



www.fundacionrenovables.org

No-CO₂

Los gases ocultos de la aviación

Documento elaborado por la **Fundación Renovables**.

Equipo que lo ha desarrollado:

Luisa Castillo, Raquel Paule y Maribel Núñez.

Maquetación: Alexandra Llave.

Comunicación: Alejandro Tena y Andrés Actis.

La **Fundación Renovables** también agradece la colaboración del Patronato y de sus amigos y amigas.

PATRONATO DE LA FUNDACIÓN RENOVABLES

Presidente: Fernando Ferrando.

Vicepresidentes: Llanos Mora, Juan Castro-Gil y Mariano Sidrach de Cardona.

Patronos: José Luis García Ortega, Assumpta Farran, Daniel Pérez, Javier García Breva, Sara Pizzinato, María José Márquez y Manel Ferri.

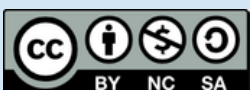
FUNDACIÓN RENOVABLES

(Declarada de utilidad pública)

Calle Santa Engracia 108, 5º Int. Izda.

28003 Madrid

www.fundacionrenovables.org



Esta publicación está bajo licencia Creative Commons. Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual (CC BY-NC-SA). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte de este siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia.



Tabla de

CONTENIDO

En la aviación no todo es CO ₂	4
¿Qué se ha hecho y qué falta para poder mitigar los No-CO ₂ ?	10
El rol clave del sector privado de la aviación	17
Romper con el túnel de carbono de la aviación	20
Glosario	24



En la aviación

NO TODO ES CO₂

Capítulo

01

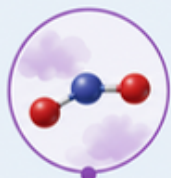
En la aviación NO TODO ES CO₂



Según el [informe anual de AENA](#), en 2025 se registraron 2,7 millones de vuelos desde y hacia aeropuertos españoles, con un número total de pasajeros de 321 millones y 1,4 millones de operaciones de tráfico de mercancías. Un 4,1% más que en el ejercicio anterior.

Para todo ello, se ha consumido mucho combustible y, por tanto, se ha emitido mucho CO₂. Pero, si bien el uso de combustibles fósiles en la aviación comercial representa el 2,5 % del CO₂ global, esta cifra no cuenta la historia completa, porque existen también otros gases que elevan significativamente la huella ecológica de los vuelos, los llamados **gases no-CO₂**.

LISTA DE LOS GASES NO-CO₂



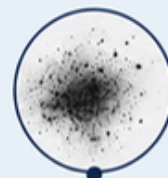
Óxido de nitrógeno (NO_x)



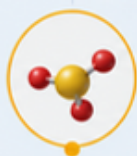
Vapor de agua a gran altitud y cirros de estelas (contrails)



Partículas (aerosoles)



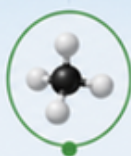
Hollín (carbono negro)



Óxido de azufre (SO_x) o aerosoles de sulfato



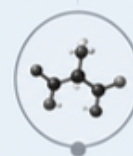
Monóxido de carbono (CO)



Metano (CH₄)



Óxido nitroso (N₂O)



Compuestos orgánicos volátiles (COV)



De todos ellos, **el NOx y los cirros de estelas son considerados los principales contribuyentes al calentamiento de la Tierra. La fuente principal de NOx es la combustión de combustibles fósiles como petróleo, carbón o gas natural.** Bajo la influencia de la radiación solar, los NOx reaccionan con otros elementos del aire para generar **ozono troposférico** que se acumula contribuyendo al calentamiento global. Cuando estos contaminantes entran en contacto con la humedad ambiental se transforman en **ácido nítrico**, compuesto que permanece en la atmósfera hasta que regresa a la superficie en forma de **lluvia ácida**.

Más allá de su papel en el calentamiento global, el impacto de los NOx es devastador para los ecosistemas acuáticos. Por una parte, **aumentan la acidez de lagos y suelos** y, por otra, actúan como un fertilizante excesivo que **dispara el crecimiento de algas en ríos y mares**. Este fenómeno, conocido como **eutrofización**, agota el oxígeno del agua provocando que los peces y otras especies mueran por asfixia en un entorno que se vuelve literalmente inhabitable.



Que el impacto climático de la aviación trasciende a los efectos del CO₂ se reconoció ya en 1999 en un informe especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Este estudio identificó por primera vez **el FRE (indicador de forzamiento radiativo efectivo) de las estelas de condensación**. El FRE evalúa el desequilibrio entre la energía solar que entra a la atmósfera y la energía infrarroja que sale, medido en la parte superior de la atmósfera, inmediatamente después de que se introduce un cambio (como las emisiones de un avión), pero antes de que la atmósfera tenga tiempo de responder o ajustarse. Al combinar dos factores como la medición de los gases emitidos y el cambio que sufre la atmósfera de forma inmediata (la creación de nubes o humedad extra), el FRE nos ofrece una visión mucho más realista y exacta de cuanto está contribuyendo realmente la actividad aérea al aumento de la temperatura global.

LOS EFECTOS DE LAS EMISIONES
NO-CO₂ SON RESPONSABLES DEL

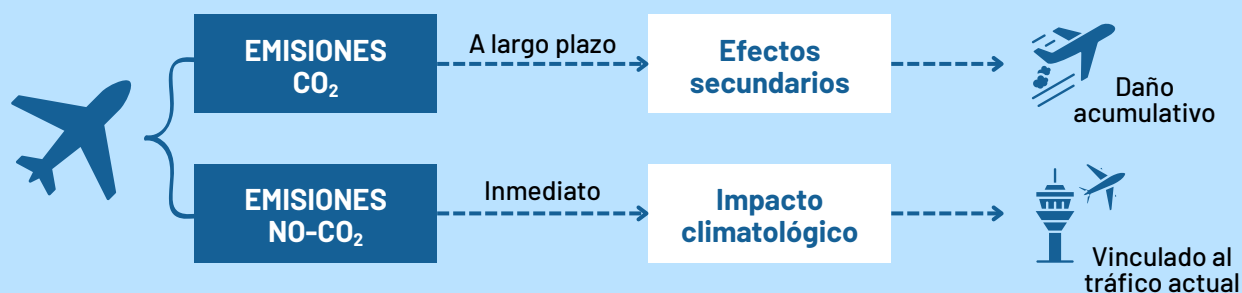
66 %

DEL IMPACTO CLIMÁTICO
NETO DE LA AVIACIÓN



Sin embargo, aunque ya se conocía el impacto, los efectos directos de los no-CO₂ en la aviación no empezaron a estudiarse hasta dos décadas después del Protocolo de Kioto (1997). Un informe de la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA) de 2020, elaborado a petición de la Comisión Europea (CE), confirmó que **los efectos de las emisiones no-CO₂ son responsables de aproximadamente dos tercios (66 %) del impacto climático neto de la aviación**. Este informe confirma que, si bien las emisiones de CO₂ de la aviación contribuyen en gran medida al calentamiento global, las emisiones de no-CO₂ **intensifican** seriamente el problema.

A partir de 2020 comenzó a estudiarse cómo en el transporte aéreo, al quemar combustible a gran altura —donde el aire es gélido y está cargado de humedad—, los motores liberan vapor de agua y pequeñas partículas de hollín. Según la literatura recogida en el Informe Medioambiental de la Aviación Europea 2025, el vapor se congela alrededor del hollín, creando esas largas líneas blancas llamadas estelas de condensación. Estas huellas no siempre desaparecen, sino que a menudo se transforman en nubes delgadas (cirros o *contrails*) que funcionan como una manta térmica: dejan pasar la luz del sol, pero impiden que el calor de la Tierra escape al espacio. Este efecto invernadero, sumado a que las emisiones de NOx están creciendo incluso más rápido que las de CO₂ por la falta de motores más limpios, provocan que el impacto real de la aviación en el calentamiento global sea mucho más profundo. La distinción esencial entre ambos impactos reside en su temporalidad.



Bajo esta premisa, el escenario actual es crítico:
tras alcanzar en 2025 la cifra récord de 11,12 millones de vuelos en Europa, el impacto de las emisiones no-CO₂ ha escalado también hasta su punto máximo.

El impacto de los no-CO₂ no es una externalidad que el mercado pueda corregir por sí solo. **Sin una normativa clara, las aerolíneas no tienen incentivos para llevar a cabo medidas de mitigación. Y sin estas medidas, bien orientadas a la disminución de las emisiones, las aerolíneas no podrán saber por dónde empezar.** La única forma de conseguir una mitigación eficiente pasa por obligar a los actores a cumplir con estándares de sostenibilidad. A diferencia de las iniciativas individuales de cada empresa, las políticas públicas permiten una coordinación técnica a gran escala. Ya que las emisiones no-CO₂ dependen de la meteorología y del espacio aéreo (que es un recurso gestionado por el Estado), solo una autoridad regulatoria puede integrar la gestión del tráfico aéreo con los objetivos climáticos de forma holística. **Dado que estos efectos son instantáneos y dependen del tráfico diario, no se puede esperar 20 años a que la tecnología evolucione orgánicamente.** Las políticas públicas ya implementan medidas operativas inmediatas (como la gestión de trayectorias de vuelo) que tienen un impacto positivo directo desde el primer día, algo que el mercado por sí solo rara vez prioriza.

En este sentido, la evolución de la regulación de las emisiones ha sido gradual. En 2012, la Unión Europea (UE) amplía su sistema de comercio de derechos de emisión (EU ETS) para incluir vuelos dentro del espacio económico europeo. A partir de ese momento, cualquier vuelo que despegue y aterrice dentro de la UE tiene que pagar por sus emisiones. Sin embargo, solo se tenían en cuenta las emisiones de CO₂. En 2016, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) adopta CORSIA, un esquema global de compensaciones de CO₂ para vuelo internacional, pero las emisiones no-CO₂ seguían sin estar en la mesa de los legisladores.

Evolución de la regulación de las emisiones

2012

La UE amplía su sistema de comercio de derechos de emisión (EU ETS) para incluir vuelos dentro del espacio económico europeo (CO₂).

2016

La OACI adopta CORSIA, un esquema global de compensaciones de CO₂ para vuelo internacional.

2023

Entra en vigor la Directiva (UE) 2023/958, que establece el seguimiento, notificación y verificación de los efectos de la aviación.

2024

Se añade el Reglamento de Ejecución (UE) 2024/2493, que implementa un nuevo sistema que obliga a monitorizar y notificar anualmente las toneladas de no-CO₂.

2025 - 2026

La obligatoriedad se limita a rutas dentro del Espacio Económico Europeo (EEE), Suiza y el Reino Unido, extendiéndose a todos los vuelos internacionales desde y hacia el EEE a partir de 2027.

En 2023 entra en vigor la Directiva (UE) 2023/958, que establece nuevas obligaciones a los Estados miembros de **seguimiento, notificación y verificación (MRV) de los efectos de la aviación no derivados del CO₂ a partir del 1 de enero de 2025**.

Al año siguiente se añade el Reglamento de Ejecución (UE) 2024/2493, que implementa un nuevo sistema que **obliga a los operadores aéreos a monitorizar y notificar anualmente las toneladas de no-CO₂ equivalente mediante modelos de cálculo avanzados y herramientas como NEATS** (*Non-CO₂ Aviation Effects Tracking System*), basándose en principios de precisión y flexibilidad. Durante la fase inicial (2025-2026), la obligatoriedad se limita a rutas dentro del Espacio Económico Europeo (EEE), Suiza y el Reino Unido, extendiéndose a todos los vuelos internacionales desde y hacia el EEE a partir de 2027. Este proceso de recopilación de datos culminará a finales de 2027 con un informe de evaluación de la CE, que podría derivar en nuevas propuestas legislativas para mitigar de forma definitiva el impacto global del sector. Además, la CE y EUROCONTROL han lanzado la segunda versión (V2) de NEATS, un sistema informático diseñado para monitorear, reportar y verificar los impactos climáticos de la aviación que no provienen del CO₂.



Gracias a esta herramienta, las aerolíneas ya pueden calcular el impacto de sus vuelos aportando sus propios datos. Actualmente se están ajustando funciones y parámetros para lanzar la versión 3, la versión definitiva que se utilizará para los informes oficiales del EU ETS sobre las emisiones de 2025 e incluirá interfaces específicas para aerolíneas, verificadores y autoridades.

Por este motivo, el propósito de este documento es analizar la regulación vigente y proponer recomendaciones estratégicas que permitan, a través de las políticas públicas, mitigar con eficacia el impacto climático global de las emisiones no-CO₂ derivadas de la aviación.



¿Qué se ha hecho y qué
falta para poder mitigar
LOS NO-CO2?

Capítulo

02



¿Qué se ha hecho y qué falta para **PODER MITIGAR LOS NO-CO₂?**

La aviación aporta hoy aproximadamente 0,04 °C de calentamiento global acumulado o, lo que es lo mismo, alrededor de un 4 % de la temperatura global media adicional desde el período preindustrial. Para paliar esta cifra, las medidas de mitigación que se están llevando a cabo son diversas, la mayoría relacionadas con el tipo de combustible utilizado, como **los combustibles sostenibles para la aviación (SAF)**, recogidos en el ReFuelEU Aviation, o medidas operacionales de **gestión del tráfico aéreo (ATM)**.

Sin embargo, hasta la fecha, no existe ninguna regulación internacional vinculante que limite específicamente las emisiones no-CO₂. El enfoque actual es más de seguimiento que de reducción obligatoria. Por ello, las organizaciones medioambientales y sociales proponemos estructurarlo en tres ejes estratégicos:

1

Medidas financieras:

Las de mayor aceptación por parte del sector privado. El establecimiento de impuestos al NO_x o su inclusión en el EU ETS/RCDE.

2

Acciones sobre los combustibles:

La palanca tecnológica. Medidas orientadas a reducir los compuestos aromáticos y fomentar el uso de combustibles SAF para mitigar las emisiones de partículas de hollín y la formación de cirros.

3

Mejoras en la gestión del tráfico aéreo:

La forma más rápida y barata de reducir los efectos no-CO₂, mediante la optimización de trayectorias para evitar zonas de sobresaturación de hielo y la creación de un impuesto climático integral que contemple todos los efectos no-CO₂.

Medidas financieras



Es urgente que se empiecen a implementar nuevos mecanismos financieros orientados a la reducción de estas emisiones. Actualmente no hay mecanismos activos, pero sí en proceso. Por un lado, existe ya el sistema de tarificación indirecta mediante incentivos a los SAF y las tasas de monitorización obligatoria. Por otro, se están planteando medidas orientadas a la internalización de costes en el mercado de carbono EU ETS. Aunque el EU ETS (tras su reforma de 2023) ya ha comenzado a abordar los efectos no-CO₂ al imponer la obligación de monitorizarlos e informarlos, el informe Making Contrails Visible de E-CONTRAIL destaca la **falta de internalización de costes**. Al no estar obligadas las aerolíneas a pagar o entregar derechos de emisión por este tipo de contaminación —ni en el ámbito europeo ni bajo el esquema internacional CORSIA—, **el impacto económico real de estos efectos permanece desregulado, lo que impide que el principio de 'quien contamina paga' se aplique de manera efectiva**.

Dado que el debate sobre la fijación de precios para las emisiones de los no-CO₂ en el EU ETS podría postergarse hasta 2028, Transport & Environment (T&E), en un informe sobre descarbonización de la aviación, propone una solución intermedia: **la creación de los *contrail allowances*** (derechos de emisión de estelas). Esta medida busca incentivar financieramente a las aerolíneas para que realicen las llamadas maniobras de evitación de estelas. En la práctica, esto implica que los aviones deben modificar de forma obligatoria su altitud de vuelo al atravesar regiones atmosféricas de muy baja temperatura y alta humedad, que es donde se generan estas nubes artificiales. Aunque este cambio de ruta requiere

consumir más combustible, a nivel de mitigación del impacto climático, se considera una alternativa mucho más económica que el uso de combustibles SAF, ya que compensaría el gasto adicional en combustible derivado de cambiar la altitud de vuelo. A pesar de que el artículo 30(4) de la Directiva revisada 2018/410 obliga a la CE a presentar un análisis actualizado de los efectos no-CO₂ de la aviación y, si procede, una propuesta sobre cómo abordarlos en el EU ETS para antes de 2020, la realidad es que, actualmente, el EU ETS regula únicamente las emisiones de CO₂ de vuelos intra-EEE. Es decir, los efectos de los no-CO₂ no se contabilizan en las obligaciones de entrega de derechos de emisión.

Más allá de las soluciones temporales, existe un consenso creciente sobre la **necesidad imperativa de integrar plenamente los efectos de los gases no-CO2 en el EU ETS** mediante una reforma estructural ambiciosa y urgente. Para que esta integración financiera sea efectiva, la reforma debería articularse en torno a:

1

Implementar medidas económicas que impulsen una reducción drástica del contenido de aromáticos en los combustibles y de las emisiones de hollín. De esta forma, se atacará directamente la producción de estelas.

2

Diseñar mecanismos financieros que incentiven y compensen a las aerolíneas por desviar proactivamente sus rutas de aquellas zonas atmosféricas identificadas como climáticamente sensibles.

3

Establecer un régimen sancionador específico. Debe incorporarse un marco regulatorio que sea vinculante, con los parámetros técnicos adecuados y que se alinee de manera rigurosa con los plazos y objetivos ya establecidos en el Reglamento 2024/2493 que transpone la Directiva del EU ETS.

Más allá de las soluciones temporales, existe un consenso creciente sobre la **necesidad imperativa de integrar plenamente los efectos de los gases no-CO2 en el EU ETS** mediante una reforma estructural ambiciosa y urgente. Para que esta integración financiera sea efectiva, la reforma debería articularse en torno a:

- 1 Implementar medidas económicas que impulsen una reducción drástica del contenido de aromáticos en los combustibles y de las emisiones de hollín. De esta forma, se atacará directamente la producción de estelas.
- 2 Diseñar mecanismos financieros que incentiven y compensen a las aerolíneas por desviar proactivamente sus rutas de aquellas zonas atmosféricas identificadas como climáticamente sensibles.
- 3 Establecer un régimen sancionador específico. Debe incorporarse un marco regulatorio que sea vinculante, con los parámetros técnicos adecuados y que se alinee de manera rigurosa con los plazos y objetivos ya establecidos en el Reglamento 2024/2493 que traspone la Directiva del EU ETS.

Acciones sobre los combustibles

La reforma en la composición y selección de los combustibles de aviación constituye una de las palancas tecnológicas más directas para mitigar el impacto climático de los gases no- CO_2 . A diferencia del CO_2 , cuya reducción depende estrictamente de la cantidad de combustible que se consume, los efectos no- CO_2 , especialmente las estelas de condensación están ligados a la calidad química del carburante empleado. La presencia de compuestos aromáticos y azufre en el queroseno fósil convencional determina la cantidad de partículas de hollín emitidas por el motor, que actúan como núcleos de condensación en la atmósfera.

La industria aérea está utilizando los SAF para superar el reto de las nubes artificiales y el hielo, y es que estos combustibles generan una combustión mucho más limpia que reduce notablemente las emisiones de partículas de hollín. Al mismo tiempo se está analizando su sostenibilidad y estudiando su ciclo de vida (desde cómo se fabrica el combustible y cómo se transporta, hasta cómo afecta a la calidad del aire y a nuestra salud), para garantizar que cada mejora técnica aporta un beneficio ambiental real.

Según la red de expertos en emisiones distintas del CO_2 (ANCEN), el desafío para optimizar el uso de los combustibles sostenibles está en las herramientas informáticas y los modelos meteorológicos, ya que los diferentes softwares no siempre coinciden al predecir cómo se comporta el hielo a gran altura. Para resolver estas discrepancias, se están cruzando datos de imágenes de satélite con mediciones reales tomadas por aviones en pleno vuelo. En el informe de políticas de E-CONTRAIL se aboga por el uso de datos satelitales y modelos meteorológicos avanzados para que el público y los reguladores puedan ver el impacto de cada vuelo en tiempo real.

Dado que la penetración de los SAF será gradual y lenta durante las próximas décadas, es urgente establecer por ley un límite máximo estricto de compuestos aromáticos y azufre en el queroseno fósil convencional. Esto permitiría reducir de forma inmediata las emisiones de hollín y la formación de estelas de toda la flota actual, sin necesidad de esperar a la disponibilidad total de SAF.



Mejoras en la gestión del tráfico aéreo

Está probado que mitigar las estelas de condensación es la forma más rápida y barata de reducir el impacto climático de la aviación en esta década, actuando como un freno necesario mientras se desarrolla la tecnología de cero emisiones a largo plazo.

Recientes análisis del sector, publicados en 2026, confirman que la evitación de estelas de condensación es especialmente crítica y efectiva durante los **vuelos nocturnos y en la temporada de invierno**. Dirigir los esfuerzos de mitigación hacia estas ventanas temporales específicas se consolida como la medida más rápida, eficiente y de menor coste que puede adoptar la aviación de forma inmediata para frenar su contribución al calentamiento global. La buena noticia es que **la EASA estima que la evitación gradual de cirros de estelas entre 2035–2045 recuperaría hasta el 9 % de la “deuda” de temperatura restante global**.

Una de las medidas de mitigación más prometedoras es la **navegación climáticamente inteligente, que ajusta las rutas para evitar zonas de alta sensibilidad**. Actualmente, la comunidad científica está potenciando tres capacidades críticas para maximizar el éxito de esta estrategia: por un lado, mejorando los modelos para calcular el FRE, logrando mediciones cada vez más desgranadas sobre el impacto térmico de cada estela. Por otro, fomentando el uso de la Predicción Numérica del Tiempo (NWP por sus siglas en inglés), tecnología que simula con exactitud milimétrica las condiciones atmosféricas que favorecen la formación de estelas. Y, en tercer lugar, se están desplegando nuevas capacidades de observación espacial por satélite para confirmar y monitorizar las estelas en tiempo real.

El informe de ANCEN de marzo de 2026 destaca que el sector está en una fase de mejora exponencial de sus herramientas. Si bien los modelos iniciales eran simplificados, la investigación actual está incorporando factores complejos como los "ajustes de las nubes" (la interacción entre estelas y nubes naturales).

El 1 de enero de 2025 entró en vigor el marco de Monitoreo, Notificación y Verificación (MRV), diseñado para que los operadores de aeronaves reporten sus efectos no-CO₂. Este sistema no solo busca el cumplimiento normativo, sino que pretende generar datos empíricos que permitan abordar el impacto climático del sector de manera más efectiva. Esto, junto con herramientas como el sistema NEATS, que automatiza y simplifica la vigilancia de los efectos de los no-CO₂, facilitan la aplicación de las normativas europeas y refuerza el liderazgo de la UE en innovación climática y sostenibilidad aérea.

Por otra parte, el informe de políticas de E-CONTRAIL propone que la reducción de emisiones de no-CO₂ se lleve a cabo a través de la ATM, modificando ligeramente las trayectorias de vuelo para evitar zonas de la atmósfera con alta humedad donde se forman las estelas persistentes.

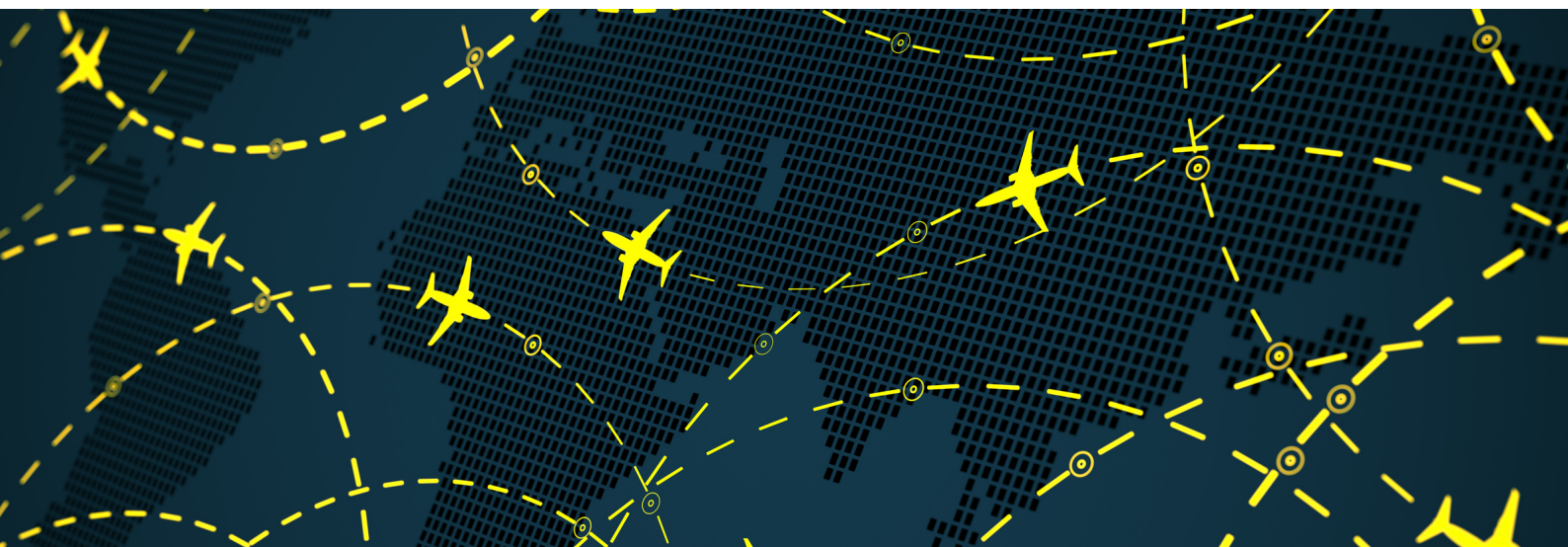
ENTRE EL 2 % Y 10 % DE LOS
VUELOS ES RESPONSABLE DEL

80 %

DEL FRE DE LAS ESTELAS

Señala que solo un pequeño porcentaje de los vuelos (entre el 2 % y 10 %) es responsable del 80 % del FRE de las estelas. Por lo tanto, desviando solo unos pocos vuelos se obtendría un beneficio climático significativo.

Con el objetivo de estructurar una arquitectura legal y técnica sólida que garantice la mitigación efectiva de los efectos no-CO₂, desde la Fundación Renovables **proponemos priorizar que la vigilancia de estas emisiones sea ambiental y no solo comercial o de tráfico aéreo**. Por eso, se debe designar al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD) como autoridad supervisora del sistema NEATS. En consonancia con este marco de gobernanza, se considera necesario incorporar de manera explícita y vinculante los efectos no-CO₂ y las estelas de condensación a la legislación que regula la gestión del tráfico aéreo, así como respaldar y mantener el régimen de seguimiento y reporte de estas emisiones en los vuelos que operan fuera del EEE para evitar vacíos regulatorios en rutas internacionales.





El rol clave del sector privado de **LA AVIACIÓN**

Capítulo

03

El rol clave del sector privado DE LA AVIACIÓN



El último informe de la CE marca un punto de inflexión:

ya no es una opción ignorar los efectos no-CO₂.

Pero, no es suficiente con el respaldo de la ciencia para poner en marcha las herramientas de mitigación disponibles, que se enfrentan a distintas dificultades para ser aplicadas.

Uno de los principales desafíos para avanzar hacia una regulación eficaz de los no-CO₂ es el propio sector privado de la aviación, que tiene dudas de implantar las herramientas de monitoreo en sus rutas y que, además, se ve mermado por la subida de precios en los combustibles a través del EU ETS. Para mitigar las críticas del sector a la herramienta NEATS y conseguir mayor aceptación, las organizaciones medioambientales y sociales proponemos centrar los esfuerzos en aprovechar la revisión del sistema EU ETS para introducir la medida financiera de los *contrail allowances*, con el objetivo de compensar el coste del combustible.

Además de conseguir la aceptación del sector a través de mecanismos financieros, es importante priorizar la mejora en investigación y la toma de decisiones entre Estados miembros, ya que los grandes operadores están ejerciendo presión para suspender el sistema de reporte antes de que acabe 2026. El Informe Medioambiental de la Aviación Europea (IMAE) para 2025, subraya dos prioridades estratégicas para unificar los esfuerzos de investigación y desarrollar una toma de decisiones robusta. Por un lado, medir mucho mejor qué sale exactamente de los motores de los aviones cuando están volando a su altura de viaje (fase de crucero) y, por otro, aportar mayor cohesión en la investigación y gestión de riesgos entre sector público y privado.



España se identifica como un actor clave en la producción de combustibles sintéticos sostenibles y, junto con Portugal, en la defensa de blindar la normativa y transformar la resistencia de la industria. Los esfuerzos van dirigidos a diversificar las fuentes de datos y desarrollar hojas de ruta científicas propias que demuestren que la evitación de la formación de estelas, modificando las rutas de vuelo, es viable y necesaria. Diversas organizaciones españolas de aviación han instado al Gobierno a respaldar el compromiso político con incentivos económicos reales.

Otro punto importante que debemos atender son las barreras a las que se enfrentan los legisladores para alcanzar una mitigación efectiva de las emisiones distintas al CO₂ a través de los mecanismos regulatorios. Antes, algunos expertos consideraban que incluir los efectos no-CO₂ en el mercado de emisiones era arriesgado porque no existían reglas lo suficientemente

exactas para medirlo.

Sin embargo, ese escepticismo inicial ha impulsado el desarrollo de métricas avanzadas mucho más fiables y precisas. Por eso, el reto técnico actual no es la falta de base científica, sino la carga administrativa y la elección de la métrica correcta.

ANCEN, en su informe "Proceso para Apoyar la Toma de Decisiones Robustas" (2025), sugiere el uso de indicadores ya existentes en la legislación y en informes de expertos. Asimismo, subraya que las recomendaciones del informe son aplicables a todo tipo de decisiones, ya sean políticas, regulatorias o iniciativas sectoriales sobre tecnología, operaciones y combustibles. A grandes rasgos, el informe propone que **se necesitan políticas que premien no solo el origen del combustible, como hace el ReFuelEU Aviation, sino iniciativas sobre nuevas tecnologías y cambios en la gestión de las operaciones de vuelo.**





Romper con el túnel de carbono **DE LA AVIACIÓN**

Capítulo
04

Romper con el túnel de carbono DE LA AVIACIÓN



El análisis del impacto climático de la aviación pone de manifiesto una realidad: las emisiones distintas del CO₂ no solo son relevantes, sino que constituyen la mayor parte del calentamiento neto del sector. En particular, los NO_x y los cirros de estelas son los principales responsables de este fenómeno. Esto cuestiona directamente la validez de un enfoque regulatorio centrado casi exclusivamente en el CO₂.

La regulación del sector aéreo es compleja. Al tratarse de una actividad transfronteriza, los vuelos internacionales no suelen incluirse en los compromisos climáticos nacionales, dejando la responsabilidad en manos de la OACI. Hasta ahora, la normativa global se ha centrado casi exclusivamente en el CO₂: en 2016, la OACI creó el esquema de compensación CORSIA y en 2022 fijó la meta de "cero emisiones netas" para 2050, pero sin establecer objetivos formales para los efectos no-CO₂.

Frente al marco global, la UE ha sido más proactiva al integrar los vuelos internos en su mercado de emisiones y al endurecer las exigencias de biocarburos mediante el paquete Fit for 55. La trayectoria legislativa reciente marca un cambio de rumbo en el tratamiento de los efectos no-CO₂:

- En 2020 la EASA publica el informe sobre el impacto de las emisiones no-CO₂, sentando las bases científicas para la regulación.
- En 2023 se exige por primera vez un sistema obligatorio de MRV de los efectos no-CO₂ con la Directiva 2023/958.
- En 2025 el Reglamento 2024/2493 aplica legalmente el MRV de NO_x/estelas de condensación.
- A partir de 2025 comienza el seguimiento obligatorio con el sistema NEATS. La OACI publica un informe operativo de reducción de estelas y gases no-CO₂, a la vez que incluye explícitamente la mitigación de los efectos climáticos distintos al CO₂ en su Plan Estratégico 2026-2050 como parte fundamental de su Objetivo Estratégico de Protección Ambiental.
- Está previsto que la CE informe sobre el sistema MRV en 2027 y que en 2028 se tome una decisión sobre cómo se regularán en el futuro los efectos de las emisiones distintas del CO₂.

Regular las emisiones no-CO₂ supone un desafío técnico. La ciencia actual es sólida, pero presenta matices que los legisladores deben gestionar con cuidado para que las políticas sean realmente efectivas. Uno de los puntos clave es encontrar la métrica ideal. Actualmente se usa el CO₂ equivalente, pero este no refleja perfectamente la realidad de todos los gases. El reto legislativo es asegurar que cada decisión aporte un beneficio neto positivo, garantizando que la reducción de estelas no se haga a costa de aumentar el carbono. Ante esta complejidad, expertos señalan que el uso de SAF es una de las herramientas más robustas. Su reducción de emisiones es fácilmente medible y contrastada, y, al ser combustibles más limpios, emiten menos partículas de hollín, algo que reduce la formación de estelas de condensación.

Aunque el avance hacia sistemas de MRV representa un cambio de paradigma, aún es insuficiente porque es una herramienta centrada en medir, no en reducir. Al mismo tiempo, se observa una dinámica ambivalente en los sectores público y privado. Mientras que la EU trata de posicionarse como líder mediante herramientas como NEATS y la posible integración de estos efectos en el EU ETS, el sector aéreo muestra resistencia a estos avances. Esto revela que el verdadero campo de batalla no es técnico, sino económico. Los avances dependerán de la eficacia de los incentivos y sanciones que se diseñen. En un sector altamente globalizado y sensible a costes, la regulación sin mecanismos económicos adecuados corre el riesgo de ser ineficaz o, incluso, contraproducente.

Las estrategias de mitigación disponibles reflejan bien esta complejidad. En este escenario, la evitación de estelas destaca como una medida especialmente prometedora a corto plazo por su elevada eficacia climática y su bajo coste, lo que refuerza la idea de que existen márgenes de actuación inmediatos que aún no se están aprovechando plenamente.

La evidencia científica sobre el impacto climático de las emisiones no-CO₂ y las obligaciones del Acuerdo de París, exigen actuar de inmediato con las herramientas actuales, sin postergar las decisiones regulatorias hasta lograr una precisión matemática absoluta. Por ello, se formulan las siguientes propuestas de actuación, tanto a nivel estatal como europeo:





Establecer por ley un límite máximo estricto del contenido de compuestos aromáticos y de azufre en el queroseno fósil convencional. Esto reducirá inmediatamente las emisiones de hollín y la formación de estelas de toda la flota actual, mientras se escala el uso de combustibles sostenibles.



Integrar los efectos de los gases no-CO₂ en el EU ETS. Es urgente considerar una reforma que incluya una reducción drástica de aromáticos y hollín e incentivos para desviar rutas de zonas climáticamente sensibles.



Mantener el seguimiento de emisiones en vuelos fuera del EEE en la legislación de gestión del tráfico aéreo y realizar pruebas a gran escala en el espacio aéreo para perfeccionar las técnicas de prevención de estelas.



Designar al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD) como autoridad supervisora del sistema NEATS. Asimismo, se debería crear un **grupo de trabajo interministerial** con representantes del MITERD (clima), AESA (seguridad aérea) y EUROCONTROL (rutas) para coordinar la política nacional e identificar incentivos según las directrices de la CE, para que la vigilancia de estas emisiones sea ambiental y no solo comercial o de tráfico aéreo.



Promulgar un régimen sancionador que obligue a las aerolíneas a reducir su impacto no-CO₂, que garantice el cumplimiento de las métricas y que incorpore parámetros técnicos según los plazos del [Reglamento 2024/2493](#). Entre las sanciones, se debería incluir: el cese de operaciones para las empresas que ignoren los límites de emisiones. Para ello, habrá que introducir una obligación de reducción de oferta de vuelos para las compañías que incumplan normativas (que deberán, a su vez, promulgarse) de reducción de estelas de condensación a través de cambio de rutas y de los límites de los derechos de emisión que se incluyan en el EU ETS y no que solo imponga sanciones económicas.

En conclusión, abordar los efectos no-CO₂ de la aviación debe ser una prioridad. **La transición desde un modelo de mero monitoreo hacia un marco de acción climática real exige voluntad política, una coordinación institucional ágil y una arquitectura legal** que penalice la inacción y premie la eficiencia operativa en tiempo real. No podemos seguir retrasando decisiones regulatorias urgentes teniendo las herramientas actuales que ofrecen vías de mitigación inmediatas y viables.



GLOSARIO

Capítulo

05

GLOSARIO

- **ANCEN:** Red de expertos en emisiones no-CO2 de la aviación (*Aviation Non-CO2 Experts Network*)
- **ATM:** Gestión del tráfico aéreo (*Air Traffic Management*)
- **CAEP:** Comité sobre Protección del Medio Ambiente de la aviación (*Committee on Aviation Environmental Protection*)
- **CORSIA:** Plan de compensación y reducción de carbono para la aviación internacional (*Carbon Offsetting Reduction Scheme for International Aviation*)
- **EASA:** Agencia Europea de Seguridad Aérea (*European Union Aviation Safety Agency*)
- **FRE:** Forzamiento radiativo efectivo (*Effective Radiative Forcing*)
- **EU ETS/ RCDE:** Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea
- **GWP:** Potencial de calentamiento global (*Global Warming Potential*)
- **IMAE:** Informe Medioambiental de Aviación Europea
- **IPCC:** Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
- **MITERD:** Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
- **MRV:** Monitoreo, Notificación y Verificación (*Monitoring, Reporting and Verification*)
- **NEATS:** Sistema de seguimiento de los efectos de la aviación distintos del CO₂ (*Non-CO₂ Aviation Effects Tracking System*)
- **NWP:** Predicción Numérica del Tiempo (*Numerical Weather Prediction*)
- **T&E:** *Transport and Environment* (Organización europea de transporte y medio ambiente)



No-CO₂

Los gases ocultos de la aviación

2026

www.fundacionrenovables.org