y la eficiencia del motor. Estas emisiones, al liberarse a grandes altitudes figura 2, generan efectos más severos que las emisiones terrestres debido a la interacción con nubes y otros fenómenos atmosféricos.

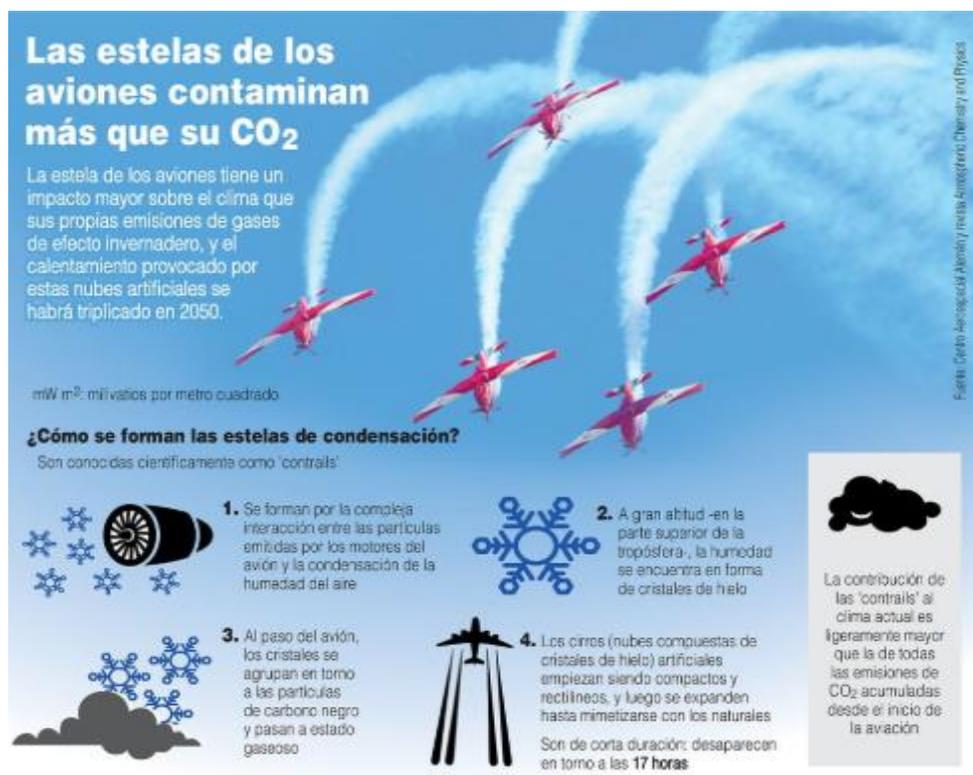


Figura 2: Formación de estelas de condensación y óxidos de nitrógeno
Fuente: Centro Aero Espacial Aleman y Revista Atmospheric Chesmistry and Physics.

Las emisiones de la aviación a gran altitud tienen un efecto climático amplificado debido a la formación de estelas de condensación y la liberación de óxidos de nitrógeno, los cuales contribuyen al calentamiento global de manera más significativa que las emisiones a nivel del suelo (Lee, Fahey & Forster, 2021). (Lee, 2021)

la República Dominicana, donde el turismo representa una porción considerable del Producto Interno Bruto (PIB), la aviación, figura 3, es un motor clave para el desarrollo económico. Sin embargo, su dependencia de esta industria también pone de relieve la responsabilidad de gestionar su impacto ambiental. Según estudios, un solo vuelo transatlántico puede generar tantas emisiones como una persona promedio en un año, lo que subraya la importancia de medidas específicas en este sector.



Figura 3. Aeropuertos En la Republica Dominicana.

Fuente:<http://www.geografiabasicarepublicadominicana.edu.do/aeropuertos.html>, Juan Pablo Gonzales.

Existen diversas estrategias para abordar la huella de carbono en la aviación. Por ejemplo, el uso de combustibles sostenibles para aviación (SAF, por sus siglas en inglés), como los biocombustibles, puede reducir significativamente las emisiones. Además, la optimización de rutas de vuelo y el empleo

de aeronaves más eficientes en términos de consumo de combustible son pasos importantes hacia la sostenibilidad. Sin embargo, la implementación de estas estrategias requiere inversiones significativas y una colaboración activa entre gobiernos, aerolíneas y organismos internacionales.

El control de la huella de carbono también depende de políticas y regulaciones efectivas. Organismos como la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) han introducido programas como el Esquema de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA), que busca limitar las emisiones de la aviación a partir de medidas de compensación. En este contexto, el Instituto Dominicano de Aviación Civil (IDAC) tiene un papel crucial para garantizar el cumplimiento de estas normas y fomentar prácticas sostenibles en el sector.

La OACI (2020) desarrolló el esquema CORSIA, el cual tiene como objetivo estabilizar las emisiones de CO₂ generadas por la aviación internacional a los niveles de 2019. ((ICAO)., 2020)

Finalmente, reducir la huella de carbono de la aviación no solo es un desafío ambiental, sino también una oportunidad económica. Al implementar tecnologías y prácticas más limpias, la República Dominicana puede fortalecer su imagen como un destino turístico sostenible, atrayendo a viajeros más conscientes de su impacto ambiental y generando beneficios a largo plazo para su economía y biodiversidad.

4.3 Medición de la huella de carbono

La medición de la huella de carbono en el sector de la aviación civil implica un análisis detallado de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por las operaciones de vuelo y las actividades complementarias. Este proceso requiere la recopilación de datos precisos sobre el consumo de combustible, el número de vuelos, las distancias recorridas y el tipo de aeronaves utilizadas. Además, se deben incluir factores indirectos, como las emisiones generadas por el transporte terrestre hacia y desde los aeropuertos, así como las actividades logísticas asociadas.

Para llevar a cabo esta medición, se utilizan metodologías estandarizadas, como las contenidas en la norma ISO 14064, que proporciona lineamientos para la cuantificación y reporte de emisiones de GEI. Herramientas como calculadoras de emisiones desarrolladas por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y otras instituciones especializadas facilitan el análisis y la interpretación de los datos. Estas herramientas permiten calcular las emisiones por pasajero-kilómetro, una métrica útil para evaluar el impacto de cada vuelo.

En el caso de la República Dominicana, la recopilación de datos puede representar un desafío debido a la variedad de aerolíneas y operadores que participan en el mercado. Por ello, es crucial la colaboración con organismos reguladores como el Instituto Dominicano de Aviación Civil (IDAC), las aerolíneas y los operadores aeroportuarios. Este trabajo conjunto asegura que se obtenga información confiable y representativa de las actividades de aviación en el país.

Una vez recopilados los datos, se procede al cálculo de la huella de carbono utilizando factores de emisión específicos para el sector de la aviación. Estos factores, proporcionados por entidades

internacionales, toman en cuenta las características del combustible utilizado y las condiciones de operación. Los resultados permiten identificar las fuentes principales de emisiones y establecer una línea base para implementar medidas correctivas y de mitigación.

La medición precisa de la huella de carbono no solo es un requisito técnico, sino también una herramienta estratégica. Proporciona a los responsables de la toma de decisiones información clave para diseñar políticas efectivas, priorizar inversiones en tecnologías limpias y promover la transparencia ante organismos internacionales y turistas preocupados por el impacto ambiental de sus actividades.

4.4 Revisión de normativas y estándares

El análisis de las normativas y estándares aplicados al sector de la aviación civil en la República Dominicana es fundamental para entender cómo se regulan las emisiones de GEI y qué oportunidades existen para mejorar su gestión. Este proceso implica revisar tanto las regulaciones nacionales impulsadas por el IDAC como las normas internacionales establecidas por organismos como la OACI. Las normativas locales deben alinearse con compromisos globales, como los establecidos en el Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

El Instituto Dominicano de Aviación Civil desempeña un papel central en la regulación del sector, supervisando el cumplimiento de estándares operativos y ambientales. Entre sus responsabilidades se encuentra la implementación de programas como el Esquema de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA), diseñado para limitar el crecimiento de las emisiones de carbono en vuelos internacionales. Este esquema es un punto de referencia clave para promover prácticas más sostenibles en el sector.

La revisión de estándares incluye analizar cómo se aplican las normas ISO relevantes, como la ISO 14001 para sistemas de gestión ambiental y la ISO 50001 para eficiencia energética. Estas normas proporcionan marcos estructurados que permiten a las aerolíneas y operadores aeroportuarios reducir su impacto ambiental mientras mejoran su eficiencia operativa. Evaluar el grado de adopción de estas normas en la República Dominicana es crucial para identificar brechas y oportunidades de mejora.

Además, se deben considerar políticas complementarias que incentiven la sostenibilidad, como subsidios para el uso de biocombustibles, programas de modernización de flotas y la promoción de rutas más eficientes. Estas políticas pueden ser implementadas en colaboración con el sector privado, asegurando un enfoque integral para reducir la huella de carbono.

Finalmente, la revisión de normativas y estándares no solo tiene como objetivo garantizar el cumplimiento, sino también fomentar la innovación y la competitividad. Al adoptar prácticas alineadas con las mejores normas internacionales, la República Dominicana puede fortalecer su reputación como un destino turístico responsable y atraer inversiones que impulsen su desarrollo sostenible a largo plazo.

5. FACTORES QUE AFECTAN LA HUELLA DE CARBONO EN LA AVIACIÓN

La aviación es una de las industrias clave en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente debido al consumo de combustibles fósiles. Diversos factores afectan la huella de carbono de esta industria. A continuación, se presentan los principales factores, organizados en categorías para mayor claridad: (International Air Transport Association, 2022) ((SESAR), 2022)

5.1 Tecnología de las Aeronaves

1. Eficiencia de motores: Los motores, figura 4, más modernos tienen un consumo de combustible más eficiente, reduciendo las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) por pasajero-kilómetro. ((EASA), 2021)
2. Diseño aerodinámico: Mejores diseños estructurales permiten reducir la resistencia al aire, disminuyendo el consumo de combustible.
3. Uso de materiales livianos: El empleo de materiales como fibra de carbono en lugar de metales pesados reduce el peso total de la aeronave y, con ello, el consumo energético.

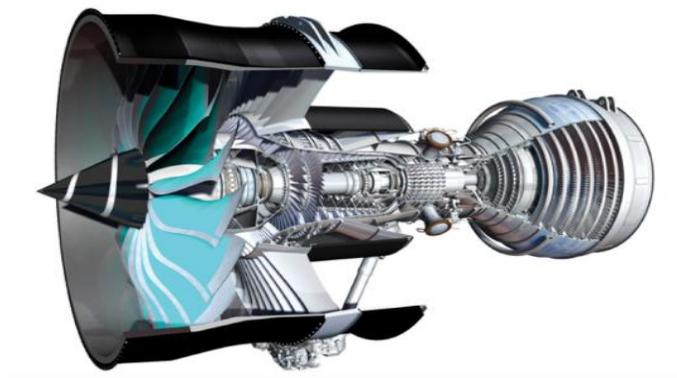


Figura 4. Comparativas de Motores de Aviones
Fuente: es.dreamstime.com

5.2 Combustibles Utilizados

4. Combustibles fósiles: El queroseno de aviación sigue siendo la fuente primaria de energía, altamente emisora de carbono.

5. Combustibles sostenibles para aviación (SAF): Los biocombustibles y combustibles sintéticos ofrecen menores emisiones netas de carbono al ser producidos de manera más sostenible. (International Air Transport Association, 2022) ((EASA), 2021)

6. Hidrógeno y electricidad: Aunque en etapas experimentales, estas alternativas tienen el potencial de reducir significativamente las emisiones.

5.3 Operaciones de Vuelo

7. Gestión del tráfico aéreo: Optimizar rutas y procedimientos de aproximación puede reducir el tiempo de vuelo y, por ende, las emisiones. ((SESAR), 2022)

8. Prácticas de aterrizaje y despegue: Son las fases más intensivas en combustible; las operaciones eficientes reducen el impacto.

9. Carga y ocupación: Los vuelos con alta ocupación y carga adecuada generan menos emisiones por pasajero o tonelada transportada.

5.4 Infraestructura Aeroportuaria

10. Consumo energético de los aeropuertos: Las operaciones aeroportuarias, como iluminación, climatización y vehículos terrestres, contribuyen a la huella de carbono.

11. Movilidad en tierra: Uso de energías renovables en vehículos y equipos auxiliares puede mitigar el impacto.

12. Electrificación de equipos de tierra: Minimiza el uso de vehículos propulsados por combustibles fósiles.

5.5 Factores Atmosféricos y Operacionales

13. Condiciones climáticas: El uso de rutas más largas para evitar turbulencias o condiciones adversas incrementa el consumo de combustible.

14. Efecto de altitud: Las emisiones a gran altitud tienen un efecto más perjudicial debido a la formación de óxidos de nitrógeno (NOx) y estelas de condensación que contribuyen al calentamiento global.

5.6 Políticas y Regulaciones

15. Normativas internacionales: Iniciativas como el Esquema de Reducción y Compensación de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA) buscan mitigar las emisiones. (International Air Transport Association, 2022)

16. Impuestos al carbono: Los impuestos o incentivos relacionados con emisiones pueden promover el uso de tecnologías más limpias.

5.7 Comportamiento del Consumidor

17. Demanda de vuelos: El aumento en la frecuencia de vuelos contribuye directamente a las emisiones.

18. Preferencia por aerolíneas sostenibles: Los pasajeros que eligen aerolíneas con políticas de reducción de carbono influyen en la adopción de tecnologías limpias.

6. TECNOLOGÍAS Y PRÁCTICAS PARA REDUCIR LA HUELLA DE CARBONO EN LA AVIACIÓN CIVIL.

Las nuevas tecnologías nos ayudan a contrarrestar el impacto que produce la huella de carbono en este renglon de la aviación es por eso que hemos realizado un enfoque detallado en las estrategias actuales y futuras. (Air Transport Action Group (ATAG) (. , 2020)

6.1 Uso de combustibles sostenibles de aviación (SAF):

Los SAF, figura 5, producidos a partir de biomasa, residuos o procesos sintéticos, pueden reducir las emisiones de CO₂ hasta en un 80% durante su ciclo de vida en comparación con los combustibles fósiles tradicionales. Su adopción está respaldada por políticas internacionales como las de la OACI (CORSIA), incentivando su uso mediante regulaciones y acuerdos globales. (International Energy Agency (IEA), 2021).



Figura 5. Combustible Sostenible de Aviación (SAF)
Fuente: Eduardo Lobillo; <https://cincodias.elpais.com/>

6.2 Optimización del diseño de aeronaves:

Avances en aerodinámica, materiales ligeros (como compuestos de fibra de carbono), y motores más eficientes han permitido una significativa reducción en el consumo de combustible. Innovaciones como los diseños de alas en configuración de "ala volante" o "propulsión distribuida eléctrica" prometen mejorar aún más la eficiencia energética. (Air Transport Action Group, 2020)

6.3 Electrificación e híbridos:

Las aeronaves eléctricas e híbridas, impulsadas por baterías avanzadas o sistemas híbridos de motor, están en desarrollo. Aunque actualmente limitadas a vuelos de corto alcance, estas tecnologías reducen las emisiones de manera sustancial y podrían transformar la aviación regional en el futuro. (International Energy Agency (IEA), 2021)

6.4 Gestión eficiente del tráfico aéreo (ATM):

Sistemas avanzados como el SESAR (Single European Sky ATM Research) y NextGen en Estados Unidos contribuyen a una planificación de rutas más eficiente, reducción de tiempos de espera y optimización de trayectorias de vuelo, disminuyendo el consumo de combustible y emisiones. (Air Transport Action Group (ATAG) 2. , 2020)

6.5 Energías renovables en aeropuertos:

Los aeropuertos están adoptando energías limpias como solar o eólica para reducir su dependencia de fuentes fósiles. Además, tecnologías de carga eléctrica y sistemas de transporte interno basados en electricidad complementan estas iniciativas. (Organización Mundial del Turismo (OMT), 2022)

6.6 Mantenimiento predictivo y digitalización:

La implementación de análisis predictivos y tecnologías digitales, como el uso de gemelos digitales, optimiza el rendimiento de las aeronaves y reduce ineficiencias, prolongando la vida útil de los componentes y evitando emisiones innecesarias. (International Energy Agency (IEA), 2021).

6.7 Compensación de carbono:

Programas de compensación, como la reforestación o el apoyo a proyectos renovables, ofrecen un enfoque complementario para neutralizar emisiones inevitables en el corto plazo. (Organización Mundial del Turismo (OMT), 2022)

6.8 Educación y concienciación:

La formación de pilotos, operadores y personal técnico en prácticas sostenibles y la sensibilización de los pasajeros son fundamentales para lograr un cambio cultural en la industria. (Air Transport Action Group (ATAG) (. , 2020).

7. POLÍTICAS Y REGULACIONES

La República Dominicana ha implementado diversas políticas y regulaciones para mitigar la huella de carbono en la aviación civil, alineándose con los compromisos internacionales en materia de sostenibilidad ambiental. A continuación, vamos a detallar las principales iniciativas que consideramos se han implementado, hasta el momento:

7.1 Adhesión al Esquema de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA):

En 2018, la República Dominicana se incorporó formalmente al CORSIA, un mecanismo desarrollado por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) que busca mitigar las emisiones de CO₂ generadas por la aviación internacional, figura 5. Este esquema permite a los países compensar sus emisiones mediante la implementación de proyectos de reducción de carbono, promoviendo prácticas más limpias y eficientes en la aviación. (Instituto Dominicano de Aviación Civil (. , 2024)

7.2 Plan de Acción de Reducción de Emisiones de Dióxido de Carbono (PARE-CO₂):

El Instituto Dominicano de Aviación Civil (IDAC) lanzó oficialmente el PARE-CO₂, en cumplimiento con el proyecto de creación de capacidades patrocinado por la OACI y la Unión Europea en 2014. Este plan establece estrategias para mitigar las emisiones de CO₂ en el sector aeronáutico, incluyendo la promoción de tecnologías más limpias y la inversión en proyectos de reforestación y energías renovables. (Organización Internacional de Aviación Civil, 2019)

El Plan de Acción de Reducción de Emisiones fue presentado como parte de las iniciativas promovidas por la OACI en conjunto con la Unión Europea. Este plan incluye acciones como la modernización de flotas, mejora en la eficiencia de rutas aéreas y proyectos de reforestación. ^{7.2}

7.3 Sistema Ambiental de Aviación (AES):

El AES tiene como objetivo principal la obtención de datos y la medición del comportamiento de las emisiones de CO₂ provenientes de la aviación civil. Este sistema proporciona información precisa

que facilita la toma de decisiones informadas en el sector aeronáutico, apoyando la identificación y evaluación de medidas de mitigación aplicables. (Instituto Dominicano de Aviación Civil I. , 2022)

Este sistema fue implementado por el IDAC para medir y reportar las emisiones de carbono en la aviación civil. El AES se incluye como una de las herramientas principales para la gestión de datos y toma de decisiones ambientales.

7.4 Estudio de Viabilidad del Uso de Combustibles de Aviación Sostenibles:

El estudio, realizado con apoyo técnico de la OACI, evaluó las posibilidades de incorporar combustibles sostenibles en la aviación de la República Dominicana. Este informe describe los retos y las oportunidades para reducir las emisiones de carbono mediante el uso de SAF. La República Dominicana ha evaluado la viabilidad del desarrollo y uso de combustibles de aviación sostenibles (SAF) como parte de su Plan de Acción para la reducción de emisiones de CO₂. (OACI, 2022). Este estudio busca identificar opciones viables para reducir las emisiones sin afectar el crecimiento del sector turístico y aeronáutico.

7.5 Compromisos Internacionales:

En su Contribución Nacionalmente Determinada (NDC), la República Dominicana se comprometió a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 25% para 2030 en comparación con los niveles de 2010. (UNFCCC., 2020). Figura 6. Este compromiso incluye acciones específicas en el sector de la aviación civil para disminuir su huella de carbono. La NDC presentada por el país incluye compromisos específicos en todos los sectores, incluyendo la aviación civil, para lograr una reducción del 25% de sus emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2030.

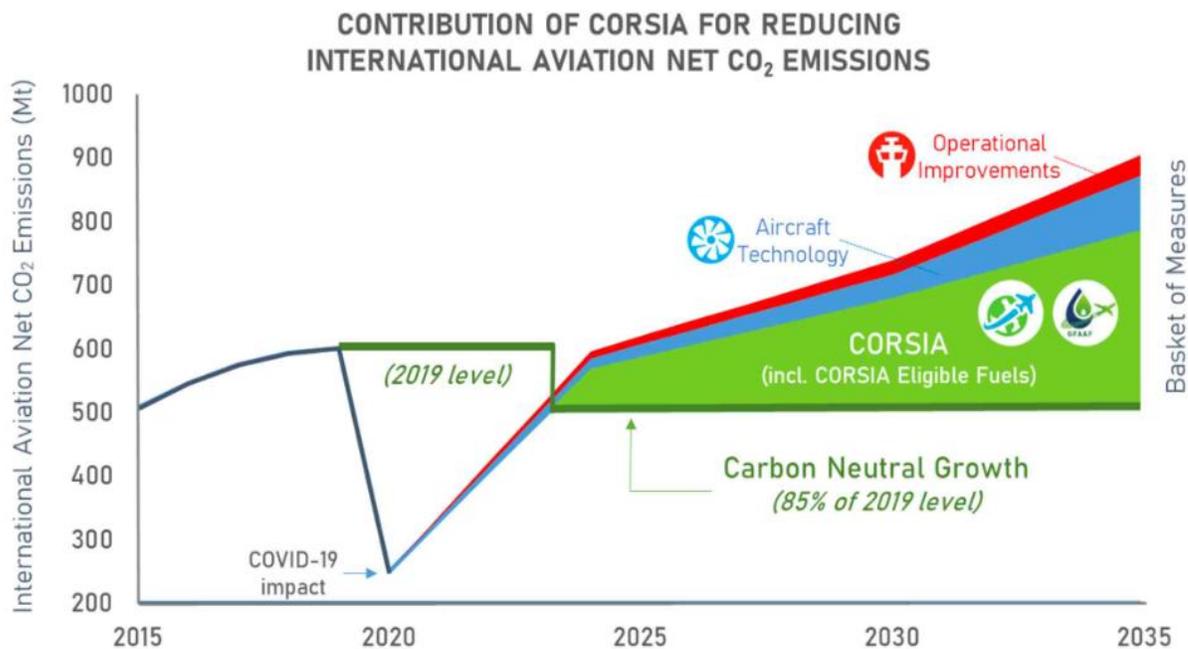


Figura 6. Mecanismo CORSIA
Fuente: ICAO

8. IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL

El impacto económico y social de no contrarrestar la huella de carbono en la aviación civil de la República Dominicana podría ser significativo, especialmente considerando el papel crucial que juega la aviación en el turismo, figura 7, la economía y la calidad de vida de los ciudadanos. A continuación, se desarrolla el tema basándose en fuentes y estudios relevantes:

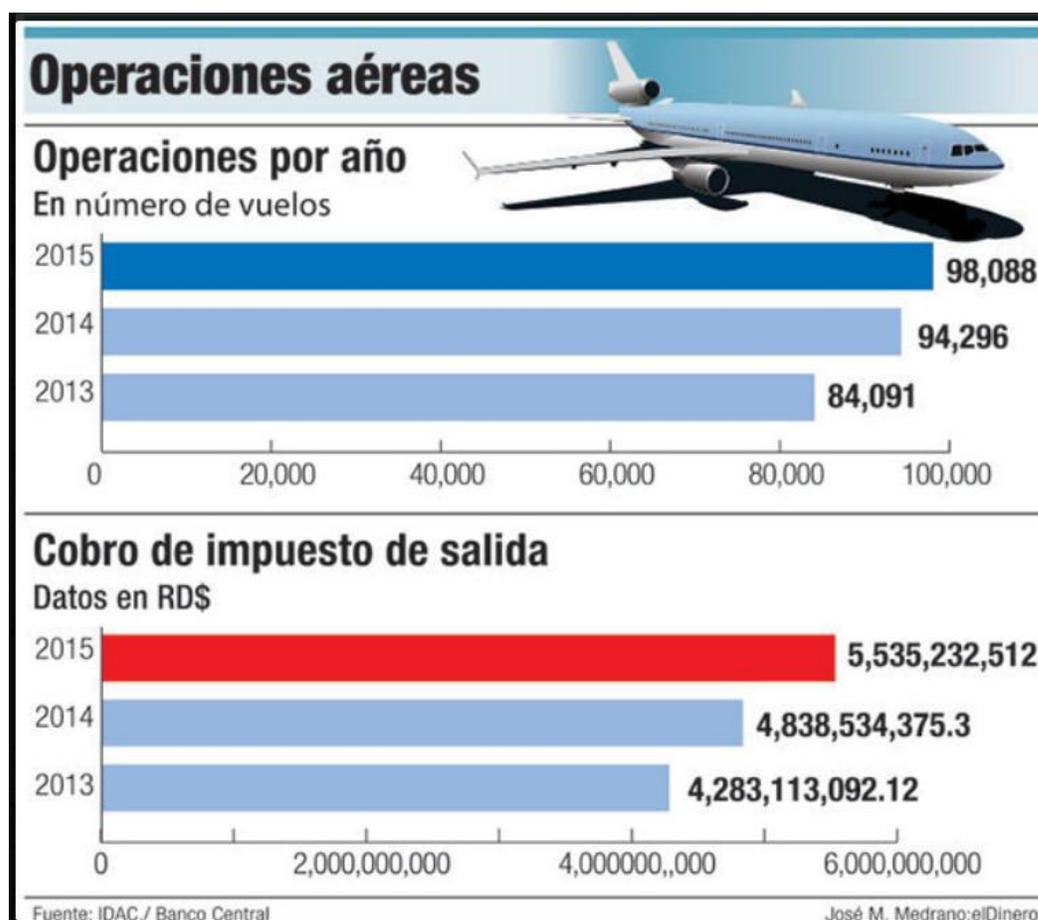


Figura 7 Impacto Económico en las Operaciones Aereas en la Republica Dominicana
Fuente: IDAC / Banco Central RD.

8.1 Impacto Económico

7.1.1 Afectación al Turismo, Principal Motor Económico

- La aviación civil es esencial para la industria turística en la República Dominicana, que representa cerca del 15% del PIB nacional (Banco Central de la República Dominicana, 2023). Un aumento en la huella de carbono podría desincentivar el turismo sostenible, especialmente entre viajeros conscientes del impacto ambiental. (Banco Central de la República Dominicana, 2023)

- Los destinos turísticos que no se alinean con prácticas sostenibles podrían enfrentar sanciones o perder competitividad en mercados internacionales

7.1.2 Costos por Regulaciones y Sanciones Internacionales

- No adoptar medidas para mitigar la huella de carbono podría exponer al país a restricciones en mercados internacionales, en especial en rutas hacia países que exigen certificaciones ambientales estrictas. (Instituto Dominicano De Aviación Civil, 2023)

- Se generarían mayores costos para las aerolíneas nacionales por compensaciones en esquemas como el CORSIA. (Instituto Dominicano De Aviación Civil, 2023)

7.1.3 Pérdidas en Infraestructura

- El cambio climático, agravado por las emisiones de carbono, puede afectar aeropuertos por inundaciones o fenómenos extremos. Esto generaría costos adicionales en mantenimiento, seguros e inversiones en infraestructura resiliente. (Instituto Dominicano De Aviación Civil, 2023).

8.2 Impacto Social

7.2.1 Salud Pública y Calidad de Vida

- El aumento de la contaminación aérea contribuye a problemas de salud pública, como enfermedades respiratorias, especialmente en comunidades cercanas a aeropuertos. (Organización Mundial de la Salud, 2024)
- Estudios han mostrado que la exposición prolongada a emisiones de carbono y óxidos de nitrógeno afecta el bienestar físico y mental de la población.

7.2.2 Pérdida de Empleos en el Sector Turístico y Aeronáutico

- Si el turismo internacional disminuye por la percepción negativa del país en términos ambientales, podría haber una pérdida masiva de empleos en sectores como la hotelería, los servicios de transporte y la aviación civil. (Banco Central de la República Dominicana, 2023)
- Esto afectaría principalmente a las poblaciones más vulnerables que dependen directamente de estos empleos. (Banco Central de la República Dominicana, 2023)

7.2.3 Migración Interna y Pérdida de Habitabilidad

- Los efectos indirectos del cambio climático, agravados por las emisiones de carbono de la aviación, incluyen la pérdida de habitabilidad en zonas costeras, obligando a migraciones internas que incrementan las desigualdades sociales. (Instituto Dominicano De Aviación Civil, 2023).

9. CASOS DE ESTUDIO Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

A continuación presentamos los siguientes casos de estudio donde mostramos ejemplos prácticos relacionados con la huella de carbono generada por la aviación civil en la República Dominicana.

9.1 Estudio de Viabilidad del Uso de Combustibles de Aviación Sostenibles en la República Dominicana

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), en colaboración con la Unión Europea, realizó un estudio de viabilidad para evaluar la implementación de combustibles de aviación sostenibles en la República Dominicana. Este estudio forma parte del Plan de Acción para la Reducción de Emisiones de CO₂ procedentes de la aviación civil internacional en el país (DRAPER). El objetivo principal es reducir las emisiones de CO₂ mediante la adopción de combustibles alternativos y sostenibles en el sector aeronáutico dominicano. (OACI O. I., 2023)

9.2 Implementación del Esquema de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA)

En 2018, la República Dominicana se incorporó formalmente al esquema CORSIA, desarrollado por la OACI. Este mecanismo global busca mitigar las emisiones de CO₂ generadas por la aviación internacional mediante la compensación y reducción de carbono. La participación del país en CORSIA refleja su compromiso con la sostenibilidad y la reducción de la huella de carbono en la aviación civil. (OACI O. I., 2023)

9.3 Plan de Acción para la Reducción de Emisiones de CO₂ del Instituto Dominicano de Aviación Civil (IDAC)

El IDAC ha desarrollado un Plan de Acción enfocado en contener el crecimiento de las emisiones de CO₂ derivadas de la actividad aeronáutica. Este plan incluye diversas medidas y estrategias para mitigar el impacto ambiental de la aviación civil en el país, con el objetivo de alcanzar una reducción significativa de la huella de carbono en el sector. (Presidencia de la República Dominicana, 2021)

9.4 Compromiso de Aeropuertos Dominicanos Siglo 21 (AERODOM) con la Reducción de Emisiones

AERODOM, operadora de varios aeropuertos en la República Dominicana, ha establecido metas ambiciosas para reducir su huella de carbono. AERODOM obtuvo la acreditación Airport Carbon Accreditation (ACA) Nivel 2, figura 8, La empresa se ha propuesto disminuir a la mitad sus emisiones de CO₂ para 2030 y alcanzar cero emisiones netas para 2050. Este compromiso incluye la implementación de prácticas sostenibles y la adopción de tecnologías limpias en sus operaciones aeroportuarias. (Ministerio de Medio Ambiente de República Dominicana, 2016)



Figura 8: Certificado ACA Aerodom (JFPG)
Fuente: infoturdominicano.com

9.5 Compromiso del Aeropuerto Internacional de Punta Cana (PUJ) con la Reducción de Emisiones.

La Corporación Aeroportuaria del Este (CAE), operadora del Aeropuerto Internacional de Punta Cana (PUJ), ha implementado medidas significativas para reducir la huella de carbono en sus operaciones. En 2021, el PUJ obtuvo la acreditación Airport Carbon Accreditation (ACA) Nivel 2, figura 9, otorgada por el Consejo Internacional de Aeropuertos (ACI), tras lograr una reducción del 40.8% en sus emisiones de CO₂ por pasajero, Figura 8. Este logro se alcanzó mediante el uso de energía fotovoltaica autogenerada y la incorporación de medidas de eficiencia energética, como la instalación de luminarias LED. Además, el Aeropuerto Internacional de Punta Cana es el primer aeropuerto en la República Dominicana en obtener la triple certificación ISO (9001, 14001 y 14064-1), lo que refuerza su compromiso con la calidad, la gestión ambiental y la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero. Estas certificaciones reflejan los esfuerzos continuos de la CAE para operar de manera sostenible y minimizar el impacto ambiental de sus operaciones aeroportuarias. (Consejo Internacional de Aeropuertos (ACI), 2023)



Figura 9. Certificado aca Aeropuerto de Punta Cana (PUJ)
Fuente: infoturdominicano.com

9.6 Compromiso del Aeropuerto Internacional del Cibao (Santiago), con la Reducción de Emisiones.

El Aeropuerto Internacional del Cibao ha demostrado un firme compromiso con la sostenibilidad y la reducción de emisiones de carbono. En 2019, alcanzó la acreditación Nivel 2 del Programa de Acreditación de Huella de Carbono (ACA), enfocándose en la reducción de emisiones, figura 10. Posteriormente, en 2022, logró el Nivel 3+ del mismo programa, obteniendo la certificación de "Neutralidad de Carbono", convirtiéndose en el primer aeropuerto en Centroamérica y el Caribe en alcanzar este nivel. Estas certificaciones reflejan los esfuerzos continuos del aeropuerto para gestionar y reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. (Aeropuerto Internacional del Cibao, 2023).



Figura 10. Certificado ACA al Aeropuerto Internacional del Cibao (AIC)
Fuente: aeroportocibao.com.do

Estas acciones reflejan el compromiso de los aeropuertos dominicanos con la sostenibilidad y la reducción de su impacto ambiental, alineándose con las tendencias globales en la industria aeroportuaria.

10. METODOLOGÍA PARA CALCULAR LA HUELLA DE CARBONO

La huella de carbono mide la cantidad total de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que una actividad, organización o producto genera, expresada en toneladas de CO₂ equivalente. Para calcularla de manera precisa y coherente, se han desarrollado diversas metodologías reconocidas internacionalmente, las cuales exponemos a continuación. Principales Metodologías para Calcular la Huella de Carbono:

Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol):

Desarrollado por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI) y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD), este protocolo es ampliamente utilizado para cuantificar y gestionar las emisiones de GEI, figura 11. Proporciona estándares para la contabilidad y reporte de emisiones tanto a nivel corporativo como de productos. (WRI & WBCSD, 2004)

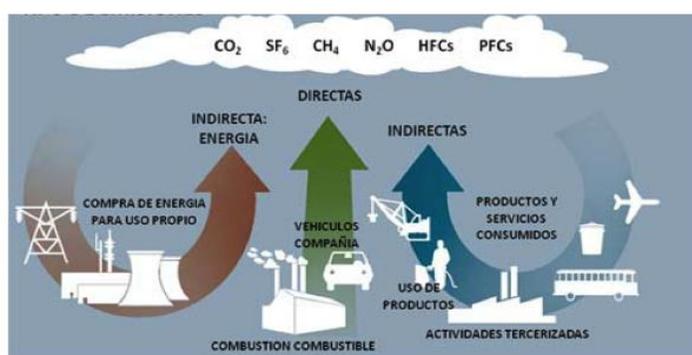


Figura 11. Guía para medir las emisiones de alcance 2 y cumplir con la certificación GHG
Fuente: GHG Protocol

Norma ISO 14064-1:

Parte de la serie ISO 14064, esta norma especifica los principios y requisitos para la cuantificación y reporte de emisiones y remociones de GEI a nivel organizacional. Es compatible con el GHG Protocol y se centra en la transparencia y precisión en la medición de emisiones. (Organización Internacional de Normalización (ISO), 2018)

10.1 Guía para el Cálculo de la Huella de Carbono y Plan de Mejora de una Organización 12.3

10.1.1 Conceptos generales y metodologías

La huella de carbono es una métrica que mide la cantidad total de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos directa o indirectamente por una organización. Su cálculo es fundamental para comprender el impacto ambiental de las actividades empresariales y establecer estrategias de mitigación. Esta medición permite identificar las principales fuentes de emisión y diseñar planes de reducción efectivos, lo que contribuye tanto a la sostenibilidad como al cumplimiento de normativas ambientales. Existen tres alcances en la medición de la huella de carbono. **El Alcance 1** se refiere a las emisiones directas provenientes de fuentes que son propiedad de la organización, como calderas y vehículos corporativos. **El Alcance 2** comprende las emisiones indirectas derivadas del consumo de electricidad adquirida. Finalmente, **el Alcance 3** engloba todas las demás emisiones indirectas a lo largo de la cadena de valor, como viajes de negocios, transporte de mercancías y producción de insumos. (IPCC, 2007)

Para calcular la huella de carbono, se han desarrollado diversas metodologías internacionales ampliamente reconocidas. El **GHG Protocol**, elaborado por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI) y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD), es uno de los marcos más utilizados y permite la contabilidad y reporte estructurado de emisiones. La **norma ISO 14064-1**

proporciona un conjunto de principios y requisitos para la cuantificación y reporte de GEI a nivel organizacional, garantizando precisión y transparencia en la medición. En Europa, el **Bilan Carbone**, desarrollado por la Agencia de Medio Ambiente y Energía de Francia (ADEME), ofrece una plataforma digital integrada para evaluar las emisiones. La ecuación base utilizada en todas estas metodologías se expresa como **Huella de carbono = Dato de actividad × Factor de emisión**, donde los factores de emisión dependen del tipo de combustible, electricidad o procesos industriales involucrados. Para facilitar este cálculo, la guía ofrece herramientas específicas como bases de datos de factores de emisión y una calculadora del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. La clave en cualquier medición es establecer con claridad los límites organizacionales y reportar los resultados con transparencia.

10.1.2 Procedimiento para calcular la huella de carbono

El cálculo de la huella de carbono comienza con la **definición de los límites organizacionales**, estableciendo qué instalaciones, actividades y fuentes de emisión serán incluidas en el análisis. Se debe decidir si el enfoque será basado en **control financiero** (incluyendo solo aquellas unidades sobre las que la organización tiene control financiero) o **control operativo** (incluyendo todas las operaciones en las que tiene capacidad de decisión sobre el uso de recursos y generación de emisiones). Una vez definidos estos límites, se deben recopilar los datos de actividad, que incluyen información detallada sobre el consumo de combustibles, electricidad, transporte y materiales utilizados.

Para el **Alcance 1**, se consideran las emisiones provenientes de maquinaria, vehículos propios y equipos industriales que utilizan combustibles fósiles. En el **Alcance 2**, se incluyen las emisiones derivadas de la generación de electricidad adquirida, calculadas mediante factores de emisión específicos del mix energético de cada país o región. El **Alcance 3** es el más complejo, ya que requiere la recopilación de datos sobre proveedores, logística, desplazamientos de empleados y el uso de productos vendidos. Para cada uno de estos alcances, se aplican factores de emisión específicos, que pueden obtenerse de bases de datos oficiales o metodologías estándar.

Una vez recopilados los datos y aplicados los factores de emisión, se procede a realizar el cálculo de las emisiones totales de CO₂ equivalente. Se recomienda realizar un seguimiento anual de la evolución de las emisiones y comparar los resultados con estándares nacionales e internacionales. La guía enfatiza la importancia de validar los datos mediante auditorías internas o certificaciones externas para garantizar la precisión del reporte. Finalmente, la organización debe elaborar un informe de huella de carbono con los resultados obtenidos, las metodologías utilizadas y las suposiciones realizadas, asegurando su coherencia con estándares internacionales.

10.1.3 Plan de mejora y compensación de emisiones

Después de calcular la huella de carbono, el siguiente paso es establecer un plan de mejora que permita la reducción efectiva de las emisiones. Este plan debe estar basado en objetivos claros y cuantificables, con un cronograma de implementación definido. Entre las estrategias más comunes se incluyen la eficiencia energética, optimizando el consumo de electricidad mediante tecnologías más eficientes y procesos optimizados. La adopción de energías renovables es otra medida clave, promoviendo el uso de fuentes limpias como la solar y la eólica en las operaciones empresariales.

Además, la optimización de la logística y el uso de vehículos eléctricos o híbridos para el transporte interno pueden reducir significativamente las emisiones de Alcance 1 y 3. (OECC & MITECO, 2024)

En los casos donde la reducción directa de emisiones no es suficiente, las empresas pueden recurrir a la compensación de emisiones, que consiste en invertir en proyectos que capturen o reduzcan una cantidad equivalente de CO₂ en la atmósfera. Entre las opciones más comunes se encuentran los proyectos de reforestación y conservación de bosques, la captura de carbono en procesos industriales y la inversión en energías renovables en comunidades vulnerables. Existen certificaciones y programas oficiales donde las organizaciones pueden registrar sus avances en la reducción de emisiones, obteniendo reconocimiento por su compromiso ambiental. (MITECO, 2024)

Implementar estas estrategias no solo tiene un impacto positivo en la sostenibilidad, sino que también genera beneficios económicos, como la reducción de costos operativos a largo plazo y la mejora en la eficiencia de los procesos. Además, una gestión adecuada de la huella de carbono fortalece la reputación corporativa, lo que puede atraer inversores y clientes comprometidos con la responsabilidad ambiental. La guía concluye con ejemplos prácticos sobre cómo empresas de diferentes sectores han logrado reducir su huella de carbono, demostrando la viabilidad de estas estrategias. En definitiva, el cálculo y la gestión de la huella de carbono son herramientas esenciales para la sostenibilidad empresarial y la lucha contra el cambio climático.

Con esta estructura quisimos realizar un **“Resumen de la Guía para el Cálculo de la Huella de Carbono y Plan de Mejora de una Organización”**, divulgada por Oficina Española de Cambio Climático y el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. En junio 2024 (OECC & MITECO, 2024)

11. EL FUTURO DE LA AVIACIÓN DOMINICANA CON RESPECTO A LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO Y A NIVEL GLOBAL.

La aviación civil es una de las industrias con un impacto significativo en las emisiones de CO₂, lo que ha llevado a la implementación de diversas estrategias para mitigar su huella de carbono. (Organización de Aviación Civil Internacional (, 2018)

La República Dominicana como la comunidad internacional han desarrollado planes y regulaciones para abordar este problema de manera efectiva.

11.1 Iniciativas en la República Dominicana

La República Dominicana ha asumido un compromiso firme con la reducción de emisiones en la aviación civil, alineándose con los objetivos globales de sostenibilidad. El **Instituto Dominicano de Aviación Civil (IDAC)** ha diseñado el **Plan de Acción para la Reducción de Emisiones de CO₂ (PARE-CO₂)**, que busca mantener el crecimiento de las emisiones de la aviación en niveles neutrales a partir de 2020. Este plan incluye:

- **Implementación de reglamentos específicos**, alineados con normativas internacionales para promover prácticas sostenibles en la aviación.
- **Desarrollo de programas especiales**, enfocados en la eficiencia energética y la reducción de emisiones tanto en operaciones aéreas como terrestres.

- **Ejecución de proyectos alineados con la reducción de emisiones**, incluyendo la modernización de flotas y la optimización de rutas aéreas.

El IDAC también ha implementado el **Sistema Ambiental de Aviación (AES)**, el cual recopila y analiza datos sobre emisiones de CO₂ en la aviación civil, estableciendo una línea base y cuantificando las emisiones generadas. (Instituto Dominicano de Aviación Civil (, 2021)

En 2018, el país se incorporó al **Esquema de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA)**, una iniciativa de la **Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)** que busca mitigar las emisiones mediante la compensación y la implementación de combustibles sostenibles. Además, se está explorando el uso de **Combustibles de Aviación Sostenibles (SAF, por sus siglas en inglés)**, que pueden reducir hasta en un 80% las emisiones de CO₂ en comparación con los combustibles tradicionales. (International Air Transport Association, 2022)

11.2 Iniciativas Globales

A nivel global, la industria de la aviación ha adoptado estrategias concretas para reducir su impacto ambiental.

La **Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA)** ha establecido el objetivo de alcanzar **cero emisiones netas de CO₂ para 2050**, lo que implica reducir 21,2 gigatoneladas de carbono mediante diversas medidas: (IATA, 2021)

- **Desarrollo y uso de combustibles sostenibles (SAF), fabricados a partir de residuos agrícolas y carbono capturado del aire.**

- Mejoras tecnológicas en aeronaves **para incrementar la eficiencia energética y reducir el consumo de combustibles fósiles.**
- Optimización de operaciones aéreas y terrestres, **como el rediseño de rutas de vuelo para minimizar el consumo de combustible.**

La **Unión Europea (UE)** también ha implementado medidas para reducir las emisiones en la aviación, estableciendo un objetivo de reducción del 55% para 2030 y alcanzar la neutralidad climática en 2050. Estas acciones forman parte del **Pacto Verde Europeo** e incluyen regulaciones más estrictas sobre emisiones y la promoción de combustibles sostenibles. (Comisión Europea, 2021)

Por su parte, la **OACI** ha desarrollado el esquema **CORSIA**, cuyo objetivo es estabilizar las emisiones de CO₂ de la aviación internacional a niveles de 2019, mediante un mecanismo de compensación y la adopción de nuevas tecnologías. Además, se está explorando la utilización de **hidrogeno de bajas emisiones, combustibles sintéticos y propulsión eléctrica**, con el fin de alcanzar la descarbonización total de la aviación en el futuro. (International Air Transport Association, 2022)

11.3 Tabla Resumen para la Metodología y Casos de Estudios Realizados

Elemento	Especificación
Definición	La huella de carbono representa el impacto ambiental de una actividad, organización o producto al medir la cantidad total de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos, expresados en toneladas de CO ₂ equivalente. Estos gases contribuyen al cambio climático al atrapar el calor en la atmósfera.
Principales metodologías de Medición	<ul style="list-style-type: none"> - GHG Protocol: Proporciona estándares para la cuantificación y reporte de emisiones a nivel corporativo y de productos. - ISO 14064-1: Norma que establece principios y requisitos para la medición y reporte de emisiones de GEI a nivel organizacional. - Bilan Carbone: Metodología francesa que facilita la evaluación de emisiones a través de una plataforma digital.
Ecuación base para poder Calcularla	Huella de carbono = Dato de actividad × Factor de emisión (Factores de emisión dependen del tipo de combustible, electricidad o proceso industrial involucrado).
Alcances de la medición	<ul style="list-style-type: none"> - Alcance 1: Emisiones directas de fuentes propias (calderas, vehículos, maquinaria). - Alcance 2: Emisiones indirectas derivadas del consumo de electricidad adquirida. - Alcance 3: Otras emisiones indirectas de la cadena de valor (proveedores, transporte, viajes de negocios, producción de insumos).
Como Podemos Realizar su cálculo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definir límites organizacionales: Enfoque de control financiero u operativo. 2. Recopilar datos de actividad: Consumo de combustibles, electricidad, transporte y materiales. 3. Aplicar factores de emisión: Basados en bases de datos oficiales o metodologías estándar. 4. Calcular emisiones totales de CO₂ equivalente. 5. Realizar seguimiento anual y validar datos con auditorías internas o certificaciones externas. 6. Elaborar un informe con resultados, metodologías y supuestos utilizados.
Plan de mejora y compensación	<ul style="list-style-type: none"> - Estrategias de reducción: Eficiencia energética, energías renovables, optimización de la logística y transporte sostenible. - Compensación de emisiones: Inversión en reforestación, captura de carbono y energías renovables en comunidades. - Certificaciones y programas: Permiten validar y registrar la reducción de emisiones.
Conclusiones	<ul style="list-style-type: none"> - Medir la huella de carbono permite identificar fuentes de emisión y diseñar estrategias de reducción. - Existen múltiples metodologías reconocidas internacionalmente que aseguran precisión y transparencia en el cálculo. - La reducción y compensación de emisiones no solo benefician al medioambiente, sino que también generan ventajas económicas y reputacionales para las organizaciones.
Casos de estudio en República Dominicana	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uso de Combustibles de Aviación Sostenibles (OACI): Evaluación de viabilidad para reducir emisiones en el sector aeronáutico. 2. Implementación de CORSIA: Compromiso con la reducción de emisiones en la aviación internacional. 3. Plan de Acción del IDAC: Estrategias para mitigar emisiones en el sector aeronáutico. 4. Compromiso de AERODOM: Reducción del 50% de emisiones para 2030 y cero emisiones netas para 2050. 5. Aeropuerto Internacional de Punta Cana (PUJ): Reducción del 40.8% de emisiones por pasajero y triple certificación ISO (9001, 14001, 14064-1). 6. Aeropuerto Internacional del Cibao: Neutralidad de carbono alcanzada en 2022 con certificación ACA Nivel 3+.

Como resumen de la tabla anterior podemos decir que la metodología para calcular, la gestión y reducción de la huella de carbono son herramientas esenciales para la sostenibilidad empresarial y la lucha contra el cambio climático. De lo cual extraemos las siguientes conclusiones:

1. Importancia del Cálculo de la Huella de Carbono

El cálculo de la huella de carbono es fundamental para identificar, cuantificar y gestionar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en actividades, organizaciones y productos. Permite tomar decisiones informadas para mitigar su impacto ambiental y cumplir con normativas internacionales.

2. Metodologías Reconocidas Internacionalmente

Existen diversos marcos metodológicos ampliamente aceptados para el cálculo de la huella de carbono, destacando:

GHG Protocol, desarrollado por el WRI y el WBCSD, como el estándar más utilizado.

ISO 14064-1, que proporciona requisitos específicos para la cuantificación y reporte de GEI a nivel organizacional.

Bilan Carbone, de ADEME en Francia, que ofrece herramientas digitales para la evaluación de emisiones.

3. Clasificación de Emisiones en Tres Alcances

Las emisiones se dividen en tres alcances para facilitar su identificación y reducción:

Alcance 1: Emisiones directas de fuentes propias, como calderas o vehículos.

Alcance 2: Emisiones indirectas derivadas del consumo de electricidad adquirida.

Alcance 3: Otras emisiones indirectas a lo largo de la cadena de valor, como transporte y viajes de negocios.

4. Procedimiento Estructurado para su Cálculo

El cálculo de la huella de carbono requiere:

- Definir los límites organizacionales (control financiero u operativo).
- Recopilar datos de actividad (combustibles, electricidad, transporte, materiales).
- Aplicar factores de emisión específicos según bases de datos oficiales.
- Realizar seguimiento y validación mediante auditorías internas o certificaciones externas.

5. Estrategias de Reducción y Compensación

Para reducir la huella de carbono, se pueden adoptar estrategias como:

- **Eficiencia energética:** Optimización de procesos y tecnologías.
- **Uso de energías renovables:** Implementación de fuentes limpias como solar y eólica.
- **Optimización logística:** Reducción de emisiones en transporte y cadena de suministro.

- **Compensación de emisiones:** Inversión en proyectos de captura de carbono y reforestación.

6. Aplicación en la Aviación y Aeropuertos en República Dominicana

El sector aeronáutico dominicano ha implementado diversas iniciativas para reducir su huella de carbono, como:

- Uso de combustibles sostenibles en aviación (DRAPER).
- Adopción del esquema CORSIA para compensación y reducción de carbono.
- Planes de acción del IDAC y aeropuertos (AERODOM, Punta Cana, Cibao) con metas concretas de reducción de emisiones.

7. Beneficios Ambientales, Económicos y Reputacionales

La gestión efectiva de la huella de carbono no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también:

- Reduce costos operativos a largo plazo.
- Mejora la eficiencia de los procesos.
- Fortalece la reputación corporativa y el cumplimiento de normativas.
- Atrae inversiones y clientes comprometidos con la responsabilidad ambiental.

Implementar estrategias de mitigación y compensación permite a las organizaciones minimizar su impacto ambiental y alinearse con estándares globales.

12.RECOMENDACIONES

Luego de realizar las investigaciones de lugar durante el desarrollo de este trabajo elaboramos las siguientes recomendaciones con la finalidad de aportar en la reducción de la incidencia de la Huella de Carbono provocada por la aviación civil.

12.1 Fortalecer la regulación ambiental en la aviación.

Entendemos que es necesario reforzar la normativa local alineándola con estándares internacionales como CORSIA, ISO 14064 y el Acuerdo de París, asegurando su cumplimiento a través de auditorías y sanciones para aerolíneas que no reduzcan sus emisiones.

12.2 Incentivar el uso de combustibles sostenibles (SAF):

Se deben establecer incentivos fiscales y subsidios para la producción y uso de biocombustibles en la aviación, promoviendo la inversión en tecnología y facilitando su acceso a las aerolíneas que operan en el país.

12.3 Mejorar la eficiencia energética en aeropuertos.

Buscar implementar medidas como la electrificación de vehículos de tierra, uso de energías renovables y optimización del consumo eléctrico en terminales y pistas. Esto reduciría las emisiones indirectas del sector.

12.4 Mejorar la eficiencia energética en aeropuertos.

Implementar medidas como la electrificación de vehículos de tierra, uso de energías renovables y optimización del consumo eléctrico en terminales y pistas. Esto reduciría las emisiones indirectas del sector.

12.5 Modernización y renovación de flotas.

Es clave incentivar la adquisición de aeronaves más eficientes en consumo de combustible y con menores emisiones, impulsando alianzas con fabricantes que desarrollen tecnologías híbridas o eléctricas en la aviación.

12.6 Optimización de rutas y tráfico aéreo.

La gestión eficiente del tráfico aéreo, a través de programas como SESAR en Europa o NextGen en EE.UU., puede reducir el consumo de combustible mediante trayectorias de vuelo más directas y reducción de tiempos de espera en el aire.

12.7 Promover la compensación de carbono.

Se recomienda que las aerolíneas implementen proyectos de reforestación, captura de carbono y compensación de emisiones para mitigar los efectos de los vuelos en el medio ambiente.

12.8 Fomentar la cultura de sostenibilidad en el sector aéreo.

Es crucial educar a los pasajeros, aerolíneas y personal aeroportuario sobre la importancia de la reducción de emisiones, incentivando el uso de prácticas como el vuelo con menor equipaje y selección de aerolíneas sostenibles.

12.9 Colaboración entre el gobierno, aerolíneas y sector privado.

La implementación de un plan integral de reducción de huella de carbono requiere una cooperación estrecha entre el IDAC, aerolíneas, aeropuertos y empresas privadas, asegurando recursos y compromiso para el desarrollo sostenible.

12.10 Monitoreo y auditoría continua de emisiones.

Se recomienda establecer un sistema nacional de medición y reporte de emisiones en la aviación, permitiendo evaluar el impacto de las estrategias implementadas y ajustarlas en función de los avances obtenidos.

12.11 Diversificación del transporte para reducir la demanda aérea.

Invertir en infraestructura de trenes, autobuses eléctricos y transporte multimodal podría reducir la dependencia del transporte aéreo en rutas cortas, minimizando su impacto ambiental sin afectar la conectividad del país.

13. CONCLUSIONES

13.1 Conclusiones parciales.

Tanto la República Dominicana como el sector de la aviación a nivel global han desarrollado estrategias integrales para reducir la huella de carbono de esta industria. La implementación de regulaciones, programas de compensación y el desarrollo de nuevas tecnologías juegan un papel clave en la mitigación del impacto ambiental de la aviación. La colaboración entre gobiernos, aerolíneas y organismos internacionales será fundamental para lograr un futuro más sostenible en la aviación civil. Realizamos estas conclusiones con la finalidad de llevar a a cavo una vision olistaca del tema abordado en este documento.

13.1.1 Impacto ambiental de la aviación civil en la República Dominicana

Objetivo relacionado: **Medir la huella de carbono actual de la aviación civil.**

La aviación es una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) debido a su alto consumo de combustibles fósiles. La República Dominicana, como destino turístico global, enfrenta el reto de reducir la huella de carbono sin afectar su conectividad aérea. Se reconoce que la gestión eficiente del tráfico aéreo, la modernización de flotas y el uso de combustibles sostenibles pueden reducir significativamente el impacto ambiental del sector.

13.1.2 Importancia del marco regulador en la reducción de emisiones

Objetivo relacionado: **Identificar las normativas y estándares aplicados por el regulador.**

La adhesión de la República Dominicana a CORSIA (Esquema de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional) demuestra su compromiso con la reducción de emisiones en la aviación. Además, el desarrollo del Plan de Acción para la Reducción de Emisiones de CO₂ (PARE-CO₂) por parte del IDAC establece directrices para mitigar los efectos del sector. Sin embargo, es necesario reforzar las regulaciones nacionales para alinearlas con los estándares globales y asegurar su cumplimiento efectivo.

13.1.3 Factores clave para la reducción de la huella de carbono

Objetivo relacionado: **Proponer mejoras basadas en normas ISO.**

Existen diversas estrategias para reducir las emisiones en la aviación civil, como el uso de combustibles de aviación sostenibles (SAF), la implementación de sistemas de tráfico aéreo más eficientes, y la optimización de rutas de vuelo. También se menciona la importancia de incentivar la electrificación parcial del sector aéreo y la adopción de aeronaves más eficientes, aunque estas tecnologías aún requieren inversión y desarrollo.

13.1.4 Repercusión económica y social de la huella de carbono

Objetivo relacionado: **Analizar el impacto económico y social de la huella de carbono en la aviación civil.**

No reducir la huella de carbono en la aviación podría tener consecuencias negativas para el país, afectando la competitividad del turismo y encareciendo el transporte aéreo debido a impuestos ambientales o regulaciones más estrictas. A nivel social, la contaminación del aire generada por la aviación impacta la salud pública, particularmente en comunidades cercanas a aeropuertos. Es fundamental equilibrar el crecimiento del sector con estrategias sostenibles que protejan tanto la economía como el bienestar de la población.

13.1.5 Perspectivas futuras para la aviación sostenible en la República Dominicana

Objetivo relacionado: **Evaluar la viabilidad de una transición sostenible en la aviación civil.**

La industria de la aviación está en un punto de transformación hacia la sostenibilidad. La República Dominicana debe continuar adoptando tecnologías innovadoras, mejorar la eficiencia operativa y fomentar la cooperación internacional en materia de reducción de emisiones. Si se implementan políticas adecuadas y se incentiva la investigación en combustibles limpios y compensación de carbono, el país podrá mantener su liderazgo turístico sin comprometer la sostenibilidad ambiental.

13.2 Conclusiones generales.

La reducción de la huella de carbono en la aviación civil es un desafío urgente y multifacético que requiere una combinación de tecnologías innovadoras, regulaciones robustas y colaboración internacional. La adopción de combustibles sostenibles y el desarrollo de aeronaves más eficientes han mostrado ser soluciones viables y prometedoras. Por otro lado, la electrificación de aviones y el uso de energías renovables en aeropuertos son pasos decisivos hacia un futuro más limpio. La optimización del tráfico aéreo y el mantenimiento predictivo han demostrado que la tecnología digital puede ser un aliado crucial en esta transición. Sin embargo, estas iniciativas necesitan un marco regulatorio claro y un apoyo financiero significativo para su implementación masiva. La investigación y el desarrollo deben mantenerse como prioridades para superar las barreras técnicas que aún existen. La concienciación global, tanto de las empresas como de los pasajeros, es igualmente indispensable para fomentar cambios sostenibles. Por tanto, la transición hacia una aviación más sostenible debe ser un esfuerzo conjunto, impulsado por la innovación y la responsabilidad compartida.

Aunque los combustibles sostenibles y las tecnologías de electrificación tienen un enorme potencial, enfrentan desafíos como altos costos de producción y limitada infraestructura de distribución. Para superar estos obstáculos, es esencial fomentar la inversión en infraestructura y la cooperación entre gobiernos, industria y organismos internacionales. Los avances tecnológicos deben ir acompañados de políticas que incentiven el desarrollo de tecnologías limpias y penalicen las emisiones excesivas. Las prácticas como la compensación de carbono y la optimización de rutas son soluciones complementarias necesarias mientras las tecnologías emergentes maduran. Asimismo, la digitalización y el uso de big data

permiten mejoras significativas en la eficiencia operativa. Estas medidas deben integrarse en un marco estratégico coherente que priorice la sostenibilidad sin comprometer la seguridad y la rentabilidad.

En conclusión, la aviación civil enfrenta un camino desafiante pero lleno de oportunidades para reducir su impacto ambiental. Las tecnologías emergentes, combinadas con prácticas sostenibles y una gestión eficiente, son esenciales para mitigar las emisiones de carbono. La colaboración global y la inversión en innovación serán los motores principales para alcanzar los ambiciosos objetivos de sostenibilidad de la industria. Mientras tanto, es crucial fortalecer las regulaciones ambientales y fomentar la conciencia ecológica en todos los niveles. Los pasajeros, las empresas y los gobiernos tienen roles clave en este cambio, lo que requiere un esfuerzo concertado y un enfoque proactivo. Solo mediante un compromiso conjunto será posible garantizar un futuro donde la aviación continúe siendo un pilar de conectividad global sin comprometer la salud del planeta.

La huella de carbono generada por la aviación civil en la República Dominicana presenta desafíos significativos con impactos económicos y sociales si no se contrarresta. Desde el punto de vista económico, el turismo, que representa cerca del 15% del PIB nacional, es altamente vulnerable a la percepción negativa de los destinos no sostenibles. Además, la falta de cumplimiento con regulaciones internacionales como CORSIA podría generar sanciones y costos adicionales para las aerolíneas locales, disminuyendo su competitividad. También, la infraestructura aeroportuaria corre el riesgo de sufrir daños por el aumento de fenómenos climáticos extremos, lo que incrementaría los costos de mantenimiento y adaptación. Estos factores podrían desestabilizar sectores económicos clave y amenazar la estabilidad financiera de miles de trabajadores dependientes del turismo y la aviación.

En el aspecto social, las emisiones de carbono y contaminantes asociadas a la aviación afectan la salud pública, incrementando enfermedades respiratorias en comunidades cercanas a aeropuertos. También existe el riesgo de pérdida de empleos, especialmente en áreas rurales donde la economía depende del turismo, exacerbando la desigualdad social. Adicionalmente, el cambio climático podría llevar a migraciones internas por la pérdida de habitabilidad en zonas costeras, intensificando los desafíos de planificación urbana. Estas realidades exigen medidas urgentes, como el uso de combustibles sostenibles, la modernización de flotas y la alineación con esquemas internacionales como CORSIA, para mitigar el impacto ambiental sin comprometer el desarrollo socioeconómico del país. Esto resalta la importancia de abordar colectivamente la sostenibilidad en la aviación como una prioridad nacional.

No contrarrestar la huella de carbono de la aviación civil podría tener consecuencias graves para la República Dominicana, desde pérdidas económicas derivadas de un turismo menos competitivo hasta impactos sociales relacionados con la salud, el empleo y la habitabilidad. Esto refuerza la necesidad de adoptar políticas como las establecidas en CORSIA y promover tecnologías limpias y sostenibles.

13.3 Futuras Líneas de Investigación.

El presente estudio ha evaluado el impacto ambiental de la aviación civil en la República Dominicana, con especial énfasis en las emisiones de carbono generadas por el sector. No obstante, la complejidad del fenómeno y la constante evolución de la industria aeronáutica abren nuevas oportunidades para futuras investigaciones. A continuación, se proponen tres líneas de investigación que permitirían ampliar y profundizar los hallazgos de este trabajo, incorporando aspectos metodológicos, económicos y sociales relevantes al contexto local.

13.4 Optimización de rutas aéreas y su impacto en la reducción de emisiones

Uno de los desafíos clave en la aviación es la optimización de las rutas de vuelo para minimizar el consumo de combustible y, por ende, las emisiones de CO₂. Estudios recientes han demostrado que la implementación de conceptos como *Free Route Airspace (FRA)* y *Performance-Based Navigation (PBN)* pueden generar reducciones significativas en la huella de carbono del sector (ICAO, 2022); (EUROCONTROL., 2021).

Como proponemos esta investigación: Podría basarse en el uso de software de simulación de tráfico aéreo, como EUROCONTROL BADA o el Aviation Environmental Design Tool (AEDT), para modelar distintas configuraciones de rutas aéreas y evaluar su impacto en el consumo de combustible y las emisiones. Adicionalmente, se podrían emplear algoritmos de optimización como Dijkstra o A para identificar trayectorias óptimas basadas en datos meteorológicos y operacionales.

En lo referente al contexto local, donde evaluaríamos las consideraciones socioeconómicas, sabemos que, el espacio aéreo de la República Dominicana, al estar influenciado por flujos de tráfico transatlántico y regional, presenta desafíos específicos en la implementación de FRA y PBN. Se requeriría un análisis detallado de la infraestructura de navegación aérea, la coordinación con FIR adyacentes y la capacidad de los sistemas de control de tráfico aéreo. Además, la optimización de rutas podría generar beneficios económicos al reducir costos operacionales de aerolíneas y, en consecuencia, tarifas más competitivas para los pasajeros. También se debe analizar el impacto en el empleo y la capacitación del personal aeronáutico para operar bajo estas nuevas condiciones.

13.4.1 Integración de combustibles sostenibles en la aviación comercial dominicana

La transición hacia el uso de combustibles sostenibles para la aviación, es una estrategia clave para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector aeronáutico (ICAO., 2021.); (Elgowainy, 2023) Sin embargo, en la República Dominicana, la adopción de estos combustibles sigue siendo limitada debido a desafíos económicos y logísticos.

Proponemos los siguientes pasos a seguir para esta investigación: El estudio podría aplicar un análisis de ciclo de vida (*LCA*) de distintos tipos de SAF, evaluando su impacto ambiental desde la producción hasta su combustión en aeronaves. Para ello, se utilizarían herramientas como GREET (*Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation Model*) para cuantificar las reducciones de emisiones en comparación con combustibles fósiles. Asimismo, se podría realizar un estudio de viabilidad económica con modelos de costos nivelados (*Levelized Cost of Fuel, LCOF*), considerando incentivos fiscales y precios del petróleo.

En lo referente al contexto local, donde evaluaríamos las consideraciones socioeconómicas, Sabemos que un factor clave en la implementación de SAF en la República Dominicana es la disponibilidad de materias primas. Proponemos explorar fuentes locales como residuos agrícolas (*caña de azúcar, palma africana*) y aceites usados para la producción de biocombustibles. Además, el desarrollo de una industria local de SAF podría generar empleos en el sector energético y agroindustrial, promoviendo una transición justa hacia un modelo de aviación más sostenible. También se debe analizar el impacto en los costos del combustible para las aerolíneas y su repercusión en los precios de los boletos aéreos.

13.4.2 Implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real para la gestión ambiental en aeropuertos

El monitoreo en tiempo real de las emisiones y otros impactos ambientales en aeropuertos es una herramienta clave para mejorar la sostenibilidad del sector. Organismos como el *Airports Council International* (ACI) han desarrollado programas de certificación ambiental que promueven la reducción de emisiones mediante el uso de sensores y tecnologías de análisis de datos ((ACI, 2021); (ICAO., 2020).

Esta investigación podría implementar sensores IoT para la medición de CO₂, NO_x y material particulado en aeropuertos dominicanos, integrándolos en plataformas de análisis de big data mediante herramientas como Power BI o Python (pandas, NumPy). Se sugiere un estudio comparativo entre aeropuertos con y sin sistemas de monitoreo, utilizando modelos de regresión para evaluar la efectividad de estas tecnologías en la reducción de emisiones.

Contexto local y consideraciones socioeconómicas: Los aeropuertos de la República Dominicana, como Punta Cana y Las Américas, manejan un tráfico significativo de vuelos internacionales y turísticos. La implementación de un sistema de monitoreo ambiental no solo permitiría una mejor gestión de las emisiones, sino que también serviría para cumplir con estándares internacionales, mejorando la competitividad del país en términos de sostenibilidad. Desde una perspectiva social, este tipo de iniciativas podrían generar nuevas oportunidades de empleo en el sector tecnológico y ambiental, además de fomentar políticas públicas más estrictas en la gestión de emisiones aeroportuarias.

13.5 Reflexión Final

Estas líneas de investigación permitirían avanzar en la comprensión y mitigación del impacto ambiental de la aviación civil en la República Dominicana. Además de sus beneficios ambientales, cada una de ellas presenta oportunidades económicas y sociales que podrían contribuir al desarrollo sostenible del país. Por ello, futuras investigaciones deberían considerar un enfoque integral que abarque no solo la reducción de emisiones, sino también los efectos socioeconómicos de estas medidas en la población y la industria aeronáutica local.

14. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS CONSULTADAS.

- (ACI), A. C. (2021). *Airport Carbon Accreditation Annual Report*. Montreal, Canadá.: Airports Council International.
- (EASA), E. U. (2021). *Sustainable Aviation Fuels (SAF)*. colonia: EASA.
- (ICAO)., I. C. (2020). *CORSIA Emissions Units Criteria*. Montreal, Canadá.: Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).
- (IPCC), I. P. (2019). *Aviation and the Global Atmosphere*. Ginebra, Suiza.: IPCC .
- (SESAR), S. E. (2022). *SESAR Solutions for Green Aviation*. Bruselas: SESAR Joint Undertaking.
- Aeropuerto Internacional del Cibao, (. (Febrero de 2023). <https://aerpuertocibao.com.do/aeropuerto-cibao-mantiene-el-liderazgo-nacional-en-la-reduccion-de-emisiones-de-carbono/>. Obtenido de <https://aerpuertocibao.com.do>: <https://aerpuertocibao.com.do/aeropuerto-cibao-mantiene-el-liderazgo-nacional-en-la-reduccion-de-emisiones-de-carbono/>
- Agencia Europea de Medio Ambiente, 2. (2022). *Emisiones del Transporte*. Agencia Europea de Medio Ambiente.
- Air Transport Action Group (ATAG), (. (2020). *Waypoint 2050: A vision for decarbonizing aviation*. Ginebra, Suiza.: Air Transport Action Group.
- Air Transport Action Group (ATAG), 2. (2020). *Waypoint 2050: A vision for decarbonizing aviation*. Ginebra, Suiza: Air Transport Action Group.
- Air Transport Action Group, 2. (2020). *Waypoint 2050: A vision for decarbonizing aviation*. Ginebra, Suiza.: Air Transport Action Group.
- Banco Central de la República Dominicana, (. (2023). *Informe del Turismo en la República Dominicana*. Obtenido de <https://www.bancentral.gov.do>
- Comisión Europea, (. (2021). *El pacto verde europeo: una transición sostenible para la aviación*. Bruselas, Unión Europea: Comisión Europea.
- Consejo Internacional de Aeropuertos (ACI), 2. (2023). <https://aci-lac.aero/acreditacion-de-carbono-del-aeropuerto/>. Obtenido de <https://www.airportcarbonaccreditation.org/>: <https://aci-lac.aero/acreditacion-de-carbono-del-aeropuerto/>
- Elgowainy, A. H. (2023). Life Cycle Analysis of Sustainable Aviation Fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153.
- EUROCONTROL. (2021). *Performance Review Report 2021*. Bruselas, Bélgica.: European Organisation for the Safety of Air Navigation.
- IATA, 2. (2021). *oja de ruta para la reducción de emisiones en la aviación*. Ginabra: IATA.

- ICAO, I. C. (2022). *ICAO Environmental Report 2022*. Montreal, Canadá.: International Civil Aviation Organization.
- ICAO. (2020). *Eco-Airport Toolkit*. Montreal, Canadá.: (International Civil Aviation Organization).
- ICAO., (. C. (2021.). *Sustainable Aviation Fuels Guide*. Montreal, Canadá.: International Civil Aviation Organization.
- IDAC, (. (2021). *Informe de sostenibilidad y emisiones del sector aeronáutico en República Dominicana*. Santo Domingo, República Dominicana.: Instituto Dominicano de Aviación Civil.
- IDAC. (2021). *Informe de sostenibilidad y emisiones del sector aeronáutico en República Dominicana*. Santo Domingo, RD.: Instituto Dominicano de Aviación Civil.
- Instituto Dominicano de Aviación Civil, (. (2021). *Plan de acción para la reducción de emisiones de CO₂ (PARE-CO₂)*. Santo Domingo, R.D.: Instituto Dominicano de Aviación Civil.
- Instituto Dominicano De Aviación Civil, (. (2023). *Impacto de la Aviación en Comunidades Cercanas a Aeropuertos*. Santo Domingo, República Dominicana.
- Instituto Dominicano de Aviación Civil, (. (24 de Mayo de 2024). CORSIA. Santo Domingo, R.D.: Página de CORSIA en el IDAC.
- Instituto Dominicano de Aviación Civil, I. (2022). *Reporte de Aspectos Ambientales*. Santo Domingo, R.D.: IDAC.
- International Air Transport Association, (. (2022). *Hoja de ruta para la reducción de emisiones en la aviación*. Montreal: IATA.
- International Energy Agency (IEA), 2. (2021). *The Future of Hydrogen in Aviation*. París, Francia: International Energy Agency.
- IPCC, (. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press. .
- IPPC, (. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Lee, D. S. (2021). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000–2018. *Atmospheric Environment* 244, 117834, [https://doi.org/\[DOI\]](https://doi.org/[DOI]).
- Ministerio de Medio Ambiente de República Dominicana, 2. (2016). *Planes de Adaptación al Cambio Climático*. Santo Domingo, R.D.: Ministerio de Medio Ambiente de República Dominicana.
- MITECO, (. (2024). *Guía para el Cálculo de la Huella de Carbono y Plan de Mejora de una Organización*. . Madrid, España: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es>

- OACI. (2022). *Estudio de factibilidad de la OACI: Feasibility Study for SAF in the Dominican Republic*. Montreal, Canadá:: Organización de Aviación Civil Internacional.
- OACI, O. I. (2023). *CORSIA and Sustainable Aviation Fuels Report*. Montreal, Canada.: Organización de Aviación Civil Internacional.
- OECC & MITECO, (. (2024). *Guía para el Cálculo de la Huella de Carbono y Plan de Mejora de una Organización*. Madrid: Oficina Española de Cambio Climático y Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. .
- Organización de Aviación Civil Internacional, (. (2018). *Esquema de compensación y reducción de carbono para la aviación internacional (CORSIA)*. Montreal, Canada: OACI.
- Organización de Aviación Civil Internacional, 2. (2022). *CORSIA Implementation Report*. Montreal, Canada: Organización de Aviación Civil Internacional.
- Organización Internacional de Aviación Civil, (. (2019). *Documento base del Plan de Acción para reducción de emisiones (State Action Plans)*. Montreal, Canadá: Organización de Aviación Civil Internacional.
- Organización Internacional de Normalización (ISO), 2. (2018). *ISO 14064-1:2018. Gases de efecto invernadero: Parte 1: Especificaciones y orientación a nivel organizacional para la cuantificación y el reporte de emisiones y remociones de gases de efecto invernadero*. Ginebra, Suiza: Organización Internacional de Normalización (ISO).
- Organización Mundial de la Salud, (. (24 de Octubre de 2024). *Air Pollution and Public Health*. Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Organización Mundial del Turismo (OMT), 2. (2022). *Turismo y Cambio Climático*. Madrid, España:: Organización Mundial del Turismo.
- Presidencia de la República Dominicana, 2. (13 de Octubre de 2021). *IDAC pone en marcha plan para contener el crecimiento de las emisiones CO₂ de la actividad aérea*. Obtenido de <https://presidencia.gob.do>: <https://presidencia.gob.do/noticias/idac-pone-en-marcha-plan-para-contener-el-crecimiento-de-las-emisiones-co2-de-la-actividad>
- UNFCCC. (2020). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. NDC de la República Dominicana (Dominican Republic NDC)*. . Bonn, Alemania:.
- United Nations Framework Convention on Climate Change, U. (2015). *The Paris Agreement . The Paris Agreement (Tratado internacional)*. Paris, Francia: United Nations Framework Convention on Climate Change.
- WRI & WBCSD, (. (2004). *The Greenhouse Gas Protocol*. Washinton: Instituto de Recursos Mundiales y Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible.